

Multimedia-Internet

José M.^a Rivadeneyra



emien la zabalazau



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

Multimedia-Internet

Multimedia-Internet

José M.^a Rivadeneyra

eman ta zabal azu



Universidad Euskal Herriko
del País Vasco Unibertsitatea

2018

CIP. Unibertsitateko Biblioteka

Rivadeneira, José María

Multimedia - Internet [Recurso electrónico] / José M^a Rivadeneira . – Datos. – Bilbao : Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, Argitalpen Zerbitzua = Servicio Editorial, 2018. – 1 recurso en línea : PDF (220 p.)

Modo de acceso: World Wide Web

ISBN: 978-84-9082-985-1

1. Internet. 2. Redes de ordenadores. 3. Medios audiovisuales.

(0.034)683.324

UPV/EHUko Euskara Zerbitzuak sustatua eta zuzendua,
Euskarazko ikasmaterialgintza sustatzeko deialdiaren
bitartez.

© Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzua

ISBN: 978-84-9082-985-1

Hitzaurrea

Paradoxikoa dirudi multimedia-Interneten aroan multimedia-Interneti buruzko liburu bat argitaratzea. Hala ere, oraindik, idatzizkoa da biderik onena eta erabiliena ezagutza hedatzeko, bai unibertsitate-mailako ikasketetan, behintzat. Arlo akademiko horretan kokatzen da liburu hau, haren hasierako helburua baita euskarazko Informatika Ingeniaritzako eta antzeko ikasketen sostengua izatea. Baina ez da helburu bakarra, horretarako dagoeneko bai baitaude beste liburu batzuk gure liburategietan. Liburu hau *euskaraz* dago idatzita. Horretan datza haren bigarren helburua, egindako lanari zentzua benetan ematen diona: euskara idatzia zabaldu orain arte inoiz urratu ez dituen bideetan. Oso gutxi daukagu idatzita, euskaraz, Internet- eta multimedia-teknologiengintza inguruan. Hutsune hori betetzera dator liburu hau, teknologia horien inguruan lan egiten duten, dibertitzen diren, eta ikasten edo irakasten duten euskaldunei bidea samurragoa egitera. Liburu honi esker euskaldunoi errazagoa egiten bazaigu multimedia-Internetarako teknologiaz hitz egitea eta idaztea, helburua beteta dago.

Norentzat den liburu hau

Helburu akademikoa izanik, liburu bereziki interesatuko zaie Internet- eta multimedia-teknologiak ikasten dituztenei. Oso aproposa da Ingeniaritza Informatikoa ikasten dutenentzat, baita Telematika eta Telekomunikazioko titulazio unibertsitarioetan ibiltzen direnentzat ere. Irakaskuntza tekniko ertainetan ere oso erabilgarria izango da liburu hau, batez ere irakasleen formazioan, euskaraz idatzitako testuen eskasia kontuan harturik.

Hala ere, saiatu naiz liburu ahal den errazena egiten irakurtzeko, erabilgarria izan dadin gaian sakondu nahi duen edozein euskaldunentzat. Multimedia-Internet barrutik ezagutzeko jakin-mina duen edozeinentzat idatzi dut liburu hau.

Edukia eta egitura

Interneten testuinguruan multimedia terminoa erabiltzen dugunean, funtsean, streaming- eta telefonia-aplikazioez ari gara. Ez dira Interneteko multimedia-aplikazio bakarrak, baina bai nagusiak, mugitzen duten trafikoko kantitateari dagokionez,

baita erabiltzen dituzten teknikei erreparatzen badiegu ere. Horregatik, liburua bi aplikazio sorta horien azterketan zentratzen da. Lehenengo kapituluan, TCP/IP protokolo multzoaren eta Interneten beste oinarri teknologikoak laburbiltzen dira, gaia ondo menderatzen ez duen irakurleak beharko dituen ezaguerak bereganatu ditzan. Multimedia-aplikazioen ezaugarriak, eta soinuaren eta bideo digitalaren oinarriak ere lantzen dira hasierako kapituluan. Bigarren kapitulua streaming-teknologiari buruzkoa da. Hirugarrenean, telefoniaren aro berriaren teknologia azaltzen da. Lau garren kapitulua sare-azpiegituretan dago zentratuta. Azpiegitura horiek datu-zerbitzuetarako diseinatu ziren bere garaian, eta ez multimediarako. Interneteko multimedia-aplikazioak bereganatu ahal izateko azpiegituretan egindako hobekuntzak jasotzen dira azken kapitulu horretan.

Erabilitako formatuei buruz

Hiru motatako testu bereziak topatuko dituzu idazki honetan: **beltzez** idatziriko hitzak, *letra etzanez* daudenak eta *courier* estilokoak. **Beltzez** dauden terminoak garrantzi berezikoak dira. Letra *etzana* erabili dut erdarazko terminoak idazteko (gehienak ingelesezkoak) eta arrazoiren batengatik esanahi berezia duten hitzak nabarmentzeko. Azkenik, *courier* estiloan daude protokoloen komandoak, kode zatiak, fitxategien izenak eta antzekoak.

Irakurlearen ekarpenak

Irakurlearen komentarioak eta gomendioak ongi etorriak izango ditut. Esadazue, zuen ustetan, zer sartu beharko nukeen hurrengo edizio batean eta zer ez, zertan zaudeten gustura liburuarekin eta zertan ez. Mesedez, bidaliezazkidazue zuen mezuak mmi@ehu.eus helbidera.

Eskerrak

Lehenik eta behin, funtsezkoa izan da Donostiako Informatika Fakultateko irakasle euskaldun asko aspalditik egiten ari den lan izugarria Informatika arloan hiztegi teknikoa sortzeko. Denak beti prest agertu dira laguntzeko eta nire zalantzak argitzeko. Alex Mendiburu irakasleak oso eskertzeko lana egin du testu osoa berrikusita; zenbait adierazpen argiago daude berari esker.

UPV/EHU euskal unibertsitate publikoaren baliabideak eta azpiegiturak erabili ditut liburua idazteko. Interneten denok erabiltzeko moduan dauden baliabide linguistikoko asko erabili ditut, baina Elhuyarrek argitaratutako hiztegia izan da gehien kontsultatu dudana. Mila esker bi instituzio horiei.

Irudi gehienak neuk sortuak dira, lehenengo kapituluko batzuk izan ezik. Beste irudi horiek egileek domeinu publikoari emanak dira. Egile horiei ere nire esker ona azaldu nahi diet: Lucas V. Barbosa (1.10 irudiaren egilea), Bas Duineveld (1.12 irudiarena), Eadweard Muybridge (1.13 irudiarena), Alex Khristov (1.15 irudiarena), Petteri Aimonen (1.16 irudiarena) eta egile ezezagunak (1.9 irudiarena, 1.11 irudiarena, gero nik egokituta eta euskaratua, eta 1.14 irudiarena).

Testua idazteko, LibreOffice 5.1.3.2 erabili dut, Ubuntu 16.04 sistema batean. Testuaren ortografia berrikusteko, Xuxen zuzentzaile automatikoa erabili dut, eta, irudiak sortzeko, Dia 0.97.3 diagrama-editorea. Software hori guztia garatu eta eskura jarri digutenei, eskerrik asko.

J.M. Rivadeneyra, Donostian, 2018ko urtarrilean

Edukien aurkibidea

1. Internet eta multimedia-aplikazioak	15
1. Interneten deskribapena	16
1.1. Egitura fisikoa	16
1.2. TCP/IP protokoloak	18
1.3. Internet bidezko transmisioaren ezaugarriak	22
2. Multimedia-aplikazioak Interneten	27
2.1. Bideo/audio streaming-a	28
2.2. IP bidezko telefonia	30
2.3. Sare bidezko bideo-jokoak	31
3. Soinu digitala	31
3.1. Seinale analogikoen digitalizazioa	32
3.2. Soinuaren kodeketa	39
3.3. Ahotsaren kodeketa	43
3.4. Audioaren kodeketa	46
4. Bideo digitala	47
4.1. Irudien digitalizazioa	47
4.2. Bideo-kodeketarako sistemak	50
Laburpena	57
1. kapituluko ariketak: audioa eta bideoa Interneten	59
2. Bideoa eta telebista Interneten	63
1. Streaming-teknikaren oinarriak	64
1.1. Internet bidezko bideo eta telebistarako osagaiak	65
1.2. Internet bidezko telebistarako ereduak	66

1.3. IP zerbitzua eta bideo-kalitatea	68
1.4. Hasierako aurrekarga eta atzerapena	69
1.5. Garraio-mailako zerbitzuak	71
1.6. Streaming-aren osagaiak	73
1.7. Streaming-aukerak	74
2. UDP streaming-a	75
3. HTTP streaming-a	78
3.1. HTML5	82
3.2. Streaming dinamikoa (adaptive bitrate streaming)	83
4. CDN-sareak eta streaming-a	85
4.1. Oinarrizko funtzionamendua	87
4.2. CDN erak	88
5. P2P Streaming-a	93
5.1. P2P streaming-aren erakargarritasuna	93
5.2. P2P streaming-erako aukerak	94
5.3. P2P streaming-aren mugak	97
6. Multicast streaming-a	100
6.1. Multicast kontzeptuak	101
6.2. Multicast bidezko streaming-a	104
Laburpena	106
2. kapituluko ariketak: streaming-a	108
3. IP telefonia	113
1. Sarrera	114
1.1. Seinala eta kontrol-kanalak	114
1.2. IP telefoniaren erabilerak	116
2. Seinalerako kanalak	117
2.1. Banda-zabalera	117
2.2. Atzerapena	119
2.3. Galerak	122
2.4. Protokoloak	125
3. Kontrolerako kanala	128
3.1. SIP	128
3.2. Beste protokolo batzuk	134
4. Internet bidezko telefonia	139
4.1. NAT eta suhesiak	139
4.2. IP telefoniaren eta sare telefoniko klasikoen arteko komunikazioa ..	141
4.3. Zenbaki telefonikoen erabilera: ENUM	143

5. IP telefonia enpresetan	148
5.1. Migrazioarako aukerak	150
Laburpena	154
3. kapituluko ariketak: IP telefonia	156
4. Multimediarako sare-teknologiak	161
1. Multicast teknologia	162
1.1. Multicast helbideak	162
1.2. Hartzailen kudeaketa: IGMP eta MLD	166
1.3. Multicast datagramak bideratzea: PIM	168
1.4. Multicast hutsunea eta AMT tunelak	172
2. QoS mekanismoak	173
2.1. Traffic Management	174
2.2. Onarpen-kontrola (<i>Call Admission</i>)	181
2.3. Trafiko-ingeniariatza (<i>Traffic Engineering</i>)	182
2.4. Buxaduren prebentzioa	186
3. Sarbide-sareak	188
3.1. Next Generation Network (NGN)	189
3.2. Kable bidezko sareak	190
3.3. Kablerik gabeko sarbide-sareak	200
Laburpena	206
4. kapituluko ariketak: multimediarako sare-teknologiak	208
Bibliografia	213
Indizea	215

Internet eta multimedia-aplikazioak

Kapitulua hau ikasi eta gero, honako kontzeptu hauek ondo ezagutu beharko dituzte irakurleak:

- Interneten eta TCP/IP protokolo multzoaren oinarriak.
 - Internet bidezko komunikazioaren ezaugarriak.
 - Zer diren streaming-a eta VoIPa.
 - Digitalizazioaren urratsak.
 - Audioa eta ahotsa kodetzeko teknika nagusiak.
 - Bideoa kodetzeko teknika eta estandar nagusiak.
-

Interneten erabilerari buruzko estatistikek diotenez, sarea gero eta gehiago erabiltzen dugu multimedia-aplikazioetarako. Filmak, bideoak, eta irratiko eta telebistako saioak gero eta gutxiago ikusten ditugu betiko telebistan edo irratan, Internet bidez jasotzen baititugu. Era berean, betiko sare telefonikoa ere tokia uzten ari zaio Interneti. Skype eta halako programak ez dira arrotzak dagoeneko, edonork erabiltzen baititu. Hau da, telekomunikazio-zerbitzuen mundua goitik behera aldatzen ari da. Lehen, zerbitzu bakoitzak bere sare propioa zuen, eta hori zen aukera bakarra zerbitzu hori eduki ahal izateko: telebista-zerbitzuak jasotzeko, telebistarako telekomunikazio-sarea eta telebista ikusteko ekipoak erabiltzen genituen; telefonoz hitz egiteko, sare telefonikoa, eta, formatu digitaleko informazioa trukatzeko eta lortzeko, Internet. Baina teknologia horietako bat besteak fagozitatzen ari da, eta, orain, sare bakar batek ematen ditu zerbitzu guztiak. Internet da sare hori.

Audioa eta bideoa Internet bidez jasotzea nahiko kontu zaharra da, baina 2000. urte ingurutik aurrera hasi zen etengabe hazten denbora errealeko audio eta bideoen trafikoa Interneten. Bi gertaerak bultzatu dute hazkunde hori. Alde batetik, konputagailuak askoz ahaltsuagoak dira, eta, ondorioz, mikrofonoak eta kamerak gehitu zaizkie, irudiak eta soinuak jaso, prozesatu eta igor ditzaten. Beste alde batetik, Internetek duen transmisio-ahalmena nabarmen igo da, bai sarearen muinean (horntzaileen barruko sareetan eta beren arteko loturetan), bai erabiltzaileen Interneterako sarbideetan, xDSL-ri eta beste teknologiei esker.

Interneten deskribapen labur bat eginez hasiko dugu kapitulu hau. Internet eta TCP/IP teknologia ezagutzen dituenak baztertu dezake hasierako zati hau, eta zuzenean hurrengora igaro: zer den multimedia aplikazio bat, eta nola sailkatzen ditugun aplikazio horiek. Gero, audioaren eta bideoaren digitalizazioa aztertuko dugu, behar-beharrezkoa baita Internet bidezko multimediarako.

1. Interneten deskribapena

1.1. Egitura fisikoa

Internet mundu osoan zehar barreiatutako milioika gailu elektroniko elkarrekin lotzen dituen sare informatikoa da. Orain dela ez asko arte, elkarrekin lotutako gailu horiek konputagailuak ziren, hau da, PCak eta zerbitzariak, nagusiki. Haatik, gero eta gehiagotan, beste motako gailu batzuk ere konektatzen ditugu Internetera: telefonoak, tabletak, telebistak, web-kamerak, etxeko tresnak... Izan ere, beti erabili izan dugun *konputagailu-sarea* terminoak desegokia dirudi Internet izendatzeko. Gaur egun, egokiagoa da *gauzen Internetez* mintzatzea.

Gailuek sarea erabiltzen dute beren artean «hitz egiteko»; informazioa eta aginduak trukatzeko, alegia, eta, horrela, gailu horiek erabiltzen dituzten gizakiei zerbitzuak emateko. Sarea beste gailu askok eta beren arteko konexioek osatzen dute. Sare barruko gailu horiek, askotan konputagailu bereziak direnak, sare-gailuak deituko ditugu. Haien artean, kontzentragailuak, kommutagailuak, eta bereziki garrantzitsuak diren **bideratzaileak** ditugu (ingelesez *router* denez, euskaraz ere askotan *routerra* entzungo dugu). Sare-gailuen arteko konexio gehienak kable bidezkoak dira (kobrezkoa, zuntz optikokoak, kable ardazkidekoak...), baina kablerik gabekoak ere badaude.

Berez, Internet ez da sare bat, sare osatutako sarearte bat baizik. Hau da, milioika sare elkarrekin lotuta. Munduaren beste puntan dagoen konputagailu bateraino heltzeko, gure makinatik ateratzen den informazioak honako sare hauek zeharkatuko ditu (ikusi 1.1. irudia):

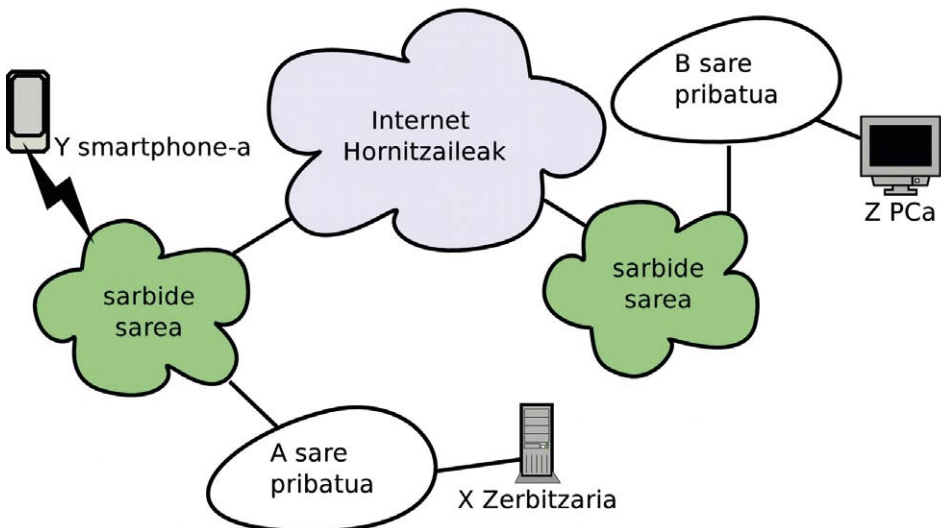
- Gure sarea (jatorrizko sarea) eta helburu den gailuaren sarea (helburuko sarea). Halakoak erakunde, enpresa edo partikularren sareak izango dira. Hor daude fisikoki konektatuta (kable edo uhinen bidez) jatorrizko eta helburuko gailuak. Batzuetan, etxeko edo enpresa txiki bateko sare lokala izango da, konputagailu gutxi batzuk **kommutagailu** (edo *switch*) baten bidez elkarturik osatuta. Beste batzuetan, erakunde baten egoitzetako sare lokalak telekomunikazio-konpainia bati kontratatutako konexioen bidez osatutako sarearteak izango da. Betiere, Interneti lotutako sare pribatuak dira.
- Erabiltzaileen sareak Internetera lotzen ditugu **Internet-hornitzaileen** bidez. Internet-hornitzaileak izendatzeko, **ISP** akronimoa erabiltzen da, ingelesetik hartuta

(*Internet Service Provider*). Internet-hornitzaileen sareak elkarrekin lotuta daude informazioa edozein saretatik beste edozein saretara eraman ahal izateko. Badaude ISP txikiak (edo Internet txikizkariak) eta handiak (edo Internet handizkariak). Txikizkariak zuzenean ematen diete Interneterako sarrera erabiltzaileen sareei. Handizkariak ISP txikiei ematen diete zerbitzua, haien arteko trafikoa mugituz.

- Erabiltzaileen sareak edo ekipoak eta Internet-hornitzaileak lotzen dituzten sareak **sarbide-sareak** dira. Sarbide-sare mota asko dago. Adibidez, etxean eta enpresa txikietan telefono klasikoak edo kable bidezko telebista konektatzeko erabili izan ditugun sareak ere badira Interneterako sarbide-sareak. Sare horiek hartzen ditugu gure ISP-raino ailegatzeko, xDSL edo DOCSIS teknologiak erabiliz. Etxekoak baino transmisio-behar handiagoak dituzten erakunde eta enpresen sareen kasuan, Interneterako sarbiderako espresuki eskaintzen diren beste konexio batzuk kontratatzen dituzte telekomunikazio-konpainietan. Horretarako, zenbait aukera teknologiko dituzte. Badago aukera erabiltzaileen ekipoak zuzenean zenbait sarbide-saretara konektatzeko, erabiltzailearen inongo sare pribaturik igaro gabe. Hori da normalean egiten dena tablet eta smartphoneekin, Internet zuzenean atzitzen baitute 3G (UMTS teknologia erabiliz) edo 4G (LTE teknologia) sareen bidez.

Sarbide-sareen garrantzia izugarria da: sarbide txarra badugu, jai dugu Interneten.

1.1. irudian, Interneti lotutako hiru gailu agertzen dira, X, Y, eta Z izenekoak. X zerbitzaria eta Z PCa sare pribatuetan daude kokatuta (etxeko edo laneko Ethernet sarea izan daiteke). Y smartphonea, aldiz, zuzenean konektatuta dago Internetera, sarbide-sare baten bidez, inongo sare lokalik gabe.



1.1. irudia. Erabiltzaileen sareak, sarbide-sareak, eta Internet.

1.2. TCP/IP protokoloak

Interneten dauden gailu guztiek TCP/IP protokoloak erabiltzen dituzte beren artean komunikatzeko. Protokolo horiek definitzen dute zer formatu eman behar zaion informazioari Interneten zehar bidaltzeko eta zer urrats egin behar diren informazio hori beste aldera heltzeko. TCP/IP multzoan, protokolo asko daude, ez soilik TCP eta IP, baina bi horiek dira garrantzitsuenak, eta horregatik hartu dira bion izenak multzo osoa izendatzeko. Atal honetan ikusiko dugu nola erabiltzen diren protokolo horiek Interneten.

Funtzionamendu orokorra

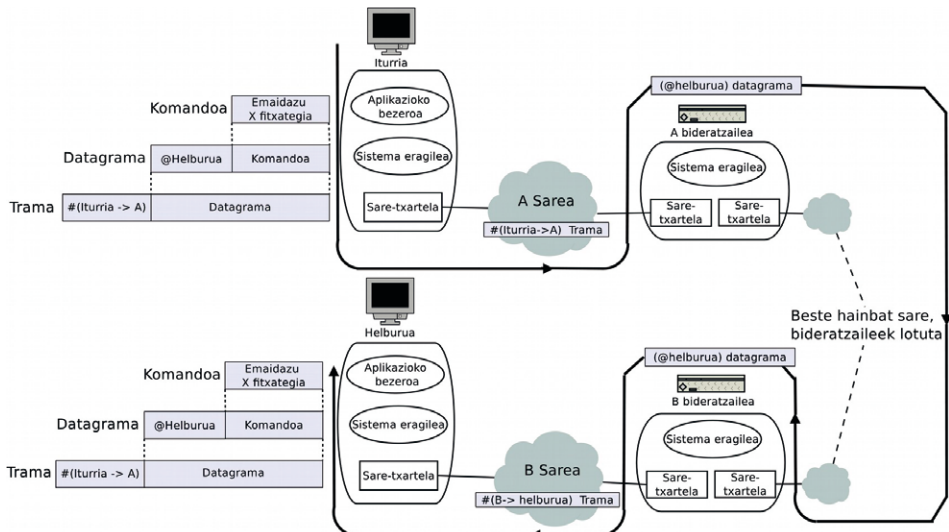
Demagun bi konputagailu ditugula eta demagun fitxategi bat eraman nahi dugula batetik bestera, Internet bidez. Horretarako, aplikazio bat erabiliko dugu, bi programak osatuta: bata konputagailu batean egikariturako da, eta bestea beste konputagailuan. Aplikazio bat sarearen bidez lotutako konputagailuetan egikaritzen diren programa desberdinek osatzen dutenean, **aplikazio banatua** edo sare-aplikazio bat dela esaten dugu. Askotan (baina ez beti), aplikazioaren zati bati **bezero** deritzo, eta besteari **zerbitzari**. Demagun gure zerbitzariak bezeroari bidaliko diola fitxategia, webean egiten den bezala. Horretarako, honako urrats hauek egingo dira:

- Hasteko, bezeroak zerbitzariari eskatu beharko dio fitxategia bidaltzeko. Horretarako, komando bat sortu behar du, zer fitxategi nahi duen azalduz, eta zerbitzariari helarazi. Beste xehetasun pila bat ere azaldu behar dizkio zerbitzariari, baina orain ez ditugu behar. Komando horren formatua fitxategiak deskargatzeko protokoloak definitzen du. Adibidez, webaren kasuan, HTTP da protokolo hori, eta bezeroak (*arakatzaile* edo *nabigatzaile* deritzo) bidaltzen dituenak HTTP komandoak dira.
- Gure bezeroak bere makinaren sistema eragileari emango dio eraikitako komandoa, sarean zehar bidal dezan. Sistema eragileak komandoari gehituko dio bere helburura ailegatzeko bidaian beharko duen informazioa. Datu asko dira, baina garrantzitsuenak bi hauek dira: zerbitzariaren makina Internet osoan identifikatzen duen IP helbidea, eta helburuko makinan abiatuta dauden aplikazioen artean gure zerbitzaria identifikatzen duen portua. Aplikazioak sortutako komandoak eta sistema eragileak bidaiarako gehitutako informazioak sarean zehar ibiliko den **datagrama** osatzen dute. Datagramak Interneten dabilen informazioaren unitatea dira. Errepide-sarearekin analogia egiten badugu, makinaren arteko konexioak errepideak dira, eta datagramak, berriz, ibilgailuak. Beraz, Interneten dabilen informazioa datagramatan banatuta dago. Edo, beste era batean esanda, Internet bidez zerbait bidali nahi badugu, lehenik zatitu eta datagramatan sartu behar dugu zerbait hori. Gure ahotsa, Interneten, datagramatan dago

sartuta, baita ikusitako filmak edo deskargatutako web-orriak ere. Datagramen formatua IP protokoloak definitzen du.

- Sistema eragileak dagokion sare-txartelari emango dio datagrama bakoitza, makinatik atera dezan, eta txartel horri esango dio zein den datagramaren bideko hurrengo makina, sare berean. Sare-txartelak datagramari gehituko dio hurrengo makinaraino ailegatzeko behar duen informazioa, eta, horrela, sare fisikoan zehar bidaltzeko behar den datu-egitura bat sortuko du, **trama** izenekoa. Adibidez, datagrama Ethernet sare batean zehar bidaltzeko, Ethernet formatuko trama bat sortu, eta bitez bit bidaliko du sarera.
- Sare berean dagoen hurrengo makinak trama jasoko du; hortik, barruan daraman datagrama erauziko du; bere helburuko IP helbidea aztertuko du; horren arabera ebatziko du zein den bideko hurrengo makina, eta prozesua errepikatuko du: trama berri bat sortu, eta hurrengo makinari bidaliko dio biak lotzen dituen sare fisikoaren bidez.

Horrela, urratsez urrats, azkenean, datagrama bere helburura helduko da, hots, zerbitzaria egikaritzen duen makinaraino. Deskribatu dugun bide hori 1.2 irudian agertzen da. Behin zerbitzariaren makinara iritsita, horko sistema eragileak erauziko du datagramaren barruan dagoen komandoa, eta portuak identifikatzen duen aplikazioari —adibidez, web zerbitzariari— emango dio. Zerbitzariak, eskatutako fitxategia bezeroari bidaltzeko, datagramatan sartuko du, eta, banan-banan, sistema eragileari emango dizkio datagrama horiek, kontrako bidean bidal ditzan.



1.2 irudia. Informazioa ibilbidea Interneten. Iturrian sortutako datagrama saltoka dabil, sare-zare, sare bakoitzari dagokion tramaren barruan. Helburuan, datagramak garraiatzen duen komandoa emango zaio aplikazioko beste aldeari (irudian, zerbitzariari).

Bideko urrats bakoitzean dauden makinak bideratzaileak dira. Bideratzailearen lanak berebiziko garrantzia du informazioa bere helburura hel dadin. Oso arraroa da bideratzaile batek datagrama bat nahastea eta behar ez den bidetik birbidaltzea. Aldiz, ez da hain arraroa bideratzaile batera datagrama gehiegi heltzea aldi berean eta guztiei kasu egiteko ezinean ibiltzea bideratzailea. Orokorrean, prozesa ditza-keen baino datagrama gehiago heltzen badira bideratzaile batera, kongestioa edo **bu-xadura** sortuko da, hau da, bideratzaileak gainezka egingo du. Egoera horretan, datagrama batzuk baztertu beharko dira. Hortaz, datagrama horiek ez dira helburura ailegatuko, eta informazioa sarean galduko da. Hori onartezina baldin bada aplikazioarentzat, TCP protokoloa erabili beharko du. TCPk kontrolatuko du ea ateratako datagrama guztiak beste aldera heltzen diren, eta, heltzen ez badira, kopiak bidaliko ditu, denak ailegatzea lortu arte. Aplikazio batzuek, aldiz, ez dute behar TCPk gale-arak kontrolatzeko ematen duen zerbitzu hori, eta protokolo arinago bat erabiltzen dute informazioa sarean zehar bidaltzeko, UDP izenekoa.

TCP/IP mailak

Interneten TCP/IP sare batean erabiltzen diren protokolo guztiak mailaka antolatuta daude. Lehen ikusi dugun bezala, goian dagoen protokolo batek sortutako informazio-unitatea azpian dagoen beste protokolo batek jaso eta kapsulatzen du bere informazio-unitate propioan. Adibidez, datagramak tramatan sartzen dira sarrera bidali ahal izateko.

Zehazki, TCP/IP munduan, honako lau maila hauetan sailkatzen dira protokoloak (ikusi 1.3 irudia):

Aplikazio-maila

Aplikazio-mailan biltzen dira sare-aplikazioak, hau da, gure ordenagailu eta terminaletan instalatzen eta egikaritzen ditugun programak: web-arakatzzaileak eta -zerbitzariak, IP telefoniarako softwarea, mezuak trukatzeko aplikazioak... Normalean, erabiltzaileok aplikazio horien bezeroak erabiltzen ditugu, eta sarean dauden beste ordenagailuetan egikaritzen dira aplikazio horien zerbitzariak. Aplikazio bereko zati horien artean, hitz egiteko aplikazio-mailako protokoloak erabiltzen dira. Aplikazioa sortzen duenak definitu beharko du bere aplikazioaren osagaien arteko harremanetarako bete beharreko protokoloa: webean, HTTP definitu zuten, eta, gaur egun, beste aplikazio askotan ere erabiltzen da; streaming-aplikazioetan, kasurako. Posta elektronikorako, SMTP, POP3 eta IMAP definitu dira. IP telefonian, SIP erabiltzen da gehien, eta, uneko mezularitzarako, XMPP oso erabilia da.

Garraio-maila

Garraio-mailako protokoloek aplikazioei ematen diete zerbitzua. Haien lana aplikazioko zati batek sortutako mezuak (komandoak eta beren erantzunak; adibidez, bideo bati dagokion bit-segida) beste makina batean dagoen aplikazio bereko beste zati bati helaraztea da. Aplikazio batek nahi badu bere mezuak arin

eramatea, garraio-mailako UDP protokoloa erabiltzea aukeratuko du, eta horrela azalduko dio bere sistema eragileari bidali behar den informazioa ematean. Aldiz, arin baino gehiago informazioa ailegatuko dela bermatzea baldin bada aplikazio horren kezka nagusia, garraio-mailan TCP protokoloa erabiltzea aukeratuko du.

IP maila

Garraio-mailako protokolo guztiak erabiltzen dute IP zerbitzua informazioa beste makinaraino helarazteko Interneten zehar. Maila honetan, alde batetik IP protokoloa dugu, eta, beste alde batetik, haren laguntzaileak diren beste protokolo guztiak: ICMP, ARP, IGMP... Garraioan ez bezala, IP mailan zerbitzu bakarra dago, IP protokoloak eta haren laguntzaileek ematen dutena. Hau da, garraio-mailako protokoloek aukera bakarra dute: denek erabiltzen dute IPk ematen duen zerbitzua; ez dago alternatibarik. IP protokoloak definitzen du nolakoa den Interneten zehar ibiliko diren datagramen formatua.

Sarbide-maila

Datagramak fisikoki bidaltzeko, trama batean kapsulatu behar dira, eta trama osatzen duten bitak fisikoki transmititu. Sare-teknologia bakoitzak definitzen du nolakoa den trama hori eta bitak nola bidaltzen diren fisikoki. Hortaz, ez da gauza bera gure ordenagailu eramangarritik wifi-sarguneraino joateko gure datagramak erabiliko duen trama, eta sargunetik gure ISParen sarreraraino hartuko duena. Sare-teknologia bakoitzak definitzen du sare hori erabiltzeko bete behar den protokoloa: 802.11, Ethernet, PPP, MPLS...

Mailakako antolaketa horrek abantaila handia du: ez dago menpekotasunik maila desberdineko protokoloen artean. Izan ere, TCP/IP teknologia eta haren gainean garatu diren aplikazio asko xx. mendeko 80ko hamarkadakoak dira, baina, hala ere, egungo sare-teknologiak erabiltzen dituzte, ezer aldatu behar izan gabe. Are gehiago, aplikazio berriak garatu dira TCP/IP zahar horren gainean, eta ederki dabilta. Eta aplikazio gehiago ere etorriko dira, denak TCP/IP protokolo-metaren gainean eraikiak.

Aplikazioa	HTTP, SIP, SMTP, POP3, IMAP, XMPP ...
Garraioa	TCP, UDP ...
IP (Sareartea)	IP, ICMP, ARP, IGMP ...
Sarbidea	Ethernet, PPP, MPLS, ATM ...

1.3 irudia. TCP/IP mailak eta protokoloak.

1.3. Internet bidezko transmisioaren ezaugarriak

Internetek informazioa makina batetik bestera eramateko balio digu. Gustatuko litzaiguke nahi dugun informazio guztia berehala eramatea, inongo atzerape-nik gabe, eta bit bat bera ere galdu gabe. Baina errealitatea oso bestelakoa da: sareak mugatzen du zenbat bit eraman dezakegun segundoero mutur batetik bestera; horretarako hartzen duen denbora-tartea oso aldakorra izan daiteke, eta, gainera, batzuetan, datagramak bidean galtzen ditu.

Abiaduraz

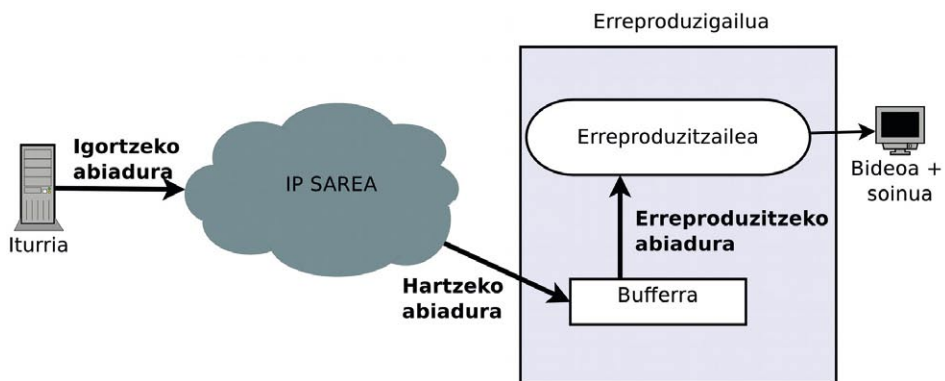
Demagun film bat ikusten ari garela Internet bidez. Gero aztertuko ditugu hobeto horrelako sare-aplikazio baten ezaugarriak; oraingoz, nahikoa da jakitea egiten duguna dela, funtsean, film horren irudiak eta soinuak garraiatzen dituzten datagramak saretik jasotzea eta gure konputagailuan erreproduzitzea. Horretarako, erreproduzigailuak bit kopuru minimo bat jaso behar du segundoero. Hori da **erreproduzitzeko abiadura**. Abiadura hori seinalearen eta seinalea kodetzeko erabilitako sistemaren arabera da. Orokorrean, soinuak askoz abiadura txikiagoa behar du bideoak baino, baina, aldi berean, elkarrizketa telefoniko baterako kodetutako soinua erreproduzitzeko, CD kalitatearekin grabatutako kontzertu bat entzuteko baino askoz bit gutxiago beharko ditugu segundoero.

Erreproduzigailuak behar duen abiaduran elikatu ahal izateko, bi eragileren menpe gaude: datagramak sortzen dituen iturria eta datagrama horiek erreproduzigailura eraman behar dituen sarea; Internet, alegia. P2P aplikazioetan, konputagailu talde bat izaten da iturria, baina, azalpenak argitzearren, igorlea zerbitzari bakar bat dela hartuko dugu (egun, kasu gehienetan horrela egiten da). Erreproduzitzeko abiaduran, gutxienez, igorleak datagramak eman behar dizkio sareari. Bestela, ez dugu zer eginik, erreproduzigailuak ezinezkoa izango baitu beste aldeko bere lana ondo egitea. Hala ere, igorleak aurretik grabatuta baldin badauka bidali behar duen film hori, erreproduzitzeko abiadura baino azkarrago bidal dezake informazioa, betiere sare-konexioak onartzen badu. Adibidez, filma 2 Mb/s-rako kodetuta badago eta igorlearen sare-konexioak fisikoki 100 Mb/s-an bidal baditzake bitak (adibidez, FastEthernet sare-txartela bat erabiltzen badu), seinalea 2 Mb/s baino azkarrago bidal daiteke; adibidez, 10 Mb/s-an. Kasu horretan, erreproduzigailuak buffer batean gordeko ditu erreproduzitzeko behar ez dituen datagramak, eta, behar dituenean, hortik aterako ditu. Igorleak aurretik grabatuta ez badauka bidali beharreko filma, hau da, zuzeneko ekitaldi bat ari bada transmititzen, saihestezina da erreproduzitzeko abiadura eta **igortzeko abiadura** berdinak izatea. Horra hor denbora errealeko multimedia sare-aplikazio baten adibide bat.

Beste aldean, datagramak jaso behar dituen makinaren **hartzeko abiadura** dugu. Abiadura horrek ere, jakina, erreproduzigailuaren abiaduraren adinakoa izan behar du gutxienez. Oharra: igorlearen abiadurak, hartzailaren abiadurak,

eta erreproduzigailuarenak ez dute berdinak izan behar; filma aurretik grabatuta badago, behintzat. Baliteke igorleak 10 Mb/s-an datagramak sarean txertatzea, hartzaileak 5 Mb/s-an jasotzea saretik eta, bufferrean sartu, eta erreproduzigailuak 2 Mb/s-an ateratzea bufferretik. Zuzeneko ekitaldietan, aldiz, abiadura guztiek berdinak izan behar dute: igorleak ezin du bidali kodetutako abiaduran baino azkarrago, denbora errealeko ekintza bat baita, eta, abiadura hori baino mantsoago sartzen badira bitak erreproduzitzeko bufferrean, arazoak izango ditugu, filma ez baita ondo erreproduziturik.

Kontuan hartu behar dugu igorlearen eta hartzailearen artean Internet osoa dagoela. Aurreko atalean ikusi dugunez, Internet sare askok osatutako sarearte bat da, eta, berez, sare-konexio fisiko asko zeharkatu behar dituzte datagramak beren bidean. Horrelako konexioen artean transmisio-abiadura txikiena duenak baldintzatuko du sareak emango duen abiadura. Hori izango da botila-lepoa, eta horrek ezarriko du zein izango den **sare-abiadura** filma erreproduzitzeko aplikazioan. Abiadura hori izendatzeko, askotan erabiltzen da ingelesezko *throughput* hitza. Beste alde batetik, sare-konexio bakar batek duen transmisiorako ahalmenari, hau da, lor dezakeen transmisio-abiadurari, **banda-zabalera** ere esaten zaio.



1.4 irudia. Abiadurak, sare bidezko erreproduzio batean.

Sarearen portaera ura banatzeko sarearena bezalakoa da. Demagun Interneten ibiltzen diren bitak ur tantak direla eta konputagailuen arteko konexioak, berriz, ur-hodiak. Etxe batean jasotzen dugun ur-emaria ez da izango gure etxea sarearekin lotzen duen hodiaren zabalerrari dagokiona, ezta ur-iturriak sarean isurtzen duen emaria ere, baizik eta iturriaren eta gure etxearen arteko bidean dagoen hodirik estuenari dagokion emaria. Hori bai, ur-sarean bezala, Interneten ere, kasu gehienetan, iturriaren eta gure etxearen artean dagoen konexiorik mantsoena gure etxearen eta ISParen artekoa izaten da, hau da, sarbide-sa-

rearena. Eta zer gertatzen da sarean trafiko handia badabil, gure igorlearen eta hartzailearen artekoaz gain? Hori da, berez, errealitatea. Orduan, sarearen ahalmena trafiko guztiaren artean banatzen da. Horrek aplikazio batek saretik lortuko duen abiadura aldakorra izatea eragiten du: deskarga baten botila-lepoa hartzailearen sare-konexioa izan daiteke une batean, eta, segituan, deskarga horren bidean dagoen beste linea botila-lepo bilakatu daiteke. Orokorrean, Internetek ez du bermatzen zenbat b/s lortuko dituen aplikazio batek. Horri *best effort* zerbitzua esaten zaio.

Bideoak abiadura handia behar du alde guztietan: igorlean, sarean eta hartzailean. Igorleak abiadura handian jaso, prozesatu eta bidali behar ditu irudiak. Sareak abiadura handia behar du igorleek txertatutako trafiko guztia garraiatzeko. Eta hartzaileak ere abiadura handia behar du bere Internet-sarbidean, eta jasotako bideoa behar den abiaduran erreproduzitzeko gai ere izan behar du. Azken bi hamarkadetan, teknologiak abiadura-premia horiek guztiak ase ditu, Internet bidezko bideoen eta telebistaren bidez. Telefoniaren kasua, aldiz, desberdina izan da: ahotsa garraiatzeko behar den abiadura bazegoen, bideoaren kasuan baino askoz lehenago, baina Internet sareak eragin dezakeen atzerapen ezegonkorrak oztopatu egin du Internet bidezko telefoniaren hedapena.

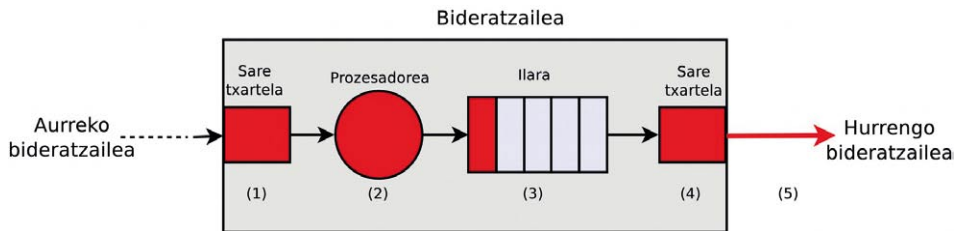
Atzerapenaz

Behin audioa eta bideoa garraiatzeko behar den banda-zabalera edukita, arazoa **atzerapena** da. Dakigunez, datagramak zenbait makina bisitatuko ditu Interneteko bidaian zehar: konputagailu batetik aterako da, bideratzailez bideratzaile ibiliko da saltoka, eta, azkenean, helburuko makinara helduko da. Bidaia horretako urrats bakoitzean, honako atzerapen hauek izango ditu datagramak:

- Prozesatzeko denbora: datagrama birbidali behar duen bideratzaile bakoitzak (baita datagrama sortu duen makinak ere) datagrama horren goiburukoa aztertu behar du, zer lineatetik birbidali behar duen ebazteko.
- Ilaran emandako denbora: behin ebatzita nondik birbidali datagrama, linea horretatik transmititu behar diren datagramen ilaran sartuko da datagrama. Ilara hori, azken finean, memoria zati bat da, buffer bat, eta sare-txartelak handik hartzen du transmititu behar duena. Nolabait, datagrama itxarongela batean sartzen da, transmititua izateko txanda ailegatzen zaion arte, gu medikuarenean egoten garen bezala. Gogoratu bideratzaile batek hainbat linea eta, berez, sare-txartel izan ditzakeela. Haietako bakoitzak bere ilara propioa izango du. Baliteke ilara batean gurea baino lehenago sartu diren datagrama asko egotea eta, beraz, denbora asko igaro behar izatea transmititua izan arte, eta, bitartean, aldameneko ilara hutsik egotea. Ilaran emandako denbora hori une horretako sare-trafikoaren nondik norakoaren arabera da. Ondorioz, ez dago bermatuta zenbatekoa izango den datagrama batek ilaran emango duen denbora Interneten zeharreko ibilaldian.

- Transmititzeko denbora: behin txanda helduta, datagrama transmitituko da. Horretarako beharko den denborak bi zati ditu: alde batetik, linea lortzeko denbora, eta, bestetik, datagrama fisikoki transmititzeko denbora. Linea lortzeko denbora transmisio-bidea sare bereko beste nodoekin partekatua bada agertzen da soilik; bestela, denbora hori zeroa da. Adibidez, wifi-sare batean, gure datagrama transmititzeko, bermatu behar dugu sare bereko beste inor ez dela transmititzen ari aldi berean; bestela, bi datagramek talka egingo lukete, eta biak galduko lirateke. Hori ekiditeko, transmisio-bidea partekatzeko protokoloak erabiltzen dira, edo, ingelesezko akronimoa erabilita, **MAC protokoloak** (*Medium Access Control*). Protokolo horiek egikaritzeak ere denbora hartzen du. Aldiz, Ethernet kommutatu batean —*switchen* bidezkoetan, alegia—, sareko nodo bakoitzak ez du inorekin partekatzen bere kablea, ez du MAC protokolorik egikaritu behar, eta transmititzeko denbora transmisio fisikoak hartzen duen denbora besterik ez da. Transmisio fisikorako denbora bidali behar den bit kopuruaren eta sare-txartelaren abiaduraren arabera da, zehazki I/A, non I bidali beharreko informazio kantitatea den, bitetan, eta A txartelaren transmisio-abiadura fisikoa, b/s-tan.
- Hedatzeko denbora: bit bat transmititzeko denbora bit hori linean *jartzeko* denbora da, hau da, bit hori seinale elektriko, argizko seinale edo uhin elektromagnetiko bilakatzeko denbora; hurrenez hurren, kobrezko hari baten bidez, zuntz optiko baten bidez edo antena baten bidez beste makina batera helarazteko. Baina, behin kablean, zuntzean, edo espazioan jarrita, seinale horrek denbora bat beharko du beste makina batera heltzeko. Hori da *hedatzeko* denbora, erabilitako transmisio-bidearen arabera. Zuntz optikoan, argia 300.000 km/s-ko abiadura hedatzen da, uhin elektromagnetikoen abiadura bertsuan (azken finean, argia uhin elektromagnetikoa ere bada), eta seinale elektrikoak, kobrezko hari batean, zertxobait mantsoago ibiltzen dira. Nolanahi ere, oso abiadura handiak direnez, seinalea hedatzeko denbora oso laburra izaten da.
- Hartzeko denbora: bitak hurrengo makinara hiltzean, saretik jaso behar dira. Horretarako behar den denbora igorleak datagrama fisikoki transmititzeko emandako denbora bera da.

Bideko nodo guztietan eta haien arteko lineetan emandako denborak **sare-atzerapena** osatzen dute. Ibilaldiko nodo bakoitzean emandako denbora aldakorra izaten da. Kasu gehienetan, hedatzeko denbora arbuigarria da. Soilik satellite bidezko komunikazioetan izaten da esanguratsua hedatzeko denbora, seinaleak milaka kilometro egin behar dituelako. Transmisio-denbora ere arbuigarria izan ohi da, gaur egun erabiltzen diren transmisio-abiadura fisikoak nahiko altuak baitira, bereziki sare lokaletan. Prozesatzeko denbora ere txikia izaten da. Azkenik, ilaran emandako denbora gelditzen zaigu. Oso aldakorra izaten da, eta, askotan, handiena izango da, nabarmen.



1.5 irudia. Sare atzerapenaren osagaiak. (1) Hartzeko denbora, (2) Prozesatzeko denbora, (3) Ilaran emandako denbora, (4) Transmittitzeko denbora, (5) Hedatzeko denbora.

Sare-atzerapen handia arazoa izaten da soilik komunikazioaren bi muturren arteko elkarrekintza-maila altua bada; telefono bidezko elkarrizketak, kasurako. Inoiz satellite bidezko elkarrizketaren batean parte hartu duenak badaki zenbateraino kaltezen duen komunikazioa segundo erdiko atzerapenak. Aldiz, bideo bat ikustera-koan, atzerapen osoak hasteko unea besterik ez du atzeratzen; segundo erdi atzeratuta ikusten hasteak ez du garrantzirik bi orduko film batean. Baina saretik jasotako datagramen arteko tartea aldatzea, hau da, atzerapenaren aldakortasunak, eragina izan dezake erreproduzitutako soinuaren eta bideoaren kalitatean.

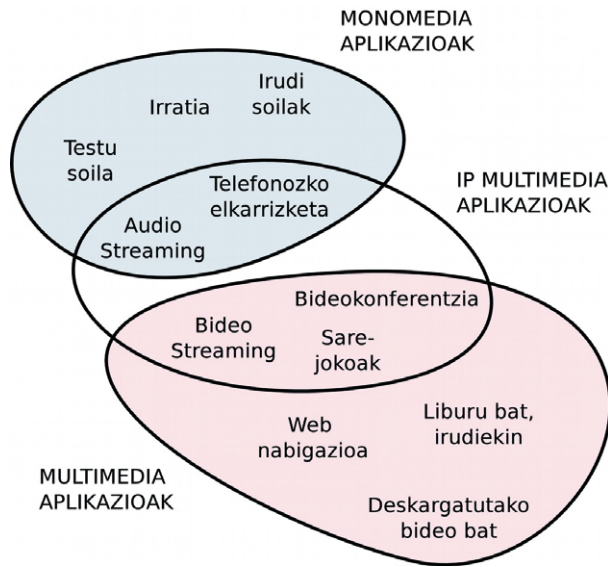
Galeraz

Nola gal daitezke datagramak Interneten? Zenbait eratan gerta daiteke datagrama bat ez heltzea helburura, baina nagusia transmititzeko ilarekin dago lotuta, lehen azaldu dugun bezala. Ikusi dugunez, datagramak, transmititua izateko, bere txanda iritsi arte zain egon behar du ilaran. Ilara hori, azken finean, buffer bat da, eta, berez, datagramak ostatatzeke ahalmen mugatua du. Demagun linea batetik A datagrama segundoero transmiti dezakegula, hau da, linea horren igortzeko abiadura A datagrama/s dela. Eta demagun linea horri dagokion ilaran —bufferrean, alegia— batez beste B datagrama sartzen ari direla segundoero. $A > B$ betetzen bada, ilarara heltzen diren datagrama berriek ilara hutsa aurkituko dute, eta itxaron gabe transmitituko dira. Kontrakoa suertatzen bada, hau da, $A < B$, orduan, atera baino azkarrago sartuko dira datagramak ilarara. Ondorioz, gero eta datagrama gehiago egongo dira ilaran, transmititzeko zain. B abiadura jaisten ez bada, azkenean, ilara beteko da, hau da, bufferra beteko da. Zer gertatzen da, orduan, beste datagrama bat heltzen bada linea horretatik transmititua izateko? Bi aukera daude: edo tokirik gabe dagoen datagrama hori baztertua izango da, edo jadanik ilaran zegoen beste datagrama batek bere tokia utzi beharko dio heldu berriari, eta, noski, hain egokia izan den datagrama hori baztertua izango da. Kasu gehien-gehienetan, lehenengo aukera hartzen dute bideratzaileek, baina, nolana ere, datagramaren bat galduko da. Deskribatutako egoera gorago aipatu dugun kongestioa edo buxadura da, egun Interneten datagramak galtzeko lehenengo arrazoa.

2. Multimedia-aplikazioak Interneten

Adiera zorrotzean, «multimedia» hitzak esan nahi du informazioa adierazteko era desberdinak erabiltzea aldi berean. Beraz, telefono bidezko elkarrizketa bat ez litzateke sartuko definizio horretan, soinua besterik ez baita erabiltzen informazioa azaltzeko. Aldiz, liburu hau bera multimedia kategorian sartuko genuke, testua eta irudiak erabiltzen dituelako aldi berean. Baina, testu honetan, Internet erabiltzen duten multimedia-aplikazioei erreparatu nahi diegu, ez liburu fisikoei, eta, bai, aldiz, telefoniari. Beraz, beste definizio bat behar dugu. Honako hau hartuko dugu:

Multimedia Interneten: soinua, bideoa eta animazioak Internet bidez eta unean erreproduzitzeko garrantuzkoak diren aplikazioak.



1.6 irudia. Multimedia, monomedia, eta IP multimedia.

Beraz, multimediaz ari garenean, sare-aplikazio batzuei buruz ari gara; zehazki, soinua edo bideoa Interneteko txoko batetik bestera eramaten dituztenei buruz. Definizio horretan, telefono bidezko elkarrizketa ere sartzen da, nahiz eta soinua besterik ez bidali, testu edo irudiekin konbinatu gabe. Baina, adi, definizioan, denbora errealean osagaia ere sartu dugu, garrantuzko seinalea unean bertan erreproduzitu behar baita; jaso bezain laster, alegia. Hortaz, filmak edo abestiak deskargatzeko erabiltako aplikazio bat ez da sartuko gure multimediararen definizioan, soinua eta irudiak batera garrantuzko baditu ere. Soilik gizaki bat ari bada aplikazioa erabiltzen, eta aplikazioak garrantuzko soinu edota irudien zain badago gizaki hori, multimediatzat hartuko dugu aplikazio hori testu

honetan. Hau da, gurea multimedia interaktiboa da. Honako talde hauetan sailkatuko ditugu multimedia-Interneteko aplikazio interaktiboak: (1) bideo/audio streaming-a, (2) IP bidezko elkarrizketak (VoIP), eta (3) sare-joko interaktiboak (*on line gaming*). Haie-tako bakoitzak baditu bere beharrak, eta kontuan hartzekoak dira guztiak ere. Jarraian zehaztuko dugu nolakoa den aplikazio bakoitza, eta, hurrengo bi kapituluetan, streaming-ean eta IP telefoniaren inguruko teknika berezietan sakonduko dugu.

2.1. Bideo/audio streaming-a

Orokorrean, bideo edo audioak Internet bidez ikusteko edo entzuteko aplikazioak sartuko ditugu atal honetan. Streaming-aplikazioetan, erreproduzigailuak ez du itxaroten bideo edo audio osoa jaso arte erreproduzitzen hasteko; seinalea jasotzen hasi eta gutxira abiatuko du erreprodukzioa. Portaera horretan datza streaming-sistemen eta ohiko deskarga sistemen arteko aldea. Filmak edo abestiak jaisteko aplikazioak ez dira sartzen liburu honetan aztertuko ditugun multimedia-aplikazioetan, ez baitira erreproduzitzen deskargatu ahala. Hau da, ez dira denbora errealekoak; ez dira unean bertan erreproduzitzen, baizik eta deskarga amaitu ondoren erabiltzaileak erabakitzen duen unean. Deskargatu eta gero, orduak, egunak edo hilabeteak igaro daitezke deskargatutakoa erreproduzitu arte, eta, orduan, erreprodukzioa *off line* egingo da, hau da, sareak ez du parte hartuko. Streaming-aplikazioetan, aldiz, ez da itxaron behar deskarga amaitu arte erreproduzitzen hasteko, eta sarearen parte-hartzea funtsezkoa da arazorik gabe erreproduzitzeko.

Streaming-sistemen arazo nagusiak bi dira. Lehenengoa, bideo-streaming-en kasuan, zerbitzariaren eta erreproduzigailuaren artean behar den banda-zabalera nahikoa izatea da. Arazo horri aurre egiteko, bi bide uztartzen dira: alde batetik, sare-azpiegitura eta -teknologia hobetan inbertitzea, eta, bestetik, bideoa transmititzeko behar den abiadura jaistea, trinkoketaren bidez. Sare-azpiegituren eta -teknologiaren gaia azken kapituluaren jorratuko dugu. Kapitulu honetan, trinkoketa landuko dugu, bideo-kodeketa aztertzerakoan.

Streaming-sistemen bigarren arazoa behin erreprodukzioa hasita etenik ez sortzea da. Horretarako, zerbitzariak igorritako bit-korronteak (*stream* bat da) garaiz heldu behar du erreproduzigailura, bit bakoitza dagokion unean erreproduzitu dadin. Berandu iristea ez heldzea bezala da; ez du ezertarako balio. Horretarako, sareak zera lortu behar du: *stream*aren abiadura erreproduzitzeko behar den abiaduraren adinakoa izatea, gutxienez. Arazoa Interneten izaeran datza: IP protokoloak ez du bermatzen aplikazio batek sarean lortuko duen abiadura zein izango den, eta, abiadura horretan, gorabeherak suertatzen dira, sarean une bakoitzean dagoen trafikorearen arabera. Hortaz, aldi baterako abiaduraren beharakada batek eragin dezake bideo-seinalea garraiatzen duten datagramak atzeratzea, seinalea garaiz ez heldzea erreproduzigailura eta, azkenean, irudia edo soinua geldiaraztea. Hori era-

gozteko, **bufferizazio** deritzon teknika erabiltzen da Interneten; bigarren kapituluan aurkeztuko dugu.

Streaming erak

Telebista eta irrati konbentzionaletan bezala, streaming-sistemen bidez hedatutako saioak aurretik grabatutakoak (*stored streaming*) edo unean gertatutakoak (*live streaming*) izan daitezke. Audio hutsa (normalean, musika) banatzeko streaming-sistemak bideoa banatzeko sistema berak dira, baina askoz ere transmisio-abiadura txikiagoa erabiltzen dute.

Aurretik grabatutako bideo- edo irrati-saioak banatzeko streaming-sistemak, betiko telebistaz gain, VoD sistemak (*Video on Demand*) ordezkaten ari dira. Ez da harrizkoa, VoD banaketa telebista banatzeko sareetan oinarrituta baitago (batez ere kable- eta satelite-sareetan oinarrituta), eta, azken finean, sare hori ari da Internet ordezkaten. Erabiltzailearen ikuspuntutik, streaming-a grabatuta jasotzea telebista-, musika- edo bideo-erreproduzigailu bat erabiltzea bezala da, baina, telebista- edo DVD-gailuaren ordez (edo beste formatu batzuetarako gailuen ordez), Interneti lotutako PC bat edo smart TV bat (telebista adimenduna) erabiltzen dute. Betiko telebistarekin edo irratiarekin alderatuta, ikusleak aukeratzen du zer eta noiz ikusi nahi duen, saioen programazio eta ordutegi baten menpe egon gabe. Gainera, ikusleak kontrolatzen du noiz egin eten bat, hala korik egin nahi badu, edota aurrerago eta atzerago joan erreproduzioan, bideo-erreproduzigailu konbentzionaletan egiten duen era berean. Adi: benetan «era berean» izateko, ikusleak horrelako botoi bat sakatzen duenetik eskatutakoa gauzatzen den arte, ezin dira segundo gutxi batzuk baino gehiago igaro. Hau da, badago denbora errealean egindako elkarrekintza bat streaming-zerbitzariaren eta erabiltzailearen artean.

Irrati eta telebista konbentzionaletan ez bezala, unean gertatutakoa Internet bidezko streaming eran jasotzek badu zailtasun teknologiko propioa. Streaming-a zuzenekoa izanik, streaming grabatuekin alderatuz, sarerako baldintzak gogortzen ditu. Streaming grabatuan, erabiltzaileak onartzen du zertxobait itxarotea «play» botoia sakatzen duenetik saioa ikusten hasten den arte. Hamar segundo itxarotea, adibidez, ez da gehiegizkoa. Baina, zuzeneko ekitaldi bat transmititzen ari bada, ikusleak atzerapenarekiko duen tolerantzia asko jaisten da. Olinpiadetako 100 metroko lasterketako finala ikustean, ikusle askok ez dute gertatutakoa pantailan jaso nahi 10-15 segundo geroago. Eta nekez onartuko dute hamar segundo itxarotea ikusten ari diren kanala aldatzen duten bakoitzean, hau da, *zapping* egiten dute-nean. Internet bidezko telebista, beraz, sentikorragoa da atzerapenarekiko, eta horrek badu eragina lehen aipatu dugun bufferizazioa erabiltzean.

Seinalea hartzaile askori aldi berean helarazi behar zaionean (*broadcasted streaming*), IP multicast helbideak erabiltzea oso onuragarria da. Zoritxarrez, soilik uneko saioetan suertatzen da aldi berean hartzaile asko izatea, eta ez VoD erako streaming-ean, egun trafiko gehiena sortzen duena izanik.

Sortutako trafiko kantitateari erreparatzen badiogu, bideo-streaming-a da, egun, Interneteko *killer application*a. Zenbait neurketaren arabera, XXI. mendearen bigarren hamarkadaren hasieran, YouTube-rik eta antzeko webguneetatik sarean sartutako trafikoak aise gainditu zuen fitxategiak konpartitzeko P2P aplikazioena.

2.2. IP bidezko telefonia

Bideoarekin eta telebistarekin gertatzen den bezala, telefonia-zerbitzuetan ere betiko sare telefonikoa ari da ordezkatzeko Internet. **IP telefoniari**, askotan, **VoIP** ere esaten zaio (*Voice over IP*). Kontzeptu berean sartuko ditugu bideokonferentzia-zerbitzuak, zeinetan, ahotsaz gain, solaskideen irudia ere bidaltzen den.

Internet bidezko telefonian, garrantzi handikoa da sareko atzerapena. Halako aplikazioetan, solaskideen arteko elkarrekintza eta sinkronizazioa oso handiak direnez, sentikortasun handia dute atzerapenarekiko, bideo-streaming-ean baino askoz gehiago. Bi laguneko edo gehiagoko elkarrizketa batean, ezin dira ehunka milisegundo baino gehiago igaro kide batek hitz egiten duenetik edo mugitzen denetik beste solaskideek hark egindakoa jasotzen duten arte. Ahotsari dagokionez, atzerapena 150 milisegundo baino txikiagoa denean, gizakiak ez du hautematen; 150 eta 400 milisegundo tartekoak onargarriak dira, eta, 400 milisegundo baino altuagoa denean atzerapena, eragina onartezina da elkarrizketan.

Beste alde batetik, telefonian, onargarria da bidalitako bit batzuk ez heltzea beren helburura, hau da, galerak onargarriak dira, betiere atalase bat gainditzen ez bada. Galdutako bit horiek klik batzuk besterik ez dute eragingo aditzen den soinuan, atzemandako kalitatea askorik kaltetu gabe. Irudiei dagokienez ere, puntu batzuk lausotu egingo dira, baina kontuan hartu behar da bideokonferentzia batean espero dugun kalitatea ez dela film bati exijituko dioguna.

Ezaugarri horiek, atzerapenarekiko sentikortasun handia eta galerekiko tolerantzia, Interneten ohikoak izan diren datu-aplikazioen kontrakoak dira. Izan ere, beste aplikazio horietan pentsatuz diseinatu ziren batez ere Internet eta TCP/IP protokoloak, eta ez telefonia eta halako aplikazioetarako. Web-nabigazioak, posta elektronikoa, fitxategien trukaketak eta halakoek **trafiko malgua** eragiten dute Interneten. Hau da, datagramen arteko atzerapenaren aldakortasunak (hori baita malgotasuna) eragozten badu ere, onartzen da, eta ez du aplikazioaren funtzionamendua bertan behera uzten. Aldiz, datu-aplikazio horietan, onartezina da bit bat bera ere sarean galtzea. Ondorioz, Internet hobeto egokitzen da galerekiko sentikortasun handia eta atzerapenarekiko tolerantzia duten aplikazioetara, eta, aldiz, telefoniak arazo bereziak topatuko ditu Interneten ondo ibiltzeko. Hala eta guztiz ere, sare-ingeniariek irtenbideak asmatu dituzte IP zerbitzuaren gainean telefonia-zerbitzuak emateko, hasieran desegokia zirudien arren. Hirugarren kapituluan aztertuko ditugu.

2.3. Sare bidezko bideo-jokoak

Sare-jokoak bideo-jokoak dira, baina haien euskarria ez da bideo-kontsola isolatu bat, baizik eta Interneti edo sare lokal bati konektatuta dagoen konputagailu, bideo-kontsola edo mugikor bat. Sarearen erabilerari dagokionez, bi mota-tako sare-jokoak bereizten dira: zerbitzari bidezkoak (*cloud gaming* edo *gaming on demand*) eta zerbitzari gabekoak.

Zerbitzari bidezko jokoetan, jokalaria zerbitzarian dauden jokoak atzeman eta egikaritzen ditu, eta, gainera, beste jokalaria batzuekin batera aritu daiteke partida berean. Zerbitzariak streaming eran igortzen dizkie jokalariei beren pantailetan eta bozgorailuetan erreproduzitu behar duten seinalea, bideo-streaming-etan bezala. Eta jokalariek zerbitzariari igortzen dizkiete beren jokaldiak; normalean, pantailan agertzen den irudi baten mugimendu sinpleak besterik ez. Hala, jokalaria ez du bideo-kontsolarik erosi behar, ezta jokorik ere. Nahikoa du PC bat eta Interneterako konexioa (zerbitzariak, ziur asko, kuota bat eskatuko dio jokatzeagatik). Teknikoki, sareari dagokionez, zerbitzari bidezko sare-jokoak streaming-sistemak bezalakoak dira, eta, beraz, ez diegu arreta berezirik jarriko liburu honetan.

Zerbitzari gabeko sare-jokoetan, jokalaria bere betiko bideo-kontsola erabiltzen du, baina Interneti konektatuz badu aukera beste jokalariekin batera ibiltzeko. Horrelakoetan, sarearen lana parte-hartzaileen arteko sinkronizazioari eustea da: jokalaria bakoitzak egiten duenaren berri eraman behar die Internetek beste jokalariei. Sareari dagokionez, halako jokoek badute antza bideokonferentziekin. Partaideen artean elkarrekintza handia dago, eta, berez, atzerapenarekiko sentikortasun handia dute. Izan ere, jokalaria batek besteek baino atzerapen handiagoarekin jasotzen baditu joko-eremuan gertatzen direnak, desabantaila sortzen da. Baina, bideokonferentzietan ez bezala, bidalitako soinuak eta irudiak ez dira denbora errealean kamera eta mikrofono batetik jasotako seinaleak, baizik eta programa batek sortutako animazioak. Horrek asko errazten du dena, animazioek eskatzen duten banda-zabalera askoz txikiagoa baita benetako irudiak eta soinuak baino. Animazio baten aldaketak (aurretik definitutako mugimenduak eta soinuak) azaltzeko, ez da irudirik edo soinurik bidali behar; nahikoa da jokalariaen makinak mugimendu edo soinu horiek gauzatzeko agindua jasotzea. Ondorioz, halako jokoek sareari eskatzen dioten zerbitzu-maila askoz arinagoa da, edo, beste era batean esanda, jokoaren eskakizunak aise betetzen ditu sareak. Betiko TCP/IP teknologia erabiliz, eta banda-zabalera handirik behar izan gabe, Internetek jokalariai asetzen ditu. Berez, zerbitzaririk gabeko sare-jokoei ere ez diegu arreta gehiagorik jarriko.

3. Soinu digitala

Soinua uhin bat da, airean hedatzen diren presio-aldaketek eragina. Gure tinpanoak, aldaketa horiek atzeman, uhin mekaniko bilakatzen, eta burmuinari he-

larazten dizkio. Tinpanoak, berriz, naturan sortutako uhinak atzeman, eta gure burmuina kitzikatzen duten seinale bilakatzen ditu. Antzekoa egiten dute mikrofonoek ere: soinu-uhinak atzeman, eta haien baliokideak diren seinale elektriko bilakatzen dituzte. *Baliokidea* hitzaren ordez *analogo* hitza erabiltzen badugu, agian hobeto ulertuko dugu zer den **seinale analogiko** bat: naturan sortutakoaren berdintsua dena, eta, naturan bezala, balio posible infinituak dituena. Adibidez, DO izeneko nota musikala 261,63 Hz-ko soinu-uhina dela adostu dute musikariek¹. Mikrofono batek 261,63 Hz-ko korrante elektriko (edo maiztasun analogo, bihurketa-funtzio bat erabiliz) bihurtuko du soinu-uhin hori. Era berean, edozein maiztasuneko soinuak maiztasun analogoko korrante elektriko bat eragingo du mikrofonoan. Horregatik, hain zuzen ere, esaten da mikrofonoek sortutako seinalea *analogikoa* dela, hau da, antzekoa.

Irrati-sistema zaharretan, mikrofonoek sortutako seinale elektriko analogikoak uhin elektromagnetiko bilakatzen dira, urrutira hedatu ahal izateko. Bigarren bihurketa hori antena igorleak egiten du. Hartzaileen irratiek kontrako prozesua betetzen dute, hau da, beren antenatik jasotako uhin elektromagnetikoa seinale elektriko bilakatzen dute, eta, gero, seinale elektriko hori soinu bihurtzen dute bozgorailuan. Prozesu horretan agertzen diren seinale guztiek izaera analogikoari eusten diote, hau da, jatorrizko soinuaren ezaugarri berak dituzte.

Interneten, aldiz, seinale analogikoak ezin dira bere horretan garraiatu, datagramak bateko eta zero ko seinaleak besterik ezin baitute eraman. Lehenago, seinale horiek digitalizatu behar dira, hau da, zero eta bateko segida bilakatu. Hala ere, digitalizazioa ez zen asmatu irudiak eta soinua Internet bidez transmititzeko, baizik eta seinale analogikoei tratamendu digitala emateko, Internet eta TCP/IP protokoloak asmatu baino lehenago.

3.1. Seinale analogikoen digitalizazioa

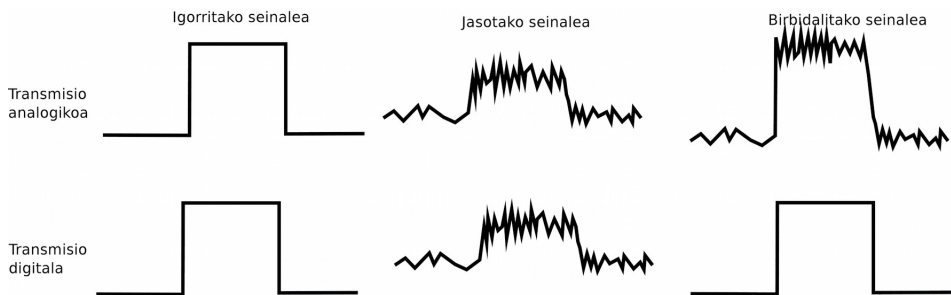
Seinale analogikoarekin alderatuta, seinale digitalak bi abantaila ditu nagusiki:

- Kamerak edo mikrofonoak lortutako seinalearen kalitateari eusten zaio transmisioan zehar, seinalea bere jatorrizko formarekin birsori daitekeelako. Adibidez, demagun bateko bat ordezkatzeko volt bateko seinale elektriko erabiltzen dugula, eta, zero ko bat ordezkatzeko, -1 volt-eko seinalea. Bateko bat bidaltzen badugu kable batetik, seinalea fisikoki higatzen denez bidaian, kablearen beste muturrean dagoen gailu elektronikoak atzemango duen seinale elektriko ez da volt batekoa izango, baizik eta zertxobait ahulagoa. Demagun jasotako seinalea 0,85 volt-ekoa dela. Hartzaileak bat edo zero zenbakiekin lotu behar du kablean atzemandako

¹ Berez, maiztasun hori *DO zentralari* dagokio. Hainbat zortzidun gora edo behera dauden notak ere DO dira.

tentsio hori. Hau da, asmatu behar du ea jatorrizko tentsioa -1 edo 1 zen. Balio gertuena denez, 1 zela aukeratuko du, eta, gehien-gehienetan, asmatuko du, eta batekoa jaso duela biltegitratuko du. Berriz bidali behar badu, volt bateko seinalea igorriko du, ez $0,85$ volt-ekoa. Hau da, seinalea birsortu egiten da. Seinale analogikoekin, hori ez da posible, ezinezkoa baita jakitea zein zen jatorrizko seinalea, aukerak infinituak direlako, eta ez, seinale digitalean bezala, gutxi batzuk. Berez, ezinezkoa da jasotako seinalean bidaiak eragindako higidura berreskuratzea, eta, seinale analogikoa transmititzen den bakoitzean, kalitatea galtzen du.

- Zenbakiekin gauza ikaragarriak egin daitezke. Seinale fisikoekin lan egitea, al-diz, askoz zailagoa da. Seinale digitalak zenbakiak direnez, prozesamendu digitala aplikatu dakieke, abantaila guztiekin. Adibidez, seinale digitalizatua konprimatu daiteke, eta, horrela, seinalea transmititzeko behar den banda-zabalera asko murriztu. Edo transmisioan eragindako erroreak berreskuratuzko kodeak eta teknikak ere erabili daitezke. Edo, hain zuzen ere, Internet eta halako pakete-kommutazioko sareen bidez transmititu daitezke zeroko eta bateko segida bilakaturako seinale horiek.



1.7 irudia. Transmisio analogikoa eta digitala. Transmisio digitalean seinalea birsortzen da birtransmisio bakoitzean, metaturako zarata, distortsioa eta atenuazioa garbituta.

Seinale analogikoak digitalizatzeko, honako hiru urrats hauek egiten dira: laginketa, kuantizazioa eta kodeketa.

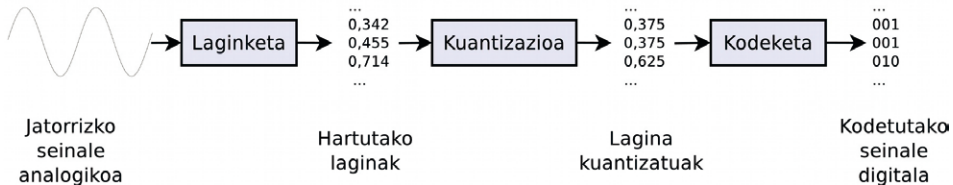
Laginketa

Digitalizazioaren lehenengo urratsa jasotako seinale analogikoaren laginak hartzea da. Lagin horiek abiadura finko batean hartzen dira; **laginketa-abiadura**, hain zuzen. Haren neurria hertza (Hz) da: segundoero mila lagin hartzen baditugu, laginketa abiadura 1.000 Hz da. Gero, kuantizazioaren eta kodeketaren bidez, lagin horiek zenbaki bilakatu, eta datagrametan transmitituko ditugu. Hartzailearen bozgorailuak laginak erreproduzitzen, emaitza jatorrizko soinua izango da.

Lagin bakoitza zenbaki bilakatu, eta zenbaki hori gorde edo transmititu behar badugu, argi dago zenbat eta lagin gehiago hartuta segundoero orduan eta trans-

misio-abiadura handiagoa beharko dugula digitalizatutako seinale hori transmititzeko. Banda-zabalera baliabide kritikoa denez, ahalegina egin behar da haren erabilera optimizatzen, hau da, laginketa-abiadura minimizatu behar dugu. Galdera honako hau da: zein da laginketa-abiadura minimoa seinalea ondo erreproduzitzeko beraren laginetatik abiatuta?

Erantzuna **laginketa-teorema** dago. Teorema horrek, era informalean, honela dio: M Hz maiztasuna duen seinale bat bere laginetatik abiatuta berreraiki nahi badugu, $2M$ lagin hartu behar da segundoero. Lagin gutxiago hartzen badugu, berreskuratutako seinalea desitxuratuta egongo da. $2M$ baino askoz lagin gehiago hartzea alferrikako lana da, ez baitugu emaitza hobetuko: nahikoa da laginketa-abiadura $2M$ baino pixka bat handiagoa izatea, berreraikitako seinalea jatorrizkoaren kopia zehatza izateko.



1.8 irudia. A/D bihurtetaren urratsak.

Gure kasuan, soinua digitalizatu nahi badugu, zehaztu behar dugu zer maiztasuneko soinuak jaso eta erreproduzitu nahi ditugun, hau da, zehaztu behar dugu zein den M -ren balioa. Telefoniaren kasuan, soilik gizakiaren ahotsa digitalizatu nahi dugu, hau da, gure ahots-kordek sor dezaketen soinua. Gure sistema fonikoak 60 eta 7000 Hz arteko soinuak sortzen ditu, gutxi gorabehera, baina, solaskideak esandakoa ulertzeko eta ahotsa norena den ezagutzeko, nahikoa da 3400 Hz artekoak besterik ez jasotzea. Beraz, laginketa-teorema aplikatuz, nahikoa da 6.800 lagin baino gehiago hartzea digitalizatutako ahotsa era ulergarrian berreraikitzen. Telefonia-sistemetan, zertxobait haratago joaten dira, eta 8 kHz-ean hartzen dira ahotsaren laginak. Musika digitalizatu nahi badugu, laginketarako muga gure belarriak ezartzen du. Helduen kasuan, nekez entzungo dugu 16 KHz-etik gorako soinurik; umee, aldiz, beren tinpanoak oraindik soinu gogorrik jaso ez duen heinean, 22 kHz-erainoko soinuak atzeman ditzakete. Beraz, zertarako hartu laginak 44,1 kHz baino azkarrago? Hori da kalitate altuko soinua digitalizatzeko erabiltzen den laginketa-abiadura.

Kuantizazioa

Hartutako lagin bakoitzaren balioa zenbaki baten bidez azaltzeko, zenbat bit erabiliko ditugu? Adibidez, aukeratu dezakegu 3 bit erabiltzea lagin bakoitza

era digitalean kodetzeko. Kasu horretan, 8 balio izango ditugu hartutako laginak izan ditzakeen balio infinituak kodetzeko. Adibidearekin jarraituz, demagun jatorrizko seinalea 0 eta 2 volt artekoa dela. Tarte horretan dagoen balioen kopurua infinitua da, baina, gure 3 bitekin, soilik 8 balio azaldu ditzakegu. Nolabait, seinaleko benetako balio posible horiek guztiak zortzi balio digitaletan mapeatu behar ditugu. Horixe egin dugu 1.1 taulan, lagineko benetako balioari gertuen duen balio digitalizatua esleituta. Fisikariek kuantizazioa esaten diote balio kopuru mugatu bat erabiltzeari mugagabea den beste bat ordezkatzeko. Matematikariek, aldiz, **diskretizazioa** esaten diote, seinale jarraitu bat seinale diskretua batez ordezkatzeko delako. Kanean, biribiltzea esaten diogu prozesu horri. Seinaleen digitalizazioan, fisikarien hiztegia nagusitu da, eta, beraz, seinalearen kuantizazioaz mintzatuko gara.

1.1 taula. 3 bitekin egindako kuantizazioa, jatorrizko seinalea 0 eta 2 volt artekoa izanik.

Jatorrizko seinalearen balio tarte (volt)	Esleitutako kuantizazio-balioa (volt)
$[0 \rightarrow 0,25)$	0,125
$[0,25 \rightarrow 0,5)$	0,375
$[0,5 \rightarrow 0,75)$	0,625
$[0,75 \rightarrow 1)$	0,875
$[1 \rightarrow 1,25)$	1,125
$[1,25 \rightarrow 1,5)$	1,375
$[1,5 \rightarrow 1,75)$	1,625
$[1,75 \rightarrow 2]$	1,875

Garrantzitsua da honetaz ohartzea: digitalizazio-prozesuaren emaitzak irudikatzen dituen seinalea ez da jatorrizko seinalea, baizik eta kuantizatutako seinalea. Eta, ondorioz, balio digitaletatik berreskuratutako seinalea ere ez da jatorrizkoa izango, baizik eta haren kuantizazioa. Hori dela eta, behin seinalea digitalizatuta, ezin da berriz jatorrizkoa berreskuratu. Hortaz, kontuz ibili behar da kuantizazioak eragindako desitxuratzeko ez nabaritzeko.

Kuantizazioak eragindako kalteari **kuantizazio-errore** edo **kuantizazio-distortsio** deritzen. 1.1 taulako adibidean, hartutako lagina 0,112 voltekoa bada, 0,125 voltekoa balitz bezala digitalizatuko da, eta, beraz, kuantizazio-errorea 0,013 voltekoa izango da. Atzemandako laginari balioa emateko zenbat eta bit gehiago erabili, orduan eta txikiagoa izango da kuantizazio-errorea. Hau da, kuantizazioan errorea gutxitzearen prezioa bitetan ordaintzen da: zorrotasun handiagoa nahi izanez gero, bit gehiago beharko ditugu seinalea digitalizatzeko, eta, beraz, memoria gehiago beteko du euskarrian eta abiadura gehiago beharko dugu seinale hori

denbora berean transmititzeko. Seinale bakoitzean bermatu behar da bit-kontsumoaren eta kalitatearen arteko oreka, hau da, bilatu behar da zein den erabil dezakegun lagineko bit kopuru minimoa, erreproduzitu nahi dugun seinalearen kalitateari eusteko. Zerbitzu telefonikoan, nahikoa da 8 bit erabiltzea. Musika grabatuak telefoniak baino kalitate handiagoa behar duenez, 16 bit erabiltzen dira lagindutako seinalea kuantizatzeke.

Kuantizazioa egiteko erarik zuzenena eta errazena **kuantizazio uniforme** da. Hala, jatorrizko seinalearen balio posibleak tamaina bereko tarteetan banatzen dira, eta tarte bakoitzari erdian gelditzen den kuantizazio-balioa esleitzen zaio, 1.1 taulako adibidean egin den eran. Horrela eginez, kuantizazio-errorea era uniformean banatzen da lagin posible guztien artean (hortik datorkio uniforme izena). Horrela egitea ondo dago jatorrizko seinalearen balioak agertzeko probabilitatea berdina denean, edo, behintzat, probabilitatea hori ezezaguna badugu. Hori gertatzen da, hain zuzen, kontzertu bat grabatzen dugunean, instrumentu asko agertzen direlako eta sortutako soinuak asko eta oso ezberdinak izan daitezkeelako. Telefono bidezko elkarrizketa batean, aldiz, gizakien ahotsa digitalizatu behar dugu, ez beste soinurik, eta, gure ahotsaren kasuan, sor daitezkeen soinu guztiak ez dira agertzen probabilitate berarekin. Hori profitatuz, kuantizazio-errorea minimiza daiteke gehien agertzen diren soinuetan, gutxitan agertzen diren soinuen lepotik. Hori lortzeko, **kuantizazio ez-uniforme** erabiltzen da: kuantizazio-balio bakoitzari dagokion jatorrizko seinalearen tartearen tamaina tarte horrek agertzeko duen probabilitatearen arabera da. Gutxitan agertzen diren balioen tarteak handiak dira, eta maiz agertzen direnak, aldiz, txikiak. Digitalizatutako seinalean, batez besteko kuantizazio-errorea gutxituko dugu erabilitako bit kopurua handitu gabe. Telefonian erabilitako 256 kuantizazio-balioak esleitzeko erabiltzen diren kuantizazio-funtzioak logaritmikoak dira: A-legea eta μ -legea. Bata European eta munduko toki gehienetan erabiltzen da, eta bestea, Ipar Amerikan eta Japonian. Orokorrean, 8 biteko kuantizazio logaritmikoa erabiliz lortzen den ahotsaren kalitatea 12 biteko kuantizazio uniformearekin lortzen denaren parekoa da. Nolabait, kalitate bera lortzeko, % 33 bit gutxiago behar dira, edo, sarearen ikuspuntutik, % 33 banda-zabalera gutxiago behar da era logaritmikoan kuantizatutako ahotsa transmititzeko, era uniformean kuantizatutakoa transmititzeko baino. 1.2 taulan, kuantizazio uniforme eta ez-uniforme alderatzen dira 4 volteko seinale batentzat, 3 bit erabiliz. Ezkerreko kasuan, kuantizazio uniforme erabili denean, tarte guztiek dute seinalean agertzeko probabilitate bera. Eskuinean, aldiz, $[0 \rightarrow 0,6]$ tarte txikiak 0,5eko probabilitatea metatzen du, eta $[0,6 \rightarrow 4]$ artean dauden beste lagin guztien artean banatu behar dute agertzeko gelditzen den 0,5eko probabilitatea. Horregatik, 0 eta 0,6 volt artean 4 kuantizazio balio erabiltzen dira, eta 0,6 eta 4 volt artean, beste lau.

1.2 taula. Goiko taulan kuantizazio uniforme, behekoan, ez uniforme.

Jatorrizko seinalearen balio tartea (volt)	Agertzeko probabilitatea	Esleitutako kuantizazio-balioa
[0 → 0,5)	0,125	0,25
[0,5 → 1)	0,125	0,75
[1 → 1,5)	0,125	1,25
[1,5 → 2)	0,125	1,75
[2 → 2,5)	0,125	2,25
[2,5 → 3)	0,125	2,75
[3 → 3,5)	0,125	3,25
[3,5 → 4]	0,125	3,75

Jatorrizko seinalearen balio tartea (volt)	Agertzeko probabilitatea	Esleitutako kuantizazio-balioa
[0 → 0,1)	0,125	0,05
[0,1 → 0,2)	0,125	0,15
[0,2 → 0,4)	0,125	0,3
[0,4 → 0,6)	0,125	0,5
[0,6 → 1)	0,125	0,8
[1 → 1,7)	0,125	1,35
[1,7 → 2,6)	0,125	2,15
[2,6 → 4]	0,125	2,3

Kodeketa eta trinkoketa

Behin laginak kuantizatuta, laginei esleitutako balioak kodetu behar dira. Kodetzeko modurik errazena kuantizazio-balio bakoitzari kodetzeko erabilitako bit kopuruaren arabeko kode bat esleitzea da. Hori egin dugu, hain zuzen, 1.3 taulan, berriz aurreko adibidea hartuta, hau da, 3 bit erabilia 0 eta 4 volt arteko seinale bat digitalizatzeko.

Horrelako kodeketa zuzena erabiliz, telefono bidezko elkarrizketa baten aho-tsaren 8.000 lagin hartzen baditugu segundoero eta lagin bakoitza 8 bit erabiliz kuantizatzen badugu, 64.000 b/s-ko abiadura beharko dugu elkarrizketa hori denbora errealean transmititzeko. Era berean, 44,1 kHz-ean hartzen baditugu kontzertu baten laginak, eta 16 bit erabiltzen baditugu kuantizazioan, 705,6 kb/s beharko dugu era monoauralean bidaltzen badugu, eta bikoitza, 1,411 Mb/s, es-

tereoa bidaliz gero. Egungo Interneten abiadura horiek lortzea ez da zaila, baina aldi berean milaka telefono-elkarrizketari eutsi behar zaienean sarean, askoz hobe da soinu bit-segida horiek trinkotzen baditugu. Horretarako, trinkotzeko algoritmoa egikaritu behar da; lehenik, igorlean, digitalizatzean, eta, gero, hartzailean, digitalizatutako seinalea erreproduzitzerakoan. Hasiera batean, kodetutako seinaleak ez ziren trinkotzen, eta, horregatik, kodetze- eta deskodetze-lana egiten duten programek kodetzaile izena hartu zuten. Hala ere, maizago ikusiko dugu ingelesezko terminoa *codec*, *coder* eta *decoder* hitzetatik osatuta. Geroztik, programa berak egiten du kodetzeko eta trinkotzeko lana, baina ez dugu izena eguneratu, eta *codec* izena erabiltzen dugu. Are gehiago, multimediararen munduan, oso zabalduta dago trinkotze-prozesuari kodetzea esatea. Informatikan, aldiz, fitxategi baten tamaina gutxitu nahi denean informazio galduta gabe, *trinkotu* edo *konprimitu* egiten dugu, konpresore bat erabiltza. Digitalizatutako seinaleak okupatzen duena gutxitzeko, berriz, kodetzaileak erabiltzen ditugu. Izen-saltsarekin amaitzeko, bazuen aburuz, *codec* izena *compressor* eta *decompressor* hitzetatik hartua ere izan daiteke.

1.3 taula. Kodeketarik sinpleena: trinkoketarik gabekoa.

Jatorrizko seinalearen balio tartea (volt)	Esleitutako kuantizazio-balioa (volt)	Kodetutako balioa
$[0 \rightarrow 0,5)$	0,25	000
$[0,5 \rightarrow 1)$	0,75	001
$[1 \rightarrow 1,5)$	1,25	010
$[1,5 \rightarrow 2)$	1,75	011
$[2 \rightarrow 2,5)$	2,25	100
$[2,5 \rightarrow 3)$	2,75	101
$[3 \rightarrow 3,5)$	3,25	110
$[3,5 \rightarrow 4]$	3,75	111

Trinkotze-prozesuak bi motatakoak izan daitezke: galeradunak eta galerarik gabekoak. Galerarik gabeko trinkotze-algoritmoek informazio kantitate bera gordetzen dute bit gutxiago erabiliz. Horretarako, jatorrizko datuen erredundantziak kentzen dituzte. Audioaren kasuan, erredundantziarik handiena denborazko erredundantzia izaten da, hau da, soinu bera denboran errepikatzea. Kasu horretan, denbora-tarte batean errepikatutako lagin guztiak kodetu ordez, lagin bakarra eta lagin hori zenbat aldiz errepikatzen den kodetzen da. Erredundantzia estatistikoa ere ken daiteke trinkotzean. Kasu horretan, gehien agertzen diren balioak kodetzeko, bit gutxiago erabiltzen ditugu. Hori egiten du, hain zuzen,

Huffman kodeketak, ager daitezkeen balioen probabilitateak ezagunak direnean. Galerarik gabeko trinkotze-prozesua itzulgarria da, hots, jatorrizkoa berreskura daiteke trinkotutako kodetik. Informazioaren % 100i eutsi behar zaionean, ezin bestekoa da galerarik gabeko trinkotze-sistemak erabiltzea. Datuetan, adibidez, disko batek duena konprimitu behar dugunean, galerarik gabeko algoritmo bat erabiliko dugu.

Trinkotze-algoritmo galeradunak, aldiz, ez dira itzulgarriak, prozesuan informazioa galtzen baita. Hori horrela izanik, galdutako informazio hori ezin da esanguratsua izan, edo, beste era batean esanda, trinkotutako seinalearen kalitatea ez da izango jatorrizkoarena baino txikiagoa, edo, behintzat, nabarmen txikiagoa. Hori da halako algoritmoen erronka: informazio arbuigarria identifikatzea. Horretarako, ondo ezagutu behar da nolakoa den gizakiak duen seinalearen pertzepzioa, guretzat esanguratsua zer den eta zer ez baloratzeko. Lortutako trinkotze-maila askoz altuagoa izaten da sistema galeradunetan galerarik gabekoetan baino, kalitaterik galdu gabe edo ia galdu gabe. Audioaren eta bideoaren kodeketan, bi sistemak erabiltzen dira normalean: lehenik, erredundantziak baztertzen dira, eta, gero, trinkotze galeraduna ere erabiltzen da, esanguratsua ez den informazioa kentzeko.

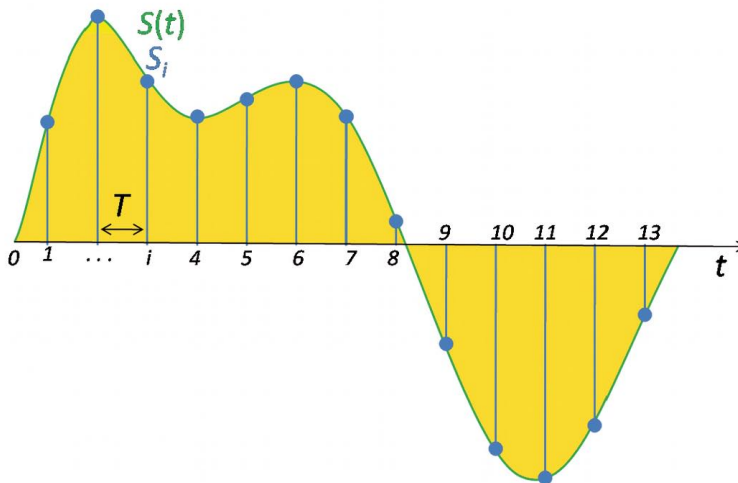
Kodeketa-sistema bat aukeratzean kontuan hartu behar den beste ezaugarri bat simetria da. Algoritmo simetrikoetan, denbora bera behar da trinkotzeko eta destrinkotzeko. Asimetrikoetan, aldiz, trinkoketa askoz mantsoagoa izaten da, baina haren saria emaitzetan datza: trinkotze-maila altuagoa lortzen da. Simetrikoak, arinagoak, denbora errealeko aplikazioetan erabiltzen dira, hau da, telefonian eta zuzenean transmititutako ekitaldietan (*live streaming*). Kodetutako audioa biltegitratzeko eta, gero, erreproduzitzeko, algoritmo asimetrikoak erabiltzen dira.

3.2. Soinuaren kodeketa

Kuantizatutako soinu-laginak trinkotzeko sistema asko garatu dira. Hemen, nolako soinuak kodetzeko erabiltzen diren, bi taldetan sailkatuko ditugu: ahotsa kodetzeko sistemak, telefoniarako erabiltzen direnak, eta audioa kodetzekoak (*wideband audio coding*), musika edo gizakiak entzun ditzakeen beste edozein soinu, orokorrean, kodetzeko erabiliak. **Audio** terminoa erabiltzen dugunean, gizakiaren belarriak atzeman dezakeen soinuaz ari gara, hau da, 20 Hz eta 22 kHz arteko soinuak. Ahotsaren kasuan, 60 Hz eta 7 kHz artean daude soinuak, baina, telefonia-sistema gehienetan, laginketak 3.400 edo 3.500 Hz arteko soinuetara mugatzen du digitalizatutakoa, nahikoa baita hitz egindakoa ulertzeko. Egun erabiltzen diren kodeketa-sistema gehienak, ahotsarenak zein audioarenak, maiztasunen kodeketan eta psikoakustikan oinarritzen dira.

Maiztasunen kodeketa

Seinale bat deskribatzeko, bi aukera ditugu: seinale horren izaera denboraren edo maiztasunen arabera deskribatu. Lehenengo modua naturalena suertatzen zaigu, gure bizitza eta atzematen ditugun gertaera guztiak denbora batean kokatzen baititugu. Horrela, soinu bat deskribatzeko, soinu horrek une bakoitzean duen balioa (airean eragindako presioa) azaltzen dugu, seinale elektriko baten bidez (laginketan sortutako seinale analogikoa) edo bit batzuen bidez (digitalizatutako seinalea). Deskribapen hori grafikoki egiteko, behean duzun irudian agertzen den funtzioa bezalakoak erabiltzen ditugu: abzisa-ardatzean, denbora azaltzen da, eta ordenatu-ardatzak soinuaren balioa erakusten du, denboraren arabera. Seinale analogikoen digitalizazio-prozesua azaldu dugunean, denborazko eskema horri jarraitu diogu.



1.9 irudia. Denboran hartutako laginen bidez deskribatutako seinalea. $S(t)$ = seinalea, denboraren arabera; $S_i = i$ unean hartutako laginaren balioa. T = laginen arteko denbora tartea (periodoa).

Baina, XIX. mendearen hasieran, edozein funtzio periodiko zenbait sinu- eta kosinu-funtzioen batura dela aurkitu zuen Fourier matematikariak. Ideia hori honela idazten da:

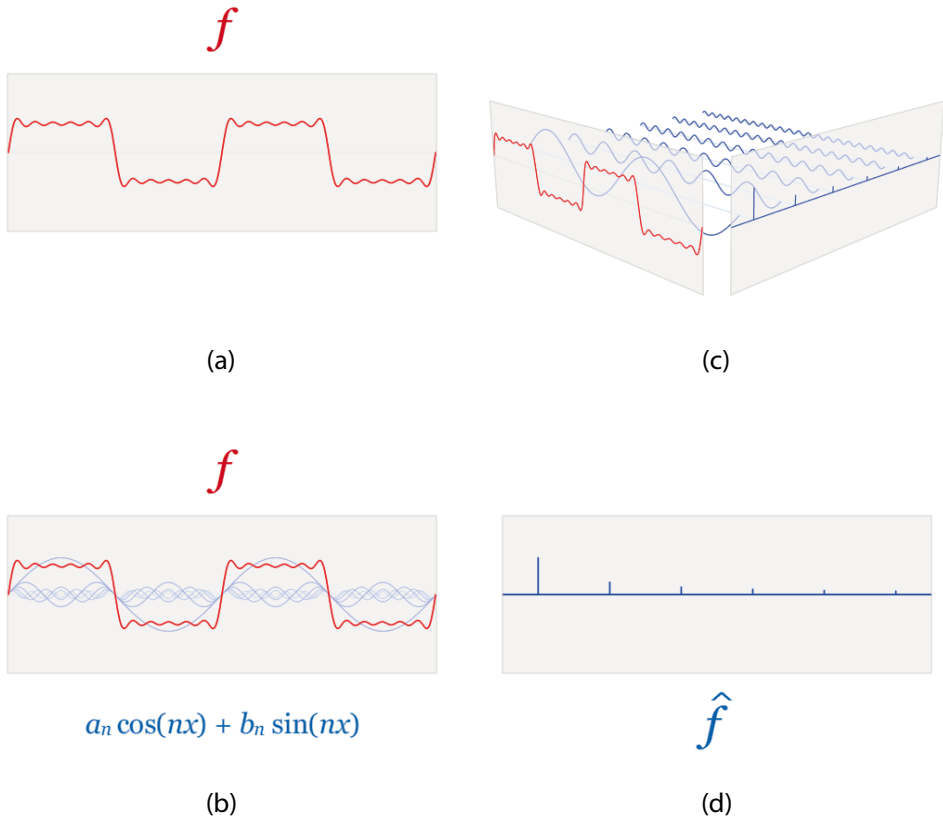
$$s(t) = k + \sum_{n=1} A_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1} B_n \cos(2\pi nft)$$

non f funtzio periodiko horren maiztasuna den, A_n eta B_n baturan agertzen diren sinu eta kosinuen anplitudeak, eta k konstante bat. Baturan agertzen diren maiz-

tasun guztiak funtzioaren oinarria den f maiztasunaren multiploak dira. Infinitua izan daitekeen batura baten bidez funtzioak azaltzeko era horri Fourierren analisi deritzo. Señale fisikoei dagokienez, gakoa honetan datza: denboraren arabera egindako seinalearen deskribapenetik abiatuta, maiztasunen arabera deskribapena lor dezakegu, goiko formula erabiliz. Bihurketa horri Fourierren transformatu deritzo. Nahiz eta hasiera batean soilik funtzio periodikoetarako definituta egon, denboran mugatutako funtzio ez-periodikoetan ere erabil daiteke, funtzioa etengabe errepikatuko dela jotzen badugu. Hau da, seinalea 0 eta T segundoen artean soilik gertatzen bada ere, adierazpen matematikorako har dezakegu T eta $2T$ unean artean seinalea berriz gertatzen dela, baita $3T$ eta $4T$ artean ere, eta abar, etengabe. Artifizio horri esker, Fourierren analisisa erabil dezakegu errealitatean gertatzen diren seinaleak aztertzeko, errealitatean fenomeno guztiak baitira denboran mugatuak.

Fourierren analisisiak ikaragarriko garrantzia du soinuaren izaera ulertzeko, baita haren tratamenduan ere. Horren erakuslea da Fourierren baturan agertzen diren maiztasunei *harmoniko* izena ematea. Gogoratu soinuak maiztasun gisa deskriba ditzakegula. Lehen aipatu dugu DO nota 261,63 Hz-eko soinu-uhina dela, baina, berez, gure munduan ez da existitzen maiztasun bakarreko soinurik. Horregatik, tronpeta batek jotako DO nota eta biolin batek jotakoa ez zaigu iruditzen berdinak direnik, nahiz eta DO bera direla identifikatu. Bi instrumentuek jotako soinuen aldea azaltzeko, *tinbre* ezberdina dutela esaten dugu. *Tinbre* kontzeptuaren atzean, Fourierren analisisa dago. Tronpetak eta biolinak jotako soinuak beren harmonikoen baturan deskonposa ditzakegu, eta hor ikusiko dugu biek dutela 261,63 Hz-eko harmoniko nagusi bera eta haren multiploak diren beste harmoniko batzuk. Baina harmoniko bakoitzaren anplitudea, askotan harmonikoaren pisu ere baderitzona, ezberdina da instrumentu bakoitzaren baturan. Harmonikoen garrantzia ezberdin horrek batura ezberdina eragiten du, eta, ondorioz, tonu bera (maiztasun nagusi bera) baina tinbre ezberdina (harmonikoen pisu ezberdina) duten soinuak eragingo dituzte bi instrumentuek. Hori guztia grafikoki azaltzeko, seinalearen maiztasunaren arabera irudikapena erabiltzen dugu, denboraren arabera irudikapenaren ordez.

Señale baten denbora- eta maiztasun-irudikapenen arteko erlazioa hobeto ulertzeko, begiratu 1.10 irudien seriea. Hasierako (a) irudian, f seinalearen denbora-irudikapena dugu. Hurrengoan, (b) irudian, berriz, f seinalea denboran, baina, orain, haren harmonikoak ere agertzen dira. Irudian ez dira ondo bereizten, baina sei harmoniko dira. Seiak batuz gero, jatorrizko f seinalea dugu. Hurrengo irudian, (c)-n, bi irudikapenak agertzen dira: denboraren arabera, ezkerrean, eta maiztasunaren arabera, eskuinean. Garbi ikusten dira sei harmonikoak, baita nola maiztasun-irudikapena bakoitzaren pisuaren arabera den ere. Harmoniko nagusiak du pisu handiena; horregatik dauka marrarik altuena maiztasun-irudikapenean. Azkenik, (d) irudian, f seinalearen maiztasun-irudikapen soila ageri da.



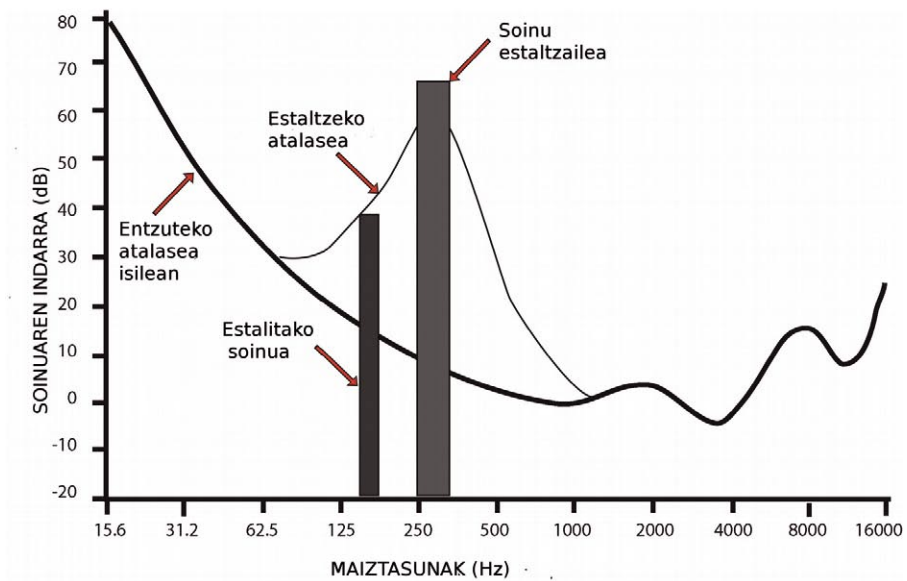
1.10 irudia. Seinalea baten denborazko eta maiztasunezko irudikapenak. (a) Seinalea denboran zehar. (b) Seinalearen Fourier osagaiak, denboran. (c) Denborazko eta maiztasunezko irudikapenen arteko erlazioa. (d) Seinalearen Fourier transformazioa, maiztasunetan. Domeinu publikoko irudia. Jatorrizko animazioa ikus daiteke hemen: commons.wikimedia.org/wiki/File:Fourier_transform_time_and_frequency_domains.gif.

Beraz, denbora-tarte batean izandako soinua bi eratan deskriba dezakegu: tarte horren une bakoitzean soinuak duen balioaren bidez, edo soinua osatzen duten harmonikoen pisuen bidez. Soinua bere maiztasunen bidez azaltzen dugunean, aukera asko zabaltzen zaizkigu tratamendurako.

Psikoakustika

Psikoakustika gizakiak duen soinuaren pertzepzioaren azterketa zientifikoa da. Zehatzago, atzemandako soinuarekin lotura duten erantzun psikologiko eta fisiologikoak aztertzen ditu. Orain arte, soilik gure tinpanoaren lana hartu dugu kontuan soinua aztertzean, baina burmuinaren lana ere hor dago. Gure soinua-

ren pertzepzioa burmuinak eraikitzen du, belarriak igortzen dituen nerbio-bulka-
dek astinduta. Psikoakustikaz baliatuko gara burmuinaren erantzuna hutsala noiz
izango den identifikatzeko, hau da, gure burmuinak zer soinuri ez dien errepara-
tuko jakiteko.



1.11 irudia. Psikoakustika: Soinuen estalketa. Marra lodiak isiltasunean entzun ditzakegun
soinuen indar-atalasea azaltzen du, maiztasunen arabera. 250 Hz-ko soinua eragindako in-
dar-atalase berriak marra meheak irudikatzen du. 150 Hz inguruan dagoen soinua entzungo
dugu isiltasunean, baina ez 250 Hz-ko soinua badago.

Kodeketan, garrantzi handia du soinua estaltzeak, eta hori psikoakustikak az-
tertzen du. Ideia sinplea da: isilik gaudenean entzuten ditugun soinua guztiak ez di-
tugu entzungo isilik ez gaudenean. Beraz, zertarako kodetu (eta gorde, transmititu
eta erreproduzitu) gure burmuinak baztertuko dituen soinua? 1.11 irudian azal-
tzen da ideia hori.

3.3. Ahotsaren kodeketa

Ahotsaren kodeketak baditu bi berezitasun audioarekin alderatuta, banda-za-
balera txikiagoa behar izateaz gain. Alde batetik, ahotsaren kodeketa telefoniarako
egiten denez, denbora errealean egin behar da kodeketa eta deskodeketa. Audioaren
kasuan, aldiz, gehienetan soilik deskodeketa egin behar da denbora errealean, aurre-

tik grabatutako iturri bat erreproduzitzen baita. Biltegitartzeko egindako audioaren kodeketarako behar duen adina denbora har dezake kodetzaileak. Denbora errealeko behar horren ondorioz, ahotsa kodetzeko sistemek azkartasunari eman behar diote lehentasuna, eta, batzuetan, trinkotzeko ahalmena sakrifikatzen da. Ahotsaren eta audioaren kodeketen arteko bigarren aldea bi soinu horien izaeraren ondorioa da. Gizakiak sortzen duen soinua audioa baino sinpleagoa da, eta haren ezaugarriak oso ezagunak dira. Horrek zenbait optimizazio lortzen lagunduko du digitalizazio-prozesu osoan. Adibidez, dagoeneko azaldu dugun kuantizazio ez-uniformea gizakiaren ahotsaren digitalizazioan erabil daiteke, bai baitakigu zer probabilitaterekin agertzen den soinu bakoitza hitz-jario batean. Audioaren kasuan, ez ditugu probabilitate horiek ezagutzen, eta, ondorioz, bit gehiago kontsumitzen duen kuantizazio uniformea da aukera bakarra.

Ahotsaren kodeketaren helburua hizketaren ulergarritasunari eta haren izaera atseginari eustea izango da. Ulegarritasunari eustea hizketaren edukiari baino gehiagori dagokio, hizlariaren emozioak, doinua, tinbrea eta abar ere garrantzitsuak baitira. Hala ere, gerta daiteke jasotako hizketa ulergarria izatea baina desatsegina. Hori gertatzen da, adibidez, kodeketa mantsoegia denean, elkarrizketaren sinkronizazioa kaltetzeraino.

Ahots-kodetzaile guztiek jatorrizko seinalea aztertzen dute; erredundantziak gutxitzen edo guztiz garbitzen saiatzen dira, eta gelditzen dena ahal den bit gutxiarekin kodetzen dute, lortutako seinalea digitala erreproduzitzean eragindako soinua ahal den hoberena izan dadin. Prozesuari zifratzea gaineratu dakioke, komunikazioaren konfidentzialtasuna bermatzeko.

Gehienetan, bi taldetan sailkatzen dira ahots-kodetzaileak: uhin kodetzaileak (*waveform coders*) eta iturriko kodetzaileak (*source coders*). Azken horiei *vocoders* ere baderitze. Orokorrean, uhin kodetzaileek banda-zabalera handiagoa behar dute, eta prozesamendu-ahalmen txikiagoa seinalea igortzean eta hartzean. Beraz, atzerapen gutxiago sortzen dute. Beste alde batetik, iturriko kodetzaileek askoz transmisio-abiadura txikiagoa erabiltzen dute, kasu gehienetan ahotsaren kalitatea ia kaltetu gabe.

Uhin-kodetzaileak

Uhin-kodetzaileek laginek deskribatutako uhina kodetzen dute. Bi motatakoak dira: denboran deskribatutako uhina kodetzen dutenak (*time-domain waveform coders*) eta laginen espektroa, hau da, maiztasunean deskribatutako uhina, kodetzen dutenak (*spectral waveform coders*).

Denbora-kodetzaileek laginen balioak kodetzen dituzte. Aipatzekoak dira:

- **PCM** (*Pulse Code Modulation*). Ahotsa kodetzeko erarik sinpleena da. Berez, kuantizazioaren emaitza da kodetutako seinalea. Kuantizazio ez-uniformea erabiltzen denean handitzen da lortutako seinalearen kalitatea. ITUk (*International Telecommunications Union*) **G.711** izenarekin estandarizatu du PCM. Ohiko tek-

nologia da zirkuitu kommutazio bidezko telefonia digitalizatuan, zeinetan sarbideko banda-zabalera ez baita arazo bat izaten. Haren ohiko aldaeran, 8 kHz-ean hartzen dira laginak, eta, gero, 8 bitetan kuantizatzen dira, era logaritmikoan. Guztira, 64 Kb/s behar dira PCM bidez ahotsa kodetzeko, baina badaude bit gehiago behar duten G.711 estandarraren aldaerak. en 125 ms-ko atzerapena eragiten du. Laginak ehun eta hirurogeinaka biltzen dira 20 milisegundoero, eta datagrama batean bidaltzen.

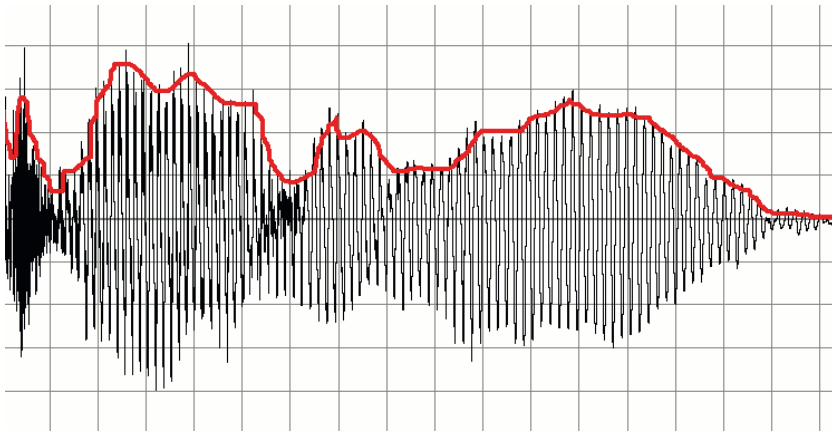
- DPCM (*Differential PCM*). Ahotsaren laginen balioak pixkanaka aldatzen direnez, laginaren balio osoa baino bit gutxiago behar ditugu laginen arteko aldea kodetzen badugu. Hori da kodetze diferentzialaren ideia.
- ADPCM (*Adaptive Differential PCM*). Aurrekoaren aldaera bat da. Laginen arteko aldeak kalkulatzeko oinarria ahotsaren aldaketei egokitzen zaie. ITUk G.721 estandarrean estandarizatu zuen haren erabilera lehenengo aldiz, 4 bit erabiliz kuantizatzeko, PCM kodeketan erabiltzen diren 8en ordeztan. Ondorioz, soilik 32 Kb/s behar du, eta G.711 estandarraren kalitate berbera lortzen du. Geroztik, G.723 estandarra argitaratu zuen, kuantizatzeko 3 edo 5 bit erabiliz 24 Kb/s edo 40 Kb/s behar duena. Azkenik, bi estandar horiek G.726 izenekoarekin ordezkatu ditu; hor, aurreko bien ADPCM aldaerak jasotzen dira (24, 32, eta 40 Kb/s), eta 16 Kb/s behar duen laugarren aukera ere gehitu da (soilik 2 bit erabilita kuantizatzeko). Sumatuko duzunez, G.722 ere badago, baina telefono-ahotsaren betiko 4 kHz-eko bandaren ordeztan, 7 kHz-eko harmonikoak jasotzen dituen digitalizazio-sistemarako dago definituta, hori ere ADPCM-n oinarrituta. Telefonia-sistema horiei banda handiko ahots deritze. Ahotsaren harmoniko gehiago hartzeko, maizago hartu behar dira laginak, laginketa-teorema bete dadin. Laginketa-maiztasuna 16 kHz izanik, 48, 56, edo 64 Kb/s abiadurak behar dira, kuantizaziorako erabilitako bit kopuruaren araberak.

G.726 estandarra erabiltzen da, 32 Kb/s-ko aldaeran, sare telefonikoen nazioarteko loturetan eta DECT haririk gabeko telefonoetan.

Ahots-kodetzailerak espektral hutsek denboran lagindutako seinalearen harmonikoak ateratzen dituzte, eta, gero, harmoniko horiek kodetzen dituzte. Ahotserako ez da normalean era horretan erabiltzen, transmisio-abiadura handia behar baita. Telefonian, azpibanden kodeketan erabiltzen da kodeketa espektrala (SBC, Sub Band Coding), baina soilik lehen aipatutako banda handiko sistema telefonikoetan; 7 kHz-ekoetan, alegia. Kodeketa horretan, jatorrizko seinalea zenbait azpiseinletan banatzen da; haietako bakoitzak jatorrizko seinalearen harmoniko batzuk besterik ez du, eta azpiseinale bakoitza bere aldetik kodetzen da. Hartzailerak berriz elkartu behar ditu azpiseinaleak. Aipatutako G.722 estandarrak SBC eta ADPCM teknikak konbinatzen ditu, azpibandatan banatuz eta, gero, azpibanda bakoitza ADPCM erabiliz kodetuta.

Iturriko kodetzaileak (Vocoders)

Iturriko kodetzaileek jatorrizko seinalea bere inguratzailearekin modelatu (*spectral envelope*), eta inguratzaile hori kodetzen dute, jatorrizko uhinaren ordeztu. Azkar aldatzen den seinale baten mugei jarraitzen dien beste seinale bat, askoz leunagoa, seinale horren **inguratzailea** da. Horren adibidea duzu 1.12 irudian. Inguratzailea jatorrizko seinalea baino leunagoa denez, askoz bit gutxiago behar dira kodetzeko. Horri esker, iturriko kodetzaileek ikaragarriko trinkoketa-maila lortzen dute, eta, ondorioz, oso erabiliak dira telefonia mugikorrean eta Internet bidezko telefonian, zeinetan ezinbestekoa baita ahal den transmisio-ahalmen gutxien erabil-tzea. Gehien erabiltzen direnak LPC (*Linear Predictive Coding*) teknikan daude oi-narrituta. Haren aldaera den CELP (*Code-Excited Linear Prediction*) VoIPrako oso erabilia den **G.729** estandarren muina da, eta 8 kb/s besterik ez du behar. G.729 kodetutako ahotsa 10 ms-ko zatitan bidaltzen da, zati bakoitza datagrama batean.



1.12 irudia. Seinale baten inguratzailea.

3.4. Audioaren kodeketa

Audioa kodetzeko gaur egun gehien erabiltzen den estandarra AAC da (*Advanced Audio Coding*); MP3 (*MPEG Audio Layer 3*) estandarren ordeztuoa, alegia. AAC MPEG-4 estandar multzoaren zati bat da; audioaren kodeketarako besterik erabiltzen ez den aukera, hain zuzen ere (MPEG estandarretan, audioaren eta bi-deoaren kodeketa lantzen da). Era berean, MP3 MPEG-1 taldearen hirugarren atala da (hortik datorkio 3 zenbakia izenari), audio-trinkoketa hartzen duena. MPEG-2 estandarretan, bi aukera daude audiorako: MP3 eta AAC. Bigarrena hobea da: bit kopuru bera erabiliz, soinu-kalitate handiagoa lortzen du. Hala eta guztiz ere, MP3 oso erabilia da oraindik ere.

AACk trinkotze galeraduna egiten du, baina, psikoakustikari esker, galdutako informazioak ez du apenas eraginik izango gizakiak atzemandako soinuaren kalitatean. Funtsean, ahotsaren kodeketan erabilitako uhin-kodeketa egiten da AAC estandarrean. Laburrean, honako urrats hauek egiten dira soinua AAC erabiliz kodezteko:

1. Seinale analogikoaren laginketa egiten da, 8 eta 96 kHz arteko abiaduran. Askotan, 44,1 kHz aukera hartzen da, CD (*Compact Disc*) kalitatearen parekoa lortzeko.
2. Kuantizatutako laginak denbora-tartetan banatzen dira, eta egindako bloke bakoitza maiztasunaren arabera azaltzen da, MDCT bihurketa erabiliz (*Modified Discrete Cosine Transform*). Hau da, denbora-laginetatik maiztasun-laginetara igaro, eta maiztasun bakoitzaren indarra kodetuko da.
3. Azterketa psikoakustikoa egiten da, estalitako maiztasunak kentzeko.
4. Maiztasunak kodetzen dira Huffman kodeketa estatistikoa erabiliz, bit kopurua murrizteko.

4. Bideo digitala

Argia uhin elektromagnetiko bat da, eta gure begiek atzematzen duten irudiak objektuek islatutako argia dira. Gure begiek atzematzen duten argia izpi infragorrien eta ultramoreen artekoa da, edo, beste era batean esanda, gutxi gorabehera 400 THz eta 800 THz arteko uhin elektromagnetikoak dira. Tarte horretan dauden uhinak multzoka sailkatu ditugu, maiztasunaren arabera, eta multzo bakoitzari kolore bat esleitu diogu. Adibidez, 530 eta 580 THz artean dagoen argia kolore berdearekin lotzen du gure burmuinak. Gure betsareak, naturan sortutako uhinak atzeman, eta gure burmuinak interpretatzeko moduko nerbio-seinale bilakatzen ditu. Antzekoa egiten dute bideokamerek ere: irudiak osatzen dituzten uhin elektromagnetikoak atzeman, eta haien baliokideak diren seinale elektriko analogiko bilakatzen dituzte. Gero, soinuarekin egiten den bezala, seinale analogiko hori digitalizatu egiten da, era eraginkorragoan biltegitatu, transmititu, eta prozesatu ahal izateko.

4.1. Irudien digitalizazioa

Digitalizatutako irudiak bi eratakoak izan daitezke: denboran zehar estatikoak direnak, eta dinamikoak, hau da, mugimendua agertzen dutenak. Lehenengoen adibideak argazkiak edo margolanak dira. Bigarrenak animazioak eta bideoak dira, eta haiei erreparatuko diegu testu honetan. Bien digitalizazioak lotuta daude, mugimendua duten irudien digitalizazioa irudi estatikoen digitalizazioan oinarritzen baita. Horren arrazoia gizakiaren ikusmen-sistemaren funtzionamenduan datza. Pertsiana

baten zirrikituen atzetik gurdien mugimenduei begiratzean, Roget zientzialari ingelesa gurpilek eragindako efektu optikoaz jabetu zen, 1824. urtean. Ematen zuen gurpilek aurrera egiten zutela biratu gabe, *cowboyen* filmetako diligentzien gurpilekin gertatzen den antzera. Geroxeago, 1832. urtean, Plateau belgikarrak irudi estatikoak bata bestearen atzetik irudikatuz irudiaren mugimendua lortzen zuen lehenengo gailua eraiki zuen: fenakistiskopia (ikus 1.13 irudia). Hari esker, zinearen oinarria jarrita zegoen. Irudi estatikoen segida baten ordeztan, mugitzen ari den irudi bakarra atzematen du gure ikusmen-sistemak. Irudi estatiko bakoitzari **fotograma** deritzo (ingelesez, **frame**² edo, bestela, *picture* ere esaten zaio). Fotogramen kopurua segundoero azaltzeko, FPS (*Frames Per Second*) edo hertzak (Hz) erabiltzen dira. Mugimendua atzemateko, gutxienez 12-15 Hz-koa (edo 12-15 FPS) izan behar du fotogramen maiztasunak. Zinema mutuan, 22-26 Hz erabiltzen ziren, eta, zinema estandarrean, 24 Hz erabiltzen dira (irudi bakoitza bi aldiz agertzen da, keinada edo *flickering*-a ekiditeko). Betiko telebistan, 25 Hz erabiltzen dira (30 Hz AEBn eta Japonian).

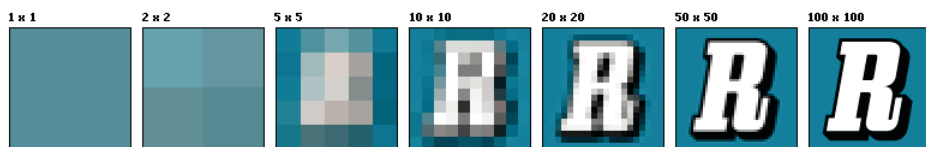


1.13 irudia. Fenakistiskopia.

² Adi, ez du zerikusirik konputagailu-sareetan bidaltzen diren tramekin, nahiz eta ingelesez *frameak* izan.

Aro analogikoan, fotogramak analogikoak ziren. Egun, irudi estatiko digitalizatutako dira. Irudi estatikoak digitalizatzeko, kamerako objektibotik sartutako argiak milaka fotodiodok osatutako matrizean eragiten du. Fotodiodo bakoitzak jasotako argindarra zenbaki bilakatzen du, hau da, irudiaren zati bakoitza zenbaki bilakatzen dute fotodiodoek. Hori asmatu zuten fisikariek Nobel saria jaso zuten horregatik 2009. urtean, asmakizuna 40 urte lehenago egin bazuten ere. Zatiek nahiko txiki izan behar dute, puntuen tamainakoak, gure ikusmenak zatiketarik ez atzemateko. Fotodiodo bakoitzak hartutako irudiaren zatiari **pixel** deritzo (ingelesezko *picture* eta *element* hitzen elkarketaren ondoriozko hitza). Izen horretatik eratorri da pixelazio terminoa, irudi digitalizatuan egindako zatiketa atzematea azaltzen duena. Bere gehieneko bereizmenean lan egiten duen pantaila batean, kolorea eman dakiokkeen pantailako zatirik txikiena da pixel bat.

Horrela digitalizatutako irudi batek duen pixel kopuruak ezartzen du irudiaren bereizmen-maila: zenbat eta pixel gehiago, orduan eta bereizmen handiagoa. **Bereizmena** *zabalera x altuera* eran azaltzen da, eta biderkadura horren osagai bakoitza pixeletan neurtzen da. Erabili behar den bereizmena ez da bera izango, esate baterako, bideo bat telebista-pantaila batean, konputagailu-monitore batean edo zinema-areto batean irudikatzen. Oso lotuta dago irudiaren tamainarekin, ikuslearekiko distantziarekin, eta erreproduzitzean lortu nahi dugun kalitatearekin. Digitalizatzerakoan bereizmen egokia aukeratzeko, kontuan hartu behar dugu pixelaren tamaina ez dela bera izango 5 x 3 zentimetroko koadro batean erreproduzitu behar badugu irudia (adibidez, txartel batean agertzen den argazkia), edo 5 x 3 metroko poster erraldoi batean inprimatu behar badugu. Txartel batean jartzeko argazkia bada, nahikoa izango da 640 x 480 bereizmena; baina, poster batean jartzen badugu, pixelazioa nabaria izango da ikuslea oso distantzia handian ez badago.



1.14 irudia. Irudi bera bereizmen desberdinekin erreproduzitzea. Bereizmen eskaseko irudietan nabaria da pixelazioa.

Digitalizatutako irudiaren kalitatean eta kostuan eragin handia duen hurrengo parametroa pixel bakoitza kodetzeko erabilitako bit kopurua da. Bit bakarra erabiliz gero, bi kolore besterik ezingo dugu erabili irudian: zuria eta beltza. Kalitate handiko zuri-beltzeko bideoa kodetzeko, 8 bit erabiltzen dira, hau da, 256 gris-maila. Bideoa koloretan digitalizatzeko oinarritzko sistema RGB da (*Red Green Blue*), non pixel bakoitzerako 24 bit erabiltzen diren oinarritzko 8 kolore bakoitzeko (gorria, berdea, eta urdina). Zortzi biteko hiru osagai horiekin, 16 milioi konbinazio inguru

sor daitezke, gure ikusmenak bereiz ditzakeen koloreak baino gehiago. Pixel bakoitzeko erabilitako bit kopurua izendatzeko, bpp akronimoa (*bits per pixel*) edo **kolorearen sakonera** terminoak erabiltzen dira.

DVD formatuan, 720 x 576 bereizmena erabiltzen da. Beraz, DVD bideo bat transmititu nahi bagenu 24 biteko sakonera erabiliz, 1,2 MB baino gehiago beharko genuke fotograma bakoitzeko. 25 fotograma segundoero bidalita, ia 250 Mb/s-ko transmisio-abiadura beharko genuke bideo hori Interneten transmititzeko. Abiadura hori bideo-transmisio bati esleitzea pentsaezina denez, argi dago bideo digitalizatuaren trinkoketa oso handia lortzea ezinbestekoa dela bideoak Interneten banatu nahi baditugu. Zorionez, azken hamarkadetan ikertzaileek egindako lan bikainak utzitako trinkotze-algoritmoek eta teknikak Internet bidezko bideoak sortzeko modua ekarri dute. Audioan bezala, bideoa trinkotzeari bideo-kodeketa deritzo.

4.2. Bideo-kodeketarako sistemak

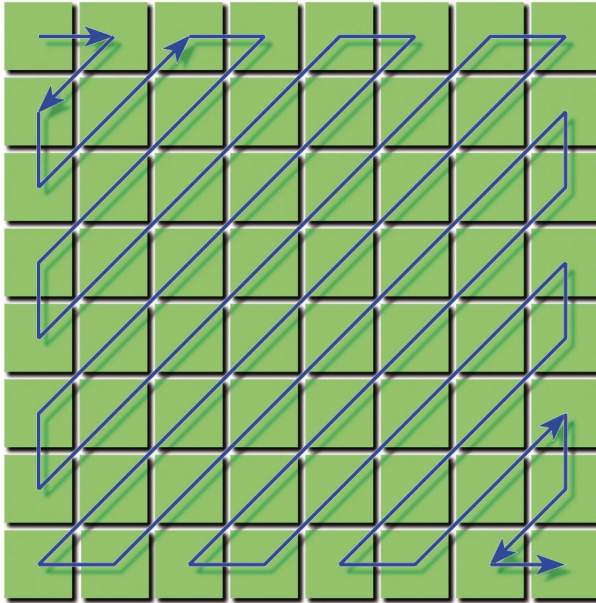
Bideo-kodeketarako sistema ugari badaude ere, sistema guztiek bi urrats egiten dituzte beti bideoa trinkotzeko: fotograma estatikoen erredundantzia espazialak ezabatu, eta, mugimendua kodetzean, fotogramen arteko denbora-erredundantzia kendu. Bistakoa den erredundantzia espaziala fotograma batean elkarrekin dauden pixelek balio bera dutenean aurkitzen dugu. Kasu horretan, pixel guztien balioa kodetzea baino laburragoa izaten da balio hori behin bakarrik kodetzea eta zer pixeletan azaldu behar duen zehazteko informazioa gehitzea. Baina irudien erredundantzia espazialaren tratamendua harago doa, eta gure ikusmenak atzematen ez duen informazio guztia kentzen saiatzen da. Soinuaren digitalizazioan bezala, Fourierren analisisa ere erabiltzen da irudien tratamenduan, eta pixelen arteko kolore- eta argitasun-trantsizioak seinale periodiko gisa hartzen dira, gure ikusmenak atzemango ez dituen harmonikoak ezabatzeko. Harmoniko horiek bat-bateko trantsizioak eragiten dituzte, eta maiztasun altuegia dute gure ikusmenerako. Lehenago, iragazketa bera deskribatu dugu soinurako, non 22 kHz baino maiztasun altuagoak ez dira kontuan hartzen soinuaren digitalizazioan, gure entzumenak ez baititu bereizten. Irudian egindako iragazketa gehiegizkoa balitz, atzemango genukeen irudia lausoa litzateke, baina, iragazketa hori ondo mugatuta badago, irudia kodetzeko erabilitako bit kopurua asko murriztu daiteke, gure ikusmena ohartu gabe. Erredundantzia espaziala kentzeari **intra-frame** trinkoketa ere esaten zaio.

Irudi estatikoen kodeketa: JPEG estandarra

Irudi estatikoak trinkotzeko JPEG estandarra (*Joint Photographic Experts Group*) argazkiak eta antzekoak digitalizatzeko (.jpeg edo .jpg luzapenekin) definitu zuten, baina bideoa kodetzeko ere erabiltzen da. Hemen aztertuko dugu nola kodeztzen dituen JPEG-k 24 bpp erabiltzen duten RGB irudi analogikoak, ideia orokor bat emateko asmoz bideoaren oinarria den irudi estatikoen kodeketa egiteari buruz.

Abiapuntua RGB informazioa kodetzen duten hiru pixel-bilduma dira, bat oinarriko kolore bakoitzeko. Adibidez, 1280×720 bereizmenarekin lan egiten badugu, tamaina horren hiru bilduma izango ditugu: bata, pixelen osagai gorria duena; bestea, osagai berdea duena, eta, hirugarrena, osagai urdina duena. Bilduma bakoitza matrize baten moduan antolatzen da, 8 bit erabiliz pixel bakoitzeko. Horrela, 24 bit erabiltzen dira pixel bakoitza kodetzeko; gehiegi, erredundantzia asko izaten baita. Horregatik, JPEG kodeketaren lehenengo urratsa RGB hiru bilduma horietatik Y'CbCr erredundantzia gutxiago duten beste hiru bildumetara igarotzea da. Lehenengo bilduman, Y' izenekoan, luma kodetzen da, eta beste bi bildumetan, Cb eta Cr izenekoetan, krominantzia kodetzen da. **Luma** da bideo-ingeniaritzan luminantzia azaltzeko erabiltzen den terminoa. **Luminantzia** argiaren indarraren neurri bat da, irudiaren distirarekin parekatzen dena. **Krominantzia** kolorea adierazteko era bat da, bideo-kodeketa normalean bi osagaitan banatuta: alde batetik, urdinarekiko aldea (Cb, Chroma blue), eta, bestetik, gorriarekiko aldea (Cr, Chroma red). Y'CbCr erabiliz, alde batetik, irudia kolorerik gabe kodetzen dugu (Y' matrizea), eta, bestetik, haren kolorea (Cb eta Cr matrizeak). Gizakiaren begia askoz sentikorra da zuri-beltzeko informazioarekiko kolorearekiko baino, eta, ondorioz, askoz lagin gutxiago behar dira kolorea ondo digitalizatzeko zuri-beltzeko irudiak digitalizatzeko baino. Hau da, Cb eta Cr matrizeak Y' matrizea baino txikiagoak izan daitezke. Horri krominantziaren azpilaginketa deritza (*chroma subsampling*). Cb eta Cr matrizeen tamaina Y' matrizearen erdia bada, 4:2:2 idazkeraz azaltzen da. Hori da azpilaginketa erabiliena, baina bideo-kodeketa-rako beste aukera batzuk ere erabiltzen dira. Trinkotze hori galeraduna da, baina gure ikusmenak nekez nabarituko du aldea. RGB laginen ordez luminantzia eta krominantzia kodetzeak, trinkotze-maila altuagoa lortzeaz gain, zuri-beltzeko irudiekiko bateragarritasun erraza du, lumaren matrizea (Y') hartu besterik ez baita egin behar koloretan digitalizatutako irudi bat zuri-beltzean emateko.

Bigarren urratsa pixel-bildumak maiztasunen araberako errepresentaziora pasatzea da. Fotograma baten luminantziako bilduma bakoitza 16×16 pixelek osatutako blokeetan zatitzen da, eta bloke bakoitzari Fourier analisisa aplikatzen zaio, harmonikoak lortzeko. Zehazki, DCT bihurketa egiten da (*Discrete Cosine Transform*), hau da, kosinuaren bihurketa diskretua. Prozesu bera egiten da krominantziako matrizeetan, baina 8×8 pixelek osatutako blokeetan zatituta. Hirugarren urratsa bloke bakoitzean pisu txikia duten harmonikoak ezabatzea da, hau da, maiztasun altuenak, pixelen arteko bat-bateko aldaketak azaltzen dituztenak. Urrats horren gakoa «pisu txikia» zer den definitzean datza. Erabiltzaileak erabakiko du: JPEG irudi bat sortzerakoan, azaldu behar dugu zer trinkotze-maila nahi dugun, eta, horren truke, zer kalitatetako emaitza nahi dugun. Maiztasun asko ezabatzen baditugu, koloreen arteko trantsizio guztiak leunduta agertuko dira, eta irudiaren lerro zehatzak galduko dira. Hirugarren urrats horri irudiaren kuantizazio deritza, baina ez da nahastu behar soinuaren digitalizazioan ikusi dugun kuantizazioarekin; funtsean, prozesu bera da, baina era desberdinean egiten da soinuaren kuantizazioa eta irudiarena. Une horretarako, krominantziako bloke bakoitzean dauden 8 biteko 64 balioetatik asko zeroak izango dira, edo zerotik gertukoak.



1.15 irudia. 8×8 bloke baten berrantolaketa posible bat, zerokoen segidak maximizatzeko.

Laugarren urratsean, kodeketa diferentziala aplikatzen da fotogramaren blokeen artean, soilik bloke bakoitzeko (0,0) posizioan, hau da, goi-ezkerreko txokoan. Posizio horretan, bloke guztien pixelen batez besteko balioa kodetzen da, eta, berez, gehienetan, gutxi aldatzen dira bloke batetik bestera. Ondorioz, posizio horrek ere zerotik gertuko balioak gordeko ditu bloke gehienetan. Hurrengo urratsean, bosgarrenean, agerian gelditzen da zergatik bilatu dugun aurreko lau urratsetan ahalik eta posizio gehien uztea zeroan. Bosgarren urratsean, beraz, segiden kodeketa egingo da (*run-length encoding*), hau da, zerokoen segidak segidaren luzerarekin ordezkatzeko dira. Horretarako, lehenago, bloke bakoitza berrordenatzen da, ahal den zero gehien ager daitezen elkarren jarraian. Berrordenatze hori zig-zag eran izaten da, 1.15 irudian agertzen den bezala, zero jarraitu luzeagoak sortzen dituelako. Azkenik, Huffman kodeketa erabiltzen da bloke bakoitzeko kodeak bit gutxiagorekin kodetzeko: askotan agertzen diren balioak kode txikien bidez kodetzen dira.

JPEG kodeketak lortzen duen trinkotze-maila 100:1 izatera ailega daiteke, baina kalitatearen galera nabaria izango da. 10:1 trinkoketa lortuta, ikusmenak normalean ez ditu bereiziko jatorrizko irudia eta kodetuta dagoena. JPEG simetrikoa da: denbora bera behar da kodetzeko eta deskodetzeko, gutxi gorabehera.

Mugimenduaren kodeketa

Fotogramen arteko erredundantzia kentzeari denbora-erredundantzia kentzea edo **inter-frame** trinkoketa ere esaten zaio. Edozein kasutan, ideia honako hau da:

pixel batean balio bera badago elkarren jarraian dauden hainbat fotogramatan, ez da behin eta berriz kodetzen pixel horren balioa. Hobe izaten da azaltzea pixel horren balioa behin kodetu eta hainbat fotogramatan errepikatzen dela elkarren jarraian. Harago joanda, inter-frame kodeketa era diferentzialean egiten da, hau da, ez da fotogramarik kodetzen, baizik eta fotogramen arteko aldeak. Horren erabilgarritasuna ulertzeko adibide ona pilota-partidarena da, non jokalariei eta pilotari dagokien irudiaren zatia soilik aldatzen den. Pantailaren atzean gelditzen den irudia finkoa denez, nahikoa litzateke hasieran kodetzea eta gero jokalarien eta pilotaren mugimenduak besterik ez kodetu. Horrela eginez gero, bideoa kodetzean erabilitako bit kopurua ikaragarri jaitsiko da.

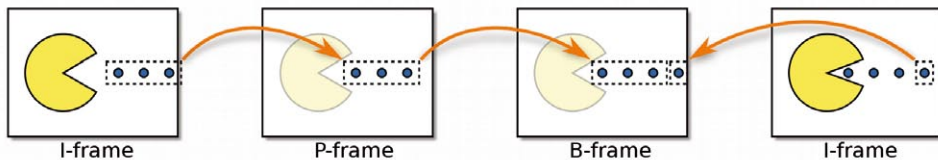
Kodetutako informazioa gutxitzearren, bideoa trinkotzeko sistemek honako urrats hau egin dute: mugimendua kodetzeko, fotogramen arteko aldea kodetu ordez, zenbatets dezakegun fotogramaren eta benetako fotogramaren arteko aldea kodetzea. Kodetzaileak mugitzen ari den irudiko zatiaren mugimenduaren bektorea zenbatesten du, hau da, pixel talde baten desplazamendua kalkulatu du, aurreko irudietan izandako kokapenetan oinarrituta. Bektore horrekin eta aurreko irudi batetik abiatuta, hurrengo irudietan pixel talde horren kokapena zein izango den kalkulatu du kodetzaileak. Pilota-partidaren kasuan, adibidez, pilota azaltzen duten pixelen hurrengo kokapena zein izango den zenbatesten du. Azkenean, hurrengo irudian pilota benetan non dagoen eta zenbatetsitako kokapenaren arteko aldea kalkulatu eta kodetzen da. Zenbatespena oso ona baldin bada, alde hori zero izango da. Kodetutako bideoan zeroko segida luzeak agertzea lortzen badugu, erraza izango da segida horiek ordezteko luzerarekin, eta, horrela, azkenean, oso bit gutxi beharko dira bideoa kodetzeko. Zenbat eta zenbatespen hobe egin, orduan eta errealtatearekiko alde txikiagoa agertuko da, eta, ondorioz, trinkoketa handiagoa lortuko dugu. Hor dago matematikarien lehia: ea norik asmatzen duen zenbatespena egiteko funtziorik zorrotzena.

Orokorrean, bideo-kodeketarako sistemetan, honako hiru mota hauetako fotogramak erabiltzen dira:

- **I-frame** izenekoak (*Intracoded frame*). Irudi estatiko trinkotuak dira. Hau da, ahal den erredundantzia espazial gehiena kentzen zaie. Halako fotogramak erreproduzitzeko ez da beste fotogramarik behar, hau da, I-frame fotogramen bertan dugu fotograma hori erreproduzitzeko behar den informazio guztia. I-frameak beste era batzuetako fotogramak kodetzeko eta erreproduzitzeko oinarriak dira.
- **P-frame** izenekoak (*Predictive frame*). Irudiaren mugimendua kodetzen dute, aurreko fotogrametan oinarrituta. P-frame bat kodetzeko eta gero erreproduzitu ahal izateko, aurretik I-frame bat beharko da gutxienez. I-frame horretatik kodetu daitezke geroko P-frameak. Lehen deskribatu dugun bezala, P-frametara zenbatetsitako irudiaren eta benetakoaren arteko aldea kodetzen da. Delta fotogramak ere esaten zaie, matematiketan *delta* hitz grekoa erabiltzen baita alde txikia azaltzeko.

- **B-frame** izenekoak (*Bidirectional frame*). P-frameak bezalakoak dira, hau da, beste fotogrametik eratorriak. Baina, B-frame fotogramen kasuan, erreferentziarako hartutako beste fotogramak aurrekoak edota gerokoak izan daitezke.

1.16 irudian, bideo baten lau fotograma ditugu. Hasierakoa eta azkena I-frameak dira; bigarrena, P-frame bat da, lehen I-frameetik eratorria, eta hirugarrena, B-frame bat, lehenengo eta azken I-frameetatik eratorria. Bigarren eta hirugarren fotogrametan, soilik pastillak kodetu dira, besterik ez baita mugitzen fotograma batetik bestera. Hirugarrenean, hasierako hiru pastillak aurreko fotogramatik eratorri dira, eta, laugarrena, geroko fotogramatik hartuta dago, beraren posizioa bir-kalkulatuta.



1.16 irudia. Era desberdinetako bideo fotogramak sekuentzian: I-frameak, P-frameak, eta B-frameak.

JPEG estandarra aztertzean ikusi dugunez, irudi estatikoak kodetzeko erabilitako unitate funtzionala $N \times N$ pixeleko blokea da. JPEG estandarrean, halako blokeei MCU bloke (Minimal Coding Unit block) deritze, baina, orokorrean, bideoa kodetzeko sistemetan, makroblokeak esaten zaie. AVC/H.264 sisteman egiten den mugimenduaren kodeketa halako makroblokeetan datza, eta ez fotogrametan. Berez, kodeketa diferentziala ez da egiten fotograma osorako, baizik eta fotograma osatzen duten makroblokeen arabera. Horrela izanik, I-frameetan, I-makroblokeak egoten dira soilik; P-frameetan, I-makroblokeak eta P-makroblokeak agertzen dira, eta, B-frameetan, hiru motatako makroblokeak: *Intra*, *Predicted* eta *Bidirectional* makroblokeak, alegia. HEVC/H.265 kodeketa berriagoan, CTU (*Coding Tree Unit*) izeneko unitate funtzionalak ordeztu du makroblokea.

MPEG arauk zehazten dituzte fotogramen formatuak eta haien unitate funtzionalen egitura, hau da, erreproduzigailuak jasoko duen bit-sekuentziaren sintaxia eta semantika. Baina inplementazioaren zehaztasun asko bideo kodetzaileraren diseinatu behar duenaren eskuetan utzi dituzte, nahita. Adibidez, kodetzailerak batetik bestera aldatu egiten da mugimenduaren bektoreak nola zenbatetsi edo DCT bihurtarako parametroak nola hartu. Askatasun horrek kodetzaileraren arteko lehia elikatzen du. Denek formatu estandarreko bideoak sortuko dituzte, edozein erreproduzigailuk ulertzeko modukoak, baina gerta daiteke kodetzailerak beste batek baino azkarrago egitea lan hori, edota trinkotze-maila altuagoa lortzea digitalizatutako bideoan.

Bideo-kodeketarako estandarrik

Bideo digitalizatuaren Internet bidezko banaketa hedatzearen ondorioz, bideoa kodetzeko erabilitako sistemak eta formatuak berrikusi behar izan dira. 1993. urtetik, **MPEG** estandarrik (*Motion Picture Experts Group*) izan dira nagusiak bideo-kodeketan, baina, egun, beste aukera batzuk ere indarra hartzen ari dira. **VP8** espezifikazioak Interneteko eta multimediako enpresa oso esanguratsu batzuen babesa jaso du 2010. urtetik aurrera. Urte hartan, espezifikazioak jasotzen dituen teknologia guztien lizentzia askatu zuen jabeak, eta inplementazio baten kodea argitaratu zuen. Testu hau idazterakoan ikusteke dago zein kodeketa nagusituko den hurrengo urteetan, MPEG ala VP taldekoa. Dagoeneko abian dago VP8ren ordezkua, **VP9**, baina egungo MPEG-4 sistemaren ordezkua ere, **MPEG-H**, hor dago. Bi taldeen arteko alde teknologikoa ez da handia, hemen azaldutako ideia orokor berak baituzte biek, baina zenbait urrats ez dituzte era berean egiten. Hala, antzeko emaitza lortzen dute. Akaso, alderik handiena beren izaeran zetzan hasieran: MPEG-4 estandarretan, teknologia patentatuak erabiltzen dira, eta VP8/9, aldiz, libre da. Hala eta guztiz ere, badirudi alde hori ere desagertzeaz dagoela, MPEG-H sistema berriaren kodeketarako estandarra, HEVC/H.265, era librean argitaratu baitzuten 2013an. Hemengo azalpenetarako, MPEG-4 estandarra hartu dugu oinarritzat, baina VP8/9-k antzekoa egiten duela gogoratu beharra dago.

MPEG-4 audiorako eta bideorako estandarraz mintzatzean, lehenengo urratsak izendegia argitzea izan behar du. Estandarra hainbat zatitan dago egituratuta; egun, 31 zatitan. Kodeketari dagokionez, garrantzitsuenak MPEG-4 part 2 (DivX, Xvid, edo QuickTime 6 kodetzaileek erabilia, besteak beste) eta MPEG-4 part 10 (HDTV sistemetan erabilia; adibidez, Blu-ray diskoetan). Beste alde batetik, MPEG-4 part 14 zatia ere aipatu behar dugu, hor definitzen baita MP4 formatua. Formatu horren zergatia ulertzeko, kontuan hartu behar dugu bideoaren kodeketan audio eta irudiak kodetu behar direla, eta bien arteko sinkronizazioa ere nolabait gorde. Are gehiago, askotan, beste informazioen bat ere bidaltzen da bideoarekin lotuta; adibidez, azpigituluak. Informazio hori guztia stream bakar batean uztartzeko, hainbat formatutako **edukiontzia**k definitu dira (*container* edo *wrapper format*). Formatu edukiontzia horien artean dugu MP4, MPEG-4 taldearen 14. zatian definituta. AVC/H.264 bideo kodeketarako erabiltzen da MP4 edukiontzia. Askotan erabiltzen diren beste edukiontzia batzuk dira MPEG-2 Transport Stream (telebista digital konbentzionalen eta Internet bidezko hainbat streaming-sistematan erabilia), FLV eta haren ondorengo F4V (Adobe/Macromedia enpresak sortua, oso erabilia Internet bidezko bideo-banaketan), VOB (DVD diskoetan erabilia), Matroska (formatu irekikoa, .mkv bideoetan duguna), WebM (Matroskatik eratorria, VP8/9 bideo-kodeketarako eta Vorbis eta Opus audiorako erabilia), DivX Media Format (DivX kodeketarako), 3GP (telefono mugikorretarako definitua) eta AVI (Microsoftena).

Bideo-kodeketan zentratuz, MPEG-4 part 10 estandarra bi erakundek garatu zuten elkarlanean, baina bakoitzak izen bat ematen dio. Alde batetik, ISO/IEC (*International Standards Organization/International Electrotechnical Commission*) era-

kundearen MPEG taldeak MPEG-4 Part 10 Advanced Video Coding (AVC) izena erabiltzen du, eta, bestetik, ITU-T (*International Telecommunications Union*) erakundeak H.264 izena ematen dio. Askotan, bi izenak konbinatuta erabiltzen dira: **AVC/H.264**, edo baita H.264/AVC ere.

AVC/H.264 kodeketak aurretik zeuden MPEG-1 eta MPEG-2 hartzen ditu abiapuntutzat. Haren helburua aurreko estandar horiek lortzen duten trinkoketa bikoiztea da, kalitaterik galdu gabe eta inplementazioa garestitu gabe. Lehenengo bertsioa 2003. urtean osatu zuten, eta, geroztik, etengabeko bilakaera izan du. Berez, ez da kodeketa-sistema bat, baizik eta estandar sorta bat, kodetzeko zenbait aukera zehazten dituena. Aukera horiek 21 profiletan (*profile*) egituratzen dira egun, eta profil bakoitzean hainbat maila (*level*) egon daitezke. Egindako inplementazioek, hau da, kodetzailiek, aukera horietako batzuk erabiltzen dituzte, helburuaren arabera. Hortaz, desberdinak izango dira bideoaren edizio profesionalerako egindako codec bat eta etxean HDTV jasotzeko egindakoa, baina biek beteko dute AVC/H.264 estandarra. Ez dirudi inork estandar osoaren inplementazioa egiteko beharrik izan duenik. Lortutako konpresioa faktore askoren menpekua da, baina erreferentzia gisa 50:1 trinkoketa aipatzen da AVC/H.264 kode-tzaileetarako.

1.4 taula. MPEG bideorako estandarren alde nagusiak.

Estandar bilduma	Zatia	Zertarako	Erabilitako izena	Alternatiba baliokideak	Erabilera batzuk
MPEG4	Part 2	Bideo kodeketa	MPEG-4 part 2		IPTV
	Part 10	Bideo kodeketa	AVC/H.264	VP8	HDTV
	Part 14	Edukiontzia	.mp4	WebM .ts .flv .avi 3gp ...	
MPEG-H	Part 2	Bideo kodeketa	HEVC/H.265	VP9	UHD

MPEG-H ere estandar sorta bat da. Oraingoz, 13 zati besterik ez du, eta edukiontzia-aren formatua, bideo-kodeketarako estandarra, audio-kodeketarako estandarra, eta betetze-testetarako estandarrik. Bideo-kodeketari dagokionez, estandar berria **HEVC/H.265** da (*High Efficiency Video Coding*). Izenak iradokitzen duenez, AVC/H.264 ondorengoa da, eta, aurrekoa bezala, MPEG eta ITU erakundeek garatu dute, elkarlanean. Hasierako helburua ere aurrekoaren bera da: aurrekariaren trinkotze-ahalmena bikoiztea kalitaterik galdu gabe. UHD telebista (*Ultra High Definition*) kodetzeko balio du HEVC/H.265 estandarrik, eta, horretarako, 8192 x 4320 gehieneko bereizmena erabiltzen du (8K aukeran).

Denboran zehar estandarrei gehitutako hobekuntzak kodetze-prozesuko xehe-tasun txiki pila batean lortu dira, baina, berez, prozesu horren muina ez da aldatu.

Laburpena

Internet ez da sare bat, sarez osatutako sareartea baizik. Hiru sare mota agertzen dira Interneti lotutako makina batetik bestera informazioak egiten duen bidean: jatorrizko eta helburuko sare lokal informatikoak, sare lokal horiek Interneterako erabiltzen dituzten sarbide-sareak (telekomunikazio-sareak) eta Internet-hornitzaileen sareak (ISPen sareak, txikizkariak zein handizkariak).

Sare horiek guztiak fisikoki lotuta egoteaz gain, beharrezkoa da arau multzo batek haien arteko komunikazioa bermatzea. Hori da, hain zuzen, TCP/IP protokolo sorta. Protokolo horiek zera definitzen dute: zer formatu eman behar zaion informazioari Interneten zehar bidaltzeko, eta zer urrats egin behar diren informazio hori beste aldera heltzeko. Informazioa garraiatzeko oinarria IP protokoloak definitutako datagrama da, hori baita edozein sare-teknologiak onartzen duen informazio-dukioentzia. Baina, komunikazioan agertzen diren beste arazo askori heltzeko, badaude beste protokolo batzuk. Sare bereko makinaren artean, datagramak garraiatzeko sarbide-mailako protokoloak erabiltzen dira. Protokolo horiek sare-teknologiaren arabera dira, ez baita gauza bera Ethernet sare lokal baten barruko komunikazioa eta distantzia handiko MPLS sare batena. Interneten zehar datagrametan izaten diren gorabeherak kontrolatzeko, TCP protokoloa erabiltzen da, edo, arintasunak lehentasuna duenean, UDP protokoloa. Azkenik, aplikazio bakoitzak badu bere protokolo propioa, aplikazioaren beharren arabera, makina batean baino gehiagotan kokatutako sare-aplikazioaren zatiek elkarrekin hitz egiteko.

Internet bidezko transmisioak baditu mugak. Nagusia aplikazio bakoitzak behar duen abiadura asetzea da. Gainera, sareak atzerapena eragiten du, eta, IP protokoloaren izaeratik, eragindako atzerapen hori oso aldakorra izan daiteke datagrama batean edo bestean. Azkenik, gerta daiteke datagramak sarean galtzea. Halako arazoak kontuan hartu behar dira Internet erabiltzen dugunean gure multimedia-komunikazioetarako.

Multimediako sare-aplikazioak soinua, bideoa eta animazioak Internet bidez garraiatzen dituzten aplikazioak dira, baina, gainera, audio- eta bideo-seinale horiek uanean-uean erreproduzitzen dira. Berez, definizio horretan ez dira sartzen audio- edo bideo-deskargak; soilik seinalea jaso ahala seinale hori erreproduzitu behar dutenak hartu dira, liburu honetan, multimedia-aplikaziotzat. Alegia, audio- eta bideo-streaming-a, Internet bidezko telefonia (VoIP) eta sare-jokoak.

Audioa eta bideoa Internet bidez trukatzeko, ezinbestekoa da era digitalean egitea. Seinale analogikoak digitalizatzeko, honako hiru urrats hauek ematen dira: laginketa, kuantizazioa eta kodeketa. Lortutako bit multzoaren tamaina gutxitzea ere behar-beharrezkoa da, sareak gainezka egin ez dezan. Hori da trinkoketa, eta kodeketarekin batera egiten da.

Soinua digitalizatzeko sistemak bitan bereizten ditugu. Alde batetik, gizakiak sortutako soinuak hartzen dituztenak daude, hau da, ahotsaren kodeketa. Eta, bes-

tetik, gizakiak entzun dezakeen soinuen digitalizazioa dugu. Horri audioaren kodeketa deritzo. Bideoa digitalizatzeko, bi urrats egiten dira. Lehena, irudi estatikoak kodetzea, eta bigarrena, irudiaren mugimendua kodetzea. Bi urrats horietan lortutako trinkotze-maila altuari esker ikus ditzakegu bideoak Interneten.

1. kapituluko ariketak: audioa eta bideoa Interneten

- 1) Zeinek dute multimedia-izaera?
 - notario-eskritura bat
 - telefono bidezko elkarrizketa bat
 - zinema mutua
 - bideokonferentzia bat
 - entziklopedia bat (liburukotea)
 - web-orri bat
 - telebista-programa bat
 - abesti grabatu bat
 - film bat
 - irratsaio bat
 - YouTuben ikusitako bideo bat
- 2) Zein dira Interneteko multimedia-aplikazioak?
 - notario-eskritura bat webgune batean atzigarria dena
 - Internet bidezko elkarrizketa telefoniko bat
 - P2P bidez lortutako zinema mutuko film bat
 - Internet bidezko bideokonferentzia bat
 - Wikipedia
 - Internet bidezko telebista-programa bat
 - Webgune batetik jaisitako abesti bat
 - Webgune batetik jaisitako film bat
 - Internet bidezko irratsaio bat
 - YouTuben ikusitako bideo bat
- 3) Demagun Internet bidez jasotzen ari garela zuzeneko ekitaldi baten transmisioa. Erreproduzio-abiadura 1 Mb/s da. Gure sareko konexioa Gigabit Ethernet da; igorlearena, berriz, 10 Gb/s-koa. TCP-konexio bat erabiltzen da. Erantzun:
 - (a) Zein da TCP-konexio horretan neurtuko dugun abiadura maximoa?
 - (b) Demagun seinalea ez dela ondo ikusten edo entzuten. Azaldu zein izan daitekeen arazoa.
 - (c) Demagun igorritako datagrama bakoitzak 10.000 bit dituela. Zenbat denbora beharko du igorleak datagrama bat sarean jartzeko?
 - (d) Zenbat denbora beharko du hartzaileak datagrama hori saretik jasotzeko?
 - (e) Zenbat datagrama igorriko ditu igorleak segundo batean?
 - (f) Demagun sare-atzerapena, batez beste, 100 ms-koa dela. Zenbat datagrama daude, batez beste, sarean zeharreko bidaietan?
- 4) Testuan ikusi dugunez, musika digitalizatzeko laginak 44,1 KHz-ean hartzen dira. Demagun 60 KHz-ean hartzen ditugula laginak. Gutxituko al dugu horrekin digitalizazioak eragindako errorea seinalea berreraikitzean? Beste era batean galdetuta, hobetuko al dugu gizakiak atzemandako soinuaren kalitatea?

- 5) Skype telefonian, betiko sare telefonikoetan ez bezala (8 KHz), soinuaren laginak normalean 16 KHz-ean hartzen dituzten kodetzaileak erabiltzen dira. Jarkinda gizakiaren ahotsak ez duela ia sortzen 4 KHz-etik gorako frekuentziarik, eta laginketa-teorema kontuan hartuta, nola azalduko zenuke Skypen laginketa abiadura bikoiztea?
- 6) Izan bedi digitalizazio-sistema bat, 3 biteko kuantizazio-uniformea erabiltzen duena. Taula honetan duzu egindako kuantizazioa.

Jatorrizko seinalearen balio tartea (volt)	Agertzeko probabilitatea	Esleitutako kuantizazio-balioa (volt)	Kuantizazio-tartean eragindako errorea
[0 → 1)	0,125	0,5	
[1 → 2)	0,125	1,5	
[2 → 3)	0,125	2,5	
[3 → 4)	0,125	3,5	
[4 → 5)	0,125	4,5	
[5 → 6)	0,125	5,5	
[6 → 7)	0,125	6,5	
[7 → 8]	0,125	7,5	

- (a) Egin grafiko bat, taulan agertzen den jatorrizko seinalearen eta kuantizatu-tako balioaren arteko erlazioa azaltzeko.
- (b) Osatu taula, kuantizazio-tarte bakoitzean eragindako kuantizazio-errorea zehaztuz, eta kalkulatu zein izango den berreraikitako seinalean eragindako batez besteko kuantizazio-errorea.

Demagun jatorrizko seinalearen tarteen probabilitatea ez dela bera tarte guztietan eta kuantizazio ez-uniformea egiten dela, taula honetan agertzen den bezala:

Jatorrizko seinalearen balio tartea (volt)	Agertzeko probabilitatea	Esleitutako kuantizazio-balioa (volt)	Kuantizazio-tartean eragindako errorea
0 → 2	0,025	1	
2 → 4	0,025	3	
4 → 5	0,075	4,5	
5 → 6	0,075	5,5	
6 → 6,5	0,2	6,25	
6,5 → 7	0,2	6,75	
7 → 7,5	0,2	7,25	
7,5 → 8	0,2	7,75	

- (c) Egin beste grafiko bat, taula berriaren kuantizazioa azaltzeko.
 (d) Errepikatu (b) ariketa, taula berriarekin.
- 7) Izan bedi digitalizazio-sistema bat, kuantizazio uniformearen erabilpena duena, 256 kuantizazio-balioekin (8 bit). Demagun digitalizatutako seinalearen analisia erakusten duela seinaleak dituen balio-tarte posibleen artean erdia agertzen dela 0,95 probabilitatearekin, eta beste erdia, aldiz, soilik 0,05 probabilitatearekin. Kalkula ezazu zenbatean gutxituko litzatekeen kuantizazio-errorea erabilitako eskalak honela banatzen baditu 256 kuantizazio-balioak:
- (a) 0,95 probabilitatea duen balio-tartea kuantizatzeko, 192 balio esleitzen ditu (balioen hiru laurden);
 (b) 0,05 probabilitatea duen balio-tartea kuantizatzeko, beste 64 balio esleitzen ditu.
- 8) Demagun CD bateko musika digitalizatzen dela inongo konpresiorik gabe, era estereoa (bi kanal) eta 16 bit erabiliz lagin bakoitza kodetzeko.
- (a) Zenbat MiB behar dira 2 ordu grabatzeko?
 (b) Demagun sortutako fitxategia deskargatzen dugula 5 Mb/s-ko abiaduran. Zenbat denbora beharko dugu deskarga osatzeko?
- 9) Demagun seinale baten 4 balio (sinbolo) posible kodetu behar direla. Kalkulatu zenbatekoa izango den kodeen batez besteko luzera bi kasu hauetan:
- Kodeketa arrunta, 2 bit erabiliz.
 - Kodeketa estatistikoa, taula honen arabera:

Balioa	Agertzeko probabilitatea	Kodea
A	0,55	1
B	0,30	10
C	0,10	110
D	0,05	1110

- 10) Demagun film bat digitalizatu zela bere garaian telebista estandarerako, eta, beraz, 640 x 480 bereizmenarekin. Film hori ikusten dugunean oraingo 46"-ko formatu zabaleko pantaila batean (*WideScreen*, 16:9, 101,83 x 57,28 cm), banda beltzak agertzen dira pantailaren bi alboetan (*pillarboxing*). Zergatik? Alderatu pixelaren tamaina garai bateko 32"-ko telebista estandar batean (65,02 x 48,77 cm, 4:3 formatuan) eta oraingo 46"-ko formatu zabaleko pantaila batean.

11) Lotu akronimo bakoitza dagokion kontzeptuarekin:

- | | | |
|-----------|-----------|----------|
| — AVC | — MP4 | — WebM |
| — AAC | — JPEG | — MP3 |
| — ITU | — ISO/IEC | — G.726 |
| — VP8/VP9 | — PCM | — H.264 |
| — MPEG-4 | — G.729 | — UHD TV |
| | | — G.711 |

1. Telebista digitalerako formatu bat, HDTVren ondorengoa.
2. Ahotsa kodetzeko estandarra, sare telefoniko digital zaharrean erabilia (64 Kb/s). PCM izenez ere ezagutua.
3. Soinua kodetzeko estandarra, MPEG-1 estandarraren 3. atala.
4. Bideoa kodetzeko estandar multzo bat, AVC ere baderitzona.
5. Ahotsa kodetzeko estandarra, telefonia mugikorrean eta VoIPn erabilia (abiadura tipikoa: 8 Kb/s).
6. Audio eta bideo digitalerako estandar multzoa.
7. Bideoa kodetzeko estandarra, MPEG-4 taldearen 10. zatian definitua.
8. MPEG-4 estandarretan definitutako bideo-kontainerraren formatua.
9. Zirkuitu-kommutazioko sare telefoniko digitaletan erabilitako ahots-kodetzaila.
10. Soinua kodetzeko estandarra, MP3 ordezkatzeko egina.
11. Irudi estatikoak kodetzeko estandarra.
12. Bideoa kodetzeko formatua, Googleren jabetzapekoa.
13. Ahots kodetzaila diferentziala, DECT telefonoetan erabilia (32 kb/s)
14. G.xxx erako izena duten estandarrak egiten dituen nazioarteko erakundea.
15. MPEG estandarrak egiten dituen erakundea.
16. VP8/VP9 bideorako erabiltzen den kontainerra.

Bideoa eta telebista Interneten

Kapitulua hau irakurri eta gero, irakurleak honako gai hauek jakingo ditu:

- Nola lortzen den Internet bidez kalitatezko bideoak eta telebista banatzea, *beste effort* erako sarea izanda ere.
 - Nola funtzionatzen duen streaming sistema batek.
 - Zer aukera dauden streaming-a transmititzeko eta seinalea Interneten barreiatzeko.
 - Zer aldaketa ari den ekartzen Internet telebista-mundura.
-

Hasierako telebista (1920eko hamarkadan asmatu zen, eta xx. mende osoan iraun du aukera nagusi gisa) telebista hedatua izan da (*Broadcast TV*). Ikuslearen ikuspuntutik, haren ezaugarri nagusia izaera programatua da, hau da, saio bat egun eta ordu zehatz batean ikus daiteke soilik, eta aurretik iragartzen zen. Hortik sortu zen *telebistako programa* terminoa, saio bat izendatzeko erabilia. Beste ezaugarri oso garrantzitsu bat zentralizatua izatea da. Hasieran, monopolio publiko bat zen: herri bakoitzean, Estatuak kudeatutako telebista-kate bakarra zegoen; gero, estatu-mailako beste telebista-kate batzuk sortu ziren, eta, geroago, kate pribatuak ere onartu ziren. Hartara, oligopolio bat sortu zen. Publizitateak ekarritako diru mordoak elikatu du telebista, baina hori ere gutxiren esku egon da beti: alde batetik, Estatuaren esku, eta, beste alde batetik, lizentzia pribatuak eskuratu zituzten talde ekonomiko handien esku. Telebista hedatuak ikaragarritzko eragina izan du ekonomian, kulturen eta politikan xx. mendean, oso bide eraginkorra izan baita jendearengana heltzeko. *Mass media* terminoaren esanahia bete-betean gauzatu da telebista hedatuaren garaian, prentsa idatzia eta irratia guztiz gaindituta. Banaketarako teknologiarik eta sareari dagokienez, telebista hedatuak uhinak erabili izan ditu hasieratik, lurreko antenen bidez. Uhinez gain, zenbait herritan kable ardazkide bidez garraiatu da seinalea igorletik etxeetarako bideko azken zatian. Urteetan, seinale analogikoa erabili izan da telebista hedatuan, baina, azken hamarkada hauetan, modu digitalean banatzen da. Telebista-hargailu gisa oraindik etxeetako egongelako erregea den aparatu hori erabili izan da, nahiz eta bilakaera

teknologiko handia izan den: zuri-beltzetik kolorekora, CRT tutuetatik egungo LED teknologia lauetara.

Banaketa-sarean izandako aldaketen eraginez, telebista kontzeptua eta erreallitatea garatu dira. Lehen aldaketa esanguratsua satellite bidezko telebista izan zen. Horri esker, igorritako kate kopurua eta igorle baten esparrua ikaragarri handitu ziren, monopolio estatalen kalterako. Kable bidezko banaketa gehitu zitzaizen beste biei, eta horrek telebistaren bigarren aroari atea ireki zion berrikuntza handi bat ere ekarri zuen: bideoak eskatu ahala ikusteko ahalmena (**VoD, Video on Demand**), eta, horrekin batera, ikusitakoaren araberrako ordainketa (**pay-per-view**). Hori baino lehenago, bazegoen bideoak etxean ikusteko aukera, baina fisikoki ekarri behar zen bideoa etxera eta bideo-erreproduzigailua telebistari lotu. VoD kontzeptuari esker, saretik jasotzen dira bideo horiek. Bideo-kluben gainbehera hasi zen, baina oraindik sendo zeuden, *pay-per-view* sistemen arrakasta mugatua izan baita. Nolanahi ere, ikusleak programazio hedatutik askatzen hasi ziren, bi bidetatik: alde batetik, VoD sistema erabiliz, eta, batez ere, ehunka kanal eskura edukita, batetik bestera gustuko saio baten bila jauzi eginez, edo, batez ere, gehiegizko publizitatetik ihesi. VoD baina, *zappingaren* aroa izan da telebistaren bigarren aroa.

Internetek telebistaren hirugarren arora eraman gaitu, baina «telebista» hitzaren esanahia bera ere ez dago argi. Tableta batean bezperako saio bat ikusten ari garelara, telebista ikusten ari al gara? Eta, egongelako «telebista» horretan YouTubeko bideo bat ikusten dugunean, hori ere telebista ikustea al da? XXI. mendea norberaren telebistaren aroa da, norberak aukeratzen baitu zer, noiz eta nola ikusi (*everytime, everywhere, everyscreen*). Aro honetan, Internet da nagusia, haren bidez lortzen baita askatasun hori. Egongelako telebista *smart TV* izatera igaro da, Interneterako trena ez galtzeko. Beste banaketa-sareak ere (lurreko antenen sarea, satelliteak eta kableak) hor daude, baina etorkizuna Internetena da. Horretaraino heltzeko gakoak hiru izan dira. Alde batetik, sarbide-sareetan izandako aurrerapenari esker, jaisteko abiadura arrunta 5 Mb/s eta gehiago da egun, bai etxeetarako sareetan (xDSL, kablea edo zuntz optikoa), bai hargailu mugikorretarako 4G sare zelularretan. Bestetik, streaming-teknologian izandako aurrerapenak aipatu behar dira. Kapitulu honetan, streaming-teknologian zentratuko gara, eta amaierako kapituluaz aztertuko ditugu sarbide-sareak. Hirugarren gakoak bideoa kodetzeko teknikan izandako aurrerapena dugu. Horretaz, aurreko kapituluaz aritu gara.

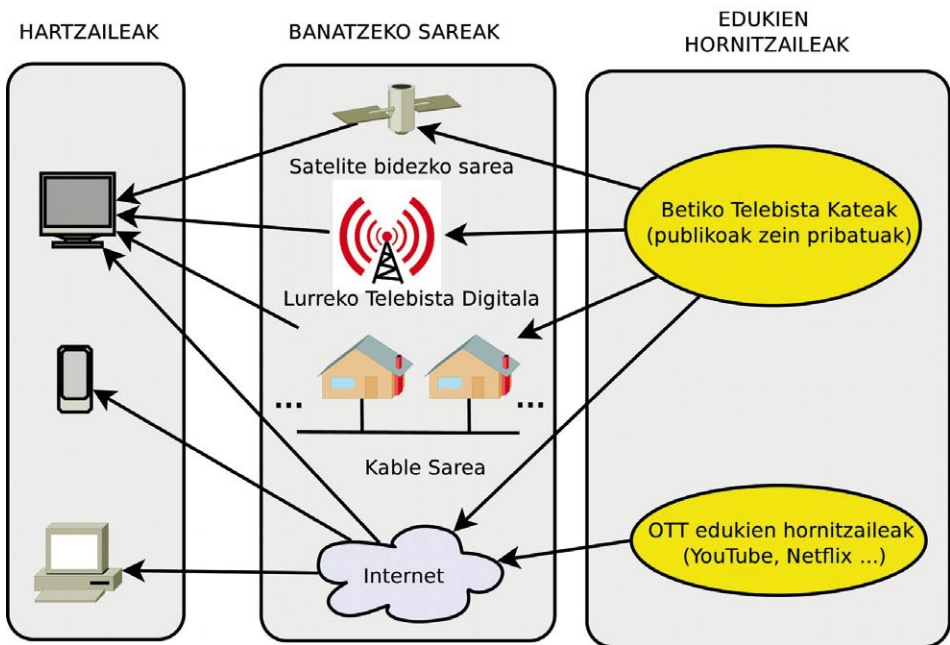
1. Streaming-teknikaren oinarriak

Nahiz eta streaming-teknika audioak edota bideoak banatzeko erabili, testu honetan bideoaz soilik mintzatuko gara, garbitasuna mantentzearen. Irratiari dagokionez, teknika berak erabiltzen dira, baina askoz banda-zabalera txikiagoa hartuta. Beste alde batetik, «telebista» terminoa erabiltzen dugunean, telebista-kate batek eskaintako saioak ikusteaz arituko gara, saio horiek aurretik grabatuak (filmak, doku-

mentalak, eztabaidak...) edo zuzenean sortu eta hedatutako saioak izanda ere (kirol-saioak, berriak...). «Bideo» hitz soila erabiltzen dugunean, pantaila batean ikusten dugun edozein ikus-entzunezkoz ari gara, betiere Internet bidez jasoa bada eta iturburua edozein izanda ere.

1.1. Internet bidezko bideo eta telebistarako osagaiak

Internet bidezko beste edozein zerbitzutan bezala, telebistaren eta bideoaren zerbitzuan hiru osagai agertzen dira: zerbitzua ematen duena, zerbitzua jasotzen duena eta bien arteko komunikaziorako sarea (Internet). Telebistaren eta bideoaren kasuak antz handia du web orokorraren kasuarekin; izan ere, harekin loturiko kasu partikularizat har daiteke. Webean bezala, zerbitzua ematen duen partaideari **edukiak hornitzailea** esaten zaio (*content provider*).



2.1 irudia. Egungo telebista sistemen osagaiak, tradizionalenak eta Internet bidezkoenak.

Hornitzaile mota asko dago:

- Edozeinek ekoiztutako bideoak banatzeko sistemak. Haien artean erabiliena YouTube da. Halako sistemak etxean bideo laburrak argitaratzeko garatu ziren, baina, gaur egun, edozein motatako bideo-saioak aurki daitezke, baita zuzeneko saioak ere (*live streaming*).

- Betiko telebista-kateak, bai publikoak, bai pribatuak. Hasiera batean, seinalea banatzeko beste sare bat izan da Internet hornitzaile horientzat, antena, satelite edo kable bidezko banaketaren osagarria hartuta. Aldiz, egoera iraultzen ari da, eta Internet bidezko telebista aukeratzen duen erabiltzaile kopurua handitzen den heinean, beste sareak Internetaren osagarri bilakatzen ari dira.
- Interneterako soilik sortutako talde berriak. Akaso, ezagunena Netflix da. Aurrekoekiko alde bakarra seinalea banatzeko erabiltzen duten sarea Internet besterik ez izatea da.

Zerbitzua jasotzen duenaren aldean, aipagarriena hargailuen aukera zabala da. Interneterako konexioa eta pantaila bat dituen edozein gailu izan daiteke hargailua:

- Ordenagailu bat, web-arakatzaila erabiliz bideoak abiatzeko. Konputagailu konbentzionala izan daiteke, edo tableta moduko ordenagailu txikiak.
- Telefono bat, arakatzaila berezia duena.
- Internetekin ibiltzeko prest dagoen telebista bat. Telebistak berak badu Interneterako konexio fisikoa (Ethernet-txartela integratuta) eta behar den softwarea (funtsean, web-arakatzaila bat), eta *smart TV* esaten zaio. Oraindik halako ahalmenik ez duten telebista zaharrak Internetekin erabil daitezke beste gailu bat konektatzen badiegu, eta, horrela, telebistan ikusi Internetetik jasotakoa. Gailu hori era askotakoa izan daiteke. Multimedia-erreproduzigailuek (hasiera batean, etxeko diskoan gordetako pelikulak edo argazkiak telebistako pantaila handian ikusteko diseinatu ziren) Internetekin lan egiteko ahalmena bereganatu dute. Gero eta gehiago, telebista-kate pribatuen seinalea jasotzeko erabiltzen diren *set-top-box* deskodegailuak, Blu-ray- eta DVD-erreproduzigailu klasikoak, eta bideo-jokoetarako kontsolak ere egongelako telebista Internetekin lotzeko erabil daitezke. Telebista eta gailu horien arteko konexioa kable bidez egiten da askotan, baina uhinen bidez ere gero eta gehiago egiten da, telebistako USB edo HDMI harguneari wifi antena moduko bat lotuta.

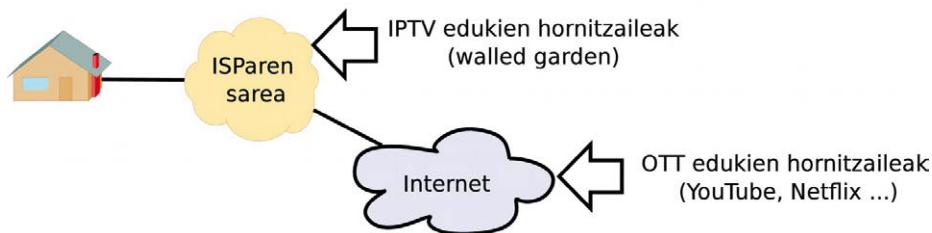
1.2. Internet bidezko telebistarako ereduak

Bideoak edo telebista Internet bidez ikusten ditugunean, bi eratakola izan daiteke edukien hornitzailearen, ikusleen eta ISParen arteko harremana: IPTV edo OTT erakola.

IPTV ereduari, edukien hornitzailea eta ISPa konpainia bera da, edo, behintzat, ez dira bereizten ikuslearentzat. Edukien hornitzaileak edukiak zuzenean sartzten ditu ISParen sarean, eta horrek ikuslearenganaino eramaten ditu, Internet irekian ibili gabe. Horrela eginda, ikusleak bere pantailan lor dezakeen kalitatea hobe izaten da, bi arrazoiengatik. Alde batetik, seinalea zuzenean jasota, Internet irekian ager daitezkeen buxadura-arazoak ekiditen dira, eta, horrekin batera,

atzerapenak eragin ditzakeen kalitate-galera minimizatzen da. Beste alde batek, iturri horretatik sartutako trafikoari tratamendu berezia eman dakioko ISPak, beste kapitulu batean aztertuko ditugun QoS (*Quality of Service*) teknikak erabiliz. Teknika horiek egiten dutena, funtsean, hautatutako trafikoari lehentasuna ematea da. Telebistako trafikoaren denbora errealekoa izanik, lehentasuna ematen zaio ISPko sareko bideratzaileak birtransmititzeko ilaretan, eta, ondorioz, galerak eta atzerapen-aldakortasuna ia guztiz desagertzen dira. Abantaila horiek soilik ISParekin hitzarmena duten edukiek izango dute, eta ez Internet bidez atzigarriak diren eduki guztiek; horregatik esaten da IPTV eredu *walled garden* erakoa dela, hau da, eredu itxia da. ISPak zerbitzua emateagatik kobratzen duen kuotaren zati bat edukia zuzenean isurtzen dituzten edukien hornitzaileei helarazten die. IPTV ereduaren, ISPak eskaintzen die ikusleei telebista-zerbitzua, beste zerbitzu batzuekin batera. Internet-sarbidea, telefonia-zerbitzua eta telebista batera eskaintzen dituen pakete komertzialari *Triple Play* deritzo.

IPTVren alternatiba OTT eredu da (*Over The Top*), batzuetan *Internet TV* edo *online TV* ere baderitzona. Eredu horretan, edukien hornitzailearen eta ISParen artean ez dago inongo harremanik, eta edukien hornitzaileek isuritako trafikoaren tratamendua *best effort* hutsa da, hau da, beste edozein datagramak jasotzen duen berbera. Ikusleak ordaindu behar badu ikusitako saio edo pelikula batengatik, zuzenean ordainduko dio edukien hornitzaileari, eta ez ISParen bidez. OTTren adibideak dira Netflix, Wuaki eta YouTube bera. Gero eta gehiago, OTTaren elkarlanean aritzen dira *smart TV* gailuen ekoizleekin, telebista horietan aurkituko dugun erreproduzibilua optimizatua izan dadin OTTaren zerbitzaritik bideoak ikusteko.



2.2 irudia. IPTV eta OTT bidezko Internet TV (*on line TV*).

OTT kontzeptua ez da agertu Internet bidezko telebistarekin batera. Betiko telefono-konpainiek ondo ezagutzen dute lehenagotik, beren negozioaren etsai bilakatu baita. Telefoniaren arloan, adibidez, Internet bidezko telefoniak gero eta kompetentzia zorrotzagoa egiten die betiko konpainiei, OTT ereduari jarraituz; esate baterako, Skypek eta antzeko zerbitzuek, erabiltzaileentzat nahikoa baita Internet-rako konexioa edukitzea hortik telefono-zerbitzua jasotzeko, ISParen menpe egon gabe. Akaso, argiagoa da mezularitzaren kasua, Whatsappek eta OTT erako antzeko

aplikazioek amaiera eman baitiote SMS zerbitzuari, zeina oso errentagarria baitzen telefono-konpainientzat. Gakoa konexioa ematen duen ISParen eta zerbitzua ematen duenaren arteko bereizketan dago.

1.3. IP zerbitzua eta bideo-kalitatea

Aurreko kapituluan aipatu dugunez, streaming-sistemen arazo nagusietako bat erreproduzitzean geldialdiak ekiditea da. Horretarako, bideo bat erreproduzitzeko behar diren bitak eskura izan behar ditu beti erreproduzizagailuak, bideoa amaitu arte. Bideoa diskoan grabatuta badago ez dago problemarik, baina gogoratu behar da streaming-sistemetan ez dela hala izaten, Internet osoa izan baitezakegu kode-tutako bideoa gordetzen (aurretik grabatutako streaming-a) edo sortzen (uneko streaming-a) duen igorlearen eta erreproduzizagiluaren artean. Igorleak kodetutako bideoa sartuko du, zatika, IP datagrametan, eta datagrama bakoitzak Interneten zeharreko txangoari ekingo dio. Normalean, datagramak erreproduzizagiluaren makinari helduko dira, banan-banan eta bata bestearen atzetik, atera ziren ordena berean eta beren arteko denbora tartea berdintsua izanik. Baina gerta daiteke, eta gertatzen da, datagrama bakoitzak sare-atzerapen desberdina izatea bere bidaiari eta, ondorioz, erreproduzizagiluaren makinan sartzen den datagrama-korrontearen abiadura eta ordena aldatzeko izatea. Horren eragina ulertzeko, ohartu zaitez erreproduzizagiluaren lana fabrika bateko kate batena bezalakoa dela. Datagrama batean dagoen filmaren zatia erreproduzitzen amaitu bezain pronto, hurrengo datagrama eskuratu behar du erreproduzizagiluak bere lana —hau da, pantailan ikusten ari garen bideoa— ez gelditzeko.

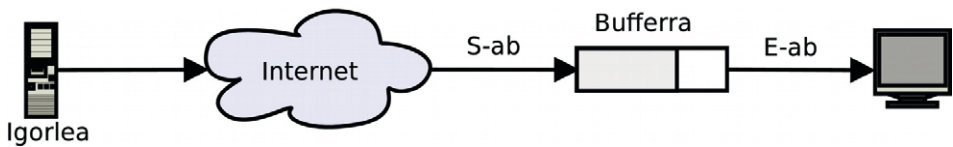
Datagramak helburura heltzeko erritmoaren gorabeherei **atzerapenaren aldakortasun** (*packet delay variation*, RFC 3393) edo **jitter**³ deritza. IP sareetan, ohikoa da aldakortasun hori, oso lotuta baitago IP protokoloaren diseinuarekin eta izaerarekin. Datagramen atzerapenaren aldakortasuna Internetek egiten duen baliabideen erabilera efizientearen ordaina da, eta lotuta dago telefono-zerbitzurako sortutako sareen zirkuitu-kommutaziotik datuetarako diseinatuta zeuden sareen pakete-kommutaziora igarotzearekin. Aldakortasun horren iturri nagusia bideratzaileen ilaretan kokatzen da. Uneoro aldakorra da bideratzaile bat zeharkatzen duen datagrama kopurua, eta, beraz, horren arabera izango dira bideratzaile horretan sortzen diren ilaren luzera eta bideratzaile horretan datagramek zain ematen duten denbora. Arazoa ulertzeko, demagun zuzeneko ekitaldi bat ikusten hasi garela streaming eran iluntzeko 20:50ean eta une horretan gure ISParen beste bezeroak afaltzen ari direla oraindik. Orduan, ISParen sarean dagoen trafiko baka-

³ Berez, *jitter* terminoaren esanahia testuinguruaren arabera da. Horregatik atzerapenaren aldakortasuna erabiltzea lehenesten da.

rra gure filmaren datagramak izango dira. Gauzak sinplifikatzeko, demagun filmaren igorlearen eta gure ISParen arteko Interneteko bidean trafikoa egonkorra dela eta gure makinan jasotzen ditugula X datagrama segundoero filmaren zatiekin, X filma erreproduzitzeko abiadura izanik. Dena ondo doa, eta, datagramak jaso bezain pronto, erreproduzigailuak erreproduzitzen du haren edukia. Baina, bat-batean, gaueko 21:00etan, ISParen bezero pila bat afaria amaitu eta Internet erabiltzen hasten bada, gure filmaren datagramak beste datagrama asko topatuko dituzte ISParen bideratzaileetan. Okerrena gertatzen bada, ISParen bideratzailearen bat kongestionatuko da, eta gure datagramak ez dira ailegatuko erreproduzigailuraino behar den abiadura minimoan. Une horretan, gure filma pantailan geldituko da, eta ez da berriz abiatuko buxadura konpondu arte. Agian, segundo batzuk besterik ez da izango, baina hori nahikoa da ikuslea gogaitzeko.

1.4. Hasierako aurrekarga eta atzerapena

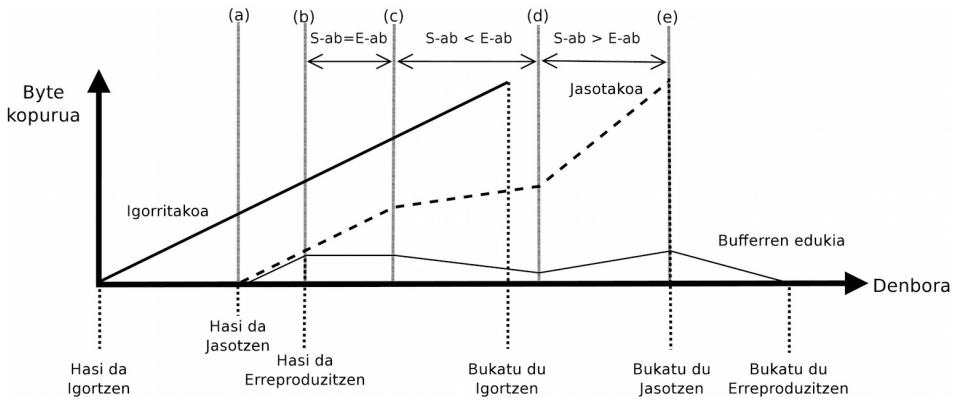
Datagramen arteko tartearen aldakortasunak streaming-sistemetan duen eragina ahal den heinean ekiditeko, erreproduzigailuak aurrekarga erabiltzen du (askotan, **bufferizazio** deritzo). Ideia honetan datza: erreproduzigailuak beti eduki behar du erreproduzitu behar dituen biten erreserba nahikoa, aurretik gordeta buffer batean eta erreproduzitzeko prest. Horrela, epe labur batean jasotako bit stream-a mantsotzen bada, ez du eragingo erreprodukzioan, baizik eta bufferrean gordetako bit-erreserba gutxituko du. Bistakoa da irtenbide horrek baduela denbora-muga bat, hau da, mantsotze hori gehiegi luzatzen bada, azkenean, bufferra agortuta, irudia hoztuko da pantailan. Hori gerta ez dadin, 2.3 irudian agertzen diren parametroak hartu behar dira kontuan: bideoa erreproduzitzeko abiadura (E-ab), bideoa saretik jasotzeko abiadura (S-ab), bufferraren tamaina eta erreproduzitzen hasteko atzerapena. Azter dezagun haien arteko erlazioa.



2.3 irudia. Etenak ez gertatzeko parametroak streaming sistema batean.

Bideoa **erreproduzitzeko abiadura** bufferretik informazioa ateratzeko abiadura bera da. Parametro nagusia da, haren arabekoak izan behar baitute beste guztiak. Saretik jasotzeko abiadura bufferrean informazioa sartzeko abiadura da. Erreproduzitzeko abiadura baino txikiagoa bada, bufferrean gordetakoak murriztuko da, eta, nahikoa luzatzen bada bi abiaduren arteko desoreka, azkenean bufferra hustu da eta erreproduzigailua etengo da. Hori eragotzi behar da.

Erreproduzitzen hasteko atzerapena informazioa jasotzen hasi eta bideoa abiatu arte utzitako epea da. Tarte horretan jasotako informazioa bufferrean metatzen da, erreproduzitzeko bit-erreserba osatu arte. Zenbat eta atzerapen handiagoa utzi, orduan eta bit-erreserba handiagoa izango dugu bufferrean, eta, ondorioz, denbora luzeagoan ere eutsi ahal izango dio bideoaren erreprodukzioari saretik jasotzeko abiadura moteltzen denean. Ikuslearen ikuspuntutik, aldiz, hoberena tarte hori ahal den txikiena izatea da, *play* botoia sakatzen denetik erreprodukzioa hasi arteko epea minimoa izatea nahi izaten baitugu. Erreproduzigailuaren inplementazioak bi parametro horien arteko oreka bilatu beharko du, hau da, atzerapena maximizatu behar du, baina erabiltzailearen gogobetetzea kaltetu gabe. Parametro horien guztien arteko erlazioa 2.4 irudian agertzen da. Irudiko grafikoak hiru parametroen bilakaera erregistratzen du streaming-saio batean. Lehenengo parametroa igorleak bidalitako byte kopurua da. Grafikoan, marra zuzena gorakorra denez, abiadura konstantean transmititu duela azaltzen du. Hala izaten da zuzenean transmititutako ekitaldietan. Bigarren parametroa hartzaileak jasotako byte kopurua da, eta (a) unean hasten da. Igorlea transmititzen hasi zenetik (a) unera arte igarotako denbora-sareak eragindako latentzia da. Une horretatik eta (c) unera arte, hartzaileak igorleak transmititutako abiadura berean ari da jasotzen seinalea, eta, byteak heltzen diren heinean, bufferrean gordetzen dira. Hori da hirugarren parametroa: bufferrean biltegitratutako byte kopurua. Seinalea jasotzen hasi eta erreproduzitzen hasi arte, erreproduzitzen hasteko atzerapena igarotzen da, eta, tarte horretan, jasotako byte kopurua eta bufferrean biltegitratutakoa kopuru bera da. Baina, erreproduzitzen hasi eta gero, bi lerro bereizten dira. Jasotako byte kopuruak goraka jarraitzen duen bitartean, bufferrean biltegitratutakoa konstantea da (c) unera arte. (b) eta (c) tartean sare-abiadura eta erreproduzitzeko abiadura berdinak direnez, abiadura berean sartzen eta ateratzen dira byteak bufferretik, eta, ondorioz, bufferrean biltegitratutako byte kopurua konstantea da. (c) eta (d) unean artean, jasotako byte kopuruak gora jarraitzen du, baina erritmo mantsoagoan. Mantsotze horrek adierazten du sarean ari dela metatzen informazioa; ziur asko, buxaduraren batean. Bitartean, erreprodukzioak abiadura konstantean jarraitzen du, eta, ondorioz, bufferretik ateratzen den byte kopurua handiagoa da sartzen dena baino, eta bufferraren edukia behera doa, (d) unera arte. Zorionez, badirudi konpondu dela (d) unean sarean zegoen arazoa; hortik aurrera, hartzaileak saretik jasotako byte kopuruak gora egiten du, inoiz baino azkarrago. Saretik jasotzeko abiadura erreproduzitzeko abiadura baino handiagoa denez, bufferrak bere betetze-maila berreskuratzen du. (e) unean, hartzaileak bideo osoa jaso du, eta, hortik aurrera, bufferra hustuko da, erreprodukzioa amaitu arte.



2.4 irudia. Streaming sistema baten parametroen arteko erlazioaren bilakaera, bideo saio baten zehar.

Bufferraren tamaina lotuta dago erreproduzitzen hasteko atzerapenarekin eta abiadurarekin. Hasierako betetze-maila honako hau izango da:

$$\text{Bufferrean gordetakoa}(b) = \text{Jasotzeko abiadura}(b/s) \times \text{Erreproduzitzeko atzerapena}(s)$$

Erreproduzigailuaren bufferraren tamaina goiko biderkadura baino handiagoa bada, ez da beteko. Definitutako atzerapena agortu baino lehen betetzen bada bufferra, erreproduzigailuak abiatuko du erreprodukzioa, gehiago atzeratu gabe. Izan ere, erreproduzigailu askok ez dute definitzen erreproduzitzeko atzerapen finko bat, baizik eta bufferraren tamaina finko bat, eta erreproduzitzen hasten dira bufferra betetzen denean.

Uneko streaming-sistemetan ezin da aurrekarga handirik erabili, ikuslea ez dagoelako prest zuzeneko efektua galtzeko, eta, beraz, erreproduzitzen hasteko ezin da erabili atzerapen handirik. Ondorioz, uneko saioak transmititzen dituzten sistemetan erabilitako bufferrak, normalean, ez du gordetzen bideoako segundo bat baino gehiago. Horrek erresistentzia gutxi ematen dio erreproduzigailuari sareko gorabeheren aurrean. Hau da, buxadura batengatik jasotzen duen stream-aren abiadura mantsotzen bada, arrisku handia dago erreproduzigailuaren bufferra agortzeko buxadura konpondu baino lehen eta, beraz, geldialdia gertatzeko erreprodukzioan.

1.5. Garraio-mailako zerbitzuak

Interneteko aplikazioek bi aukera dituzte, funtsean, sarea erabiltzerakoan: TCP zerbitzu fidagarria edo UDP zerbitzu arina. TCP egokia da igorritako datuen osotasuna ezinbesteko baldintza denean, hau da, onartezina denean berdin-berdi-

nak ez izatea igorleak bidalitakoa eta hartzaileak jasotakoa. Hala da horrenbesteko arrakasta izan duten posta elektronikoa, FTPan edo webean. Berme hori emateko, TCP zerbitzuak zelatatzen du zer bidaltzen duen mutur batek eta zer jasotzen duen besteak, eta, datagramaren bat falta bada, berak birtransmititzen du. Hori da, laburrean, TCPren **galera-kontrola**. Era berean, igorleak transmititzen badu hartzaileak jasotakoa kontsumitzen duen baino azkarrago, TCPk galgatu egiten du igorlea. Horri **fluxu-kontrol** deritza. Azkenik, TCPk sarearen egoera zaintzen du, eta, gainkargatuta dagoela atzematen badu, igortzeko erritmoa jaisten du. Hori TCPren **buxadura-kontrola** da. Eraitza honako hau da: TCP erabiltzeak igorritakoa helduko dela bermatzen du, baina ez du bermatzen *noiz* helduko den, eta, are gehiago, helduko dela bermatzeak abiadura mantsotu dezake, eta horrek atzerapenaren aldakortasuna eragingo du. Zerbitzu hori egokia da datu-zerbitzuetarako, datagrama segundo batzuk geroago heltzeak ez baitio inongo kalterik egiten aplikazioak emandako zerbitzuari. Inor ez da ohartuko jasotako mezu elektronikoa 2 segundo berandu heldu dela, edo fitxategi bat deskargatzeko 4 segundo gehiago behar izan direla. Halako trafikoari, hau da, datagramen arteko tartea aldatzea onartzen duenari, **trafiko malgu** deritza.

Baina, zenbait aplikaziotan, TCPren onurak ez du merezi, kostuarekin alderatuta. Hau da, aplikazio batzuen lehentasuna ez da TCPk ematen duen fidagarritasuna; esate baterako, denbora errealeko aplikazioena. Streaming-aren kasuan, adibidez, ikusi dugu lehentasuna izango dela datagrama heltzea daramatzen laginak erreproduzitzeko unea baino lehen. Datagrama galtzen bada sareko buxada batean, agian ez du merezi datagrama horren bigarren kopia bat bidaltzea, beranduegi helduko delako, eta, gainera, birtransmisio horrekin batera, TCPk igorlearen erritmoa mantsotuko duelako sareko buxada arintzeko asmoz. Streaming-a da **trafiko zurruna** sortzen duten aplikazioen adibide bat, hau da, haren behar nagusia datagramen arteko tarteari eustea da, eta, horrela, erreproduzigailuak saretik informazioa hartzeko abiadura konstantea izatea lortzen da.

Orokorrean, badaude garraio-zerbitzu fidagarria ez, baizik eta arina behar duten aplikazioak. Halakoetarako sortu zuten UDP zerbitzua, TCP/IP protokolo sorta diseinatu zutenean. UDPk ez du galerarik ezta buxadurarik kontrolatzen, datagrama baten iturburuko eta helburuko aplikazioa zein den identifikatu besterik ez baitu egiten. Horregatik, UDP zerbitzua arina da: datagrama hartu eta bidali besterik ez du egiten, inongo kontrolik gehitu gabe, eta, ondorioz, inongo denborarik ere gehitu gabe. Hori bai, datagrama heltzen ez bada, aplikazioaren esku gelditzen da arazoa.

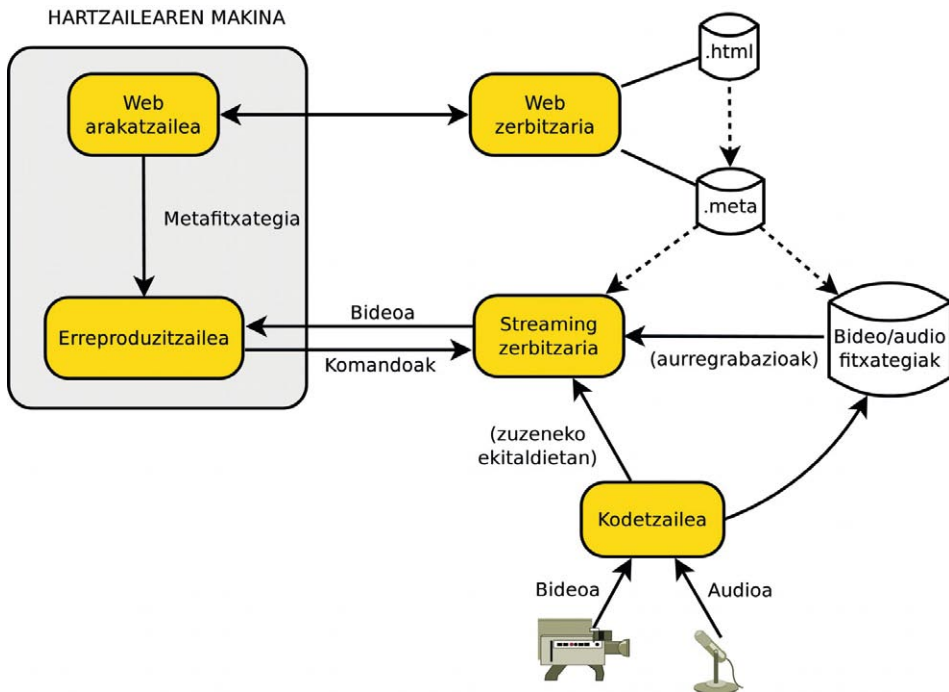
Puntu honetan azpimarratu behar da garraio-mailako zerbitzuak UDP edo TCP izanda, makinako sistema eragileak aplikazioei eskainitako zerbitzuak direla. Beraz, aplikazio bat garatzen duen informatikariak erabaki behar du zein zerbitzu erabiliko duen bere aplikazioak. Emandako azalpenak ikusita, argia dirudi streaming-aplikazioek UDP zerbitzua erabili beharko dutela. Eta hala zen hasierako streaming-inplementazioetan, baina badira urteak TCP ere erabiltzen dela. Are

gehiago, egun, streaming gehien-gehienetan TCP erabiltzen da, lehen aipatu ditugun arazoak —abiadura mantsotzea eta atzerapenaren aldakortasuna eragitea, alegia— neurri handi batean leuntzea lortu delako. Horretarako gakoak aurrekargaren erabilera arintzeko eta buxadurak eragozteko sarean izandako hobekuntzak izan dira, eta banda-zabalera handitzea izan da hobekuntza nagusia.

1.6. Streaming-aren osagaiak

Orokorrean, osagai hauek ditu streaming-sistema batek:

- **Streaming-zerbitzaria:** erreproduzigailuen eskaerak jaso, eta stream-ak bidaltzen ditu. Bi iturri izan ditzake: aurretik grabatutako bideoak, edo unean kodetzaile batek sortuak (*live streaming*). Adibideak: *Icccast*, *Helix Universal Media Server* eta *AMS (Adobe Media Server)*, besteak beste. Ingeleseztan, *media publisher* ere esaten zaie halako zerbitzariari. Egun, oso ohikoa da web-zerbitzariak streaming-zerbitzariarena ere egitea, horretarako HTTP protokoloa erabiliz.
- **Kodetzailea:** haren lana kamerek eta mikroek jasotako seinalea digitalizatzea eta streaming eran zerbitzatzeko formatuan prestatzea da. Sortutako stream-a gorde egin daiteke, aurretik grabatutako moduan zerbitzatzeko, edo unean bertan streaming-zerbitzariari helarazi, berak erreproduzigailuei bidaltzeko.
- **Erreproduzigailua:** eskaerak bidaltzen dizkie streaming-zerbitzariari, eta haien stream-ak jaso eta erreproduzitu behar ditu. Horretarako behar duen informazio guztia stream-aren deskripzioa duen metafitzategi batean biltzen da (askotan, *manifest file* deritzo).
- **Metafitzategia:** stream-a jasotzeko behar diren datuak gordetzen dituen fitzategia. Hor gordetzen dira streaming-zerbitzariaren helbidea, eta bideo- eta audio-aukerak, kodeketa-sistema eta kalitate bat baino gehiago eskainiz. Normalean, ikusleak bere web-arakatzaileruntan erabiltzen du metafitzategia eskuratzeko, HTML esteka batean txertatuta egoten baita. Izan ere, ikuslearentzat, bideo bat edozein esteka bezalakoa da: ganean klikatu, eta, handik gutxira, begien aurrean izango du bideoa. Baina, klik horren atzean, arakatzailerak erreproduzigailuari helarazitako metafitzategia dago.
- **Web-zerbitzaria:** Interneten aurki dezakegun beste edozein edukitan bezala, web-zerbitzariak gordetzen dituzte bideoak ikusteko behar diren estekak, hau da, metafitzategien URLak, web-orrien HTML formatuan txertatuta.

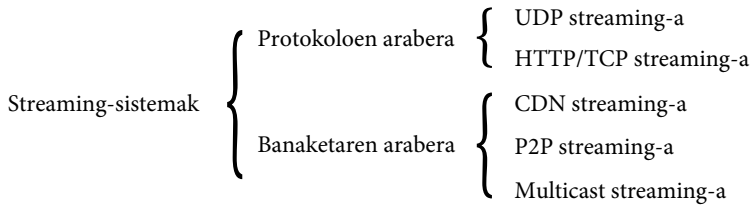


2.5 irudia. Streaming sistema baten oinarriko osagaiak.

2.5 irudiko web-zerbitzaria, streaming-zerbitzaria, eta kodetzaila makina bakar batean egon daitezke, baina hori soilik sistema txikietan aurkituko dugu. Ikusle asko dituzten streaming-sistemetan, zenbait zerbitzariren artean banatzen dira zerreginak. Horrelakoetan, ohikoa da, alde batetik, web-zerbitzariak arakatzailarekin harremanak izatea metafitxategiak eskaintzeko; beste alde batetik, streaming-zerbitzariak erreproduzizailuak elikatzea, eta, beste makinetan, kodetzailak buru-belarri aritzea stream-ak sortzen streaming-zerbitzariak elikatzeko.

1.7. Streaming-aukerak

Testu honetan, bi eratan sailkatuko ditugu streaming-sistemak: erabilitako protokoloen arabera eta stream-a banatzeko erabilitako sarearen arabera. Lehenengo irizpidearen arabera, RTP/UDP protokoloak erabiltzen dituzten streaming-sistemak ditugu alde batetik, eta HTTP gainean egindakoak beste aldetik. Banaketa-sarearen arabera, honako hiru aukera hauek ditugu: CDN streaming-a, P2P streaming-a eta multicast streaming-a. Oraingo ataletan, banan-banan aztertuko ditugu aukera guztiak.



Bideoak transmititzeko protokoloei dagokienez, HTTP ez da TCPren gainean erabiltzen den bakarra. Nahiko erabilia den beste protokolo-konbinazioa RTMP/TCP da (*Real Time Messaging Protocol*), baina horrek ere, RTMPT aldaeran, aplikazioko mezuak HTTPn kapsulatzen ditu suhesiak zeharkatzeko. Adobe Flash teknologian oinarritutako streaming-sistemetan erabiltzen da RTMP aukera. Badago protokolo horren beste aldaera bat, RTMFP (*Real Time Media Flow Protocol*), UDP erabiltzen duena, baina protokolo hori soilik bi erabiltzaileen arteko streaming zuzenerako erabil daiteke, hau da, ez du balio Interneteko bideo-banaketarako. Testu honetan, TCP gaineko streaming-a aztertzean, soilik HTTP erakoa hartuko dugu kontuan, nagusia baita gaur egun.

Zenbait agiritan aurkituko dugun beste sailkapen batean, hiru streaming-kategoria agertzen dira: benetako streaming-a, deskarga progresiboa eta streaming dinamikoa. Benetako streaming-a (*real streaming* edo *streaming* deritzo) bat dator guk UDP streaming deitu dugunarekin. Deskarga progresiboa (*progressive downloading* edo pseudostreaming-a) terminoak HTTP bidezko bideo-banaketa izendatzeko beste era bat da. Hemen, HTTP streaming terminoari eutsiko dugu. Azkenik, testu honetan, streaming dinamikoa (*adaptive streaming*) HTTP streaming-aren bilakae-ratzat hartuko dugu.

2. UDP streaming-a

Lehen aipatu dugunez, hasierako streaming-sistema guztiek UDP erabiltzen zuten, TCP protokoloaren buxadura-kontrolak eragin desegokia baitu denbora errealeko aplikazioetan. Hala eta guztiz ere, egun, TCP nagusia da aurretik grabatutako streaming-erako; arrakasta handiena duen streaming-erako, alegia. Baina UDP oso erabilia da oraindik uneko streaming-sistemetan, eta aukera bakarra da multicast helbideak erabili nahi direnean, TCP protokoloak ezin baitu multicast-trafikorik sortu.

RTPren beharra

Bideo baten laginak dagokion ordenan erreproduzitu behar dira. Baina, UDPk sarearen lana monitorizatzen ez duenez, igorritako datagramak hurrenkera aldatuta hel daitezke, edo baliteke ez heltzea ere. Horrelako data-galerak edo hurrenkera-aldake-

tak atzemateko eta zuzentzeko, UDP erabiltzen duten streaming-zerbitzariak bideo-laginei gehitu behar dizkiete sekuentzia-zenbakiak eta denborazko informazioa (*timestamp*), datagrametan sartu baino lehen. Streaming-aplikazioez gain, beste multimedia-aplikazio batzuek ere behar bera izango dute; IP telefoniak, kasurako. Hasieran, horrelako aplikazio bat sortzen zuen informatikari taldeak definitzen zituen denbora errealerako goiburukoa, sekuentzia-zenbakiak, denborari buruzko informazioa eta bestelako informazio erabilgarri batzuk. Horrela, denbora errealeko laginak bidaltzeko formatuak nabarmen ugaltu ziren. Bistakoa zen estandar bat behar zela denok goiburuko berak erabiltzeko, eta, horrela, sortzaile batek baino gehiagok egindako softwareak elkarrekin erabiltzeko aukera zabaldu zen. Horregatik sortu zuten RTP (*Real time Transport Protocol*), RFC 3550 agirian. RTP edozein garraio-protokoloren gainean erabil daiteke, baina, praktikan, UDPrekin batera erabiltzen da normalean, 2.6 irudian agertzen den eran. Protokolo hori gero aztertuko dugu, telefoniari buruzko kapituluan.

RTSPren beharra

Bideoak ikusteko irakurgailuek abiatzeko, gelditzeko, aurrera egiteko eta abarretarako botoiak dituzte (*play, pause...*). Era berean, Internet bidez bideo bat streaming eran ikusten dugunean, zeregin bereko botoiak pantailako behealdean agertu ohi zaizkigu. Horrelako botoi bat sakatzean, erreproduzigailuak agindu bat bidali behar dio zerbitzariari. Erreproduzigailuaren eta zerbitzariaren arteko komunikazio hori arautzen duen protokolo bat behar da. Horretarako aukera irekia RTSP da (*Real Time Streaming Protocol*, RFC 2326). Ez ditugu nahastu behar RTSP bidezko erreproduzigailuaren eta zerbitzariaren arteko komunikazioa eta RTP bidezkoa. Batean, bideoaren emanaldia kontrolatzeko aginduak eta haren erantzunak ibiltzen dira, eta, bestean, bideo-laginak kodetuta, hau da, bideo-emanaldia bera. Horregatik, RTSP bidezko komunikazio-bideari kontrol-kanal deritza, eta RTP bidezko komunikazioa datuen kanala da.

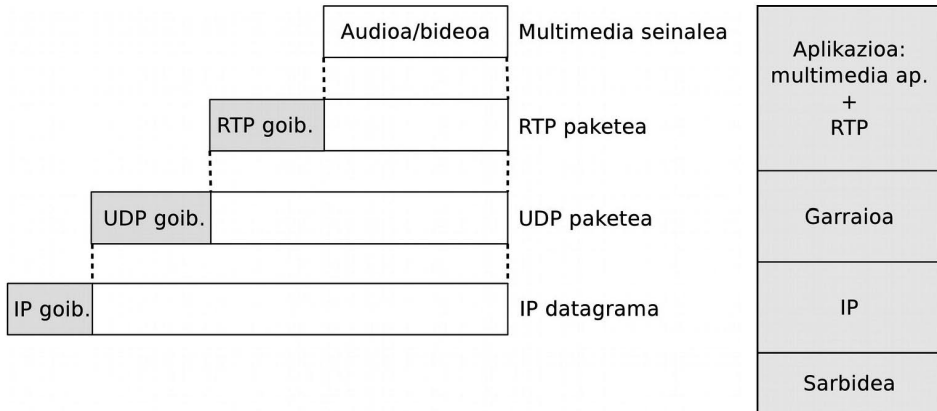
RTSPk badu HTTP protokoloaren antza, batez ere sintaxian. Biek ere TCP-konexio bat erabiltzen dute aginduak bidaltzeko (RTSPk UDP ere erabil dezake, baina ez du halakorik egiten normalean). Baina, HTTP ez bezala, RTSP saio bidezkoa da, hau da, zerbitzariaren eta erreproduzigailuaren arteko komunikazioaren egoera gordez du (), eta bidalitako agindu bakoitza lotuta dago identifikatuta dagoen saio batekin. Adibidez, ikusi RTSP agindu hau, erreproduzigailu batek zerbitzari bati bidalitako PLAY komando bat:

```
rtsp://example.com/media.mp4 RTSP/1.0
CSeq: 4
Range: npt=5-20
Session: 6623456
```

Aginduaren azken lerroa saioaren identifikadorea da (6623456 zenbakia). Saioaren identifikazio horri esker, erreproduzigailu batek hainbat saiori euts dakieke aldi berean TCP konexio bakar bat erabiliz, aginduak nahastu gabe.

Biltegitratzea

UDP streaming-sistema batean, erreproduzigailuak ez du gordetzen jasotako bideoaren kopiarik. Bere memorian, bufferrean duen bideoaren zatia besterik ez du, eta, behin erreproduziturik, bideo zati hori hurrengo bideo zatiak zapalduko du. Edukien hornitzaile komertzial askorentzat abantaila handia da hori, ez baitiete erabiltzaileei aukerarik eman nahi edukiaren kopiarik izateko.



2.6 irudia. RTP protokoloaren kokapena TCP/IP metan.

RTP/UDP streaming-sistemen gainbehera

RTP/UDP gaineko streaming-sistemak asko erabili ziren Internet bidezko bideo-banaketaren hasieran, xx. mendearen azken hamarkadan. Baina NAT eta suhesien erabileraren hedapenak eta UDPren malgutasun ezak haren kontra jo dute, transmisio-abiadura sareko egoerari egokitzeko asmoz.

NAT zerbitzariak eta suhesiak kalte handia egin diete RTP/UDP streaming-sistemi. NAT zerbitzariaren kasuan, soilik haren atzean dagoen makina baten portutik igorritakoari bidalitako erantzunak itzul ditzake, baina ez kanpoko makinak hasitako komunikazioa bada, NATen atzean dauden makinak ikusezinak baitira kanpotik. RTP streaming batean, NATen atzean dagoen erabiltzaileak abiatzen du harremana, RTSP/TCP kontrol-konexioa ezarriz streaming-zerbitzariarekin. Lehenengo urrats horretarako, ez dago inongo problemarik. Streaming-a jasotzeko, ordea, zerbitzaria da RTP/UDP saioa hasten duena, kontrol-kanaletik bezeroek bidalitako PLAY agindua jaso eta gero. Agindu horrekin batera, bezeroak jakinarazten dio zer [IP, portua] bikoteri bidali behar dion zerbitzariak eskatutako bideoa, baina, bezeroa NATen atzean dagoenez, IP helbide hori pribatua da, eta, beraz, eskurazina kanpotik.

Suhesien kasuan, antzekoa da arazoa. Suhesi gehienak atzean dauden erabiltzaileen makinak babesteko konfiguraturik daude, eta, horretarako, kontu handiz begira-

tzen dute zer trafiko bidaltzen zaien. Beren hasierako araua honako hau izaten da: bezero batengana doan trafikorik ez onartzea bezeroak eskatzen ez badu. TCP trafikoaren kasuan, suhesiek barrura doan trafikoa onartzen dute soilik lehenik bezeroak hasitako TCP-konexio bati badagokio trafiko hori. UDPren kasuan, batzuetan ez da onartzen inongo trafikorik, eta, beste batzuetan, onartzen dute (IP, portua) bikote bati kanpotik bidalitako trafikoa lehenago bikote horretatik bidali bazaio UDP trafikoa kanpoko makinari.

RTP/UDP streaming-sistemen beste arazo bat aurretik grabatutako bideoak transmititzean daukan malgutasun eza da. Uneko streaming-a denean, zerbitzariak beti transmititzen du erreproduzitzeko abiadura, UDP edo TCP erabilia ere. Aurretik grabatutakoan, aldiz, tentazioa da ahal den azkarrena transmititzea hasieran, erreproduzizigailuaren bufferra ahal den gehiena betetzeko. Baina horrek arriskua du UDP erabiltzen denean: bufferra betetzen bada, erreproduzizigailuak ezin du igorlea geldiarazi edo moteldu (TCP erabiliz gero, aldiz, bai, fluxu-kontrola erabiliz), eta datagramak galduko dira, bufferrean gordetzeko tokirik ez badago. Beraz, streaming-zerbitzariak berak bere burua zaindu behar du erreproduzizigailua ez itotzeko, eta, ondorioz, aurretik grabatutako sistemetan ere, UDP erabiltzen zenean, zerbitzariak beti transmititzen zuen erreproduzitzeko abiadura. Adibidez, kodeketak ezarritako erreproduzitzeko abiadura 2 Mb/s bada, eta UDP mezu bakoitzak 8.000 bit bideo-lagin garraiatzen baditu, zerbitzariak 4 milisegundoero igortzen du UDP mezu bat (8.000 bit zati 2 Mb/s 4 milisegundo dira). Zerbitzariaren transmisio-abiadura finkoa izateak oztopatu dezake bufferra hasieran azkar betetzea, baita sarea buxatu eta gero bufferren betetze maila berreskuratzea ere (aurretik grabatutako bideoetan, oso onuragarria da). Igortzeko abiadura finko hori handicap bat izan da UDP gaineko streaming-sistemetan.

Arazo horiek eta web-zerbitzariak erabiltzeko erraztasuna direla eta, xx. mendearen amaieran, HTTP/TCP bikotea bideo streaming-erako erabiltzen hasi zen Interneten, eta, egun, nagusia da. Hala ere, oraindik badaude RTP/UDP erabiltzen duten sistemak, bereziki uneko telebista banatzekoak (ohartu UDP dela aukera bakarra multicast helbideak erabiltzean).

3. HTTP streaming-a

HTTP streaming-sistemetan, web-zerbitzari batek egiten du streaming-zerbitzariarena. Hau da, erabiltzaileak jasotzen duen metafitzategian agertzen den stream-aren URLak web-zerbitzari bati egiten dio erreferentzia, eta ez, UDP streaming-ean bezala, streaming-zerbitzari bati. Horrela izanik, erreproduzizigailua eta streaming-zerbitzariarena egiten duenaren arteko komunikazioa HTTP/TCP protokoloak erabiliz gauzatuko da. Hau da, stream-a jasotzen hasteko, HTTP GET agindua bidaliko du arakatzzaileak, web-zerbitzari batetik edozein agiri jaisteko egin ohi den era berean. Arakatzzaileak, TCP segmentuetan heltzen diren bideoa-

ren zatiak jaso, eta disko lokaleko bufferrean gordeko ditu, normalean aldi baterako memorian. Erreproduzitzen hasteko nahikoa jasota dagoenean, diskotik informazioa ateratzen eta bideoa erreproduzitzen hasiko da erreproduzigailua.

HTTP streaming-a agertu zenean, **deskarga progresiboa** (*progressive download*) edo pseudostreaming-a terminoak sortu zituzten, UDP eta HTTP streaming-ak bereizteko. Streaming-a eta deskarga progresiboa bi teknikatzat jotzen ziren, nahiz eta funtsean gauza bera izan: aurrekarga egin, eta erreproduzitzen hasi, bideo osoaren deskarga bete arte itxaron gabe. HTTP bidezko streaming-a UDP bidezkoa baino okerragotzat jotzen zen, baina, beste alde batetik, errazagoa zen zerbitzua abiatzeko eta kudeatzeko, web-zerbitzaria besterik ez baitzen behar. Hasierako HTTP streaming-sistemen arazoak honako hauek ziren:

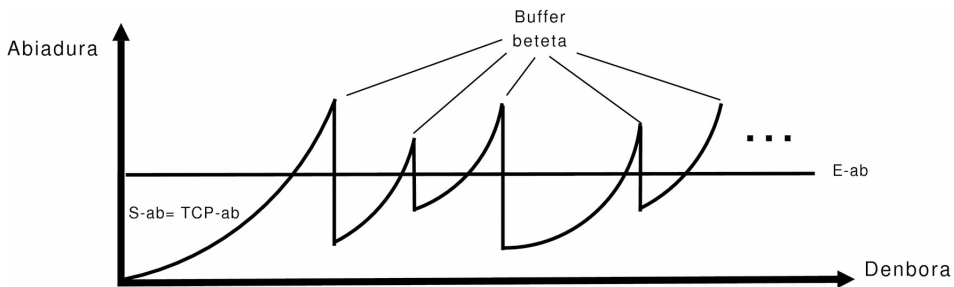
- Soilik aurretik grabatutako bideoetarako erabil zitekeen, azken finean fitxategi bat deskargatzea baita kontua.
- Edukien saltzaileek mesfidantzaz hartzen zuten erabiltzaileak bideoaren kopia osoa egitea beren diskoan.
- Banda-zabaleraren erabilera okerragoa zen. Alde batetik, TCPk egindako birtransmisioak alferrak dira askotan, erreprodukzio-unea baino geroago helitzen direlako. Bestetik, erabiltzaileak bideoa eten eginez gero, edo oso aurreragoko jauzia eginez gero, bideoaren zati handi bat alferrik transmititu zitekeen.
- Izan ere, aurreragoko jauzi horiek egiteko, jauziaren puntuaren aurreko bideo osoa deskargatu behar zen. Banda-zabalera xahutzeaz gain, ikusleak alferrik itxaron behar izaten zuen.

Egun, handicap horiek gaindituta daude, teknikoak behintzat, eta HTTP streaming nagusia da aurretik grabatutako bideoak banatzeko, baita uneko transmisioak egiteko ere. Egun, deskarga progresiboa ez da egiten HTTP streaming-sistemetan, bideoa ez baita memorian gordetzen. Jatorrizko streaming-sistemetan bezala, unean bufferrean sartzen den bideoaren zatia besterik ez du gordetzen erreproduzigailuak, eta jauzien kontrola HTTPren bidez ere egin daiteke, jauziaren unera arteko deskarga egiteko beharrik gabe. Zerbitzariak erabiltzen duen abiadura hartzailearen eta sarearen egoerari egokitzen zaio, streaming dinamikoa erabiliz (*adaptive bitrate streaming*). Horretaz gain, TCP erabiltzeak NAT eta suhesiak zeharkatzea errazten du, halako gailuek askotan ez baitute uzten UDP trafikorik igarotzen. Gainera, web bidezko streaming-sistemetan ez dago RTSP zerbitzarien eta RTPren beharrik, eta, horrekin batera, zerbitzuaren kostua jaisten da. Horrengatik guztiarengatik, HTTP streaming-a nagusitu da.

Aurrekarga erreprodukzioan zehar

Behin erreprodukzioa hasita, bideoa saretik jasotzeko abiadura erreproduzitzeko abiadura bezainbestekoa baldin bada, bufferrak beteta jarraituko du igorleak bere transmisioa amaitu arte, 2.4 irudian ikusi dugun moduan. Baina zerbaiten-

gatik aldi batean saretik bideoa jasotzeko erritmoa mantsotzen bada, eta, ondorioz, bufferraren betetze-maila jaisten bada, sareak funtzionamendu normalera itzultzen denean ere aurrekarga eginez gero, berriz bete dezakegu buffer osoa, eta, horrela, erreproduzioaren erresistentzia sareko buxadura baten aurrean berreskuratu. Hala ere, hori soilik izango da bideragarria igorritako bideoa aurretik grabatuta eta biltegiatuta baldin badauka igorleak; bestela —zuzeneko transmisio batean, alegia—, ezingo luke inolaz ere igorri erreproduzitzeko abiaduran baino azkarrago.



2.7 irudia. Sare abiadura erreproduzioan zehar. TCP erabiliz gero, badago aurrekarga egitea edozein unetan, eta ez bakarrik erreproduzioaren hasieran.

Ikus dezagun aurrekargaren funtzionamendua adibide simple batean. Demagun bideoa erreproduzitzeko abiadura 2 Mb/s dela baina sareak eta zerbitzariak badutela aukera 3 Mb/s-ko abiaduran bidaltzeko aurretik grabatuta dagoen bideo hori. Horrela bada, erreproduzigailuaren bufferrean izango dugun aurrekargatutako bideo kopurua 1 Mb handituko da segundoero. Aldiren batean sareko abiadura 2 Mb/s-tik behera geratzen bada, erreproduzigailuak jakia izango du bufferrean saioari eusteko etenik gabe, motelaldi hori gehiegi luzatzen ez bada behintzat. Ikertzaileek aurkitu dute nekez gertatuko dela etenik aurretik grabatutako streaming-sistema batean sarean TCPk lortutako abiadura erreproduzitzeko abiaduraren bikoitza denean. Ohartu TCPk lortutako abiadura dela lehen saretik jasotzeko abiadura deitu duguna ($S-ab$ irudietan). Gainera, erreproduzitzen has-teko oso atzerapen txikia beharko dela ere aurkitu dute. Beste alde batetik, TCP-konexioan lortutako abiadura erreproduzigailuarena baino azkarragoa bada, lehenago edo beranduago bufferra beteko da. Une horretan, TCPren fluxu-kontrolak geldiaraziko du zerbitzaria, bideo gehiago bidal ez dezan bufferrean berriz tokia egon arte. Epe luzean, zerbitzariak ezingo du igorri erreproduzigailuaren abiaduran baino azkarrago. 2.7 irudiko grafikoan ikusita, aurkituko dugu aldi batzuetan TCP-abiadura erreproduzigailuarena baino azkarragoa dela (bufferrean hutsunea dagoen bitartean) eta beste aldi batzuetan TCP-abiadura mantsoagoa dela (sarean edo zerbitzarian buxadura-arazoak dauden bitartean, edo TCPko fluxu-kontro-

lak zerbitzaria geldiarazten duen bitartean), baina, epe luzean, batez besteko TCP abiadura (edo saretik informazioa jasotzeko abiadura) erreproduzitzeko abiadura bera dela.

Egoera desberdina da uneko streaming-en kasuan, zerbitzariak ez baitu aurretik kargatu bideoa, ahal den azkarrena bidaltzeko prest. Aldiz, denbora errealean sortu behar du bideo-seinalea, hau da, erreproduzitzeko abiadura berean baino azkarrago ezinezkoa da bideoa bidaltzea! Beraz, *live streaming* batean, bufferizazio bat egin daiteke saioaren hasieran, ahal den laburrena izan behar duen atzerapena hartuz erreproduzitzen hasi baino lehen, baina, behin erreprodukzioa hasita, ezingo da aurrekargarik egin sareko motelaldi batean galdutako bufferraren betetze-maila berreskuratzeko. Hor dago *live streaming*-a egiteko zailtasun nagusia. Irtenbidea streaming dinamikoan datza (segituan ikusiko dugu).

Uneko streamingean dugun arazo bera dago UDP erabiltzen badugu aurretik grabatutako bideoak banatzeko. UDP ez da gai sareko gorabeheretara egokitzeko, eta, horregatik, streaming-zerbitzariak beti transmititzen du erreproduzitzeko abiaduran. Beraz, UDP erabiltzen duten streaming-sistemetan ezin dute bufferraren betetze-maila errekuiperatu sareko motelaldi baten ondotik. Horretarako, aplikazio-mailan garatu behar lirateke TCPk fluxu-kontrolerako dituen antzeko mekanismoak, hau da, streaming-zerbitzarien eta haiekin lan egiten duten erreproduzizigailuen softwarea aldatu beharko litzateke ahalmen horiek gehitzeko. Ingeniari informatikoeek argi ikusi dute: hobe da TCP erabiltzea.

Bideoaren kontrola

Nola gauzatu ditzakegu bideo-erreproduzizigailu baten kontrolak (*pause* eta *play* botoia eta bideoaren kokapena aukeratzeko agintea) RTSP edo haren balio-kidea den protokolorik gabe? Ikusi dugunez, bideoa gelditzea (*pause*) edo berriz abiatzea (*play*) zuzena da aurretik grabatutako streaming-sistema batean: erreproduzizigailuak bufferretik informazioa ateratzeari uzten dio edo berriz ekiten dio. Bufferretik bideoa ateratzeari uzteak ez du esan nahi, ordea, bufferrean bideoa sartzeari uztea; erreproduzizigailuak bufferretik ezer ateratzen ez badu ere, saretik bideoa jasotzen eta bufferrean sartzen jarraituko du TCPk; tokia dagoen bitartean, behintzat. Bufferra betetzen bada, TCPren fluxu-kontrolak geldiaraziko du zerbitzaria, eta berriz bidaltzen jarraitzeko eskatuko dio erabiltzaileak *play* botoia sakatzen duenean, eta, ondorioz, erreproduzizigailua berriz bufferretik bideoa ateratzen hasten denean. Uneko streaming-aren kasua desberdina da: bufferra betetzen bada *pause* klikatu eta gero, erreproduzizigailua hasiko da bideo zati zaharrak zati berriekin ordezkatzeko. Hau da, bufferra beteta badago TCP-segmentu berri bat heltzen denean, bufferrean dagoen bideo zatirik zaharrena baztertuko du, eta segmentu berriak daraman bideo zatia gordeko du libratutako tokian.

Atzerago jauzi egin nahi izanez gero, une horretara arte diskoan gordetako bideoan jauzi egitea besterik ezin zen egin HTTP streaming hasierako eran (pro-

gressive downloading). Baina, aurrera egin nahi izanez gero, eskatutako unea deskargatu arte itxaron behar zen. Itxaronaldi eta alferrikako deskarga hori ekiditeko, HTTP GET komandoaren byte-range goiburukoa erabiltzen da. Goiburu horrek eskatutako bideoaren zatia zein den azaltzen du. Erabiltzaileak jauzi bat eskatzen duenean, nabigatzaileak HTTP GET berri bat bidaltzen dio zerbitzariari, eta zer bytetik jaso nahi duen azaltzen du goiburu horren bidez. Eskaera jasota, zerbitzariak birkokatzen du bidalketa. Zer esanik ez, erabiltzaileak eskatutako jauzia dagoeneko bufferrean dagoen une baterainokoa bada, erreproduzizigailuak une horretara egiten du jauzi; ez dio ezer bidaltzen zerbitzariari, eta erabiltzaileak segituan izango du begien aurrean birkokatutako bideoa, inongo itxaronaldirik gabe. Uneko streaming-aren kasuan ez du zentzurik jauziak egi-teak: zuzeneko ekitaldi bat denez, unean unekoa ikus daiteke, ez gerokoa ezta lehenagokoa ere.

3.1. HTML5

Ikuslearen web-arakatzaillearen eta erreproduzizigailuaren arteko harremana aldatzen ari da urteek aurrera egin ahala. Hasieran, arakatzaillea erabiliz bideo bat ikusi ahal izateko, erreproduzitzeko ahalmena plugin moduan gehitu behar zitzaion nabigatzaileari. Horixe egin da QuickTime-ren, RealPlayer-en eta, batez ere, Adobe Flash pluginaren garaian. Azken hori XXI. mendeko lehen hamarkadan *de facto* estandar bilakatu zen streaming erreproduzitzeko. Baina 2007. urtetik aldarrikatu da web-orrietan bideoak txertatu ahal izatea, baita arakatzaillei bideoak zuzenean erreproduzitzeko ahalmena ematea ere, inongo pluginik erantsi beharrik gabe. Eskaera hori asetzeko, HTML5 estandar berrian bideorako <video> elementua gehitu zuten, Adobe Flash ordezkatzeko asmoz, baina haren arrakasta oztopatu zuen arakatzailleek onartu beharreko bideo-kodeketarako adostasun ezak. Eztabaida patente bidezko estandarren eta kodeketa ireki eta doakoen artean kokatu da. Une honetan, arakatzaille gehienek HTML5 formatuko bideorako elementua onartzen dute, mp4/H.264 edo WebM/VP8-9 bideo-kodeketarako. Flash-en aroaren amaiera 2011. urtean hasi zen, Adobe konpainiak iragarri zuenean ez zuela gehiago eguneratuko bere plugina mugikorretarako, eta azkartu egin zen 2015. urteko urtarrilean, YouTube-k iragarri zuenean Flash-en ordez HTML5 formatua lehenetsiko zuela bideoak erreproduzitzeko.

HTML5ek erraztasun handia ekarri dio bideoak argitaratu nahi dituenari. Nahikoa da HTML-lerro batzuk txertatzea web-orri batean, eta zure bideoa eskura dago arakatzaille moderno guztientzat. Bere modurik sinpleenean, honelako lerro bat besterik ez da:

```
<video controls> <source src="Mendiak.mp4" type="video/mp4"> </video>
```

Bideoaren iturria <src> atributuaren balioa da, eta hor azaldu behar da, beste edozein agiri motarekin bezala, bideoa gordetzen duen fitxategirako ibilbidea zer-

bitzariaren diskoan. <type> atributuak zer kodeketa mota erabili den azaltzen du, MIME identifikadoreak erabiliz, eta <controls> atributuak, berriz, arakatzailari agintzen dio bideoaren kontrolerako ohiko botoiak txertatzeko leihoan (*play, pause, stop...*).

Arakatzailak ezin badu bideo mota hori erreproduzitu (mp4, aurreko adibidean), errore-mezu bat emango du. Hori ekiditeko, eta erabilitako kodeketaren inguruan adostasun zabala lortzen ez den bitartean, hobe dugu aukera bat baino gehiago eskaini arakatzailari. Adibide honetan egiten da hori:

```
<H2> HTML5 bideoa, formato desberdinetan eskainita </H2>
<p>
<video width="600" height="400" controls>
  <source src="media/Mendiak.ogv" type="video/ogg">
  <source src="media/Mendiak.webm" type="video/webm">
  <source src="media/Mendiak.mp4" type="video/mp4">
  Zure arakatzailak ezin du HTML5 bideoa erreproduzitu!!
</video>
</p>
```

Arakatzailak emandako aukerak aztertzen ditu agertzen diren hurrenkeran, eta, onartzen duen formatu bat topatzen duenean, hori hartu eta bilaketa eteten du. Adibidean agertzen den oharra nabigatzaileak inongo formaturik onartzen ez badu pantailaratuko du soilik. HTML5 ulertzen ez duten arakatzailak gelditzen diren bitarterako, ohikoa da aukera ematea Flash plugina erabiltzen jarraitzen dutenei.

3.2. Streaming dinamikoa (adaptive bitrate streaming)

Nahiz eta TCPk ahalmena izan sarearen egoerara egokitzeko, hori ez da nahikoa hartzaileen artean ahalmenean dagoen aldeari aurre egiteko. Hau da, bere etxeko zuntz optiko bidezko konexioari lotua duen 4K telebistan bideo bat ikusi nahi duen erabiltzaileak eta 4G bidezko konexio batekin bere telefono mugikorreko pantaila txikian bideo bera ikusi nahi duen erabiltzaileak ezin dute jaso stream bera, nahiz eta TCP tartean egon. Zerbitzariak transmititzen badu 4K kalitateak behar duen abiaduran, 4G mugikorraren erabiltzaileak jai du, TCPk ez baitio emango beraren konexioak ez duen banda-zabalerarik (beraren pantailak ez du behar halakorik, gainera). Eta zerbitzariak 4G konexio batek euts dezakeen abiaduran transmititzen badu, zuntz optikoa gehi 4K pantaila dituen erabiltzailea ez da oso gustura egongo jasotako kalitatearekin. Bideo bera ikusi nahi duten baina behar desberdinak dituzten egoerei aurre egiteko sortu zuten streaming dinamikoa, HTTP streaming-ari lotuta.

Teknika horren helburua jasotako stream-aren kalitatea hartzailearen ahalmenera egokitzea da. Streaming dinamikoak honako hau egiten du: zerbitzariak bideo bera

izango du beste kalitate batekin kodetuta, eta hartzaileak bideoa erreproduzitzeko eta saretik jasotzeko duen ahalmenaren arabera bidaliko zaio stream-aren bertsio bat edo bestea. Adibidez, hartzailearen sare-konexiotik ezin bada jaso 2 Mb/s baino gehiago, edo haren CPUa ez bada gai 2 Mb baino gehiago erreproduzitzeko segundo batean, 2 Mb/s baino gehiago behar ez duen kodeketa bat bidaliko du igorleak.

Streaming dinamikoaren erakargarritasuna hartzaileen ezaugarriei egokitzeko ahalmenean badatza ere, haren onura haratago doa: bufferrari beteta eusteko TCPk egindako lana osatzen du. Hortik dator kio «dinamiko» adjektiboa, ez baita mugatzen transmisioaren hasieran stream-aren bertsioa aukeratzera, transmisioan zehar ere alda baitezake erabilitako kalitatea, sarearen egoerara egokitzeko. Hau da, atzematen denean sarea ez dela gai izango hasieran aukeratutako kalitateak behar duen abiadurari eusteko, zerbitzariak stream-aren kalitatea jaisten du, sareak bere ahalmena berreskuratu arte. Normalean, erabiltzaileak ez du atzemango kalitatearen bat-bateko aldaketa, erreproduzizailua beti saiatzen baita kalitatezko jauzi progresiboak egiten, eta ez bat-batekoak. Kalitatea jaisten ez badugu, ordea, azkenean etena suertatuko da erreprodukzioan, eta hori bai atzemango duela erabiltzaileak. Sarearen egoerara egokitzeko ahalmen hori bereziki erabilgarria da uneko streamingerako, non aurrekarga egiteko aukera hasierako bufferizazioa besterik ez da, sareko motelaldi baten ostean ezin baita azkarrago transmititu bufferraren betetze-maila berreskuratzeko. Streaming dinamikoan, ordea, sare-motelaldia atzeman bezain pronto, bideoaren kalitatea jaisten da, bufferetik bideoa ateratzeko abiadura eta sartzeko abiadura parekatzeko. Zerbait neurriren arabera, streaming dinamikoaren erabilerak aurrekargaren beharra % 50 jaitsi du orokorrean, eta, sarean buxadura dagoenean, % 80raino heltzen da murrizketa hori.

Streaming dinamikoaren onuradun handiak erabiltzaile mugikorrek dira, haien konexioaren kalitatea asko aldatzen baita une batetik bestera, eta, askotan, aurrekarga soilak ezin du bermatu etenik ez denik gertatuko. Streaming dinamiko gehitzen badiogu sistemari, zailagoa suertatzen da etena gertatzea.

Badaude era desberdinak streaming dinamiko gauzatzeko, baina denek dute oinarri bera: alde batetik, bideoa zatitu, bideoa zatika eskatzeko, eta, beste alde batetik, kodeketa anitz egin zati bakoitzerako. Erreproduzizailuak zati bakoitzeko eskaera independentea egingo du, eskatutako kalitatea uneko egoerara egokituta. Erabilitako kodeketek jasota egon behar dute stream-aren deskripzioan, nabigatzaileak deskargatutako metafitzategian (*manifest file*). Bistakoa da streaming dinamiko tradizionala baina konplexuagoa dela, kodetze-ahalmen (bereziki zuzeneko ekitaldietarako) eta biltegitratze-ahalmen handiagoa (bereziki aurretik grabatutako streamingerako) eskatzen baitu, baina haren abantailak sobera berdintzen dute ahalegina.

Egun HTTP streaming dinamikorako onartu den estandar bakarra **MPEG-DASH** da (*Dynamic Adaptive Streaming over HTTP*), baina oso erabiliak eta antzekoak diren beste aukera pribatu batzuk ere badaude: Adobe-ren *HTTP Dyna-*

mic Streaming for Flash (HTTPz gain, RTMP ere erabiltzen duena), Apple-ren *HTTP Live Streaming* (HLS), edo Microsoft-en *Smooth Streaming* dira ezagunak. HTML5 bideoaren arrakastaren gakoetako bat streaming dinamikoaren erabilera izan da. MPEG-DASH estandarra HTML5 *Media Source Extensions* bidez erabil dezakete web-arakatzailleek. Streaming dinamikoa izendatzeko topa deza-kegun beste termino bat *Multi Bit Rate* streaming-a da (MBR streaming).

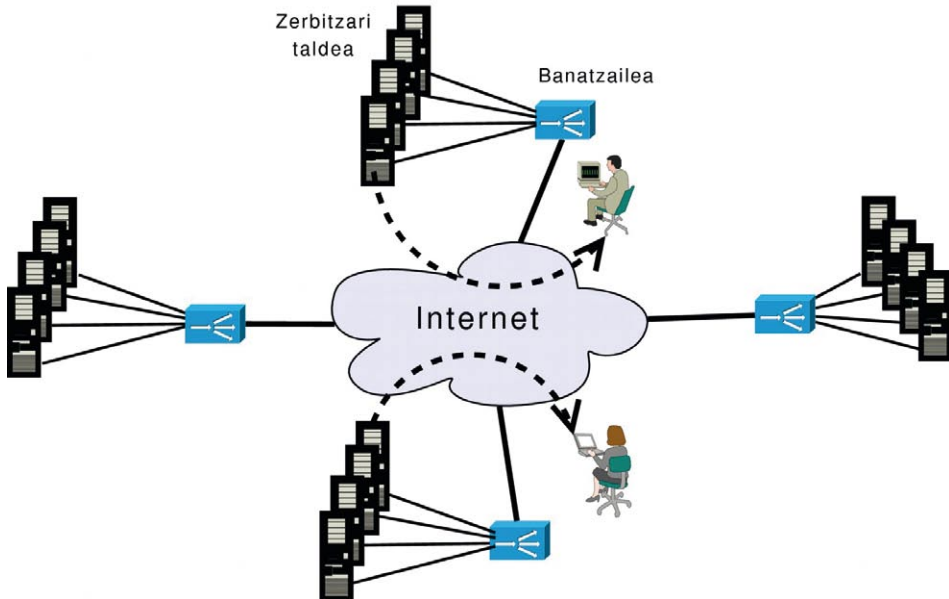
4. CDN-sareak eta streaming-a

Internet bidezko bideoen eta audioaren banaketak ikaragarriko arrakasta izan du; izan ere, azken urte hauetan sarean trafiko gehien eragiten duen aplikazioa da. Konpainia asko ari dira milioika bideo egunero milioika ikusleri banatzen Interneten. Horrek orain arte aztertu ez dugun eskala-arazo bat sortzen du: nola lortu kalitatezko zerbitzu bati eustea, hainbeste ikusle ditugunean, Interneteko edozein gunetan kokatuta, eta hainbeste bideoen eskaintzari eutsi nahi zaionean?

Streaming-zerbitzuak eskaintzen hasten den edozein taldek eredu zentralizatu bati jarraitzen dio horretarako, hau da, datugune bat (*data center*) osatzen du, bideoak gordetzeko edo, uneko saioetan, seinale digitalizatua denbora errealean jasotzeko, eta gune horretan kokatutako zerbitzariak banatzen dute seinale hori Internet osoan. Zerbitzua arrakastatsua bada, konpainiak segituan handitu beharko du datugunea, baina laster agertuko dira eskema zentralizatu horren mugak. Hasteko, horniduren muga dago, hau da, eskalagarritasun eza. Pentsatzen badugu ere eskaera handitzen den heinean nahiko zerbitzari kokatzeko toki fisikoa izango dugula gure datugunean eskaera hori asetzeko, ezinezkoa izango da zerbitzari kopuru batetik aurrera zerbitzari horiek beren lana egiteko behar diren hornidurak edukitzea. Haietako bat argindarra da: nahiz eta datugunea zentral elektriko baten ondoan eduki, kontsumo elektrikoaren muga bat izango dugu beti, gaindiezina. Horrekin lotuta dago hozteko sistemaren arazoa. Milaka zerbitzari abian daudela, kontsumitzen duten argindarraren zati bat bero bilakatzen dute. Bero horri kontrolpean eustea ez da lan makala. Eta, azkenik, banda-zabaleraren arazoa dago. Milioika bideo bidaltzeak b/s asko behar du une berean. Zer sare-azpiegitura eraiki beharko dira datugune horren inguruan? Gainera, eredu zentralizatuaren betiko arazoa ere hor dago: izaera kaltebera. Horniduraren batek (argindarra, Interneterako konexioa...) kale egiten badu, zerbitzu osoa bertan behera gelditzen da.

Eredu zentralizatuaren bigarren arazoa erabiltzaileekiko distantzia da. Ikusleak urruti kokatuta badaude sarean, gure zerbitzariak igorritako streamek konexio, sare eta bideratzaile asko zeharkatu beharko dituzte ikusleen makinetaraino heltzeko. Bide luze horretan linea edo bideratzaile ahul bat agertzen bada —hau da, gure bideoak erreproduzitzeko behar duen abiadura nahikoa emateko gai ez dena—, etenaldiak suertatuko dira erreprodukzioan, bideo puntu ahul horrek baldintzatzen

baitu, azkenean, zein izango den hartzaileak saretik jasoko duen abiadura. Arazo hori edukitzeko probabilitatea bidean dauden linea eta bideratzaile kopuruarekin batera handitzen da.



2.8 irudia. CDN sarea. Bideoen kopiak gordetzen dituzte zerbitzari taldeek, eta egokiena zerbitzatzen dio eskatzaile bakoitzari.

Streaming-zerbitzuak ematen dituzten konpainia gehienek hartu duten eredu zentralizatuaren alternatiba **Edukien Banaketarako Sareak** eraikitzea da (CDN, *Content Distribution Network*). Ideia honako hau da: ez eduki zure zerbitzari guztiak gune bakar batean, baizik eta munduan zehar barreiatutako datugune batean baino gehiagotan; datugune bakoitzean gorde munduko alde horretan eskaintzen dituzun bideoen kopiak, eta erabiltzaile bakoitzaren eskaera bideratu zerbitzu onena emango dion datugunera. Datugune bakoitzean dagoen zerbitzari taldeari **zerbitzari-kluster** deritzo (*server cluster* edo *server farm*).

Eskatutako bideoetarako CDN banaketa-eredu nagusia bada ere, zuzeneko ekitaldietarako alternatiba baliagarria da IPTV aukera ere, non ISP-en sareek CDN-aren lan antzekoa egiten baitute, izen hori erabili gabe. ISP-en sareek jatorrizko seinalea jasotzen dute, edukien hornitzaileak emanda, eta, gero, erabiltzaileei helarazten diete. CDN-sareek egiten duten hurbiltze-lan bera da, azken finean, baina, gainera, beste kapitulu batean ezagutuko ditugun teknikak erabiltzen dituzte beren sareetan trafikoa murrizteko (*multicast*) eta jasotako bideoaren kalitatea bermatzeko (QoS teknikak).

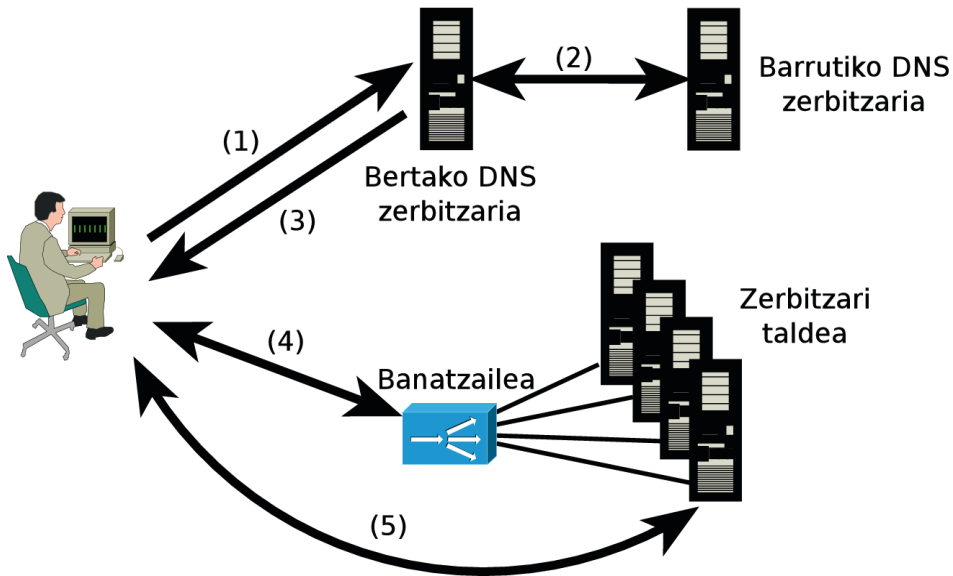
4.1. Oinarrizko funtzionamendua

CDN bidezko beste edozein zerbitzutan bezala, CDN streaming batean ere hiru urrats egin behar dira arakatzaille bati URLa ematen diogunean: (1) eskaera horri erantzuteko zerbitzari-kluster egokiena zein den aukeratu, (2) egindako eskaera kluster horretaraino bideratu, eta (3) behin eskaera kluster hori gordetzen duen datugunera iritsita, eskatutakoa klusterreko zein zerbitzarik bidaliko dion erabaki. Askotan, lehenagoko bi urratsak DNS erabiliz gauzatzen dira. Hirugarrena sare lokal batean lan egiten duen **zama-banatzaile** baten ardura da (*load balancer*).

DNS bidezko eskaeren kudeaketa azaltzeko, har dezagun 2.9 irudiko adibidea. Demagun bideoak eskaintzen dituen webgune bat dugula, w3.gureBideoak.eus, eta demagun bideo horiek gureCDN.eus domeinuan lan egiten duen CDN baten bidez banatzen direla. Webguneko orri batean bideo baterako esteka bat klikatzen dugunean (adibidez, bideoak.gureCDN.eus/20170706v URLa duena), honako hau gertatzen da:

1. Gure makinako DNS ebazleak DNS galdera bat igorriko dio gure sareko bertako DNS zerbitzariari, bideoak.gureCDN.eus izenari dagokion IP helbidea lortzeko.
2. DNS zerbitzariak galdera helaraziko dio gureCDN.eus domeinua kudeatzen duen DNS barrutiko zerbitzariari. Hark aukeratu beharko du zer klusterrek emango duen eskatutako bideoa, eta horren IP helbidea itzuliko dio DNS zerbitzariari. Aukeraketa hori egiteko irizpide batzuk aztertuko ditugu segituan.
3. DNS zerbitzariak eskaera egin zuen makinari itzuliko dio jasotako IP helbidea.
4. Lortutako IP helbideari bidaliko dio arakatzailleak bideo-eskaera. HTTP streaming-sistema bada, HTTP GET komandoa bidaliko dio. Aukeratutako zerbitzari taldeko zama-banatzailleak jasoko du GET komandoa, eta bigarren aukeraketari ekingo dio: taldekoen artean, zerbitzaririk egokiena hartuko du. Erabaki hori hartzeko irizpidea taldeko zerbitzarien arteko zama orekatzea izaten da. Behin zerbitzaria aukeratuta, zerbitzari horri dagokion bideoaren metafitxategia (*manifest file*) itzuliko dio arakatzailleari. Streaming dinamikoa erabiltzen bada, metafitxategian izango ditugu bideoaren zati bakoitzaren eskaerak egiteko behar diren URLak, bakoitza kalitate batean, beti aukeratutako zerbitzariari ekiten diotenak.
5. Azkenik, arakatzailleak metafitxategitik ateratako URLetara igorriko ditu bideo-eskaerak.

Eskainitako bideoen kopiak CDNko zenbait datugunetan gordetzen dira. Bideoaren eskari-mailaren arabera hedatuko dira bideo horren kopiak zerbitzari taldeetan. Erabiltzaile batek bideo bat eskatzen duenean, erabiltzaile horri egokitutako klusterrean bideo horren kopiarik ez badago, kluster horrek beste gune batetik ekarriko du bideoa, eta, aurretik grabatuen kasuan, hurrengo eskaera baterako gordeko du. Bideoak biltegitratzeko ahalmena agortzen zaionean, aspaldian eskatu ez direnak ezabatzen ditu, web cache zerbitzarietan egiten den era berean.



2.9 irudia. Bideo eskaera bati erantzuteko urratsak, CDN baten taldeen artean aukeratzeko DNS erabilita.

Adibide horretan, aurretik grabatutako bideoen banaketaren kasua hartu dugu (*on demand* zerbitzua). Uneko transmisio batean, lehenengo urratsa izango da edukien jabeak sortutako stream-a CDNko gune batera bidaltzea. Hortik, denbora errealean, erabiltzaileek atzitzen dituzten CDNko beste guneetara birbidali behar da seinalea, eta, aldi berean, gune horietatik jasoko dute bideoa ikusleek. Funtsean, aurretik grabatutako bideoekin egiten den prozedura bera da, baina, uneko streamingean, denbora errealean transmititzen da bideoa, CDNko klusterretan kopiarik gorde gabe.

4.2. CDN erak

Badaude irizpide desberdinak CDN bidezko bideo-banaketa sistemak sailkatzeko. Lehen, zerbitzari taldeak ostaten dituzten datuguneen jabegoari dagokio. Horri dagokionez, CDN pribatu bat erabil daiteke bideoak banatzeko, edo CDN zerbitzua beste bati kontratatu. Lehenengo kasuan, datugunea eta haren azpiegitura osoa bideo-streaming zerbitzua ematen duen erakundearenak berarenak dira. Hau da, edukien jabea (*content provider*) eta CDNaren jabea entitate bera da. Horren adibiderik onena 2017ko streaming-zerbitzu erabiliena dugu: YouTube. Haren jabeak, Google konpainiak, CDN propioak erabiltzen ditu bideoak banatzeko, eta, are gehiago, sare propioa ere badu klusterren arteko trafikoa mugitzeko, Internet publikoa zeharkatu gabe. Beste aukeran, CDNaren jabea eta edukien hornitzaileak ez dira berak, hau da,

CDNaren jabeak gune batzuk alokatzen ditu besteen edukiak hor kokatzeko. Hala da aurreko adibidean ere, non *Gurebideoak* izeneko entitateak *GureCDN* izeneko sareari kontratatu dio bideoen banaketa. Horrela eginez, behar diren inbertsioak askoz txikiagoak direnez, errazago da zerbitzua abiatzea, eta, ondorioz, gehiagotan topatuko dugun aukera da. Internet bidezko telebista-zerbitzua (filmak eta serieak) ematen duen konpainia nagusiak, Netflix-ek, horrelako eskema bati jarraitu zion hasierako urteetan. Izan ere, Netflixek hainbat CDN-sare erabili izan ditu edukiak banatzeko (Akamai, Limelight eta Level-3 CDNak erabiltzen zituen 2012an). Geroago, besteen CDNak erabiltzeaz gain, CDN-sare propioa ere garatu du.

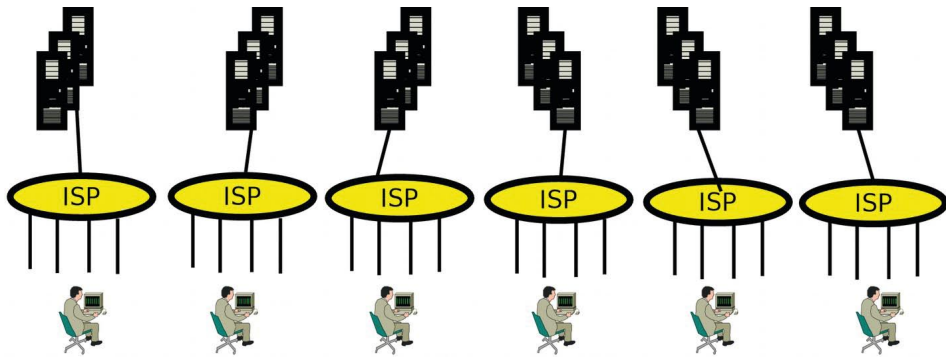
Zerbitzari taldeen kokapena

Datuguneak kokatzeko estrategiari dagokionez, CDNak bi eratakoak izan daitezke: datuguneak Interneteko periferian kokatzen dituztenak eta datuguneak Interneteko ardatzean kokatzen dituztenak. Lehenengo aukeran, datuguneak ISPen sareetan kokatzen dira, erabiltzailearekiko hurbiltasuna bilatuz eta, horrekin batera, sarean zeharreko bidaian suertatzen diren arazoak (batez ere bideratzaileen buxadurak) minimizatuz. Jendea bizi den kaleetan zabaldutako denda-sare baten antza du estrategia horrek. Ondorioz, datugune txiki asko abiatu behar dira. Hor dago estrategia horren arronka nagusia: gune guztien sorrerak eta mantenuak dakarren inbertsioa. Interneteko ardatzetik gertuko estrategian, askoz datugune gutxiago erabiltzen dira, baina handiagoak dira, eta Tier-1 sareekin daude konektatuta; normalean, Tier-1 batekin baino gehiagorekin. Horrela, bideoa igortzen duten zerbitzarien eta jasotzen duten erabiltzaileen arteko bidearen luzera mugatzen da, baina, nolana ere, zabaldutako gune kopurua minimizatu egiten da. Merkataritza arruntarekiko analogiarekin jarraituz, bigarren estrategia horren parrekoak merkataritza-gune erraldoien sareak dira. Haien guneak hirien kanpoaldean kokatzen dira, erabiltzaileengandik kalean bertan dauden dendak baino zertxobait urrunago, baina, aldi berean, gune bakoitzaren erabiltzaile potentzialen kopurua askoz altuagoa da, eta guneen irisgarritasuna ona da. Datugune kopurua askoz txikiagoa izanik, beren arteko komunikaziorako sare pribatu bat eraikitzea ekonomikoki bideragarria izan daiteke, eta, orokorrean, errazago kudeatzen dira. Horren truke, akaso erabiltzaileek atzemango dute atzerapenak handiagoak eta sare-abiadurak txikiagoak direla.

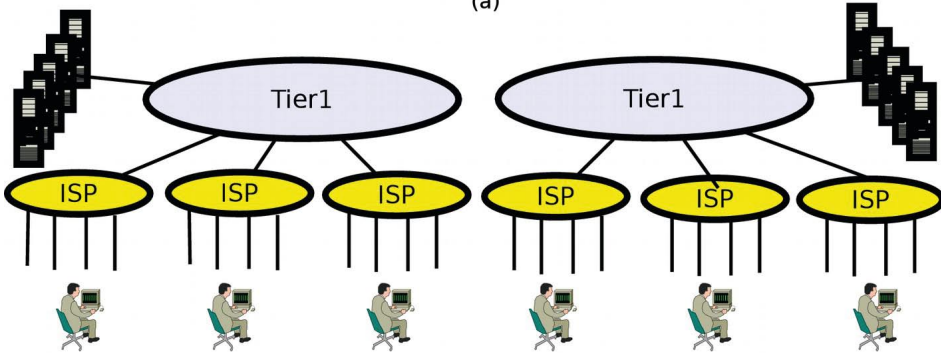
Zerbitzari taldea aukeratzeko estrategiak

CDN baten funtzionamendu zuzenaren oinarria 2.9 irudiko bigarren urratsean datza, hau da, zerbitzari taldearen aukeraketan. Erabaki hori hartzeko, bi faktore dira nagusiak: eskatzailearen eta zerbitzari taldeen arteko distantzia, eta zerbitzari talde bakoitzaren lan-zama. Erabaki optimoak bi faktore horien arteko oreka bilatu behar du, helburua bideoa etenik gabe jasotzea izanda betiere. Hori lortzeko, bide egokia da aukeraketa lan-zama eramangarria duten taldeetara mugatzea eta haiengandik gertuen dagoena hartzea. Aukeraketa egiten duen zerbitzariak talde bakoi-

tzaren lan-zama zein den monitoriza dezake, zerbitzari talde bakoitzaren zama-batzaileekin elkarlanean, baina haien artean eskatzaileak gertuen duena zein den jakitea zailagoa da. Zailtasuna Interneten dauden distantziak neurtzean datza. Berez, distantzia fisikoa baino gehiago, bi makinaren arteko bidea egiteko denbora da benetan interesatzen zaiguna, hau da, denborazko distantzia.



(a)



(b)

2.10 irudia. Zerbitzari taldeak zabaltzeko estrategiak: (a) Periferian talde asko zabaldu, (b) Muinean talde gutxi zabaldu.

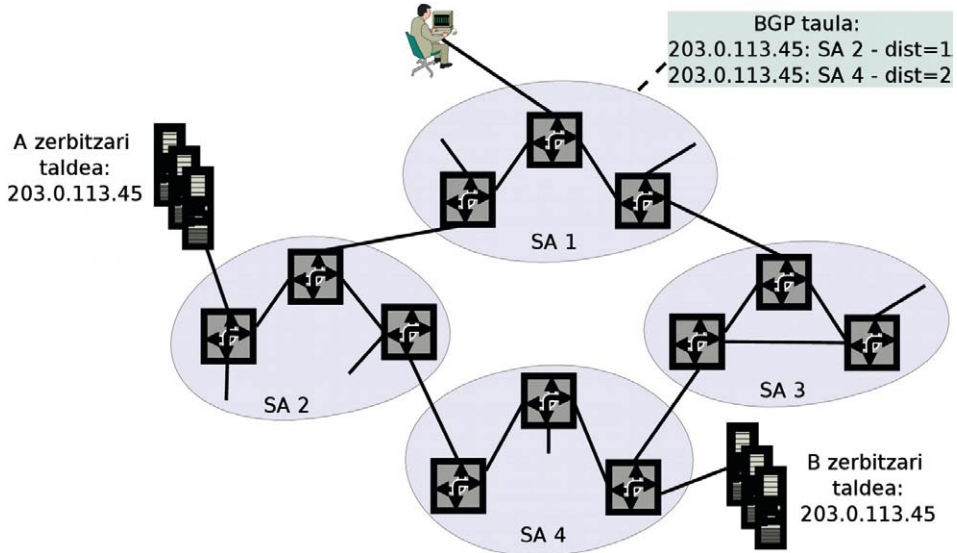
Denbora hori balioesteko modurik errazena irizpide geografikoa ezartzea da. Horretarako, DNS zerbitzari lokal baten eskaera jasotzean, DNS barrutiko zerbitzariak geokopakenerako zerbitzuren bat erabiltzen du (Interneten badaude hainbat), eskatzailearen DNS hori non dagoen jakiteko. Adi: *non* horrek esanahi geografikoa du, hau da, horrelako geokopakapen-zerbitzuek IP helbide bati munduko mapan dagokion toki fisiko bat azaltzen dute, ez Interneten dagokiona. Informazio geografiko horrekin, barrutiko zerbitzariak erabiltzailearen DNS zerbitzari lokaletik kilometro gutxienerako distantzian dagoen CDNko zerbitzari taldea aukeratu du. Horrela egindako aukeraketa egokia da kasu gehienetan, baina ez beti.

Interneteko distantzia eta distantzia geografikoa bat ez datozenean, kale egiten du irizpide geografikoak. Gogoratu, bi makina eraikin berean egonda ere, balitekeela datagrama batek Internet osoa zeharkatu behar izatea bien arteko ibilbidean, makina horien ISPen arabera. Gainera, erabiltzaile batzuek erabiltzen dituzten DNS zerbitzari lokalak ez daude beren sarean, baizik eta urruti beste sare batzuetan, eta sare horiek urruti egon daitezke. Eta, are gehiago, irizpide geografikoa estatiakoa da: beti esleitzen dio gune bera eskatzaile berari, baina Internet dinamikoa da (errepideak bezala), eta distantziak betetzeko denborak sarearen egoeraren araberrakoak dira.

Interneteko distantziaren izaera dinamiko horri erreparatuta, hobe da aldiro distantziaren denbora-neurketak egitea. Horretarako bideetako bat da CDNko datuguneetatik mundu osoko DNS zerbitzari lokaletara zundak bidaltzea (adibidez, ping mezuak edo DNS galderak), eta emaitzak aukeraketa egingo duen barrutiko zerbitzariari helaraztea. Horren oztopoa da DNS zerbitzari lokalak konfiguratuta egoten direla zunda horiei ez erantzuteko. Hori gaintzeko, trafikoa arrunta erabili behar da distantziak neurtzeko. Hori egiteko, eskatzailearen eta zama-banatzzailearen arteko trafikoa monitorizatzeko sistema bat abia daiteke datuguneetan, eta neurtutako distantzien berri eman barrutiko zerbitzariari. Aukera horrek ere baditu arazoak, ordea: gune batetik erabiltzaile batengana zer distantzia dagoen jakingo dugu, baina (1) erabiltzaile horrekin harremana izan eta gero, eta ez aukeraketa lehenengo aldiz egiten denean, eta (2) erabiltzaileak harremanik izan ez badu beste datuguneen zerbitzariekin, ez ditugu izango beste guneetatik egindako neurriak, eta ez dugu jakingo zein den hoberena. Lehenengo arazoari aurre egiteko modu bat irizpide geografikoa erabiltzea da sare *ezezagunetik* jasotako eskaerei erantzuna ematean. Bigarren arazoaren kasuan, aldiro aukeratu daiteke sare eskatzaile horrekiko distantzia neurtua ez dugun datuguneetako bat, distantzien datu-basea osatu ahal izateko. Kasu horietan, ordea, bezero horrek jasoko duen zerbitzua ez da izango, agian, izan zitekeen hoberena.

Aukeraketa egiteko beste era oso desberdin bat da *IP anycast* erabiltzea (RFC 1546). Anycast ideia zerbitzari talde guztiek (beren zama-banatzzaileek, alegia) IP helbide bera erabiltzean datza. IP helbide bakar horretara bidaliko dira CDNari egindako eskaera guztiak, baina sareko bideratzaileek CDNko zenbait zerbitzari taldetara bideratuko dituzte eskaera horiek, bideratzaile bakoitzaren birbidaltze-taulen edukiaren arabera. Bideratzaile bakoitzak gertuen duen CDNko zerbitzari talderantz bideratzen ditu datagramak, hori baita, azkenean, Interneten erabiltzen diren bideratze-protokoloen helburua. Halako protokoloak erabiliz, bideratzaileek beren birbidaltze-taulak betetzen dituzte, IP helbide bakoitzeraino heltzeko biderik onena aukeratuz. Horrela, CDNko zerbitzari talde bakoitzak bere buruarren berri ematen dio Internet osoari, BGP protokoloa erabiliz, eta, ondorioz, inguruko sareetako bideratzaileek CDNrako bide hori erregistratuko dute. Beste zerbitzari taldeen berri ere jasoko dute bideratzaileek BGP bidez, baina CDNko IP helbide horretaraino ailegatzeko jasotako beste bide horiek luzeagoak direla ere

atzemango dute BGP mezuetan, eta ez dituzte beren birbidaltze-tauletan sartuko. Adibidez, CDN batek 10 kluster baldin baditu Interneten zehar, 10 kluster horiek 10 bide zabalduko dituzte Interneten zehar IP helbide bakar baterako. Interneteko bideratzaile bakoitzak 10 bide horien berri jasoko du, BGP distantziarekin batera (zeharkatutako sistema autonomoen kopurua), eta laburrena aukeratuko du bere birbidaltze-taulan sartzeko.



2.11 irudia. Anycast helbideen erabilera, eskaerak gertuen dagoen CDN bateko zerbitzari taldearengana eramateko. SA = Sistema Autonomoa.

2.11 irudian dugu horren adibidea. Irudian, A eta B klusterrak ditugu, bakoitza sistema autonomo batean kokatuta, baina biek 203.0.113.45 IP helbidea erabiltzen dute. Klusterrak ostaten dituzten SA2 eta SA4 sistema autonomoek zabalduko dute Interneten, BGP erabiliz, 203.0.113.45 IP helbidea bertan dutela. Eskaera egin duen erabiltzailea ostatatzen duen SA1 sistema autonomoko bideratzaileek 203.0.113.45 helbidera heltzeko bi bideen berri jasoko dute, baina beren birbidaltze-tauletan laburrena sartuko dute; SA2 sistema autonomotik dabilena, alegia.

Anycast erabiltzen denean, DNS barrutiko zerbitzariak ez du aukeratu behar zerbitzua emango duen zerbitzari taldea, lan hori bideratzaile arruntek egiten baitute, kontziente izan gabe, datagrama bat CDNko helbidera bideratzen duten bakoitzean. Bezero batek bideo bat ikusi nahi duenean, barrutiko DNS zerbitzariak CDNko anycast helbidea itzuliko du, bezero horren kokapena edozein izanda ere. Gero, bezeroak datagrama bat bidaltzen dionean itzultako IP helbide horretara, bideratzaileek eramango dute, beren birbidaltze-taulan arabera, gertuen duten

klusterreraino. Horrela eginez, gainera, aukeratutako klusterra ez da izango bezeroaren DNS zerbitzari lokalak gertuen duena, baizik eta benetan bezeroak gertuen duena. Hala ere, sistema horrek ere ez du kontuan hartzen Interneteko distantzien izaera dinamikoa, ezta kluster bakoitzaren lan-zama ere.

5. P2P Streaming-a

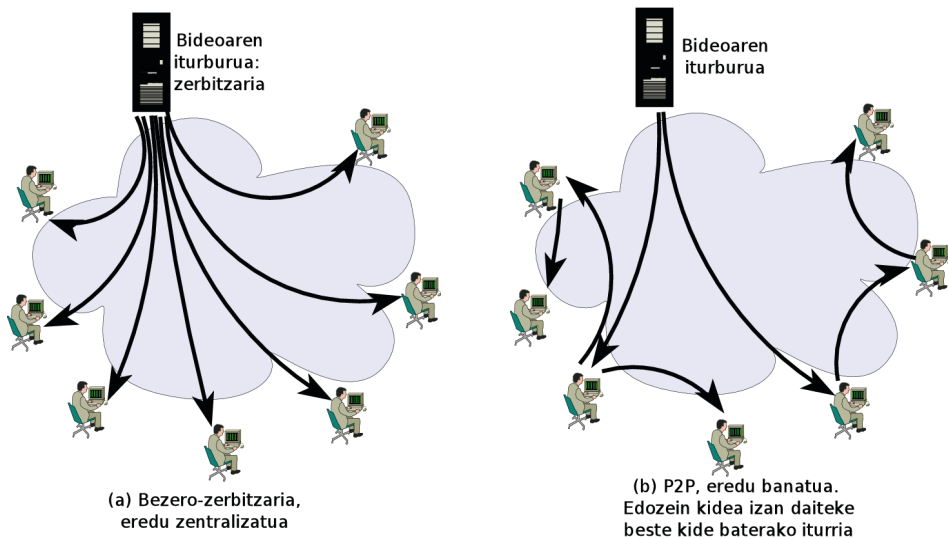
CDN-sareek eskema zentralizatuaren eskalagarritasunaren arazoa gainditzen dute, baina garestiak dira. Soilik konpainia handi batzuek sortu eta kudea dezakete CDN bat osatzen duen datugune sorta. Horren alternatiba ere —CDN baten zerbitzuak alokatzea gure bideoak banatzeko, alegia—, ez dago edonoren esku. Bideo-sortzaile partikularrek beren bideo laburrak lagunen eskura jarri nahi dituztenean, nahikoa izan ohi dute sarean dauden doako aukerak hartzea, CDN streaming-a erabiltzen dutenak. Dena den, CDNak guztiz nagusitu baino lehen, eta CDN streaming-aren garapenarekin batera, P2P streaming-a egiteko aukera ere sortu zen XXI. mendearen hasieran. Denboraren poderioz, CDN aukera nagusitu da, eta, abiatu ziren P2P streaming egitasmo asko desagertu badira ere edo CDN-izaera hartu badute ere, badago teknologia hori erabiltzen duen komunitate handi bat Interneten. Beste alde batetik, ez da baztertu behar etorkizunean gainditzea egun P2P streaming sistemek dituzten arazoak.

5.1. P2P streaming-aren erakargarritasuna

P2P akronimo anglosaxoia hitz-joko batetik eratorritakoa da. Berez, *peer-to-peer* du esanahia, hau da, berdinen artekoa. Ohiko bezero-zerbitzari ereduaren alternatiba gisa sortu zen, Interneten zerbitzu bat jaso ahal izateko inongo zerbitzariaren menpe izan gabe, eta, berez, zerbitzari hori kudeatzen duen inoren menpe ez egoteko zerbitzu horren erabiltzaileak. Sare-aplikazioen eredu berri hori fitxategiak partekatzeko asmatu zuten, baina, gero, beste aplikazio asko aurkitu zaizkio; tartean, P2P streaming-a. Sistemaren ideia honako hau da: zerbitzua jaso nahi duten erabiltzaileek, eta ez zerbitzariak, zerbitzua emango diote elkarri. Eredua, teoriarik behintzat, guztiz horizontala da: partaide guztiek zeregin bera dute, eta, zerbitzariak sortzen duten menpekotasunaren aurrean, partaideen arteko elkarlana dago. Hori horrela izanik, zenbat eta erabiltzaile gehiago izan, orduan eta zerbitzu hobe lortzen da, P2P sarean parte hartzen duten erabiltzaile horiek ere beste erabiltzaileei zerbitzua eman diezaieketelako. Hau da, P2P sistemak guztiz eskalagarriak dira, edo, beste era batean esanda, erabiltzaile kopurua handitzen den heinean, sistemak erantzun egokia ematen du kalitaterik galdu gabe eta sistema bera handitzeko beharrik gabe. Bezero-zerbitzarien sistemen dinamika guztiz kontrarioa da: erabiltzaile kopurua handitzen den heinean, emandako zerbitzua narriatu

egiten da, zerbitzariak edo beste azpiegiturak (sare-ahalmena zerbitzariaren konezioan, argindarra ...) ito arte, zerbitzari kopurua eta behar diren beste azpiegitura guztiak handitu ez badira.

P2P streamingeko sare baten kasuan, partaide bakoitzak bideoaren zatiak jasotzen ditu beste partaideengandik, eta, aldi berean, jasotakoak beste partaideei birbidaltzen dizkie. Sarean partaide gehiago egonez gero, aukera gehiago izango ditu partaide bakoitzak bere bideo-hornitzaileak hartzeko, eta, ondorioz, kalitate hobea lortzeko probabilitatea handitzen da. Adibidez, hornitzaile batek emandako seinalea oso ona ez bada, sarean urruti dagoelako, gertuago dagoen beste partaide bat topatzea erraza izango da partaide asko baldin badaude sarean. Edo, gure hornitzaile batek P2P sarea uzten badu, hobe da beste partaide asko aukeran izatea, bera ordezkatzeko. Eskalagarritasun horretan datza P2P sistemen erakargarritasuna, baita abiatzeko erraztasunean ere.



2.12 irudia. Bezero-zerbitzaria eta P2P eredua.

5.2. P2P streaming-erako aukerak

Bi dira: zuhaitz moduko P2P sareak eta P2P lainoak (*swarming* P2P). P2P zuhaitzek multicast kontzeptua gauzatzen dute aplikazio mailan, multicast metasare bat eraikiz Interneten. *Multicast* kontzeptua geroago aztertuko dugu. P2P lainoetan, partaideak taldetan antolatzen dira (talde bakoitza *swarm* bat da, hau da, erlekume

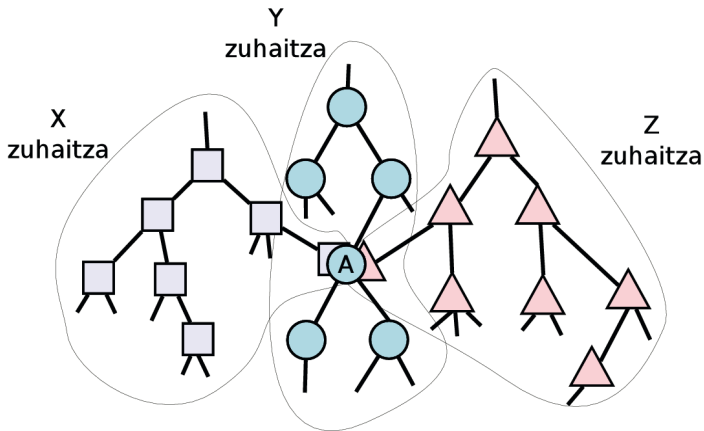
bat), eta partaide bakoitzak taldeko beste partaide batzuekin trukutzen du informazioa, batzuei igorri eta besteengandik jasoz. Bi kasuetan, zuhaitzean eta lainoan, bideoa hainbat aldiz kodetzen da, MDC teknika erabiliz.

Multiple Description Coding (MDC)

MDC kodetze-sistema bideo bakarra hainbat **azpistream**etan kodetzeko eta transmititzeko erabiltzen da. Azpistream bakoitzari deskribapen (*description*) deritzo teknika horretan. Bideoa erreproduzitzeko, deskribapen bakar bat jasotzea nahikoa da, baina hainbat deskribapen ere har daitezke paraleloan, eta, guztiak erabilia, bideoa erreproduzitu. Erreprodukzioan lortutako kalitatea erabilitako deskribapen kopuruaren arabera da: maximoa izango da deskribapen guztiak erabiltzen direnean. Hori horrela izanik, partaide batek ahalik eta deskribapen gehien lortu behar du beste partaideengandik, eta, aldi berean, igortzeko ahalmenaren arabera, beste partaideei ahalik eta deskribapen gehien birbidaltzen saiatu behar du. Kodetze-sistema horri esker, gainera, streaming dinamikoa egin daiteke P2P sareetan, era naturalean, partaide bakoitzak bilatuko baitu jaso dezakeen deskribapen kopuru handiena une bakoitzean.

P2P zuhaitzak

Aukera horretan, partaideak zuhaitzetan antolatzen dira, hau da, partaide batek jasotzen duen informazioa beste hainbat partaideri birbidaltzen die. Salbuespena zuhaitzaren hostoak dira, ez baitira birbidaltzen beste inori. Eskema horrek talka egiten du erabiltzaileen Internet-konexioen ahalmenaren asimetriarekin. Hau da, nodo batek jasotze-ahalmen gehiena erabiltzen badu stream bat ahalik eta kalitaterik hoberenean jasotzeko, ezingo du igorri abiadura berean, are gutxiago kopia bat baino gehiago, etxeetako Internet-konexioek askoz ahalmen handiagoa baitute beheanzko noranzkoan (*downstream*), goranzkoan baino (*upstream*). Horregatik erabiltzen da MDC kodeketa P2P streamingean. Beraz, bideo bat ikusteko, ez da sortzen zuhaitz bat partaideen artean, baizik eta hainbat zuhaitz, eta zuhaitz bakoitzean MDC kodeketak eratorritako deskribapen bat banatzen da partaideen artean. Erabiltzaile batek hainbat zuhaitzetan hartuko du parte, transmisio-ahalmenaren arabera. Normalean, partaide bat zuhaitz bakar batean izango da barruko nodoa, eta, beste guztietan, hostoarena egingo du. 2.13 irudian, adibidez, A partaideak hostoa da bi zuhaitzetan eta barruko nodoa beste batean. Zuhaitzak sortzeko eta eguneratuta eusteko, algoritmoak gako nagusia dira P2P zuhaitzen bidezko banaketan. Erabilitako algoritmoak saiatzen dira zuhaitzak ahalik eta egonkorrenak eta laburrenak izan daitezen. Arazo handiena partaideek alde egiteari aurre egitea da.

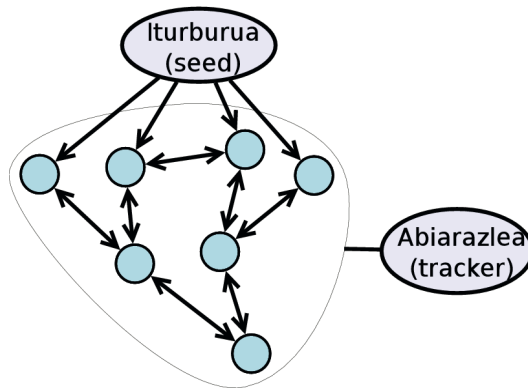


2.13 irudia. Bideo baten banaketa P2P hainbat zuhaitzetan. Irudian hiru MDC azpistream banatzen ari dira, bakoitza bere zuhaitzetan. A nodoa hostoa da X eta Z azpistreamerako zuhaitzetan, eta barruko nodoa Y zuhaitzetan.

Nahiz eta P2P izaera aldarrikatu, ohartu sistema horretan partaide guztiak ez dira berdinak. Bideoaren iturburua den nodoak beti eduki behar du igortzeko ahalmen nahikoa MDC deskribapen guztiak aldi berean transmititzeko. Are gehiago, saiatu behar da MDC deskribapen bakoitzeko ahalik eta kopia gehien isurtzen sarean. Haietako kopia bakoitza zuhaitz baten iturburua izango da, eta, beraz, bideoaren iturria den nodoa zuhaitz guztien iturburua da. Tartean agertzen bada jasotako deskribapen guztiak birbidaltzeko ahalmena duen partaideren bat, ederto. Horri **supernodo** deritzo. Supernodoak bai ager daitezke hainbat zuhaitzetan barruko nodo gisa, eta inon ez hostoarena egiten. Zerbitzua iturburuaren eta supernodoen menpe dagoenez, zilegi da kolokan jartzea eskema honen P2P izaera, bere filosofian behintzat.

P2P lainoak

P2P streamingeko lainoek (**swarming**) fitxategiak trukatzeko BitTorrent sistemaren ideia bera hartzen dute. Laino batean, partaideen arteko loturak ez daude hierarkikoki antolatuta, zuhaitzetan bezala, baizik eta zorizko moduan, sareta baten antza hartuta. Partaide batek iturri bat baino gehiago izango ditu, deskargatzeko ahalmenaren arabera ahalik eta MDC deskribapen gehien jasotzeko. Beste alde bate-tik, igortzeko ahalmenaren arabera, deskribapen horiek guztiak beste partaideei birbidaliko dizkie. Bideo bat ikusteko, partaideak laino batean sartu behar du. Horretarako, laino horren nodo abiarazle bat behar du (**bootstrapping node**), balizko iturrien zerrenda lortzeko. Abiarazleak lainoko partaide bakoitzaren lan-zama erregistratzen du une bakoitzean, eta informazio horrekin prestatzen du partaide berri bakoitzarentzako zerrenda. BitTorrent hizkeran, **abiarazlea** *tracker* da, eta bideoaren iturburua den makina, berriz, **seeda**. Partaideen arteko informazio-trukea bi noranzkoetan egin daiteke, edo bakar batean. 2.14 irudian duzu laino baten adibidea.



2.14 irudia. P2P laino bat (swarming).

P2P lainoak eta zuhaitzak hasieran ematen duen baino antz handiagoa dute. Partaide baten zuhaitz guztiak aldi berean kontuan hartuta, lainoa bezalako egitura bat sortzen da, baina lotura beti noranzko bakarrekoak izanik. Bi kasuetan, partaide bakoitzak deskribapen batzuk jasotzen ditu beste partaide batzuegandik, eta beste partaide batzuei helarazten dizkie haietako deskribapen batzuk. Bi kasuetan behar da abiarazlearena egiten duen nodoren bat, askotan bideoaren iturburuak berak egiten duena. Eta, erreproduzitzen hasi baino lehen, bietan gehitu behar zaio aurrekarga-denborari P2P sarean sartzeko behar den tartea (*join time*). Sistemen eta P2P partaide kopuruaren arabera, denbora horiek aldakorrek dira. Ideia bat egiteko, 4 eta 15 segundo arteko sartzeko denborak neurtu dira. Kontuan izan denbora hori behar dela ikusten ari garen bideoa aldatzen dugun bakoitzean, horrelako aldaketa batek P2P sarean aldatzea baitakar. Orokorrean, emaitza hobeak ematen dituzte P2P lainoek zuhaitzek baino.

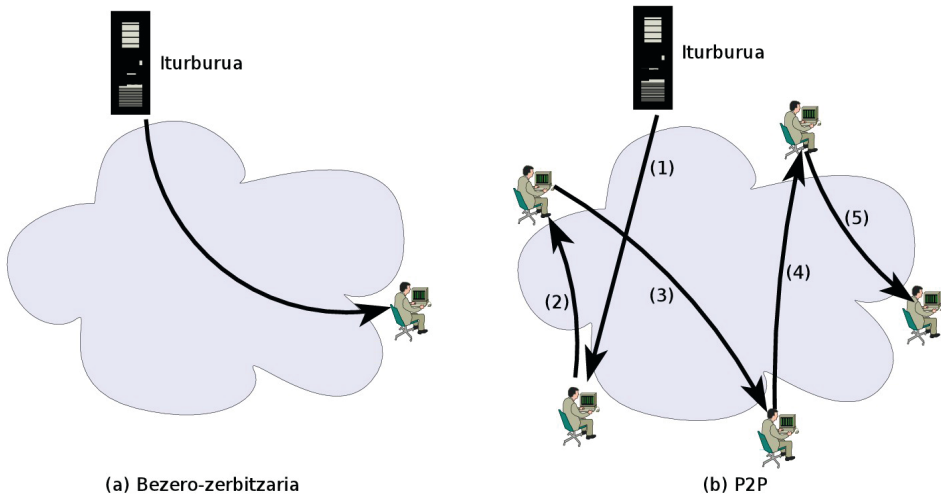
5.3. P2P streaming-aren mugak

Inbertsio-behar baxuagatik eta eskalagarritasunagatik oso erakargarria izanda ere, P2P streaming-a ez dago oso hedatuta, CDN streaming-arekin alderatzen badugu behintzat. Errealitate horren arrazoi nagusiak bi dira: erabiltzaileen sinkronizazioaren beharra eta lortutako kalitate eskasa.

Sinkronizazioaren beharra

Sinkronismoari dagokionez, ohartu P2P sistema baten partaide guztiak aldi berean jaso behar dutela zerbitzua; streaming-aren kasuan, horrek uneko streaming-aplikazioetara (*live streaming*) mugatzen du erabilgarritasuna, aurretik grabaturiko bideoen eskari-zerbitzuan (VoD) oso baxua baita erabiltzaileen arteko sinkronizazioa. Hau da, eskaria ikaragarria duten bideoen kasuan izan ezik,

oso zaila da hainbat partaidek une bertsuan eskatzea bideo bera ikusteko. Uneko streaming-ak, aldiz, berezkoa du sinkronizazio hori, beti aldi berean ari baitira ikusle guztiak ikusten zuzenean igorritako bideoa. Baina, P2P streaming-aren sus-tatzaileen zoritxarrerako, ikusleek gero eta gehiagotan bilatzen dute aurretik grabatutako bideoen zerbitzua, ez uneko telebistarena. Izan ere, telebistaren kontzep-tua aldarazten ari dira ikusleak, garai bateko hedapen-eredua baztertuz eta eskatu ahalako eredu berria hartuz. Egungo telebista ikusleak, batez ere gazteak, ez dira eroso sentitzen ordutegi eta telebista-programazio bati lotuta; haiek aukeratzen dute zer, noiz eta nola (egongelako telebistan, logelako ordenagailuan, tabletan...) ikusi nahi duten bideo bat (*programa* hitza gero eta gutxiago erabiltzen dugu pan-taila batean ikusten duguna izendatzeko), eta ez daude prest publizitaterako etenik pairatzeko film baten erdian daudela.



2.15 irudia. Iturburua eta erreproduzitzaileraren arteko distantzia. Irudiko P2P aukeran, bost aldiz zeharkatu behar du stream-ak erreproduzitzaileraino heldu arte.

P2P streaming-a aurretik grabatutako bideoen banaketarako egokia ez bada ere, zuzeneko ekitaldiak hor daude. Baina, eremu horretan ere, CDN streaming-a eta, batez ere, betiko telebista-sareak dira nagusi, eta ez hain merkea eta eskalagarria den P2P streaming-teknologia. Arazoa lortutako kalitatean datza. Alde bategatik, P2P streaming-sistemek oso atzerapen nabaria sortzen dute ekitaldiaren beraren eta haren erreprodukzioaren artean. Atzerapen horretan, P2P sarean sartzeko denborak (*join time*) eragiten du, baita aurrekarga-denborak ere, zeina P2P sistemetan CDNetan baino handiagoa baita, P2P sareak CDNak baino ezegonkorra-koak baitira eta informazioak ibilbide luzeagoak egin behar baititu nodoen artean.

Egonkortasunari dagokionez, edozein unetan gerta daiteke partaide baten iturriren batek P2P saretik alde egitea. Hori gertatzen denean, partaideak denbora-tarte bat behar du beste iturri bat lortu arte. Etengabeko iturri-aldaketa horri aurre egiteko (*churn* esaten diote ingelesez, *change-and-turn* hitzetatik eratorrita), bufferizazio-maila handitu behar da, eta horrek erreproduzitzeko atzerapena handitzea dakar. Beste alde batetik, gogoratu iturburuaren eta erreproduzigailuaren arteko distantziak ere handitzen duela etenak izateko arriskua. P2P sareetan, distantzia hori, segundotan neurtuta, askoz handiagoa eta ezegonkorra da, tartean hainbat P2P partaide eta bideratzaile baitaude, eta ez soilik hainbat bideratzaile (bideratzaileak, gainera, askoz eraginkorragoak dira datagramak birbidaltzeko P2P sareko partaideak baino). Horrela, ekitaldi beraren ekintzak betiko hedapen-sare bidezko saioan minuturen bat lehenago gertatzen dira P2P saio batean baino. Ñimiñokeria dirudien horrek egundoko garrantzia du joko olinpikoen 100 metroko lasterketako finala ikusten ari garenean, kasurako.

Bideoaren kalitatea eta banda-zabalera

Beste alde batetik, banda-zabaleraren arazoa dago P2P streaming-sareetan. Hori ulertzeko, demagun bideo bat 4 K kalitatean ikusteko 5 Mb/s-ko abiadura behar dela (abiadura hori aldatzen da kodeketa-sistemak hobetzen diren heinean). Hasiera batean, gure sare-konexioak 5 Mb/s-ko deskarga-abiadura ematen badigu, kalitaterik hoberenean ikusi behar genuke bideoa. CDN baten zerbitzari batek, horretarako dimentsionatuta badago, 5 Mb/s-ko abiaduran bidaliko digu stream-a, eta, sarean aparteko arazorik ez badago, 4 K-ko bereizmenarekin ikusiko dugu bideoa. Demagun P2P alternatiban 5 Mb/s horiek 1 Mb/s-ko abiadurako 5 MDC deskribapenetan dagoela banatuta jatorrizko saioa. P2P sare horretan, goranzko konexioan 1 Mb/s libre duten 5 partaide aurkitu beharko dugu bideoa 4 K kalitatean ikusteko. Atalase baxuagoa edukitzearren, 500 kb/s-ko deskribapenak egin daitezke, baina, kasu horretan, bost partaideren ordeztu, 10 partaide topatu beharko ditugu 4 K kalitatea lortzeko behar diren 10 deskribapenak guri hornitzeko. Alde batetik errazten duguna beste batetik zailtzen dugu, alegia. Praktikan, zaila da hainbeste partaiderekin elkarlanean aritzea, eta, egun, ezin dugu espero kalitate handiko bideoak lortzea P2P streaming teknologian. Erabil-tzaileen sare-konexioak asimetrikoak diren bitartean, behintzat, zenbakiak ez dira ondo ateratzen: partaide bakoitzak kontsumitzen badu, demagun, 3 Mb/s (bideo bat kalitate estandararekin behar den gutxi gorabeherako abiadura gaur), baina soilik 250 kb/s igotzeko ahalmena badu, P2P sarean partaide gehiago sartuz gero, sistema osoaren defizita handitzen da. Gainera, ustezko eskalagarritasuna desgertzen da, hau da, kide berri batek hornitzen duenak (250 kb/s, adibide honetan) ez du estaltzen sortzen duen behar berria (3 Mb/s gehiago). P2P teknologia erabiltzen duen Zattoo sisteman 2008an egindako neurrien arabera, sareko partaideen % 50ak ezin zuten bideo baten erdia ere birbidali, eta partaideen % 82k ezin zuten birbidali bideo oso bat.

Goranzko banda-zabaleraren mugarik ez dago P2P lainoak erabiltzen dituen fitxategi-trukeetan (adibidez, BitTorrent sistemetan), aplikazio horretan ez baitago streaming-aplikazioan dugun denbora errealik. Fitxategi bat trukatzeko duen baino batean, elkarlanean aritzen dira ia fitxategi osoa duten partaideak eta lainoan sartu berriak. Bideo bat ikusterakoan, aldiz, filmaren hasieran dagoen partaideak ez du ezer trukatzeko film bera minutu batzuk lehenago ikusten hasi den beste partaide batekin. Gainera, BitTorrent sistemetan erabiltzen den *tit-for-tat* estrategiak ez du balio streaming-aplikazioetan, sinkronizazioaren beharrarengatik. Estrategia horretan, A partaide batek B partaideari igorriko dio informazio kantitatea, B-k A-ri bidaltzen dion informazio kantitatearen arabera. *Tit-for-taten* helburua bizkarroiak (*leechers*) bazterzea da, hau da, besteengandik informazio bila etorri baina besteei informazioa birbidaltzeko prest ez daudenak sistematik ateratzen ditu *tit-for-tat* jarduerak. Streaming batean, partaide baten iturria diren beste partaideek onartu behar dute elikatutako partaide horrek ezin diela ezer eskaini, berak izango dituen bideo zatiak iturriek dagoeneko erreproduzituak izango baitituzte.

Partaideen goranzko ahalmenaren defizitari aurre egiteko, P2P streaming-a erabiltzen duten sare batzuek CDN-izaera ere hartu dute. Lehen aipatu dugun Zattoo sarea eta PPLive horren adibideak dira. Erabiltzaileei kalitate minimo bat eskaintzeko, nodo errepikatzaileak gehitu dituzte sarean. Errepikatzaileak iturburuaren kopia dira, eta haien funtzioa partaide berriak elikatzea da, partaide zaharrek horretarako goranzko ahalmen nahikoa ez dutenean. Azkenean, errepikatzaileek CDN-sare bat osatzen dute.

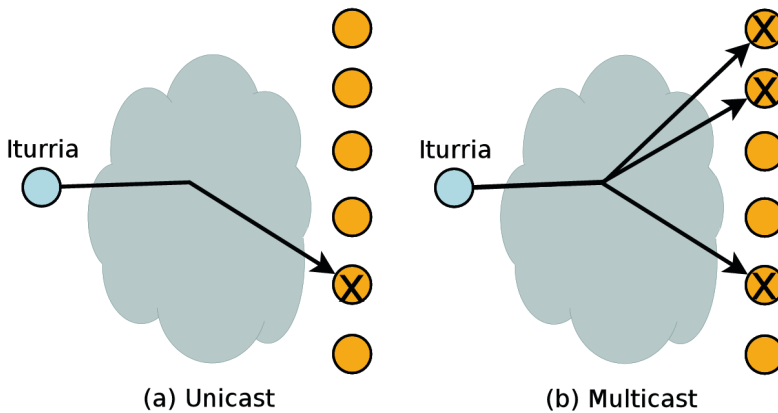
Arazo horiek direla eta, P2P streaming-teknikaren erabilera mugatuta dago. Betiko telebistarekin kompetentzian aritzen saiatu diren P2P egitasmo gehienek porrot egin dute. Kasurik sonatuena Joost izenekoa izan da, Skype arrakastatsuen sortzaileek 2007an bultzatu zuten Internet bidezko P2P telebista-zerbitzua. Hasiera batean, dena beren alde zegoela zirudien arren, bi urte besterik ez zuen iraun, eta lehenengo urtean P2P-izaera baztertu zuen. Helburua betiko telebista beste ekipo batzuetan (ordenagailuak, tabletak, eta abar) ikusteko aukera ematea zen.

Hala eta guztiz ere, P2P streaming-a bizirik dago, eta, etxeetako konexioen goranzko ahalmenak gora egiten duen heinean, oztopo teknologikoak leunduko zaizkio. Ikusteke dago zenbateko eragina izango duen etxeetako zuntz optikoko sareen hedapenak P2P streamingean.

6. Multicast streaming-a

CDN-sareez eta P2P teknologiaz gain, badago hirugarren bide bat eskalagarritasunaren arazoari aurre egiteko: helburu anitzeko IP helbideak (*multicast*) erabiltzea. Aukera hori CDN edo P2P streaming-sareen osagarri gisa erabiltzen da

maiz, uneko streaming-zerbitzuak hobetzeko. Kapitulu honetan, multicastaren erabilera ulertzeko behar diren kontzeptuak azalduko ditugu, gero multicast streaming-a nola gauzatzen den aztertu ahal izateko. Azkenean, multicasten erabilera zergatik ez den nagusia arakatuko dugu. Geroko kapitulu batean aztertuko dugu sakonago multicast teknologia.



2.16 irudia. Unicast eta multicast.

6.1. Multicast kontzeptuak

Normalean erabiltzen ditugun IP helbideak **unicast** erakoak dira, hau da, helburu bakarrekoak. Haietako helbide bakoitzak IP sarean lotutako makina bat identifikatzen du, hau da, sare-txartel bakoitzak bere IP unicast helbidea du (berrez, helbideak sare-txartel bat identifikatzen du, ez makina). Multicast helbide batek, aldiz, makina talde bat identifikatzen du, edo, zorrotzago hitz eginda, IP sarean lotutako sare-interfazeen sorta bat identifikatzen du. 2.16 irudian, adibidez, hiru sare-interfaze identifikatzen ditu. Adi: sare-txartel batek beti izan behar du bere IP unicast helbide propioa, eta, horretaz gain, sare-txartel hori multicast talde baten kidea izan daiteke. Hau da, ez dugu aukeratu behar helbide unicast edo multicast bat makina baterako, biak aldi berean erabiltzen baitira. Datagrama baten helburuko helbidea multicast erakoa denean, datagrama horren kopia bana helarazi behar dio sareak multicast horren taldekide bakoitzari. *Sarea* esaten dugunean, sareko bideratzaileez ari gara. Ohartu multicast helbideak soilik helburu bat adierazteko erabil daitezkeela, ez baitu zentzurik multicast helbide bat agertzeak datagrama baten jatorrizko helbide gisa.

Ez dira nahastu behar broadcast eta multicast helbideak. Broadcast helbidea sareko makina guztiak identifikatzen dituen multicast helbide berezia da. Bis-

tan denez, ez da bideragarria broadcast helbide bat izatea Internet osorako, baina broadcast kontzeptua oso erabilgarria izaten da sare lokaletan. RFC 919 agirian definitzen dira IP broadcast helbideak. Gehien erabiltzen dena 255.255.255.255 helbidea da, sare fisiko bereko txartel guztiak identifikatzen dituen. IP azpisare baten broadcast helbidea sortzeko, azpisarea identifikatzen dituen helbideko bitak izan ezik, beste guztiak bateko bilakatu behar ditugu. Adibidez, 203.0.113.0/24 azpisareko broadcast helbidea 203.0.113.255 da.

Multicast erabiltzearen abantaila eskalagarritasuna da: hartzaile kopurua nahi dugun adina handitzen bada ere, igorleak datagrama bakoitzaren kopia bakarra sortu eta sarean sartzen du. Bideratzaileen lana izango da datagrama hori ugaltzea eta kopiak birbidaltzea behar diren lineetan, hartzaile bakoitzak berea jaso dezan. Multicast erabiltzeak, igorleari dakarkion abantailaz gain, sarean ibiltzen den trafikoko kantitateari ere mesede egiten dio, datagrama kopurua ere askoz baxuagoa izango baita. Hau da, taldeko komunikazio batean agertzen diren hiru aktoreei dagokienez, multicast erabiltzea onuragarria da igorlearentzat eta sarearentzat, eta ez dio eragiten hartzaileari.

Multicast aplikazio-mailan

Teknikoki hain onuragarria izanda ere, sare askotako bideratzaileek ez dute multicast trafikoa onartzen. Horren ondorioz, taldeko komunikazioa helburu behar duten hainbat aplikaziok multicast izaera emulatu behar dute IP unicast helbideak erabiliz. Aplikazioko programaren lana izango da, eta ez sareko bideratzaileena, igorleak bidalitakoaren kopia bakarra ugaltzea eta behar diren kopiak birbidaltzea. Hori da, hain zuzen ere, lehen azaldu ditugun P2P streaming-sareetan egiten dena: sareko kide bakoitzak erregistratuta dauka beste zer kideri birbidali behar dizkien jasotzen dituen datagramen kopiak. Kide bakoitzak birbidaltzeko zerrenda hori nola eraiki eta mantentzen duen, berriz, aplikazioa diseinatzen duten informatikarien lana da. Sareak, hau da, bideratzaileek, horrelako P2P streaming baten datagramak beste aplikazioen datagramak bezala tratatuko dituzte: linea batetik jaso, eta beste linea batetik, bakar batetik, birbidali. Unicast bidezko multicasta lortzeko beste era bat CDN-sareak ere dira: igorle nagusiak datagrama bakoitzaren kopia bana igortzen dio kluster bakoitzari, eta, gero, kluster bakoitzetik kopiak ateratzen dira hartzaileengana. Orokorrean, IP unicast sare baten gainean multicast portaera eragiteari *overlay network* bat egitea esaten zaio. Horrelako sasi multicastak benetakoak baino maizago erabiltzen direnez, askotan, IP multicast helbideetan oinarritutako trafikoari *native multicast* deritzo, hau da, nolabait, benetako multicasta.

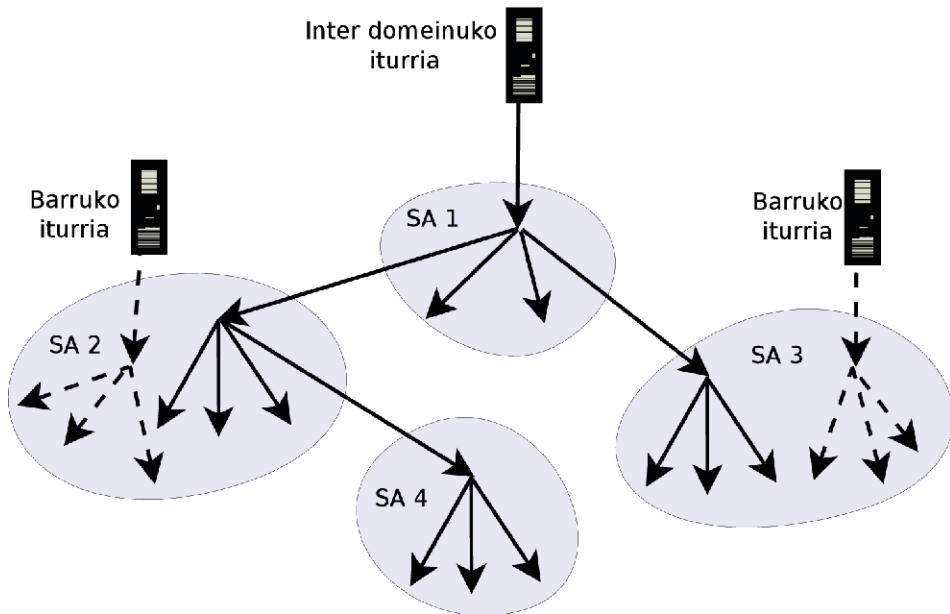
ASM eta SSM multicast

Taldeko komunikazioa bi eratakoa izan daiteke: igorle bakarrekoa (*one-to-many*) edo igorle askokoa (*many-to-many*). Lehenengo kategorian, uneko streaming-a kokatzen dugu, non igorle bat eta, aldi berean, hartzaile asko ego-

ten baitira. Bigarreanean, multikonferentzia eta sareko joko interaktiboak ditugu. Hasieran definitu zen IP multicast eredu (RFC 1112 agirian, 1989. urtean) ez du axola zer igortzen den multicast helbide batera, edonork bidal baitezake edozein multicast helbide batera. Egun, multicast eredu horri ASM multicast deritzo (*Any Source Multicast*). Eredu horrek edozein multicast komunikaziorako balio du, igorle bakarrekotarako zein askokotarako. Baina, igorlea edonor izatean, arazo tekniko ugari sortzen dira, batez ere datagramak bideratzeari eta segurtasunari dagokienez. Horregatik, 2006. urteko RFC 4607 agirian, beste multicast eredu bat definitu zen, multicast talde bati nork igortzen dion zehaztuz. Bigarren multicast eredu hori SSM da (*Source Specific Multicast*). SSM erabiltzen denean, hartzaile bakoitzak zehaztu behar du zer igorlerengandik jaso nahi duen talde bati dagokion trafikoa. Hasiera batean SSMk igorle bakarrekotarako soilik balio duela badirudi ere, igorle askoko aplikazioetan ere erabil daiteke. Horretarako, nahikoa da hartzaile bakoitzak bere intereseko igorleen helbideak jakitea. Multikonferentzia batean, adibidez, kide bakoitzak SSM eskaera bat bidali behar du elkarrizketako kide bakoitzeko. SSM gauzatzea ASM baino askoz errazagoa denez, eta sareko multimedia aplikazioetarako SSM nahikoa denez, SSM ereduak bereganatu du multicast inguruko interes handiena. IPv4 232/8 helbide sorta dago erreserbatuta SSM erabiltzen duten aplikazioentzako, IPv6 FF3x::/32 sortarekin batera.

Multicast intra eta inter

Multicast komunikazio baten igorleak eta hartzaileak sistema autonomo berean badaude, **barruko multicast** bat dela esango dugu (*intradomain multicast*). Ostera, multicast trafikoa zenbait sistema autonomotan zehar barreiatzen bada, **domeinuen arteko multicasta** izango dugu (*interdomain multicast*). Interes handiena domeinuen arteko multicast erak pizten du, aukera ematen baitu Interneteko edozein txokotatik beste puntan sortua den streaming bat atzematea, edota edozein saretan kokatutako beste erabiltzaileekin telefonoz hitz egitea edo sare-jokoetan ibiltzea. Baina, domeinuen arteko multicast komunikazioa gauzatzeko, igorleen eta hartzaileen artean dauden sistema autonomo guztiek bideratu behar dute multicast trafikoa, eta hori, gaur egun, zaila da, ISP askok ez baitute onartzen beste sistema autonomo batetik heltzen zaien multicast trafikoa. Horregatik, egun ibiltzen den multicast trafiko gehiena barrukoa da. Domeinuen arteko ASM multicasta bereziki zaila da, Internet dauden sistema autonomo guztien arteko koordinazioa behar baita talde baten igorle guztien berri izateko. SSM multicast trafikoa sistema autonomoen artean mugitzeko, aldiz, ez dago arazo teknikorik; kasu horretan, arazoa komertziala da. Egun, barruko SSM multicasta oso erabilia da Internet bidezko telebista banatzeko eredu itxian (IPTV).



2.17 irudia. Barruko eta domeinuen arteko multicast. Barrukoak ez ditu sistema autonomoen arteko mugak zeharkatzen.

6.2. Multicast bidezko streaming-a

Multicast bidezko streaming-sistema baten osagaiak streaming arruntzen sistemen osagai berak dira, baina, unicast helbideen ordez, multicast helbideak erabiltzen dituzte. Hori bai, P2P streaming-sistemekin bezala, multicast streaming-a erabiltzea uneko streamingetarako soilik da bideragarria. Hori muga handi bat da, multicast bidez bideraezina den VoD zerbitzua nagusia baita Interneten.

Beste alde batetik, UDP protokoloa erabiliz soilik erabil daitezke multicast helbideak, TCP protokoloarekin ezin baita sortu multicast trafikorik. Streaming-sistemen hasierako urteetan, hori ez zen inongo muga, uneko saioetarako ez baitzen TCP erabiltzen. Baina, egun, posible da HTTP streaming bidezko uneko telebista eskaintzea. Multicast trafikoa erabili nahi bada, gero eta indar handiagoa duen HTTP bidezko streaming aukera ez dago.

Segituan aipatuko ditugun merkatuko arazoak gehituta, multicast streamingeko era arrakastatsu bakarra IPTV eredukoa da. Horrelako sistemetan, ISPeK eta telebista-igorleek akordio komertzialak dituzte: ISPeK bezeroak eskaintzen dituzte, eta telebista-igorleek, berriz, edukiak. ISPeK telebista-zerbitzua eskaintzen diete bezeroei, hau da, negoziokidearen edukia eskaintzen die kalitate ezin hobean, Internet-konexioaren bidez, eta horren kostua bezeroen kuotan gehitzen da. Kuota horren zati bat telebista-igorleari ordainduko diote, edukien truke. Kalitate ezin

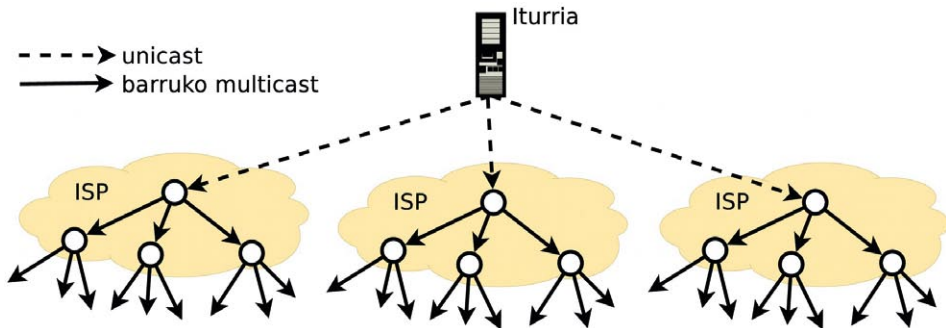
hobea lortuko da, hain zuzen ere, igorlearengandik ikuslearenganako bidean datagramak soilik ISPen sarean zeharkatuko dituztelako, eta, hor, tratamendu berezia jasoko dute; tartean, multicast transmisioa. Horrelako sistemak, azken finean, sistema mistoak dira, non CDNa eta multicast aukerak konbinatzen dira. Seinalea unicast moduan banatzen da iturritik ISP bakoitzaren sareraino, eta, gero, hortik, ikusleen makinataraino, multicast eran. Seinalea banatzen duten ISP horiek egiten dute, nolabait, CDN-sarearen lana.

Ikuslearen ikuspuntutik, multicast helbideak erabiltzea P2P sareak baino aukera hobea da uneko telebista jasotzeko, hiru arrazoiengatik. Lehena, jatorrizko seinalearen atzerapena da. Lehen aipatu dugunez, P2P sare batean, minutu batzuetakoa izan daiteke atzerapena, aurrekarga-denbora bereziki luzea baita P2P sarearen ezegonkortasunari aurre egiteko. Multicast sistemetan, denbora hori ez dago saioaren beste ikusleen menpe, iturriaren eta hartzailearen artean sareko bideratzaileak besterik ez baitago. Horrek aukera ematen du askoz aurrekarga txikiagoak egiteko, segundo gutxiak.

Bigarren abantaila kanala aldatzeko denboran dago (*zapping*). P2P sistema batean, kanala aldatzeak laino (edo zuhaitz) berri bateko kide bilakatzea dakar, eta horrek denbora behar du (*join time*) bideoa jasotzen hasi arte. Multicast batean ere, kanala aldatzen duen erabiltzailearen makinak multicast talde berriko trafikoa bereganatzeko eskaera egin behar du (*join request*), baina P2P sare batean sartzea baino askoz arinagoa izaten da prozesua, batez ere multicast intra denean. Kontuan hartzeko hirugarren abantaila seinalearen kalitatea bera da. Multicast sistema batean, hartzaile bakoitzaren sare-konexioak soilik mugatzen du jaso dezakeen seinalearen kalitatea. P2P sistema batean, berriz, partaide batek jasotzen duen kalitatea beraren iturburu diren beste partaideen banda-zabaleraren arabera ere izango da.

Multicast banaketa CDN bidezko streaming-arekin alderatuta, atzerapenari eta haren ondorioei dagokienez hobe da CDN-sarea, hartzaile bakoitzak gertuen duen iturritik jasoko baitu bere stream-a. Multicast helbideak erabilita, aldiz, iturri bakarra izaten denez, hartzaile bakoitzarekiko distantziaren arabera izango da atzerapen hori. Beste alde batetik, multicast streaming-a erabiltzearen abantaila eskala-ekonomia da: ikusle kopurua edozein izanda ere, kostua bera da. Horregatik da hain erakargarria multicast teknologia Internet bidezko telebistarako. Izan ere, neurri batean, CDNa erabiltzen dira Interneten ez delako zabaldu multicast teknologia erabiltzea telebista banatzeko. Internet osoan multicast trafikoa onartuz gero, edonork konekta lezake bere webcam-sarean, eta BBC-k duen hedapen bera lortu bere saiorako, banatzeko sarean euro bat bera ere inbertitu gabe. Hori ez dute oso gustuko ez ISPeK, ez edukien hornitzaile handiek, ezta CDN operadoreek ere. ISPeK beren sareak erabiltzen dituzten negozioen etekin zati bat nahi dute, IPTV ereduaren egiten duten moduan. Internet multicast batean, aukera hori desagertzen da, edonork eraman baitezake bere seinalea Interneteko edozein txokotara kalitate onarekin. Hau da, edozein izan daiteke IPTVaren

etsaia den OTT operadore bat. Edukien hornitzaileek ez dute nahi Internet multicasten konpetentzia irekirik, hala jokatuko bailuke eduki on bat duen edonork. Nahiago dute egun duten oligopolio-eredua. Eta, Internet multicast balego, CDN operadoreek uneko telebistaren banaketarako negoziaren zati handi bat galduko lukete egun batetik bestera.



2.18 irudia. IPTV streaming multicast erabiliz.

Aldaketarako gakoa ISPeke dute, dagoeneko Tier mailako Internet operadore gehienek —edo denek, segur aski—, onartzen baitute multicast trafikoa beren sareetan. Hau da, Internet handizkariak bideratzen dute multicasta, baina txikizkariak, ez. Txikizkari horien (ISPeke) **multicast hutsunea** (*multicast gap*) esaten diote ingelesez) gaintzeko arazoa multcasten **dena-edo-ezer-ez** izatean datza (*all-or-nothing*). Multcastak funtzionatzeko, Internet osoak multicast eran ibili behar du; ez du balio zati batean bai baina beste batean ez onartzea multicast trafikoa. Eta ISPeke ez dute, oraingoz behintzat, inongo asmorik multicast zerbitzua eskaintzeko beren bezeroei. Soilik beren IPTV zerbitzuetarako gorde dute, eta, merkatuaren baldintzak aldatu arte, ez dirudi panorama aldatuko denik.

Laburpena

Bideo- eta telebista-saioak banatzeko sareen artean, Internet nagusitzen ari da, antena, satellite edo kable bidezko sareen kalterako. Horretarako, hainbat erronka teknologiko gaintu behar izan dituzte ingeniari informatikoek, Internet ez baitzen diseinatu telebistak eta bideoak sortzen duten trafikoa motarako. Kapitulu honetan, hori nola lortu duten aztertu dugu.

Internet erabiltzeko bideoak eta telebista banatzeko, honako hiru arazo hauek egon dira nagusiki: lehena, pantailan dugun irudiak behar den kalitatea izatea; bigarrena, etenik ez izatea, eta hirugarrena, luze itxaron behar ez izatea bideo edo saio

bat aukeratzen dugunetik gure pantailan ikusten hasi arte. Kalitatearen aferan banda-zabalera handituz eta kodeketa-teknikak hobetuz konpondu da. Atzerapenarena streaming-sistemak erabiliz gainditu dugu, eta, etenik ez sortzeko, aurrekarga edo bufferizazioa erabiltzen da.

Streaming-sistemak urteetan zehar aldatu dira. Hasierakoak soilik UDP protokoloaren gainean egiten zuten lan, protokolo horren ezaugarriak hobeak baitira denbora errealeko trafikorako TCPrenak baino. Baina web-zerbitzariak erabiltzea tentazio handia zen streamingerako, asko erraztu baitzitekeen streaming-zerbitzu bat abiatzea, horretarako espresuki beste streaming-zerbitzari bat abiatu eta kudeatu behar izan gabe. Segituan hasi ziren erabiltzen HTTP gaineko streaming-sistemak (orduan, pseudostreaming-a edo deskarga progresiboko sistema esaten zitzairen), eta laster nagusitu ziren. Gaur, VoD banaketa HTTP gainean egiten da, eta, uneko telebistarako biak erabiltzen dira, UDP gainekoa eta HTTP bidezko streaming-a.

Bezero-zerbitzari ereduaren oinarritutako Internet bidezko beste zerbitzu arrakastatsuen kasuan bezala, bideo- eta telebista-banaketak eskalagarritasunaren arazoari egin behar izan dio aurre. Eta, beste zerbitzu horien kasuan bezala, eredurik arrakastatsuen CDN-sareena da egun. Hala ere, ez da bakarra. P2P sareak eta multicast transmisioa haren alternatibak dira. Biak dira, eskala-ekonomiaren ikuspuntutik, CDN eredu baina askoz hobeak. Baina biek dituzte muga zorrotzak, eta horrek asko murriztu du haien arrakasta. Ez P2Pk ezta multicastek ere ez dute balio VoD zerbitzurako —eskaerarik handiena bereganatzen duen zerbitzurako, alegia—, biek behar baitute ikusleen sinkronizazioa. P2Pren kasuan, gainera, kalitate-arazoak ere badaude, sistemaren izaerari berari oso lotuak. Multicastaren kasuan ez dago oztopo teknikorik uneko transmisioetan teknologia nagusia izateko, abantailak argiak baititu CDNarekin alderatuta, baina merkatuaren interesek blokeatu dute hura ezartzea eta erabiltzea, oraingoz behintzat.

2. kapituluko ariketak: streaming-a

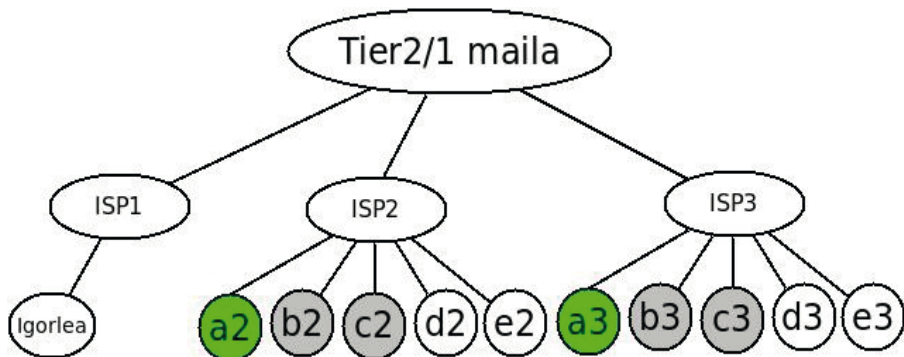
- 1) Demagun TCP erabiltzen duen streaming-saio bat dugula. Azaldu nola eragiten duen erreproduzigailuaren bufferra betetzeak TCP-konexio horretan.
- 2) Demagun HTTP erabiltzen duen streaming-zerbitzari bat dugula eta aurretik grabatutako edukiak banatzeko erabiltzen dugula (VoD). Zerbitzariak ahal duen azkarrena transmititzen ditu datagramak. Demagun erreproduzigailuak E b/s-ko abiadura ateratzen dituela laginak bere bufferretik, eta E TCPk konexio horretan lor dezakeen abiadura baino askoz mantoagoa dela. Demagun erreprodukzioa ez dela hasiko bufferra beteta egon arte (*prefetching*a edo aurrekarga). Deskribatu TCP-konexioaren abiaduraren eta erreproduzigailuaren bufferraren betetze-mailaren bilakaera denboraren arabera. Demagun ez dagoela buxadura-arazorik sarean. Zer eragin izango du zerbitzariaren sare-konexioa TCPk lortzen duen abiadura baino askoz handiagoa izateak? Zer eragin izango du bufferra bete baino lehen erreprodukzioa hasteak?
- 3) Demagun aurreko ariketan, behin bufferra beteta eta erreprodukzioa hasita, TCPk lortzen duen abiadura erreprodukzio-abiadura baino mantoagoa dela. Zeren arabera izango ditugu etenak erreprodukzioan?
- 4) Demagun aurreko ariketan TCPren abiadura eskasaren arrazoia dela sarea kongestionatuta dagoela. Aztertu RTP/UDP erabiltzeko alternatiba.
- 5) Demagun 1,5 Mb/s-ko filma eskaintzen dela HTTP streaming bidez. Demagun bi erabiltzailek eskatzen diotela zerbitzari berari film hori eta baldintza hauetan ematen dela zerbitzua:
 - Zerbitzariaren eta bi erreproduzigailuen artean ez dago buxadura-arazorik sarean.
 - Zerbitzariaren eta bi erreproduzigailuen arteko sare-lotura guztietan badago 1,5 Mb/s-ko abiadura bermatuta.
 - Bezeroen TCP-entitateek 16 KiB-eko hartze-bufferra erabiltzen dute.
 - Kasu batean RTT-a 50 ms-koa da eta bestean 100 ms-koa.
Ondo ikusiko al da bideoa bi kasuetan? Atera ondorioak: nola eragin dezake distantziak streaming-zerbitzuan?
- 6) Demagun CDN sistema misto bat dugula bi mailatan antolatuta: megadata centerak (back end) eta ISPtan kokatutako front end moduko klusterrak. Demagun hau betetzen dela:
 - TCP *splitting*a erabiltzen da back end klusterretik informazio dinamikoa jaisteko.
 - Bi mailetakoa klusterrak lotuta daude sare pribatu baten bidez, eta batez besteko RTT-a bi mailen arteko klusterren artean 20 ms da.
 - Erabiltzaileen eta front end klusterren arteko batez besteko RTT-a ere 20 ms da, Interneten bidez.

- Egindako eskaerek hiru datu bidaltzea dakarte, batez beste, slow start eraginatik.
 - Erabiltzaileen eta back end klusterren arteko RTTa, Interneten bidez, 80 ms da.
Kalkulatu zenbat denbora murrizten den, eskaera bakoitzeko, bi mailako sistema izateagatik, soilik back end klusterrak dituen sistema batekin alderatuta.
- 7) Telebista Internet bidez banatzeko sistema bat diseinatzen ari gara, bi aukera hauek aztertuta:
- Edukiak banatzeko sare bat (CDN - Content Distribution Network) osatu. Igorle nagusi bakarra izango dugu, streaming-zerbitzariak diren igorle laguntzaileei jatorrizko seinalea bidaltzen diena. Erabiltzaileak igorle laguntzaileekin konektatzen dira, seinalea streaming eran jasotzeko.
 - P2P moduko banaketa-sarea antolatuta, seinalea jaso nahi duten bezeroek osatuta. Berrito, jatorrizko igorle bakarra dugu. Hark seinaleko stream-a igorriko die hainbat bezerori. Bezeroek, aldi berean, P2P sareko partaideak diren beste hainbat bezerori birbidaliko diete jasotako stream-a. Gauza bera egingo du seinalea jasotzen duen bezero bakoitzak: berarekin lotuta egon daitezkeen P2P sareko beste bezero bati birbidali seinalea. Horrela, seinalea sareko bezero guztiengana helduko da.
- Alderatu bi diseinuak bi parametro hauek kontuan hartuz:
- Sistema abiatzeko behar den hasierako inbertsioa eta sistema mantentzeko kostuak.
 - Sistemaren eskalagarritasuna: zein egokitzen den hobetoen erabiltzaileen kopurua aldatzen denean (hartzaile gehiago edo gutxiago).
- 8) Demagun helburu anitzeko transmisio bat dugula, igorlea bakarrekoa eta 16 hartzailekoa. Igorlea eta hartzaileak konektatuta daude bideratzaileek osatutako zuhaitz bitar baten bidez, eta igorlea erroan dago.
- (a) Neurtu datagrama baten transmisioaren kostua, unicast moduko transmisioa eta helburu anitzeko transmisioa erabiliz. Kontuan hartu datagrama bat edo haren kopia bat linea batean transmititzea kostuaren unitatea dela.
 - (b) Ohartuko zinenez, kalkulaturakoa multicast kasurik okerrena da. Zein litza-teke multicast kostua kasurik onenean?
- 9) Helburu bakarrekota transmisioarekin (unicast) alderatuz, helburu anitzeko transmisioak (multicast) duen abantailarik handiena trafikoko txikiagoa sortzea da. Aztertu nolako eragin ekonomikoa duen abantaila horrek Internet bidezko telebista-difusiorako sistema baten partaide hauetan:
- telebista-igorlea
 - telebista-igorlearen Internet-hornitzailea (ISP)

- ikusleen ISPak
- telebista-saioak jasotzen dituzten etxeko erabiltzaileak

Egin azterketa hori bi kasu hauetan:

- (a) Telebista-igorleak eta jasotzaile guzti-guztiak auzo berean daude kokatuta, eta ISP bera dute. ISP horrek sartzeko nodo bakarra du, eta hari konektatuta daude ISParen bezero guztiak. Nodo bakar horretan konmutatzen dira ISParen bezeroen arteko datagramak, beste inongo saretatik igaro gabe.
 - (b) Telebista-saioak jasotzen dituzten erabiltzaileek ISP desberdinekin dute beren Internet-konexioa, eta ISP horietako bat ere ez da telebista-igorleak duena.
- 10) Demagun sare-eskema hau dugula, non igorlea telebista-igortzaile bat den eta beste nodo guztiak haren hartzaileak diren.



Bete taula bat irudien stream-a osatzen duen datagrama bakoitzeko:

- *ISP1*, *Tier*, *ISP2* eta *ISP3* zutabe bakoitzean sare horretan ibiltzen den datagrama kopurua jasotzen da.
- *Batura* zutabeak lerro horren batura biltzen du.
- *Unicast* lerroa saioa unicast eran transmititzen den egoerari dagokio.
- *IP multicast* lerroa saioa multicast eran transmititzen den egoerari dagokio, sare guztietako bideratzaileak m-bideratzaileak direla kontuan hartuta.
- *P2P multicast* lerroa saioa P2P eran transmititzen den egoerari dagokio. Kontuan hartu P2P bikote hauek osatzen dutela P2P sarea: (igorlea, a2-a3), (a2, b2-c2), (a3, b3-c3), (c2, d2-e2), (c3, d3-e3). Adi: egoera hori ez da ohikoa egungo P2P sareetan, aintzat hartzen ari baikara sareko nodo guztiek birbidaltzen dutela jasotzen duten baino gehiago, MDC erabili gabe.
- *Multicast tunelak* lerroa mcast tunelak erabiltzen duen egoerari dagokio. Kontuan hartu Tier1/2 mailaren eta erabiltzaileen artean (igorlea eta hartzaileak dira erabiltzaileak) multicast tunelak osatzen direla (hau da, ISPak ez dira multicast sareak).

Egoera	ISP1	Tier	ISP2	ISP3	Batura
unicast					
IP multicast					
P2P multicast					
Multicast tunelak					

- 11) Demagun live streaming transmisiorako P2P diseinu bat dugula, bitTorrent-en oinarritua. Aztertu Tit-for-tat algoritmoaren eraginkortasuna horrelako aplikazio batean.
- 12) Lotu akronimo eta termino bakoitza dagokion kontzeptuarekin. Kontuan izan termino batzuk sinonimoak direla eta, beraz, kontzeptu bera lotu behar zaiela:

- | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------------|
| — IPTV | — aurrekarga | — progressive download |
| — TCP splitting | — OTT (Over-The-Top) | — <i>ding</i> |
| — metafitxategia | — RTP | — <i>prefetching</i> |
| — MDC | — HTML5 | — RTSP |
| — bufferizazioa | — CDN | — <i>manifest</i> fitxategia |
| — pseudo streaming | — abiatzeko atzerapena | — tit-for-tat |
| — Netflix | — <i>triple play</i> | — <i>content provider</i> |
| — <i>walled garden</i> | — Akamai | — DASH |

1. Erreprodukzioa hasi baino lehen, bildu erreproduzitu behar denaren zati bat memorian.
2. Streaming-sistema batean, erreprodukzioa hasi baino lehen emandako denbora, bufferra kargatu arte.
3. Streaming-sistema batean, sarean edukiak sartzen dituen.
4. Telebista Internet bidez banatzeko estandar multzoa, ETSIk egina. Walled-garden erako banaketa-sistemekin lotzen da.
5. Internet bidez zerbitzuak jasotzeko era, ISParen kontrolik gabe.
6. Internet bidezko telebista-zerbitzua jasotzeko eredia, zeinetan ISPak berak hornitzen eta kudeatzen baitu zerbitzua.
7. Internet, telefonia eta telebista-zerbitzuak kontratu bakar batean eskaintzeko ISPek erabiltzen duten izena, walled garden eredia gauzatzuz.
8. Stream bat jaso eta erreproduzitzeko behar den informazioa biltzeko fitxategia.
9. Audio eta bideo interaktiboa erabiltzen dituzten denbora errealeko aplikazioetarako definitutako protokoloa, streaming-sistemetan UDPekin batera normalean erabiltzen dena.
10. Multimedia-aplikazioen kontrol-kanalerako definitutako protokoloa, normalean RTP/UDP streaming-sistemetan erabilia.
11. Igorritako stream baten kalitatea sarearen egoerari eta ezaugarriari egokitzen dien teknika.

12. Edukiak biltzen eta zerbitzatzeko dituzten zerbitzariak osatutako sareak. Besteak beste, Internet bidezko bideo- eta telebista-banaketaerako erabiltzen da.
13. OTT telebistaerako edukien hornitzaile baten adibidea, egungoen artean handienetakoa.
14. CDNaren adibide bat.
15. Urruti dauden zerbitzarietatik informazioa jaisteko denbora gutxitzeko teknika, CDNtan erabiltzen dena.
16. BitTorrent sareetan erabiltzen den algoritmoa, bizkarroikiak zigortzeko erabilia.
17. Stream bat hainbat azpisteametan banatzeko teknika, P2P stream-sistemetan erabiltzen dena.
18. Web-orrietaerako estandar berria, orrietan bideoak txertatzea asko errazten duena.
19. HTTP streaming-aren jatorrizko era.

IP telefonia

Kapitulua hau irakurri eta gero, irakurleak honako gai hauek ikasiko ditu:

- Nola lortzen den IP sareetan telefonia-zerbitzua ematea, kontuan izanda telefoniaren denbora errealeko izaera zorrotza eta IP sareen zerbitzua *best effort* erako dela.
 - Zein diren IP telefonian erabiltzen diren protokolo nagusiak.
 - Nolakoa den SIP telefoniaren funtzionamendua.
 - Nolakoa den Internet bidezko telefonia eta betiko sare telefonikoen arteko komunikazioa.
 - Nola erabiltzen duten IP telefonia enpresek.
-

Asko aldatu da telefonia azken hamarkadetan. Betiko sare telefonikoa analogikoa eta zirkuitu-kommutazio bidezkoa zen; gaur egun, telefono-komunikazioak digitalak izaten dira, eta, gero eta gehiago, pakete-kommutazio bidezkoak. Lehenengo aldaketa mundu analogikotik digitalera igarotzea izan zen. Digitalizazio hori lehenengo kapituluan aztertu dugu, ikuspuntu teknikotik. Azpiegituren aldetik, telefonia operadoreen sareetan digitalizatu da lehenik, eta, askoz mantsuago eta geroago, sarbide-sareetan. Izan ere, oraindik, etxeko telefonoaren eta auzoko telefonogunearen arteko bidea era analogikoan egiten da askotan, eta soilik telefonoguneari digitalizatzen da seinalea operadorearen sarean sartu baino lehen. Bigarren aldaketa handia, zirkuitu-kommutaziotik pakete-kommutaziora igarotzea, IP teknologiarekin eta Internetekin lotuta dago, eta digitalizazioak baino iraultza handiagoa ekarri du telefonia-mundura. Alde batetik, pakete-kommutazioa zirkuitu-kommutazioa baino askoz efizienteagoa denez azpiegiturak erabiltzean, zerbitzua emateko kostuak jaitsi dira. Beste alde batetik, ahotsa garraiatzeko Internet erabili ahal izateak telefonia-merkatua hankaz gora jartzea ekarri du, OTT operadoreak telefonian ere agertu baitira. Hastapenetan, Internet sare telefonikoaren apendizetza gisa ikusten zen: bi konputagailu elkarrekin komunikatzeko, sare telefonikoari lotutako modemak erabiltzen genituen. Egun, egoera irauli egin da, eta Internet fagozitatzen ari da sare telefonikoa, zerbitzu telefonikoa Internet bidezko beste zerbitzu bat bilakatzeraino.

Bide horretan, betiko telefonia-operadoreak ere IP sareekin ordezkatzeko ari dira beren zirkuitu-kommutazioko sare zaharrak. *All IP* garaia da.

Jauzi hori ez da erraza izan, IP eta Internet ez baitziren diseinatu denbora errealeko aplikazioetarako (telefoniarako, adibidez). Baina ingeniariak asmatu dute nola egin. Hori aztertuko dugu kapitulu honetan.

1. Sarrera

IP telefonia, izenak nahiko argi azaltzen duenez, solaskideen arteko telefonia-trafikoak IP protokoloa erabiliz garraiatzea da. Internet erabiltzen bada bidaia horretan, Internet-telefonia terminoa ere erabiltzen da. Azkenik, VoIP izena ere oso erabilia da (*Voice over IP*), baina nahasgarria suerta daiteke, betiko ahots-komunikazioaz gain bideokonferentzia ere sartzen baita telefonia kontzeptuan. Testu honetan, **IP telefonia** terminoa lehenetsi dugu, anbiguotasunik gabe biltzen dituelako ahots bidezko komunikazio tradizionala zein bideokonferentzia, baita Internet bidezko telefonia zein enpresen barruko telefonia pribatua ere.

1.1. Seinalea eta kontrol-kanalak

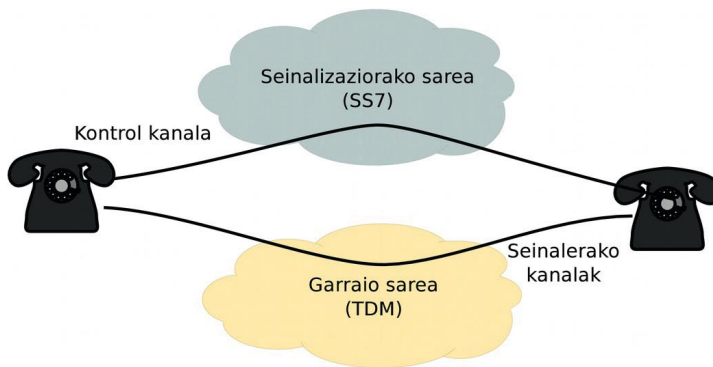
Elkarrizketa telefoniko bat gauzatzeko, bi urrats hauek egiten dira, edozein teknologia erabilia ere:

1. Solaskideen arteko deia ezarri.
2. Solaskideen arteko ahots- edo bideo-seinalea elkarrekin trukatu, denbora errealean.

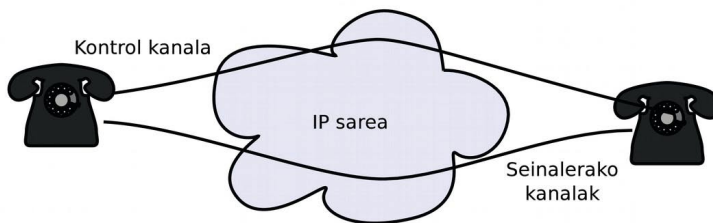
Deia ezartzea, funtsean, deitzailearen eta deitutakoaren arteko kontrolerako komunikazio-kanal bat ezartzea da. Horretarako arazorik handiena deitzailea dagoen sare-puntutik deitutakoaren sarearekiko konexioa non dagoen aurkitzea da. Gero, behin deitutakoak deia onartuta, solasaldia amaitu arte mantentzen da irekita kanal hori. Bitartean, beharrezkoa baldin bada, muturrek kontrol-mezuak truka ditzakete. Zirkuitu-kommutazio bidezko sare telefoniko historikoetan, **SS7** protokolo estandarra erabiltzen da kontrol-komunikazio horietarako. IP sareetan, aldiz, aukera asko garatu dira. Protokolo irekien artean garrantzitsuena SIP protokoloa da, *de facto* estandar bilakatu baita IP telefonia-sistemetan, baina alternatiba asko daude. Konpainia pribatuek beren protokolo propioak garatu dituzte, haien artean garrantzitsuena Skype izanik.

Ahots- edo bideo-seinaleek beren bide propioa egiten dute solaskideen artean, kontrol-kanalaz aparte. Hau da, dei telefoniko batean, IP sareen kasuan, portu bat eta protokolo bat erabiltzen dute solaskideek kontrol-kanaleko mezuak

elkarri bidaltzeko, eta beste portu eta protokolo bikotea seinalea bidaltzeko. Are gehiago, seinale bat baino gehiago badago, hainbat seinaletarako kanalak ezarri beharko dira. Hori da bideokonferentziaren kasua, non, kontrol kanalak gain, kanal berezituak egoten diren soinurako eta bideorako. Zirkuitu-kommutazioko sare telefonikoetan, bi kanal horiek maiztasun desberdinak erabiliz gauzatu daitezke transmisioaren zati analogikoa dagoenean (etxearen eta telefonogunearen artekoa), edo TDM slot desberdinak erabiliz transmisio digitalean (*Time Division Multiplexing*). Sare klasikoetan, haratago ere joaten dira, eta sare fisiko desberdinak erabiltzen dituzte operadoreen sareetan kontrolaren eta seinalearen trafikoak mugitzeko. Kontrol-trafikoaren sareari seinalizazio-sare esaten diote, eta seinalerako sareari, berriz, garraio-sare (ikusi 3.1 irudia). IP bidezko sareetan, sare bakarra erabiltzen da bi trafikoetarako.



(a) Telefonía klasikoa



(b) IP Telefonía

3.1 irudia. Kontrol kanala eta seinalerako kanalak telefonía klasikoan eta IP telefonían.

Elkarrizketak sortutako denbora errealeko seinaleen trafikoa IP sareetan mugitzeko ditugun arazoak, funtsean, aurreko kapituluaren bideorako aurkitu ditugun arazo berberak dira: atzerapena, atzerapenaren aldakortasuna eta galerak. Baina telefonía bideoa baino zorrotzagoa da, beharren mailan, parametro horiei dagokienez.

Beste alde batetik, lehenengo kapituluan ikusi dugunez, telefoniak askoz gutxiago eskatzen dio sareari banda-zabaleraren kontsumoari dagokionez. Seinalearen kanalarako ere protokolo bat baino gehiago erabil daiteke IP sareetan; haietako batzuk irekiak dira, eta beste batzuk (Skype, kasurako), pribatuak. Estandar irekien artean, dagoeneko streaming-aren kasuan aipatu dugun **RTP** protokoloa da nagusi telefoniako seinaleak mugitzeko.

1.2. IP telefoniaren erabilerak

IP telefonia zenbait testuingurutan aurki dezakegu. Ohikoena, oraingoz, betiko telefonia eta IP telefonia aldi berean erabiltzea da, bakoitza helburu batekin. Adibidez, etxean edo enpresetan, betiko telefonoa erabiltzen dugu beste betiko telefonotara deitzeko, baina PC batean instalatua dugun IP telefoniarako bezero bat (edo *softphone*) erabiliko dugu bideokonferentzia baterako, bereziki solaskidea atzerrian badago.

Beren egoitzen artean sare propio bat eratu duten enpresetan oso zabalduta dagoen beste aukera bat barruko komunikazioetarako IP telefonia erabiltzea da, eta betiko telefonia uztea soilik kanpoko komunikazioetarako. Agian, erabiltzailerak ez da horren jakitun, telefono bakarra baitu mahai gainean, betiko itxurarekin, eta, gainera, betiko zenbakiak edo hedapenak tekleatzen baititu. Baina, pixka bat begiluzeta bada, atzemango du bere telefonoa ez dagoela paretari lotuta betiko RJ-11 konektore baten bidez, baizik eta konputagailuak sare lokalera konektatzeko erabiltzen diren RJ-45 horietako batekin. IP telefonoak dira, hau da, betiko telefonoaren itxura dute, baina zuzenean IP trafikoa sortu eta jasotzen dute. Gero ikusiko dugunez, kasu honetan, enpresak pasabide bat prestatu edo kontratatu beharko du bere barruko IP telefonia-zerbitzua eta betiko sare telefonikoa elkarrekin komunikatzeko. Betiko telefonoak ere erabil daitezke IP telefonia-zerbitzurako, egokigailu telefoniko batera lotzen baditugu (edo ATA, *Analog Telephone Adapter*). Horrelako egokigailuak etxeko modem-routerraren antza dute. Alde batetik telefonoak konektatzeko RJ-11 ahoak dituzte, eta, bestetik, sare lokal baterako RJ-45 konexioa dute. Egokigailuek egin beharko dute telefono analogikoaren eta IP sarearen arteko bihurteta.

Etxeetan zein enpresetan IP telefoniara jauzia emateko erabakia hartzen bada, hurrengo urratsa izango da betiko sare telefonikoarekiko kontratua bertan behera uztea eta **ITSP** (*Internet Telephony Service Provider*) batekin kontratatzea kanpoko komunikazioa. Etxeetan, ITSP hori gure ISP bera izango da, eta modem-routerrak RJ-11 ahoren bat izango du, etxeko telefono konbentzionalak hor konektatzeko. Horrela, modem-routerrak bere gain hartzen du egokigailu telefonikoaren lana.

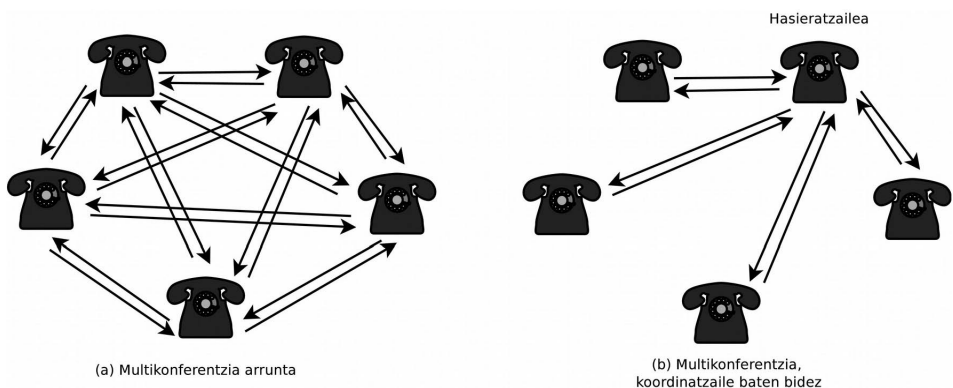
2. Seinalerako kanalak

Bideo-elkarrizketetan trukaturako bideo-trafikoaren ahotsarena bezalakoa da funtsean, baina banda-zabalera gehiago kontsumituta. Atal honetan, ahots-seinalean zentratuko gara gehienetan, testua arintzeko, baina esandakoei bietarako balio dute.

2.1. Banda-zabalera

Telefonian kontsumitzen den banda-zabalera erabiltzen den kodetzailearen eta lortu nahi den kalitatearen arabera da. Zirkuitu-kommutazioko sare digitaletan erabilitako G.711 kodeketak (PCM) 64 kb/s dakar noranzko bakoitzean, baina, IP bidezko telefonian, beste kodetzaile eraginkorrago batzuk dira ohikoak. Oso erabilia da, adibidez, **G.729** kodeketa, 8 kb/s besterik behar ez duena. Teknika berebean (LPC) oinarritutako SILK kodetzaileak (Skypek garatua) 6-40 kb/s behar du ahotsa kodetzeko, eta SILKetik eratorria den **Opus** kodetzaileak (egungo estandar irekia Interneten, RFC 6716), 6-510 kb/s erabiltzen du, nahi den kalitatearen arabera.

Bideokonferentzian kontsumitzen den banda-zabalera ere aurreko bi parametro horien arabera da nagusiki, hau da, erabiltzen den kodetzailearen eta behar den kalitatearen arabera. Tarteak 128 kb/s eta 1,5 Mb/s artekoak da, gutxi gorabehera, eta kontuan hartu behar da kodetzaileen hobekuntzak urtez urte jaisten duela bideoaren transmisioan kontsumitzen den banda-zabalera. Hala ere, bideoaren kasuan, badago hirugarren parametro bat kontuan hartzekoa: zenbat partaide ditugun elkarrizketan. Multikonferentziak tratamendu desberdina du ahots-telefonian eta bideokonferentzian, eta behar desberdinak ditu banda-zabalerari dagokionez ere.

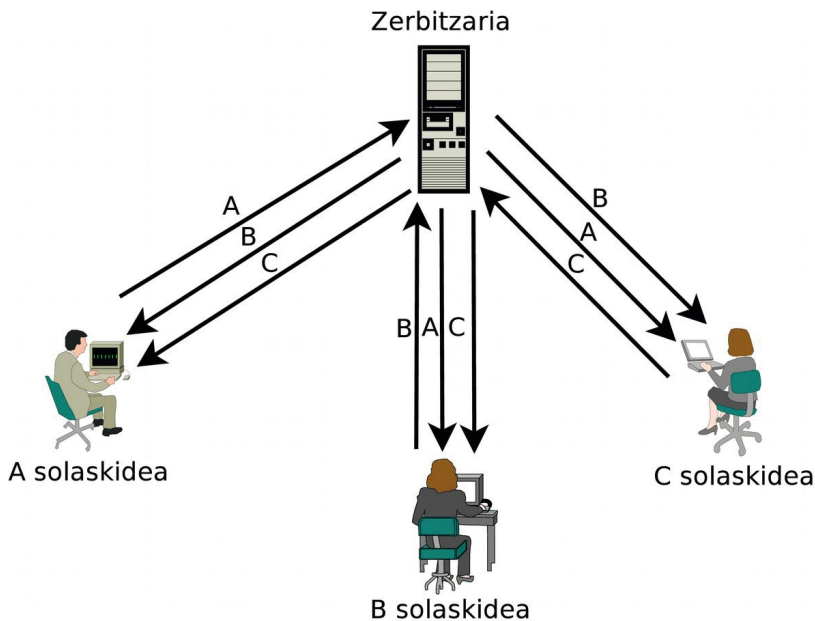


3.2 irudia. Audio multikonferentzia gauzatzeko aukerak.

Multikonferentzia

Elkarrizketa batean partaide kopurua N baldin bada eta, beraz, solaskide bakoitzak solaskide bakoitzari bidali behar badio bere audio-seinalearen kopia bat, $(N-1)$ audio stream igorri beharko lituzke sarean. Guztira, N kide baten elkarrizketan, $N(N-1)$ stream txertatuko dira sarean, 3.2 irudiko (a) aukeran gertatzen den bezala. Aldi berean, solaskide bakoitzak $(N-1)$ audio stream jasoko ditu, bat solaskide bakoitzeko. Internet bidezko telefonian, banda-zabaleraren kontsumoa esanguratsua izan daiteke, bereziki erabiltzaile askoren goranzko trafikoari dagokionez, Interneterako konexioak asimetrikoak izaten baitira. Arazoa arintzeko, ohikoa da multikonferentzia abiatu duen solaskideak paper berezia betetzea, nolabaiteko koordinatzailearena. Berari bidaliko dizkiote beste partaide guztiek beren audio stream-ak, berak nahastuko ditu, audio stream bakarra sortuz, eta audio hori birbidaliko die beste partaide guztiei. Aukera hori da 3.2 irudiko (b) aukerak azaltzen duena. Ohartu bakoitzak X b/s kontsumitzen duen N audio stream-ak nahasten baditugu, sortutako audio stream-ak ere X b/s besterik ez duela behar, soinuak nahas baitaitezke beste soinu bat sortzeko. Hasierako partaidearen banda-zabaleraren kontsumoa aurreko kasu arruntetan bezain bestekoa da, oraindik ere $N(N-1)$ stream jaso eta igorri behar dituelako. Baina beste partaide guztiek nabarmen murrizten dute beren kontsumoa eta lan-zama, stream bakarra igorri eta jasoko baitute, eta ez baitute nahasketa-lanik egin behar (ohartu koordinatzailearik gabeko eskeman partaide guztiek egin behar dutela audioa nahasteko lana).

Lagun anitzen arteko bideokonferentziaren kasua konplexuagoa da; alde bate-tik, bideoak banda-zabalera gehiago kontsumitzen duelako, eta, bestetik, hainbat bideo-seinale ezin direlako nahastu seinale bakarra sortzeko. Horrela izanik, koordinatzailearena egiten duenak birbidali behar lieke partaide bakoitzari beste partaide guztien bideo-seinalearen kopia, hau da, $N(N-1)$ bideo stream goranzko bidean. Stream bakoitza minimoa izanda ere, hau da, 128 kb/s-koa, nahikoa da lagun gutxi-
ren arteko bideokonferentzia izatea egungo Interneteko goranzko konexio arrunt bat agortzeko. Ondorioz, bideraezina suertatzen da askoren arteko audiorako asmatutako eskema bideokonferentzietarako. Aldaera bat erabiltzen da —adibidez, Skype—, zeinetan banda-zabalera nahikoa duen zerbitzari batek egiten baitu koordinatzaile-lana askoren arteko bideokonferentzian. Partaideek, aldiz, stream bideo bakar batek kontsumitzen duen banda-zabalera besterik ez dute beharko goranzkoan, soilik koordinatzaileari bidali behar baitiote beren bideoa. Beheranzkoan, aldiz, $N(N-1)$ bideo-seinale jaso beharko dituzte koordinatzaileak igorrita. Hori da 3.3 irudian dugun kasua.



3.3 irudia. Lagun anitzen arteko bideokonferentzia, zerbitzari baten bidez.

2.2. Atzerapena

IP sareetan atzerapena aztertzean, bi fenomeno hartzen dira kontuan: datagramek igorletik hartzaileraino joateko hartutako denbora, eta, beste alde batetik, atzerapenaren aldakortasuna. Lehenengoari latentzia deritzo, eta bigarrenari, askotan, jitterra. Biek eragin eta tratamendu desberdina dute.

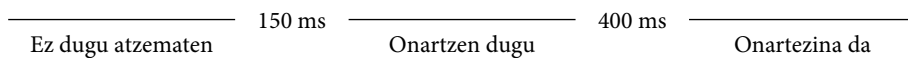
Latentzia

Sare-latentziak bi osagai ditu: lineetan (kableetan edo uhinetan) seinalea fisikoki garraiatzeko denbora, eta lineak lotzen dituen guneetako gailuetan emandako denbora. Zirkuitu-kommutazioko sare telefoniko klasikoetan, lehena da esanguratsuena. Seinalea elektrikoa zein optikoa izanda ere, hedatzeko abiadura fisiko ikaragarria duenez, soilik satellite bidezko konexioak agertzen direnean suertatzen da atzerapen problematikoak (270 ms behar du satellite geoestazionario baterako joan-etorriak). Hori da arrazoi nagusietako bat satellite bidezko komunikazioak itsas azpiko zuntz optikoko kableekin ordezkatzeko. IP sareetan, aldiz, lineen artean ditugun bideratzaileek sortzen dute atzerapen handiena.

Latentziak ez du zuzenean eragiten soinuaren kalitatean, baina bai elkarriketa baten ulergarritasunean. Hau da, soinua bikaina izan daiteke, baina, espero

baino beranduago heltzen bada beste aldera, elkarrizketa-dinamika pairaezin bat sortzen da: hitz egin eta gero espero den erantzuna jasotzen ez bada, komunikazioa eten dela edo beste aldeak ez duela ulertu ondorioztatu, eta esandakoa errepikatzen dugu; errepikapen hori bidean gurutzatzen da hasierako erantzunarekin, eta, hortik aurrera, bi aldeek esandakoak eta errepikatutakoak katramilatzen dira elkarrizketan.

ITUk neurtua du zenbatekoa izan daitekeen ahots-seinale baten latentzia, eta gomendio gisa argitaratu du **G.114** agirian. Gomendio hori erreferentzia da telefonia-sistema publikoetarako; izan ere, telefonia-sistema pribatuetan normalean ezartzen diren mugak baino zorrotzagoa da. Laburtuz, honako hau dio: 150 ms baino txikiagoa den atzerapena ez dugu normalean atzemango; 400 ms-tik gora, elkarrizketaren kalitatea onartezina da, eta, bitarteko atzerapenetan, solaskideek nabarituko dute kalitatearen degradazioa.



3.4 irudia. Sare latentziaren eragina soinuaren kalitatean, G.114 gomendioaren arabera.

Zenbatekoa da IP sareetan eragindako latentzia? Sare lokal batean, G.114 agirian azaldutako balioak baino askoz beherago dago, baina, Internet zeharkatu behar bada, baliteke 150 ms-ko muga gainditzea. Balioa oso aldakorra da, hainbat faktoreen menpe baitago. Garrantzitsuenak bi solaskideen arteko distantzia eta ibilbidean dauden sareen trafiko-egoera dira. Distantzia ez dugu kilometrotan neurtu behar, zeharkatutako bideratzaileen arabera baizik. Egun, oso ohikoa da 100 ms baino gutxiago behar izatea Interneti lotutako bi makinaren arteko bidaia egiteko. Internet-hornitzaile handiek, Tier 1 edo 2 mailakoek, beren sarea zeharkatzeko denbora maximo bat bermatzen dute egindako kontratazioetan, 40-70 ms artekoa normalean (2017. urtean). Horri ISPen eta erabiltzaileen sare pribatuetan egin beharreko ibilbideak gehitu behar zaizkio. Sare-latentziaz gain, ahotsa digitalizatzeko eta berriz era analogikoa itzultzeko denbora ere gehitu behar da, atzerapen osoa kontuan hartzeko. Horretan eragina du zer kodetzaile erabiltzen den eta zer ahalmen duten erabiltzaileen makinek soinua prozesatzeko. Horretarako denbora minimoa 20 ms ingurukoa da.

Atzerapenaren aldakortasuna

Atzerapenaren aldakortasuna pakete-kommutazioko sareei dagokie, eta, bereziki, IP sareak eta halako datagrama-sareei. Sare horien *best effort* zerbitzuaren eraginez, oso zaila da elkarrizketa baten trafikoari bideratzaileen ilaretako denbora maximoa ematea. Horrek, denbora errealeko trafikoari dagokionez, galerak

eta atzemandako kalitatea okertzea dakar. Audioan, larriagoa bilakatzen da arazoa bideoan baino, gure belarria begia baino askoz sentikorragoa baita aldaketa txiki bat atzematzen. Fenomeno hori nolabait azaltzeko, alderatu zer erreakzio dugun pareta zuri batean pinporta txiki beltz batzuk daudenean, eta soinu konstante batean edo isiltasunean zarata txiki batzuk txertatzen direnean. Paretan agertutakoak ez du asko kaltetuko guk atzemandako irudiaren kalitatea; izan ere, agian, esfortzu berezi bat egin beharko dugu pinportak hor daudela atzematuko. Soinuan, aldiz, zarata txiki horiek segituan atzemango ditugu. Latentzia bezala, atzerapena oso aldakorra da, distantziaren eta sarearen arabera. Horren garrantziaz jabetuta, sare-operadoreek latentziaz gain atzerapenaren aldakortasunaren balio maximoa ere bermatzen dute. Handizkariak 0,5 eta 10 ms artekoa eskaintzen dute beren kontratazioetan, nahikoa atzerapen aldakortasunak eragin ditzakeen kalteak ekiditeko.

Hala ere, sare batek bermeak emateak ez du esan nahi ibilbide osoan eta une orotan kalitatea bermatuta dagoenik. Horregatik, beharrezkoa da IP telefoniako aplikazioek neurriak hartzea erabiltzailearen makinetan atzerapenaren aldakortasunari aurre egiteko. Irtenbidea aurreko kapituluaren bideoarako ikusi dugun bera da: aurrekarga, bufferizazio ere baderitzona. Izan ere, telefoniaren testuinguruan, erabilitako bufferrari jitter buffer edo **dejitterazio-buffer** deritza (*de-jitter buffer*, ikusi G.114 gomendioa). Mekanismo horren eraginkortasuna lotuta dago bufferrean gordetako lagin kopuruarekin; zenbat eta lagin gehiago bufferrean eduki, orduan eta aldakortasun handiagoari aurre egiteko ahalmena izango dugu. Baina bufferrean gorde dezakegun lagin kopuruak, gogoratu dezagun, erreprodukzioaren hasieran txertatu beharko dugun atzerapena luzatzen du. Atzerapen hori segundo batzuetakoa ere izan daiteke bideo bat ikusterakoan; horrek erresistentzia handia ematen die streaming-sistemei Baina, elkarrizketa telefoniko batean, pairaezina litzateke hainbesteko atzerapena txertatzea esaldien hasieran. Ondorioz, zerbitzu telefonikoetan aurrekarga erabiltzen bada ere, haren eraginkortasuna streaming-sistemetan lor daitekeena baino nabarmen txikiagoa da.

Aurrekargaren eragina zertxobait hobetzeko asmoz, aurrekarga aldakorra erabiltzen da telefonian. Ideia diskurtsoan agertzen diren isiluneak luzatzean edota laburtzean datza, bufferraren bilakaeraren arabera. Sarean atzerapenaren aldakortasun txiki sortzen ari bada, bufferraren egoera ez da ia aldatuko, erritmo bertsuan sartu eta ateratzen baita informazioa bufferretik. Horrela bada, ez dugu buffer handia behar izango, eta, ondorioz, ez da atzerapen handirik sortuko. Aldiz, sarean gorabeherak gertatzen ari badira, bufferraren egoera aldatuko da, eta husteko arriskua sor daiteke. Horrelakoetan, atzerapena handitu beharko da bufferrean dugun lagin-erreserba handitzeko, jasotako kalitatearen kalterako. Egoera hobetu dela atzemanetz gero, sistemak hurrengo isilunea laburtuko du kalitatea berreskuratzeko. Orokorrean, aurrekarga aldakorra erabiltzen duten telefonia-sistemetan, isilune bakoitzaren hasieran birkalkulatzen da bufferizazioaren luzera, eta, horrekin, erreprodukzioan eragindako atzerapena.

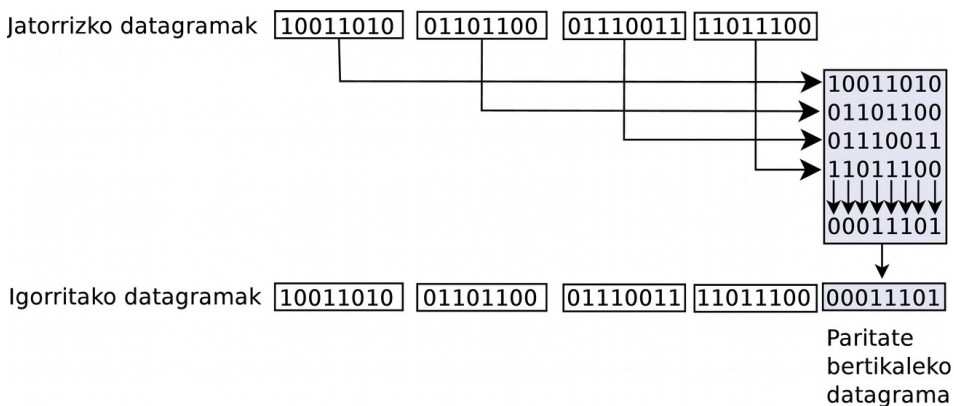
2.3. Galerak

Aurrekargak ezin gaintitu dituen informazio-galerak agertuko dira, hala ere, datagrama batzuk erreproduzitzeko uena baino geroago heltzen direlako, edo inoiz heltzen ez direlako. Galera horiei aurre egiteko, ez du zentzurik galdutako laginak birtransmititzeak, birtransmisio horiek ere, ezinbestean, berandu helduko direlako. Zenbateko galerak izan dezake elkarrizketa telefoniko batek? Berriz, zifra aldakorra da, lortu nahi dugun kalitatearen eta erabilitako trinkotze-mailaren arabera. Igorritako seinalea oso trinkotua badago, galera bakoitzak kalte handiagoa egiten du. Errore-tasa onargarri unibertsal bat ezartzea ezinezkoa bada ere, nahiko onartuta dago tasa hori ezin dela izan % 1 baino handiagoa. Zenbait operadorek beren sareetan galdutako datagramen tasa ere bermatzen dute. Emandako balioak % 0,5 azpitik egoten dira normalean, baina kontuan hartu behar da zifra hori operadore horren sareko bideratzaileetan edo lineetan galdutako datagramen dagokiela soilik; benetan izango dugun galera-tasa lortzeko, beste sareetan izandako galerak eta atzerapenaren aldakortasunak eragindakoak gehitu beharko genituzke.

Telefonian eta denbora errealeko aplikazioetan, honako bi estrategia hauek dira nagusiak galerak kudeatzeko: galdutako laginak berreskuratzea, edo galera horiek eragindako kaltea nolabait leuntzea edo ezkutatzea (*error concealment*). Lehenengo estrategian erabilitako teknikak FEC izenez dira ezagunak (*Forward Error Correction*). Bigarrenetan, nahasketa (*interleaving*) eta berreraiketa teknikak kokatzen dira.

FEC teknikak

FEC tekniken ideia datagrama batean igorritako lagina sortari galerak kontrolatzeko kode bat gehitzea da. Galera bat atzematen denean, kode hori erabiltzen da galdutako informazioa berreskuratzeko, osoa, edo, behintzat, oso antzekoa. Bi FEC mekanismo aurkeztuko ditugu: paritate bertikala eta bigarren kanala.

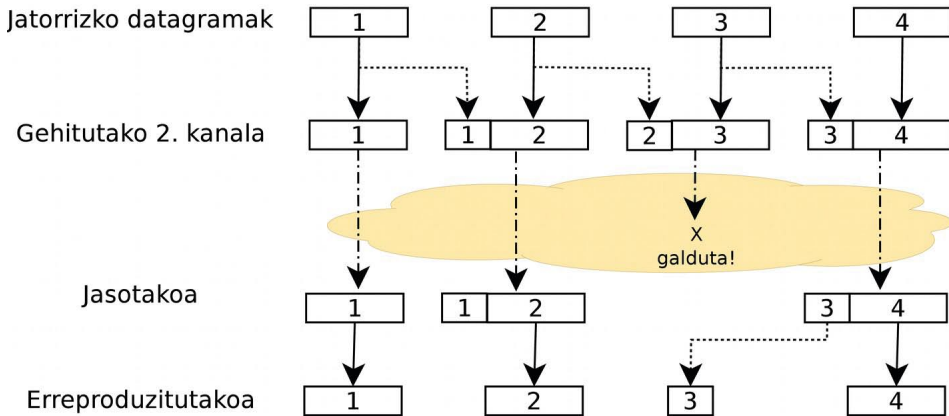


3.5 irudia. Paritate bertikala.

Paritate bertikala erabiltzen denean, n datagramako beste datagrama es- tra bat bidaltzen da, galerak atzemateko eta berreskuratzeko kode batekin. Kodea igorleak kalkulatu du, aurretik igorritako n datagramen paritatea bezala, bitez bit. Hau da, kodeko lehenengo bita izango da aurreko n datagramen lehenengo bit guztien paritatea, edo, era teknikoagoan azalduz, aurreko n datagramen lehe- nengo bit guztien XOR funtzioa. Geroko bit guztiekin, kalkulu bera egiten da. 3.5 irudian duzu paritateko datagrama kalkulatzeko adibide bat, non $n = 4$ den. Au- rretik bidalitako n datagrametako bat galtzen bada bidean, galdutako laginak be- rreskuratu ditzake hartzaileak, paritateko datagrama erabiliz. Teknikaren muga bistan dago: datagrama bat baino gehiago galtzen badira, ez dugu zer eginik. N datagramako talde batean galera bat baino gehiago izateko probabilitatea jaisteko bidea n txikia izatea da, baina, beste alde batetik, txertatutako erredundantzia handitzen da. Edo, beste era batean esanda, banda-zabaleraren kontsumoa han- ditzen da, igorritako paritate-datagrama kopurua handitzen baita. Banda-zabale- raren kontsumoa $1/n$ proportzioan handitzen da, hau da, $n = 4$ hartzen badugu, banda-zabaleraren kontsumoa % 25 handituko da. Gainera, eskema horrek erre- produzitzeko atzerapena behartzen du, ezin baititugu datagramak garraiatzen di- tuzten laginak erreproduzitu taldeko n datagramak jaso eta galerarik ez dagoela egiaztatu arte. Hala ere, praktikan, paritatea igortzeak ez du handitzen errepro- duzitzeko atzerapena, bufferizazioak eragindako atzerapenarekin bat etortzen baita. Beste alde batetik, ohartu gaitezen paritatea bidaltzeak ez duela atzeratzen ahots lagin berriak daramatzen $n+1$ hurrengo datagrama bidaltzea, lagin horiek digitalizatzen ari diren bitartean igortzen baita aurreko n datagramen paritate- datagrama.

Bigarren kanalaren teknika laginen bi kopia bidaltzean datza, eta bigarrena erresoluzio gutxiagokoa izaten da. Adibidez, 64 kb/s-ko G.711 kodeketa erabiltzen denean, 20 ms-an bildutako 160 laginak bildu, eta datagrama batean bidaltzen dira. Bigarren kanal bat gehituz gero, lagin horien (erresoluzio txikiagoko kode- tzaile batekin digitalizatuak) beste kopia bat bidaliko da 20 ms geroago, lehenengo kanaleko bigarren lagin taldearekin bateratuta, datagrama bakar batean. Bigarren kanala kodetu daiteke, adibidez, GSMrako erabiltzen den 13 kb/s-ko kodetzailea- rekin. Ikusi 3.6 irudian nola igorritako n -garren datagramak bi lagin sorta dara- matzen kodetuta: kanal nagusiko n -garren lagin sortari dagokiona, gehi $(n-1)$ -ga- rren lagin sortako bigarren kanaleko kodifikazioa. Horrela, datagrama bat galtzen bada —irudiko 3. datagrama, adibidez—, hartzaileak hurrengo datagraman jaso ditzake datagrama horretan zetozen laginak, nahiz eta kalitate baxuago batean. Entzulea ez da ohartuko kalitate-galera minimo horretaz 20 ms-ko tarte txikian. Bigarren kanalak ere erreproduzitzeko atzerapena eragiten du, eta banda-zabale- raren kontsumoa handitzen. Atzerapenari dagokionez, hurrengo datagrama jaso arte besterik ez da itxaron behar datagrama batean datozen laginak erreproduzi- tzeko. Banda-zabaleraren kontsumoa bigarren kanalerako erabilitako kodetzailea- ren arabera izango da. Opus kodetzaileak (RFC 6716), adibidez, aukerazko bi-

garren kanal bat erabiltzen du FEC teknika moduan. Erabiltzea edo ez erabiltzea kodetzaileak berak erabakitzen du, atzemandako errore-tasaren eta beste zenbait parametroren arabera.



3.6 irudia. FEC bigarren kanal baten bidez.

Dena den, bigarren kanal batek datagrama-galera bakarra berreskura dezake, baina ez bi datagrama edo gehiago galtzen badira elkarren jarraian. Hori hobetzeko bidea kanal erredundante gehiago erabiltzea da. Horretarako, n -garren datagramako laginen bigarren kopia bidaltzen da $(n+1)$ -garren datagraman, baita hirugarren kopia bat ere $(n+2)$ datagraman. Nahi adina kanal gehitu daitezke, datagrama-galera segida luzeagoan konpondu ahal izateko, baina kontuan hartu behar da gehitutako kanal bakoitzak banda-zabalera kontsumitzen duela eta erreproduzitzeko atzerapena handitzen duela.

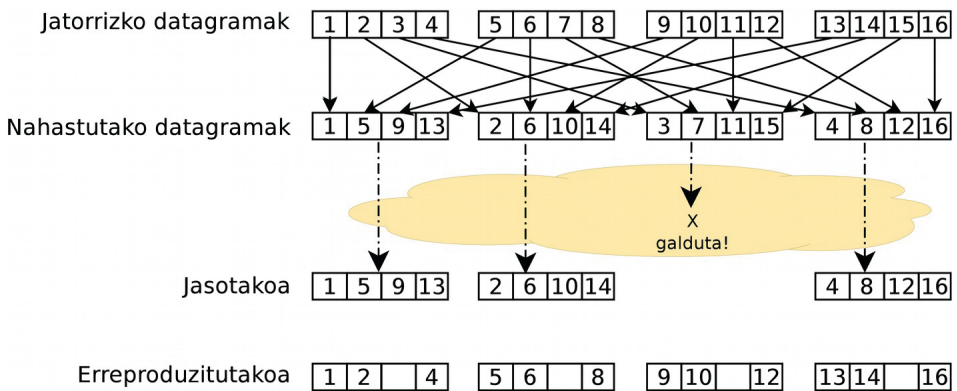
Nahasketa

Nahasketaren ideia galdutako laginen eragina denboran lausotzea da. Horretarako, igorleak laginak berrantolatzen ditu igorri baino lehen, jatorrizko soinuaren elkarren jarraian dauden laginak zenbait datagramatan bidaltzeko, 3.7 irudian azaltzen den moduan. Horrela eginez, bidean datagrama bat galtzen bada, galdutako soinu-tartea banatzen da erreprodukzioan zehar. Adibidez, berriz hartzen badugu G.711 kodeketa, eta datagrama batean doazen 20 ms-ko soinu-laginak 5 ms-ko lau tartetan zatitzen baditugu, lortutako tartek hurrengo 4 datagrametan bidal daitezke. Irudian azaltzen den moduan, datagrama horietako baten bat galtzen bada, erreproduzitzean, 5 ms-ko 4 isilgune agertuko dira hurrengo 80 ms-etan, eta ez 20 ms-ko isilgune bat.

Nahasketak nabarmen hobetu dezake entzuleak atzemandako audio stream baten kalitatea, eta ez du banda-zabalerarik kontsumitzen. Beste alde batetik, erreproduzitzeko atzerapena handia izan daiteke (gure adibidean, 80 ms).

Berreraiketa

Berreraiketa galdutako soinuaren antzeko kopia bat sortzean datza. Hori posible da soinua, eta batez ere gizakiaren diskurtsoa, oso aurreikusgarria delako tarte txikietan. Modurik sinpleenean, galdutako datagraman zetorren soinua erreproduzitutako azken soinuarekin ordezkutzen da. Hau da, isilunea utzi ordez, aurreko soinua errepikatzen da. Ikaragarri sinplea da sistema hori, eta emaitza ez da batere txarra. Aldaera konplexuago bat interpolazioa da, hau da, galdutakoa berreraikitzea aurretik eta gero jasotako soinuetatik abiatuta. Errepikatzeak baino emaitza hobea du interpolazioak. Adibide gisa, Opus kodetzailak berreraiketa erabiltzen du; RFC 6716 agirian, PLC deritzo (*Packet Loss Concealment*).



3.7 irudia. Laginen nahasketa, galeren eragina leuntzeko.

Berreraiketa-teknikek soilik isilune txikietarako funtzionatzen dute ondo. Beren muga fonema baten luzeran dago. Fonema bakar bat oso ondo berreraiki daiteke alboko soinuetatik abiatuta. Baina, fonema bat baino gehiago galtzen bada, berreraikitako soinuan distortsioak agertzen dira maiz. Nahasketarekin konbinatuta, eraginkortasuna handitu daiteke, baina sistemaren konplexutasuna ere bai. Eta ez dugu ahaztu behar halako sistemek denbora errealean egin behar dutela kodetzeko eta erreproduzitzeko lana.

2.4. Protokoloak

Behin seinalea kodetuta, solaskideek seinale hori elkarri bidali behar diote IP sarean zehar. Hau da, solaskide baten IP telefoniako bezeroak hartu behar ditu laginak; behar den goiburukoa gehitu, eta makinako sistema eragileari eman, hark sarean zehar beste solaskide bati bidal diezaion. «Behar den goiburukoa» esatean, aplikazio-mailako protokolo bat behar dugula esaten ari gara; goiburuko hori nolakoa

izango den definitzen duen protokoloa, alegia. Beste edozein sare-aplikaziotan bezala, IP telefoniarako ere zenbait protokolo definitu dira. Estandarrak direnen artean, dagoeneko ezagutu dugun RTP eta berarekin oso lotuta dagoen RTCP protokoloak deskribatuko ditugu ondoan.

RTP (Real-time Transport Protocol)

Soinu eta bideo-seinaleak denbora errealean bidaltzeko diseinatutako protokoloa da RTP. Izena nahiko nahasgarria du, ez baita garraio-mailako protokolo bat, aplikazio-mailakoa baizik. Haren zeregina erreproduzigailuak laginekin batera bidali behar duen kontrol-informazioa definitzea da. Zein da informazio hori? Funtsen, laginaren kokapena diskurtsoan. Horretarako, honako bi datu hauek bidali behar ditu igorleak laginekin batera:

- Sekuentzia-zenbakia, laginen arteko ordenari eusteko.
- Denbora-marka, lagina noiz sortu den jakiteko.

Hasiera batean, badirudi bi datu horiek erredundanteak direla, eta nahikoa litzateke haietako bakar batekin laginak sekuentzian jartzea ondo erreproduzitu ahal izateko. Kodetutako seinalean isiluneak kentzen badira, aldiz, behar-beharrezkoak dira bi datuak, isilunearen eta datagrama baten galeren artean zer gertatu den bereizteko. Denbora-markak besterik ez bagenu, eta elkarren jarraian jasotako bi paketeen denbora-marken artean hutsune bat balego, zer interpretatu behar luke erreproduzigailuak: isilune bat egon dela ala datagrama bat galdu dela bidean? Era berean, sekuentzia-zenbakiak besterik ez badugu, nola azalduko dio igorleak erreproduzigailuari non dagoen isilune bat eta zein den haren iraupena? Ezinbestekoa da bi eremu horiek gehitzea bidalitako lagin sortei. Egokiena pakete-formatu estandar bat definitzea da, audio-/bideo-laginak gehi denbora-markak, sekuentzia-zenbakiak, eta erabilgarria suerta daitekeen beste kontrol-informazioa biltzen dituen. RTP da estandar hori (RFC 3550).

RTPren definizioak behartzen ez badu ere, UDP erabiltzen da normalean RTP paketeak bidaltzeko. Hau da, igorlearen aplikazioak, denbora errealean kodetutako laginak elkartu, RTP pakete batean sartu, eta sistema eragileari helarazten dio paketea, UDP/IP datagrama batean kapsulatu eta sarean sar dezan (2.6 irudian ikus daiteke kapsulatzearen azalpena). Hartzailearen sistema eragileak erazuko du RTP paketea bere UDP/IP trajetik, eta aplikazioari emango dio. Aplikazioak, RTP goiburukoak aztertu, kendu, eta laginak deskodetu eta erreproduzigailuaren bufferrean sartuko ditu, hark dagokion unean erreproduzi ditzan. RTP goiburukoak 12 byte hartzen ditu normalean. Azpimarratzekoa da RTPk ez duela definitzen nola kodetu eta deskodetu behar den seinalea, ezta zer egin behar den ere galerei eta atzerapenari aurre egiteko. Hala ere, RTPk aukera ematen du paritate bertikala erabiltzeko galerak berreskuratzeko (ikus RFC 5109).

RTPn, iturri bakoitzak azpikanal batzuk erabil ditzake. Adibidez, bi solaskidderen arteko bideokonferentzia batean, lau RTP-korronte ezar daitezke: audioa noranzko bakoitzean transmititzeko stream bana, eta beste hainbeste bideoa trans-

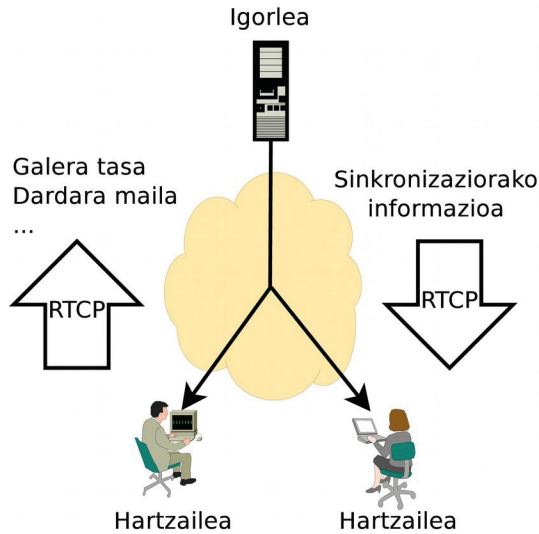
mititzeko. Hala ere, normalean, kodetzaileek kanal bakar batean elkartzen dituzte audio- eta bideo-seinaleak, noranzko bakoitzean RTP stream bana besterik ez erabiliz. UDP erabiltzen duenez, multicast komunikazioetarako ere erabil daiteke RTP. RTP goiburukoan dauden eremu esanguratsuenak hauek dira:

- Seinale mota (*payload type*). Zazpi biteko kode bat da, seinalea kodetzeko sistema identifikatzen duena. Adibidez, 3 kodeak GSM eran kodetutako audio-seinalea identifikatzen du, eta 31 kodeak H.261 bideoa.
- Sekuentzia-zenbakia. 16 bit dituen zenbaki hori RTP-paketeak ordenatzeko eta galerak atzemateko erabiltzen da. Adibidez, 50. eta 52. paketeak jasota 51. paketea erreproduzitzeko garaia heltzen bada, galdutzat jo beharko du hartzaileak 51. datagrama hori, eta galerak berreskuratzeko mekanismoak erabiliko ditu pakete horrek zeramatzan laginak erreproduzitu ahal izateko.
- Denbora-marka (*timestamp*). 32 bit erabiltzen dira horretarako. Paketeak daraman lehenengo lagina noiz jaso den erregistratzen du. Denbora-marka unitate batean handitzen da lagin bat hartzeko denbora-tarte bakoitzeko. Adibidez, 8 Hz -tan hartzen baditugu laginak, 125 μ s tarte bakoitzeko handitzen da unitate batean denbora-marka. Hori horrela izanik, aplikazioak 20 ms-an hartutako laginak elkartzen baditu RTP pakete batean, elkarren jarraian igorritako bi paketeen denbora-marken arteko aldea 160 izango da. Kontuan hartu denbora-markaren balioa handitzen dela seinalea bidaltzen ez bada ere, isilunean gertatzen den moduan.

RTCP (RTP Control Protocol)

RTP protokoloaren laguntzailea da RTCP (RFC 3550). RTP bidezko multimedia-saio baten datu estatistikoak eta kontrolerako informazioa igorleei helaraztea da haren lan nagusia. Hala ere, ez dugu hartzen hurrengo atalean aztertuko dugun kontrol-kanalerako protokolotzat, ez baitu dei telefonikoa edo bideo-saioa kontrolatzen, SIP edo RTSP protokoloekin hurrenez hurren egiten den moduan. Horiek ez bezala, RTCP seinalerako kanala monitorizatzeko tresna bat besterik ez da. Funtsean, seinalea jasotzen dutenek txostenak bidaltzen dizkiote igorleari, RTCP paketeak erabiliz. Txosten horietan, jasotako informazio kopurua, galera-tasa, atzerapenaren aldakortasuna eta atzerapen osoa aurkituko ditu igorleak. Informazio hori seinalearen kalitatea bermatzeko edo hobetzeko erabil dezake aplikazioak. Adibidez, igorleak erabaki dezake seinalearen kodeketa aldatzea. RTCP multicast saioetarako dago bereziki egokituta, baina unicast-saioetan ere erabil daiteke.

Normalean, saio baten hartzaile guztiek RTCP txostenak bidali beharko lizkiekete igorleei. Horrek eragindako trafikoa gehiegizkoa izan daiteke hartzaile asko duten saioetan (adibidez, multicast stream batean), eta, horregatik, bidalitako txostenen aldirokotasuna dinamikoki doitzen zaio une bakoitzean dagoen hartzaileen kopuruari. Hau da, hartzaile gehiago badaude, txostenen arteko tarteak ere handitzen da.



3.8 irudia. RTCP mezuen erabilera.

3. Kontrolerako kanala

IP telefonian, hamaika protokolo definitu dira, batzuk estandarrak eta beste batzuk pribatuak, batzuk soilik seinalizazioerako eta beste batzuk komunikazioaren alde guztiak arautzeko (seinalearen garraioa, segurtasuna, telefoniaz gaineko komunikazio motak, eta abar). Kontrolerako protokolo estandarren artean, SIP da nagusia (*Session Initiation Protocol*). Horretan zentratuko gara orain.

3.1. SIP

SIP protokoloari esker, bi aukera hauek ditugu (RFC 3261):

- Solaskideen arteko deiak ezartzea IP sare baten bidez. Horretarako, deitzaileak deitutakoa zer IP helbidetan dagoen aurkitzeko mekanismoa definitzen du protokoloak. Behin aurkituta, deitzaileak hitz egiteko gonbidapena igortzen dio deitutakoari, eta bien arteko kontrol-kanala ezartzen da. SIP mezuak erabiliz, solaskideek elkarrizketarako baldintzak adostu ditzakete; tartean, zer kodeketa erabiliko den. Elkarrizketa amaitzeko ere, SIP mezuak erabiltzen dituzte.
- Deia kudeatzeko hainbat aukera. Adibidez, seinale-kanal gehiago gehitzea dinamikoki (bideoa gehitzeko ahotsari, adibidez), erabilitako kodeketa aldatzea (sarearen egoerara egokitzeko, adibidez), solaskideak dinamikoki gehitzeko edo deia beste erabiltzaile bati transferitzeko.

Deiak ezartzeko mekanismoa argia bada ere, SIP elkarrizketak korapilatsu samarrak suertatzen dira. SIP estandarra definitzen duen RFC 3261 agiriaren gain, badaude beste 30 RFC baino gehiago definizio hori zabaltzen dutenak. Ondorioz, SIP produktuek inplementazio partzialak erabiltzen dituzte, eta baliteke bi inplementazio ez izatea bateragarriak deia ezartzeko mekanismoaz haratago. Konplexutasun horren arrazoietako bat, baina ez bakarria, betiko sare telefonikoekiko bateragarritasunari eutsi nahi izatea da. Oraindik ezinbestekoa denez betiko sare telefonikoarekiko komunikazioari eustea, IP sare huts batean behar ez genituzkeen SIP komando pilo bat agertzen dira SIP protokoloan. Testu honetan, SIP erabiliz deiak nola ezartzen diren ikasteaz zentratuko gara.

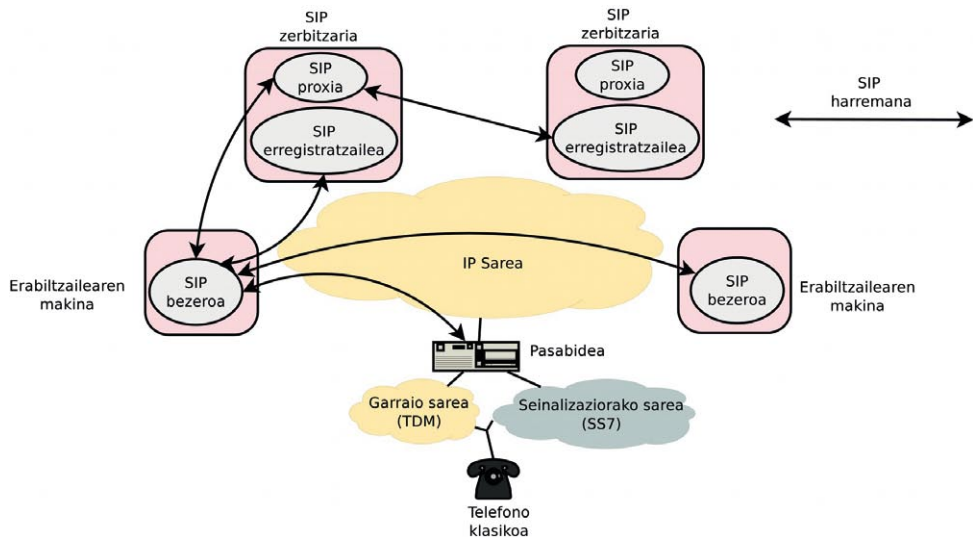
Ezaugarri nagusiak

Bi solaskidek zuzenean hitz egiten dutenez, P2P aplikazioen antza hartzen du SIPEk. Baina, berez, bezero/zerbitzaria ereduari jarraitzen dion aplikazio-mailako protokolo bat da. Hau da, helburua lortzeko, funtsezkoak dira zerbitzari-lanak egiten dituzten zenbait programa, zenbait makinatan kokatuta. Kontrol-kanala ezarri ahal izateko, zerbitzari horiekin lan egin behar dute SIP bezeroek, eta erabiltzaileen makinetan egikaritzen dira. Behin deia ezarrita, aldiz, komunikazioa zuzenean bi bezeroen artean gauzatzen da; bi solaskideen makinetan egikaritzen diren SIP bezeroen artean alegia. Komunikazio horiek guztiak, zerbitzarien eta bezeroen artekoak zein bezeroen artekoak, SIP protokoloa erabiliz gauzatzen dira. Honako hauek dira SIP aplikazio batean agertzen diren eragileak (3.9 irudian agertzen dira):

- **SIP bezeroak** (*user agent*). Deitzailearen eta deitutakoaren makinetan daude. Erabiltzaileekiko interfazearena egiteaz gain, beren lana SIP bidez deiak kontrolatzea da, baita seinaleak igortzea eta jasotzea ere, askotan RTP erabiliz. Bi bezeroen arteko kontrol- eta seinale-kanalak ezartzeko, zerbitzarien laguntza beharko dute bezeroek.
- **SIP erregistratzailea** (*SIP registrar*). Erregistratzaileak bezeroa aurkitzeko behar den informazioa gordeko du. Beraz, dei bat ezartzeko ohiko bide bat da bezeroak aurkitzea zein den deitutakoaren fitxa gordetzen duen erregistratzailea, eta berari eskatzea fitxa hori. IP telefonia ematen digun entitateak kudeatuko du SIP erregistratzailea. Internet bidezko telefonia bada, gure ISPa izan daiteke entitate hori, edo, OTT zerbitzu bat bada, beste edozein konpainia. Barruko telefonia bada, gure sareko zerbitzari batean egongo da dagokigun SIP erregistratzailea.
- **SIP proxia**. Deitutakoen fitxak bilatzeko erabiltzen den zerbitzari bat da. Dena den, SIP bezeroek SIP proxy bat eduki beharko dute esleituta, beren eskaerak bidaltzeko. Hau da, SIP bezeroek ez dute zuzenean bilatzen non dagoen deitutakoari dagokion erregistratzailea, eta ez diote erregistratzaile horrekin zuzenean hitz egingo; lan hori SIP proxy baten esku utziko dute (ingelesezko *proxy* hitzak

«delegatua» edo «utzia» esan nahi du, hain zuzen ere). Normalean, sare baten erabiltzaileentzako proxiaren eta erregistratzailearen lana programak berak egiten du, zerbitzari batean: SIP zerbitzarian. Zerbitzari horrek telefonogunearen lana egiten duenez, ez da harrizkoa IP telefonogune terminoa erabiltzea hura izendatzeko.

- **Pasabideak.** IP sarearen eta sare telefoniko zaharren arteko zubiarena egiten duten zerbitzariak dira. Beren lanak bi dira: SIPen eta sare telefonikoen kontrol-protokoloen arteko itzulpena, eta bi sareetan erabilitako seinalearen kodeketen arteko bihurketa.



3.9 irudia. SIP eragileak eta beren arteko harremanak.

Deia ezartzeko egin beharrekoak antz handia du DNS izen baten ebazpenarekin. Azken finean, bi kasuetan, fitxa baten bila ibiltzea da. DNSren kasuan, izena eta IP helbidea lotzen dituen A motako DNS erregistro baten bila gabiltza («fitxa» adierazteko informatikariok erabiltzen dugun terminoa da «erregistroa»). SIP telefoniarren kasuan, SIP erabiltzailea eta uneko IP helbidea lotzen dituen beste erregistro baten bila gabiltza. Horregatik, bi aplikazioetan agertzen diren eragileak eta egin behar diren urratsak antzekoak dira. Laster ikusiko dugunez, SIP proxiak egiten duen lana eta sare baten DNSko zerbitzariak egiten duena antzekoak dira. Eta SIP erregistratzaileak egiten duena eta DNS barrutiko zerbitzariak (*DNS zone server*) egiten duena ere gauza bera da funtsean.

SIP bezeroek UDP zein TCP erabiltzen dute normalean (beste aukera batzuk ere badaude). 5060 edo 5061 portuak erabiltzen dira; lehena, mezuak zifratu gabe

bidaltzen badira, eta bigarrena, bidalitakoa zifratzeko TLS erabiltzen denean. Mezuen sintaxiak antz handia du HTTP protokoloeko mezuekin. Bi motatako mezuak daude: eskaerak eta erantzunak. Aldi berean, hainbat eskaera mota daude. Garrantzitsuenak honako hiru hauek dira:

- REGISTER: bezeroek bidaltzen dizkiete erregistratzaileei, beren buruaren berri emateko. Hau da, nolabait, telefonia-sisteman alta ematea.
- INVITE: bezeroek bidaltzen diote beren proxiari, deitutakoa bilatzeko enkargua emanaz. Proxiak deitutakoaren berri ematen duenean, bezeroak INVITE bidaliko dio zuzenean beste bezeroari.
- BYE: bezero batek besteari bidaltzen dio, ezarria duten deia bertan behera utziko duela jakinarazteko.

SIP helbideak

SIP deiak egiteko eta jasotzeko, SIP helbide bat behar dute bezeroek. SIP telefonia hornitzaile batekin erregistratzen garenean emango digute gure SIP helbidea, beste SIP erabiltzaileen aurrean identifikatzeko. SIP helbideek antz handia dute posta elektronikoko helbideekin. Honako hau da beren sintaxi sinplifikatua, normalean erabiltzen dena (sintaxi osoa ezagutu nahiz gero, begiratu RFC 3261 agiria):

sip:erabiltzailearen_izena@identifikadorea:portua

Hasierako «sip» hitzak zer protokolo erabili den azaltzen du. Batzuetan, hitz hori kendu egiten da gizakien artean helbideak trukatzean, jakintzat hartzen baita protokolo hori SIP dela. Zifraketa erabili nahi badugu, «sips» erabili behar dugu helbidean protokoloa adierazteko. Amaierako portu-zenbakia ez da askotan jartzten, eta, kasu horretan, 5060 hartuko da, protokoloa «sip» izanez gero, eta 5061, berriz, «sips» erabiliz gero. Erabiltzailearen izena karaktereekin edota zenbakiekin osa daiteke. A bilduaren atzetik, makina edo domeinu baten identifikadoreak agertu behar du. Makina bat denean, IP helbide bat edo izen bat izan daiteke, baina bigarrena izatea gomendatzen da. Makina zehatz bat identifikatzea baino malguagoa da DNS domeinu bat izatea, SIP zerbitzua ematen dion hornitzailearena. Gero ikusiko dugunez, hortik abiatuta lor daitezke domeinu horretarako SIP erregistratzailearena egiten duen makinaren izena eta IP helbidea. Hona hemen SIP helbideen adibideak:

sip:patxi@euskosip.eus
sips:txomin.etxea@telesip.eus,
sip:943311723@mysip.net
sip:joe2@203.0.113.4:5090.

Hizkera teknikoan, SIP erabiltzaileen identifikadoreak ez dira helbideak, URIak baizik (*Uniform Resource Identifier*). Hala ere, inork gutxik emate dio lagun bati «SIP URIa». Gizakiok nahiago dugu helbideez mintzatu.

Deia ezartzea

Deitutakoaren SIP helbideko «identifikadorea» eremuan IP helbide bat dagoenean, erraza da deia ezartzea. Nahikoa da deitzaileak helbide horretara bidaltzea INVITE komandoa, SIP helbidean bertan azaldutako portura. Komandoarekin batera, saioa ezartzeko behar diren zenbait datu bidaltzen dira. Adibidez, ikusi balizko INVITE komando baten edukiak:

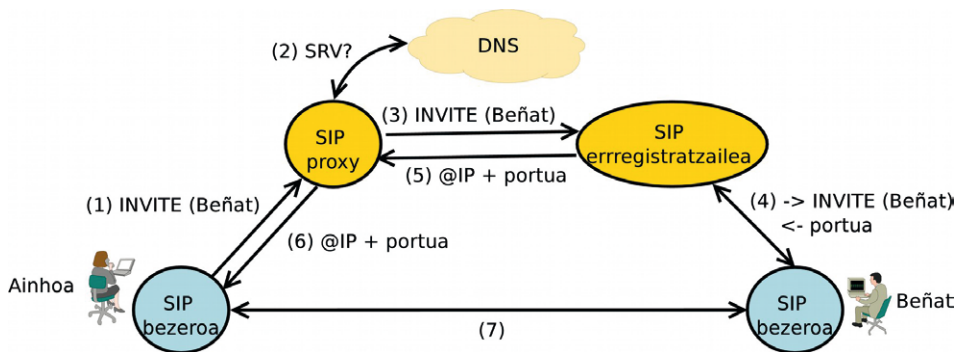
```
INVITE sip:beñat@203.0.113.196 SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP 192.0.2.34
From: sip:ainhoa@euskophone.eus
To: sip:beñat@203.0.113.196
Call-ID: a2b4e@belea.euskophone.eus
Content-type: application/sdp
Content-Length: 987
```

```
c=IN IP4 192.0.2.34
m=audio 38060 RTP/AVP 0
```

Bistakoa da SIP sintaxiak antza duela HTTPrekin, eta, kasu honetan, antz handia dagoela HTTP GET eta SIP INVITE mezuen artean. Mezuak lerroka daude antolatuta, eta, lerro bakoitzean, lerroaren izena, bi puntuko karakterea eta lerroaren eremuak aurkituko ditugu. INVITE mezuak zeharkatutako makina bakoitzak, jatorrizkoak barne, 'Via' izeneko lerro bat gehituko dio mezuari, bere IP helbidea grabatzeko. Eskarari egindako erantzunak 'Via' lerro horiek erabiliko ditu gero itzulerako bidean. Hurrengo lerroak posta elektronikoko mezuetan agertzen diren batzuk dira: 'From' eta 'To' izenekoek deiaren jatorria eta helburua identifikatzen dute; 'Call-ID' izenekoak deiaren identifikadore bat da, eta 'Content-Type' eta 'Content-Length' lerroek SIP mezuan dagoen edukiaren formatua eta luzera adierazten dituzte. Hutsik dagoen lerroaren ondotik, mezuaren edukia dator. Kasu horretan, edukiak deitzailearen IP helbidearen eta audioa jasotzeko nahiago duen formatuaren berri ematen du.

Hala ere, gutxitan aurkituko dugu deitutakoaren SIP helbidean haren IP helbidea, hara INVITE mezua bidaltzeko. Alde batetik, ohikoa delako DHCP zerbitzu dinamikoak erabiltzea, eta, ondorioz, erabiltzaile baten makinak erabilitako IP helbidea alda daitekeelako makina pizten duen bakoitzean. Beste alde batetik, SIP helbide bakarra erabiliko dugu erabiltzaile bat identifikatzeko, nahiz eta erabiltzaile horrek gailu batean baino gehiagotan jaso deiak (adibidez, etxeko konputagailuan, telefono mugikorrean, edo tableta batean). Ondorioz, SIP helbide bat IP helbide batekin baino gehiagorekin lotu beharra dago normalean. Horregatik, ohikoagoa da SIP helbidearen eskuineko aldean domeinu baten izena aurkitzea, hau da, helbidearen jabeari telefonia-zerbitzua ematen dion erakundearen domeinua. Hori da lehenagoko adibideko sip:patxi@euskosip.eus eta sips:txomin.etxea@telesip.eus helbideen kasua ('euskosip' eta 'telesip' domeinuen izenak asmatuak dira).

Kasu horretan, deitutakoaren uneko makinaren IP helbidea lortzeko, ezinbestekoa da haren fitxa gordetzen duen erregistratzaileari galdetzea. Erregistratzaile hori topatu ahal izateko, gure hornitzailearen domeinua jartzen da SIP helbideetan. Adibide batean ikusteko, har dezagun 3.10 irudia, deitzailea Ainhoa eta deitutakoa Beñat (sip:beñat@euskosip.eus) direla.



3.10 irudia. SIP deia ezartzeko urratsak.

Urratsez urrats, honako prozedura honi jarraitu behar zaio deia ezartzeko:

- (1) Ainhoaren bezeroak bere proxyari igortzen dio INVITE mezua, Beñaten SIP helbidea azalduz (gogoratu, 'To' lerroan).
- (2) Proxiak DNS galdera bat egingo dio bere DNS zerbitzariari, 'euskosip.eus' domeinuari dagokion SRV erregistroa eskatuz. Erregistro horretan aurkituko du 'euskosip.eus' domeinuan SIP zerbitzua ematen duen makinaren izena, hau da, 'euskosip.eus' domeinuko erabiltzaileen erregistratzailearena egiten duen makinaren izena.
- (3) Proxiak erregistratzaileari birbidaliko dio (1) urratsean jasotako INVITE mezua.
- (4) Erregistratzaileak 'beñat' erabiltzailearen fitxan kontsultatuko du zein IP helbide dagokion, eta hara birbidaliko dio INVITE mezua. Beñaten SIP bezeroak kasu egin behar lioke mezu horri, eta Beñati jakinarazi dei bat duela, txirrina bat joz, adibidez. Beñatek deia onartzen badu, haren bezeroak portu bat irekiko du dei horretarako; horren berri emango dio bere erregistratzaileari, eta seinalearen zain geldituko da portu horretan.
- (5) Beñaten erregistratzaileak jasotako erantzuna birbidaliko dio Ainhoaren proxyari.
- (6) Proxiak erantzuna birbidaliko dio Ainhoaren bezeroari.
- (7) Ainhoaren bezeroak jasotako erantzunean aurkituko duen (IP helbidea, portua) bikoteari bidaliko dio seinalea. Hori beteta, deia ezarrita dago. Handik aurrera, bi SIP bezeroek zuzenean trukatu dituzte beren seinaleak eta komandoak.

Deskribatutakoa oinarritzko funtzionamendua da, baina aldaerak egon daitezke proxiaren eta erregistratzailearen portaeran. Adibidez, baliteke Beñaten zerbitzariak aukera ematea beren erabiltzaileei kontaktatzeko helbide bat baino gehiago erregistratzeko. Hori aprobetxatuz, Beñaten fitxan ager daitezke, adibidez, haren mahai-gaineko konputagailuaren IP helbidea, laneko konputagailuarena eta, baita ere, telefono mugikorraren zenbakia. Aurreko (4) urratsean, erregistratzaileak erantzunik jasotzen ez badu etxeko konputagailuari INVITE mezua birbidali eta gero, amore eman baino lehen, bigarren saio bat egin dezake laneko konputagailuarekin. Horretan ere kale egiten badu, telefono mugikorraren zenbakiarekin saia daiteke. Gerorako utziko dugu zer egin behar den IP telefono batek telefono konbentzional batekin komunikatzeko, Internet bidezko telefonia aztertzen dugunerako.

3.2. Beste protokolo batzuk

SIP ez da, ordea, erabiltzen den protokolo bakarra VoIP telefonian. Hona hemen oso erabiliak diren beste aukera batzuk.

Skype

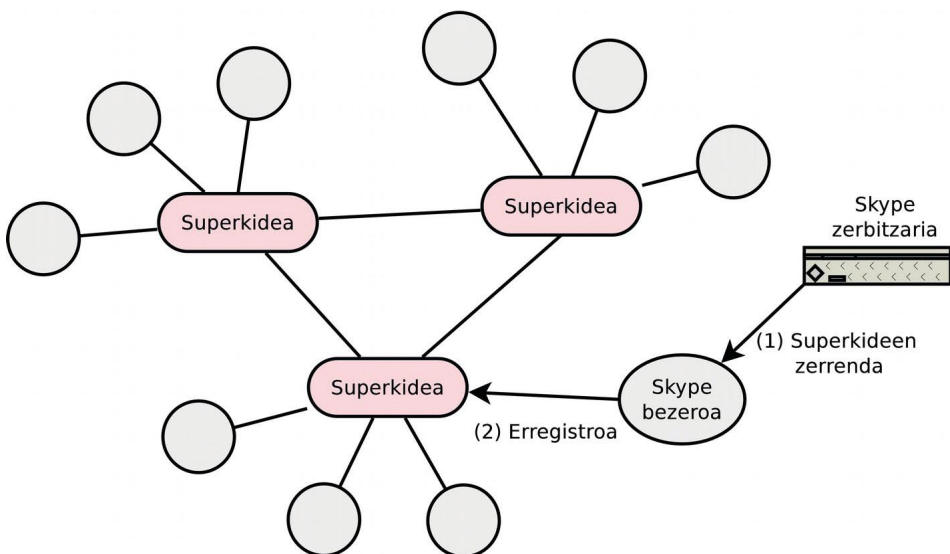
Izen horrekin ezagutzen dugu egungo IP telefoniarako aplikaziorik erabili-ena, baina baita aplikazio horretan erabiltzen den kontrolerako protokoloa ere. Skype konpainia sortu zutenek protokoloa ere definitu zuten, eta ez dute publikoki jakinarazi. Ez da, berez, edozeinek erabil dezakeen estandar bat, baizik eta soilik Skype konpainiak ustiatzen duen protokolo bat. Hala eta guztiz ere, iker-tzaileek aplikazioaren eta protokoloaren zenbait ezaugarri erauzi dituzte, funtzio-namendua aztertuta.

Skyperen arrakastak oinarri teknologiko eta komertzialak ditu. Alde komertziala ez da testu honen helburua, baina merezi du aipamen bat egitea. Skype betiko konpainia telefonikoen gorrotatu izan duten OTT ereduaren paradigma da⁴. Horretan datza zerbitzua oso prezio baxuan emateko duen ahalmena, askotan dohainik (Skype erabiltzaileen arteko deiak, eta, orokorrean, Internetetik atera gabe egindako dei guztiak doakoak dira). Internet erabiltzen duenez solaskideen artean seinalea eramateko (Internet da «*The Top*» OTT akronimoan), ez du inongo garraio-kosturik, edo, hobeto esanda, kostu hori dagoeneko ordaindua dute erabiltzaileek, beren Interneterako konexioan barneratuta. Kostu bakarra zerbitzariak mantentzea da, eta hori web-zerbitzari baten kostuaren antzekoa da. Baina, gainera, hastapenetan, ikaragarri jaitsi zuten kostu hori, P2P eredu erabiliz. Kostu nagusiak Internetetik kan-

⁴ Segituan atzeman zuten betiko konpainia telefonikoen zer ekarriko zuten beren negozio-rako IP telefoniak eta Internetek: AEBeko kongresuan, 1996. urtean, hango telekomunikazio-konpainiek eskatu zuten IP telefonia debekatzea (RFC 2235 agirian aipatuta).

poko telefonoekin komunikatu behar denean agertzen dira. Kasu horretan, ezinbestekoa bilakatzen da betiko sare telefoniko zaharrak zeharkatzea, eta horrek aparteko ordainketa dakar. Baina halakoekin hitz egitea ere betiko sarea erabiltzea baino askoz merkeagoa suertatzen da, Skype konpainiak pasabide zuzenak ezartzen baititu herri guztietako sare telefonikoekin. Ondorioz, nazioarteko dei bat ez da izaten sare lokal batera deitzea baino garestiagoa. Bi kasuetan, deiaren ibilbidea berdina da: Interneten zehar behar den pasabideraino heldu, eta, hortik aurrera, konpainia telefonikoaren sarea zeharkatu, edonongoa izanda ere.

Alde teknologikoari begiratuta, Skypek bere lehiakide guztiak gailendu ditu hainbat aldetatik. Banda-zabaleraren kontsumoaren eta kalitatearen arteko erlazio bikaina lortu zuen hasieratik Skypek, horretarako hainbat codec mota erabiliz. Ohikoa da Skype bidez lortutako kalitatea betiko telefoniaren bidezkoa baino handiagoa izatea. Izan ere, normalean, Skype 16 KHz-ean hartzen dira soinu-laginak; betiko sare telefonikoan, aldiz, 8 KHz-ean hartzen dira. Lehenengo kapituluan ikusi genuenez, horrek ez du ia eraginik izango gizakien ahots digitalizatuaren kalitatean, baina bai ahotsarekin batera jaso daitezkeen soinuaren kalitatean (adibidez, musika-doinu laguntzaile bat, edo kalean egon daitezkeen beste soinu asko). Seinalea bidaltzeko, UDP erabiltzen du normalean Skypek, baina TCP hartzen du suhesiak edota NAT zerbitzariak agertzen badira solaskideen artean (gero aztertuko dugu arazo hori). UDP bidezko trafiko-galerak berreskuratzeko, FEC teknikak erabiltzen ditu, ahots- zein bideo-transmisioan. Sarearen egoerara egokitzeko, hau da, banda-zabalerara eta galera-tasara egokitzeko, erabiltako codec eta FEC funtzioak dinamikoki alda ditzakete Skype bezeroek. Bidalitako guztia zifratzen du Skypek, bai seinalea, baita kontrol-mezuak ere.



3.11 irudia. Skype sare egitura eta bezero baten abiatzea.

Kontrol-kanalari dagokionez, P2P teknikak erabili ditu Skypek deitzaileak deitutakoa non dagoen aurkitzeko. Horretarako, bi motatako parte-hartzaileak egoten dira Skype sarean: kide arruntak eta superkideak. Superkideek bilaketa-sare bat (*overlay network*) osatzen dute, eta kide arruntek sare hori erabiltzen dute deitutako kidea kontaktatzeko behar duten (IP, portua) bikotea aurkitzeko. Superkideen artean taula bat banatzen dute, non erabiltzaileen izenak eta (IP, portua) bikoteak lotzen diren. Ainhoa eta Beñat Skype-erabiltzaileak badira, beren bezeroak abiatzen dituztenean, haiek aurretik konfiguratutako Skype-zerbitzari batekin jartzen dira harremanetan, TCP konexioak erabiliz, eta inguruan dauden superkideen zerrenda jasotzen dute. Ainhoaren eta Beñaten bezeroek superkideren bat aukeratuko dute; berarekin harremanetan jarri, eta beren buruaren berri emango diote, hau da, beren (IP, portua) bikotea emango diote. Superkideek erregistratzailearen lana egingo dute, baita proxiarena ere: Ainhoak Beñati deitu nahi dionean, bere superkideari eskatuko dio Beñati dagokion (IP, portua) bikotea. Superkideen artean banatua duten taulan bilatzeko modua ez dute argitaratu, baina, segur aski, DHT teknika (*Distributed Hash Table*) erabiliko dute.

Jatorrizko Skype sarean, superkideak erabiltzaile batzuen makinak ziren. Skype sortu zutenek fitxategiak partekatzeko Kazaa P2P sarea sortu zuten lehenago, eta orduan ikasitakoa IP telefonian aplikatu zuten. Horregatik, Kazaa sarean bezala, erabiltzaileek ez ziren soilik P2P sareaz baliatzen: horretaz gain, sare horren funtzionamenduan laguntzeko aukera zuten superkidearena eginez, era berean P2P filosofia betez. Edonor ezin zen superkide bilakatu, zenbait baldintza bete behar baitziren horretarako: IP helbide publikoa erabiltzea —NAT zerbitzari baten atzean egon gabe, alegia—, nahiko banda-zabalera edukitzea erabiltzeko prest, eta nahiko CPU ahalmena ere libre edukitzea, kide arruntei kasu egin ahal izateko. Auzolan moduko funtzionamendu horri 2012. urtera arte eutsi zioten. Urtebete lehenago, Microsoft konpainiak erosi zuen Skype, eta, gero, auzolanean zeuden 48.000 erabiltzaile ingururen superkideak ordezkatu zituen konpainiaren beste 10.000 nodorekin, munduan zehar barreiatuta. Mugimendu horiek mesfidantza-zirrikituak ireki zituzten, agerian gelditu baitzen 2011. urtean bertan Skype sarea AEBko PRISM espioitza masiborako sisteman sartuta zegoela.

H.323

ITU-T (ITUren telekomunikazio-arlorako atala) erakundeak egindako estandarra da. Esan daiteke betiko telefonia-konpainien estandarra izan dela IP telefoniarako. Lehenengo bertsioa argitaratu zenetik, 1996. urtean, lehia bizian ibili da SIP protokoloarekin, baina, egun, SIP gailendu da estandarren arteko borroka horretan. Oraindik ere erabiltzen da zenbait VoIP aplikaziotan; adibidez, Ekiga-n (bata zein bestea, SIP eta H.323, erabil ditzake Ekigak), baina Internet komunitateak, beste behin⁵, bizkarra

⁵ Gogoratu, adibidez, X.25/X.75-ren eta IPren arteko lehia, edo X.400 eta SMTP posta elektronikorako estandarren artekoa.

eman die konpainia telefonikoek bultzatutako estandarrei, eta bere barnean sortutako estandar irekia hartu du; SIP, alegia.

Berez, protokolo bat baino gehiago, protokolo sorta bat da H.323. SIP baino zabalagoa da, ez baitu kontrolerako kanalaren protokoloa soilik ezartzen (H.225.0 eta H.245 estandarraren zatiek arautzen dute kontrol-kanala). Horretaz gain, VoIP aplikazioek behar dituzten beste protokolo eta estandarrak ere ezartzen ditu: seinalerako kanalean erabiltzeko protokoloa —RTP, hain zuzen ere (VoIPrako RTP erabili zuen lehenengo estandarra izan zen H.323)—, segurtasunerako ezaugarriak (H.235) eta beste hainbat osagarri eta hedapen (H.450, H.239, H.460).

Hasiera batean ematen duen baino antz handiagoa dute H.323 eta SIP ereduak. Hiztegi zeharo ezberdina erabiltzen badute ere, kontzeptualki era berean antolatzen dute komunikazioa, biek bezero/zerbitzaria ereduari jarraitzen baitiote. SIP munduan proxia/erregistratzailea eta pasabidea esaten diegunei Gatekeeper eta Gateway esaten diete H.323 unibertsoan, hurrenez hurren, baina haien funtzionalitatea oso antzekoa da, nahiz eta definitutako zereginak betetzeko protokolo desberdinak erabili.

XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol)

Jatorrian Jabber zeritzon, eta XML formatuan (*eXtensible Markup Language*) oinarritzen den protokolo bat da. Hasiera batean, uneko mezularitzarako garatu zuten, baina telefonian saioak ezartzea eta mezu bat unean bertan ematea hain arazo antzekoak izanik (bietan kontua hartzailea non dabilen asmatzea da), IP telefoniarako zabaldu zuten. Egun, IETFk onartutako estandarra da XMPP protokolo orokorra (RFC 6120), baina haren VoIP hedapena, Jingle protokoloa, XMPP Standards Foundation erakundearen zirriborroa besterik ez da oraindik.

SIP eta H.323 protokoloak bezala, RTP erabiltzen du XMPP/Jingle seinalerako. Etorkizuneko VoIPrako protokoloa izateko aukera zabaldu zen Googlek bere GoogleTalk zerbitzurako XMPP erabiliko zuela iragarri zuenean. Baina itxaropen horiek 2014ko maiatzean zapuztu ziren, Googlek iragarri zuenean bertan behera utziko zuela XMPP zerbitzua eta ahots-zerbitzuak protokolo propio baten bidez emango zituela.

WebRTC

Ez da protokolo bat, baizik eta protokolo eta API sorta bat (*Application Programming Interface*), denbora errealeko komunikazioak zuzenean web-arakatzaileren bidez egiteko, beste aplikazio bat edo pluginak erabili beharrik gabe. Hasiera batean, badirudi WebRTCk ekartzen diola IP telefoniari HTML5 estandarrak streaming-sistemei ekarri dion onura bera. Baina askoz haratago doa WebRTCren eragina, telefonia-zerbitzua web-aplikazioetan barneratzea ekar dezake eta. RFC 7478 agirian, haren erabilerarako zenbait aukera deskribatzen dira. Arakatzaille nagusiek dagoeneko badute WebRTC ahalmena.

Haren estandarizazioa IETF (*Internet Engineering Task Force*) eta W3C (*World Wide Web Consortium*) egiten ari dira. HTML5 bideoarekin bezala, arazorik handienetako bat erabiltzen den bideo-kodeketan datza, H.264 eta VP8/9 artean.

WebRTC arakatzailen arteko komunikazio zuzena bideratzen duenez, P2P erako komunikazioa dela aipatzen da askotan. Hala ere, zerbitzarien beharra ez da desagertzen, IP telefonian, orokorrean, gertatzen den bezala: IP telefoniarako terminalen arteko komunikazio zuzena izateak ez du esan nahi P2P aplikazioa denik, edo, behintzat, zerbitzaririk ez denik behar. Oraingoz ez da inon definitu zer den edo zer egin behar duen WebRTC zerbitzari batek, baina maiz topatuko dugu termino hori. Nolanahi ere, WebRTC zerbitzua erabiltzeko, baldintza hauek bete behar dira:

- Bi arakatzailen berri duen zerbitzari batek egin beharko du konexioa. Nolabaiteko seinalizaziorako zerbitzari-lana egin beharko du, alegia.
- Geroago aztertuko ditugun TURN eta STUN bitartekariak ere beharko dira, NAT eta suhesiak haien barnean egongo baitira.
- Era berean, sare desberdinetako erabiltzaileak elkarrekin komunikatu ahal izateko, pasabideak ere beharko dira.

Testuinguraren arabera, ikusiko dugu aurreko edozeini WebRTC izena ematen zaiola.

Inter Asterisk Exchange 2. bertsioa (IAX2)

Asterisk VoIP zerbitzari bat da. Hainbat VoIP protokolo erabil ditzake, baina haren sortzaileek beren protokolo propioa ere sortu zuten, IAX protokoloa (RFC 5456), Asterisk zerbitzarien arteko komunikazioetarako. Gero, haren erabilera zabaldu egin da VoIP aplikazioen osagai guztien arteko harremanetarako. Are gehiago, multimediako edozein komunikazio-kontrolerako erabil daiteke, bideo-streaming-a barne.

«Dena batera» motako protokolo bat da (*All-in-one*), kontrolerako trafikoa eta seinalea kanal beretik bidaltzen baititu UDP erabiliz. Horrek asko laguntzen du NAT eta suhesiak zeharkatzeko arazoa gainditzen (laster aztertuko ditugu). IAX2ren beste abantaila bat ahots-laginei gehitutako goiburukoen tamaina da, RTPk gehitutakoa baino nabarmen txikiagoa baita. Adibidez, ahotsa transmititzeko 8 kb/s abiaduran eta 20 ms-ro datagramak sortzen dituen sistema batean, datagrama bakoitzak 20 byte ahots garraiatzen du. IAX2 protokoloak 4 byteko goiburukoa gehitzen du, hau da, % 20ko zama, eta RTPk, aldiz, 12 byte, hau da, %60 ko gainkarga.

Skinny Call Control Protocol (SCCP)

Cisco-k garatutako protokolo propioa da SCCP. Beren VoIP produktuen arteko komunikazioetarako erabiltzen da, zerbitzarien eta IP telefonoen artekoetarako ba-

tez ere (Cisco-ren izendegi aldakorrean, VoIP zerbitzariak orain *Cisco Unified Communications Manager* dira; lehen, *CallManager* besterik ez). TCP gainean erabiltzen da SCCP, eta, seinalerako, Cisco-ren IP telefonia-sistemek RTP/UDP erabiltzen dute. SCCPren diseinua Cisco-ren ekipoekin integratuta dago, haiekin lan egiteko pentsatuta baitago. Hala eta guztiz ere, beste konpainia batzuek alderantzizko ingeniariarritza erabiliz implementatu dute protokoloa beren produktuetan. Adibidez, Asterisk telefonoguneek SCCPrekin lan egin dezakete, konpainiak sortutako software libreko inplementazio bat erabiliz.

4. Internet bidezko telefonia

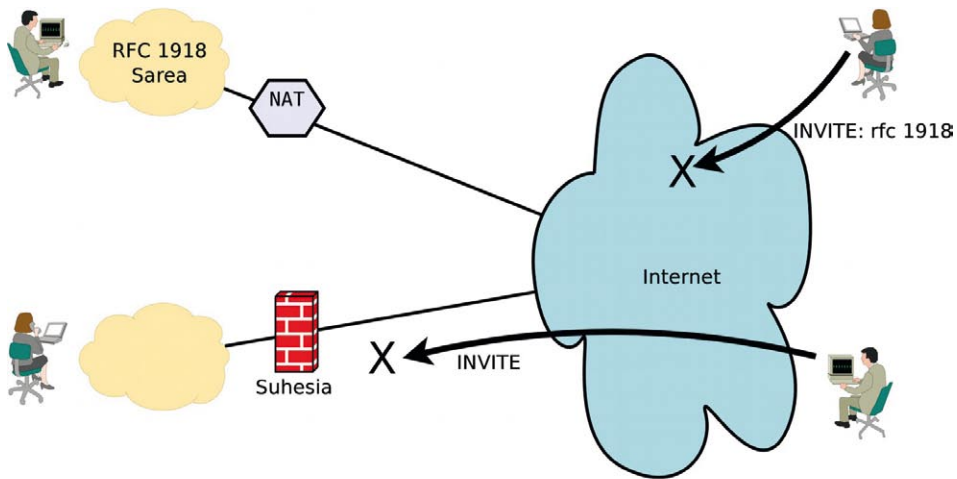
Internet erabiltzen badugu telefoniarako, seinaleak denbora errealean transmititzeaz eta deiak ezartzeaz gain, beste bi arazo hauek agertzen dira: suhesiak eta NAT hesiak zeharkatzea, eta betiko sare telefonikoekiko komunikazioa. Azken honrrekin lotuta dago gure betiko zenbaki telefonikoen erabilera IP telefonia-sistemetan.

4.1. NAT eta suhesiak

Egungo Internet-erabiltzaile gehienak NAT edota suhesi baten atzean daude kokatuta. Bai NAT zerbitzariak baita suhesiek ere pantailarena egiten dute beren sare lokalean; erabiltzaileak bere makina konektatua duen sarean, alegia. Kasu horretan, soilik IP helbide publiko bat edota suhesian espresuki baimendutako sareko zerbitzariak daude ikusgarri kanpoan —Interneten— kokatuta dauden beste makinentzat. Baimenduta dauden makina horien artean ez da egoten erabiltzailearena, eta, ondorioz, ez da posible kanpoko makina batek konexio bat ezartzea erabiltzailearen makinekin. Beraz, lehenago ikusitako dei telefonikoa ezartzeko mekanismoek ez dute zereginik kasu horietan, IP telefoniarako bezero batek, behin deitutakoaren (IP, portua) bikotea aurkituta, ezingo baitu komunikaziorik ezarri, IP hori ez baita atzigarria izango NAT edo suhesi baten atzean badago.

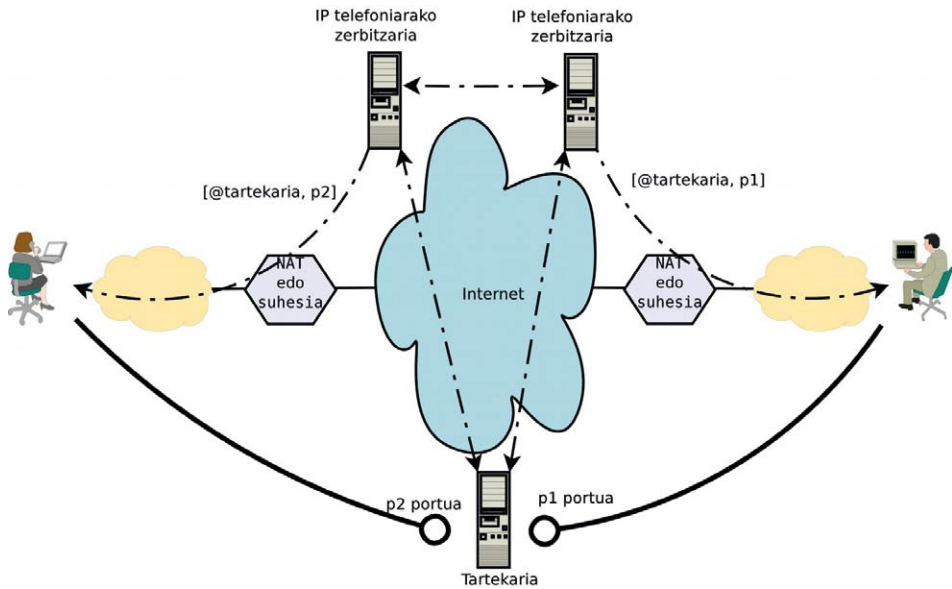
Hesi horiek gainditzeko, tartekariak erabili behar dira (*relay*, ingelesez), 3.13 irudian azaltzen den moduan. Tartekariak edozein erabiltzailearentzat ikusgarri egon behar duten zerbitzariak dira, hau da, aukera egon behar du haiekin Interneteko edozein gunetatik konexio bat abiatzeko, inongo suhesi edo NAT oztoporik gabe. Ainhoak Beñati deitu nahi dionean, bere IP telefoniako zerbitzariarekiko komunikazioa abiatu behar du lehenik (Skyperen kasuan, superkidearekin, eta, SIP-ren kasuan, proxiarekin). Era berean, Beñatek bere bezeroa abiatzen duenean, bere IP telefoniako zerbitzariarekin ezarri behar du kanal bat. Ainhoak Beñati deitzea eskatzen dionean bere zerbitzariari, hark, erabilitako protokoloak agindutakoa bezela, Beñati dagokion zerbitzaria aurkituko du, eta hari helaraziko dio Ainhoaren

eskaera. Ohartu kanpoko komunikazioak bideratzeko IP telefoniako zerbitzariak ikusgarri egon behar dutela kanpotik, bestela Ainhoaren zerbitzariak ezingo bailuke komunikaziorik abiatu Beñaten zerbitzariarekin (edo alderantziz). Irudian, bi zerbitzariak babestutako sareetatik at daude, baina beste aukera bat litzateke bi zerbitzari horiek NAT/suhesien atzetik egotea baina IP helbide publikoak erabiltzea eta suhesian ikusgarri izateko konfiguratuta egotea. Beñaten zerbitzariak Beñati birbidaliko dio jasotako eskaera. Beñatek deia onartzen badu, bi zerbitzariak tartekari bat adostu behar dute, eta hari eskatu portuak irekitzeko Ainhoarentzat eta Beñatentzat. Tartekariak portu horiek prest dituenean, zerbitzariak tartekariaren IP helbidea eta portua helaraziko dizkiete Ainhoaren eta Beñaten bezeroei, eta haiek konexioak ezarriko dituzte tartekariarekin, 3.13 irudian agertzen den bezala. Hortik aurrera, tartekariak portu batetik jasotakoa bestetik birtransmitituko du, eta, horrela, Ainhoaren eta Beñaten arteko elkarrizketa gauzatu da, nahiz eta Ainhoa zein Beñat NAT edo suhesi baten atzean egon. Gakoa da deitutakoaren bezeroak ez duela inongo konexiorik hartu behar, konexio guztiak bezero batengandik bistan dagoen zerbitzariren baten kontra abiatzen direlako.



3.12 irudia. NAT eta suhesien atzeko ikusezintasuna.

Deskribatutako mekanismoa, funtsean, **TURN** deritzon teknika da (*Traversal Using Relays around NAT*, RFC 5766). Teknika horrek aldaera asko ditu, NAT eta suhesi era asko daudelako. Hasieran definitu zen teknika sortari **STUN** deritzo (*Session Traversal Utilities for NAT*, RFC 5389). Izan ere, TURN haren hedapen bat da, hainbat kasutan eskas gelditzen baitzen STUN. Bien —STUN eta TURN aukeren— erabilera antolatzen duen beste estandar bat ICE da (*Interactive Connectivity Establishment*, RFC 5245).



3.13 irudia. TURN erabilera suhesiak eta NAT zerbitzariak gainditzeko.

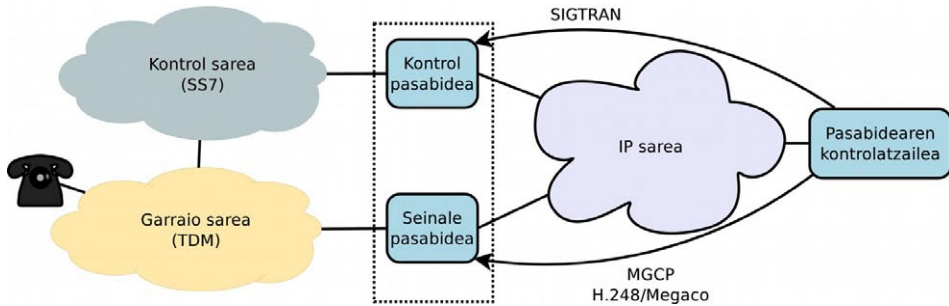
Askotan, suhesiek edota NAT zerbitzariak ez dute onartzen barruko bezeroek hasitako komunikazioetan UDP protokoloa erabiltzea. Debeku horrek IP telefonia aplikazioetako seinalerako kanalean TCP erabiltzera behartzen du, eta ez denbora errealeko multimedia-aplikazioetan ohikoa den RTP/UDP tandemak.

4.2. IP telefoniaren eta sare telefoniko klasikoaren arteko komunikazioa

Internet bidezko telefoniak eta, orokorrean, IP telefoniarako sistemek, benetakoa arrakasta izatearren, ezinbestekoa dute sare telefoniko klasikoekin lan egitea. Hau da, IP telefono batek ahala izan behar du beste edozein telefono batetik deiak jasotzeko edo telefono horretara deiak egiteko, edozein saretan kokatuta badago ere beste telefono hori. Horretarako, bi dira baldintzak. Bata, IP telefoniako zerbitzua ematen duten sareak, tartean Internet, fisikoki konektatuta egotea betiko sare telefonikoekin, eta biren arteko seinalearen kodeketa bihurtzeko egitea (**transcoding**). Bestea, IP sareetan erabiltzen diren erabiltzaileen identifikadoreak eta betiko sare telefonikoan erabilitako zenbakien arteko itzulpena. Lehenengo arazoari helduko diogu orain.

VoIPren eta sare telefoniko zaharren arteko komunikazioa pasabideek gauzatzen dute (ingelesez, *gateway*). Pasabideek komunikazio telefonikoaren bi alde zaindu behar dituzte: alde batetik, seinalea bihurtzeko lana (**media gateway**), eta, bestetik, kontrol-kanaleko komandoak itzultzeko lana (**signaling gateway**). Bi lan

horiek gailu fisiko bakar batean elkartu daitezke, baina, askotan, bi bihurketa horiek gailu desberdinetan egoten dira, fisikoki banatuta, sare telefoniko zaharretan fisikoki desberdinak baitira ahotsa garraiatzeko sare eta kontrolerako sare. Beste alde batetik, pasabideko bi alde horiek kontrolatzeko gailua ere beharko da (**gateway controller**). Hiru osagai funtzional horien definizioa jasota dago zenbait RFCtan (RFC 2719, RFC 2805). 3.14 irudian dituzu haien arteko erlazioa eta haien lanetan erabilitako protokolo nagusiak.



3.14 irudia. Kontrol pasabidea, seinale pasabidea eta pasabidearen kontrolatzailearen arteko erlazioa eta protokoloak.

Seinaleak bihurtzeko pasabideak soinua edota bideoa garraiatzen duten datagramen eta zirkuitu bidezko sareetan ibiltzen diren TDM tramen arteko bihurketa egiten du. ITSP baten sare eta betiko sare telefoniko baten arteko lotura egiten duen gailu bat izan daiteke (*trunking gateway*), baina ez da aukera bakarra. Enpresa baten IP telefonogunea ere izan daiteke (*business gateway*); alde batetik, RJ-11 konexioak jasotzen ditu, eta, beste alde batetik, IP sarearekin lotuta dago, deiak hortik bideratzeko. Etxetan zerbitzu telefonikoa IP bidez jasotzen badugu, etxeko modem-routerrak IP telefoniarako pasabide-lana ere hartzen du; alde batetik, RJ-11 konektorea eskainiz, telefonoa lotzeko, eta, bestetik, ITSPren sarearekin lotuta (ADSL bidez, esate baterako).

IP sareetan eta sare telefoniko zaharretan erabilitako kontrol-protokoloen arteko bihurketa bi urratsetan egiten da. Lehenengo urratsean, IP telefoniako zerbitzuetan erabilitako kontrol-protokoloen (Skype, SIP...) eta SIGTRANen arteko bihurketa egiten du pasabidearen kontrolatzaileak. **SIGTRAN** (RFC 2719) sare telefoniko zaharretan erabiltzen den SS7 kontrol-protokoloen familiaren egokitzapena da, IP sareetan protokolo horiek erabili ahal izateko eta, era berean, betiko sare telefonikoak kontrolatzeko sortu ziren SS7/TDM sareak ordezkatzeko eraginkorragoak diren IP sareekin. SS7 mezuak IP datagrametan nola bidali ezartzen du SIGTRAN estandarrak; horretarako, protokolo-familia oso bat definitzen du, tartean garraio-mailako protokolo berri bat (SCCP, *Stream Control Transmission Protocol*), kontrol-datagramak bere helburura heltzen di-

rela bermatzeko, baina TCP erabiltzeak dakarren zamarik gabe. Izena protokolo sorta landu zuen IETFren lantaldeko izenetik eratorria da (*SIGnaling TRANsport*). Kontrol-protokoloen bihurtaren bigarren urratsa SIGTRAN eta SS7 arteko bihurteta da, hau da, SIGTRAN/IP datagrametatik SS7 mezuak erauzi eta jatorrizko SS7 eran birtransmititzea SS7 kontrolerako sare zaharretan, eta alde-rantzizkoa. Bigarren urrats hori da kontrol-kanalerako pasabideak (*Signaling Gateway*) egiten duena.

Pasabidearen kontrolatzaileak (*Gateway Controller*, edo, agiri askotan, *Call Agent*) seinaleetarako pasabidea kontrolatzeko, honako bi hauek dira protokolo nagusiak: **MGCP** (*Media Gateway Control Protocol*, RFC 3435), eta haren ordezkoa izateko definitu zuten **H.248/Megaco** protokoloa. Lehena ez da estandar bat izatera heldu, baina erabiltzen da oraindik, ekoizleek definitutako zenbait aldaeratan. Bigarrena, IETFren eta ITUren arteko lankidetzaren emaitza izan zen. Horregatik du izen bikoitza, bata IETFk erabilia (Megaco) eta bestea ITUk emana (H.248). IETFk estandarra eguneratzeari utzi zion (azken definizioa, RFC 3525 agirikoa, historiko gisa birsailkatu zuten RFC 5125 agirian), eta, egun, ITUk argitaratutako 3. bertsioa da estandar ofiziala. Harrigarria bada ere, H.248.1 izena eman dio ITUk 3. bertsio horri. Zenbait testuingurutan, softswitch hitza ere erabili izan dute pasabidearen kontrolatzailea izendatzeko.

4.3. Zenbaki telefonikoen erabilera: ENUM

Telefonia klasikoan, erabiltzaileak **E.164** estandarrak ezarritako moduan antolatutako zenbaki telefonikoen bidez identifikatzen dira. IP telefonian, aldiz, erabiltzaileen identifikadoreak hartzen dira, SIP helbideen kasuan ikusi dugun moduan, eta, gero, DNS erabiltzen da telefoniako erabiltzaileen identifikadore horiek eta haien IP helbideak lotzeko. Betiko sare telefonikoan dagoen telefono klasiko batetik IP telefono batera deitu ahal izateko, IP telefono horrek, bere IP telefoniarako identifikadoreaz gain (adibidez, SIP sistema batean, SIP helbidea), E.164 zenbaki bat ere beharko du. Sare klasikotik IP sarera igarotzerakoan, deitutako E.164 zenbakia deitutakoaren IP telefoniarako identifikadorearekin lotu beharko dugu. Lotura hori egiteko, gehien erabiltzen den sistema IETFk definitutako ENUM estandarrean (*E.164 Number to URI Mapping*, RFC 6116) oinarritzen da. Haren funtzionamendua ulertzeko, ikus dezagun adibide bat. Demagun Ainhoak, bere betiko telefonoa erabiliz, Beñati deitu nahi diola. Beñatek Internet bidezko telefonia erabiltzen du, SIP bidez, baina E.164 zenbaki bat ere esleitu dio IP telefoniako zerbitzua ematen dion konpainiak (bestela, ez dugu zereginik). Ainhoak zenbaki hori kalkatuko du bere telefono klasikoan. Zenbaki hori ikustean, Ainhoaren konpainiak atzemango du IP bidezko zerbitzua ematen duen konpainia bati dagokiola, eta deia pasabide baterantz bideratu beharko du. Pasabideak —edo, zehatzago, pasabidearen kontrolatzaileak— egin beharko du deitutako E.164 zenbakiaren eta Beñaten SIP helbidearen arteko lotura. Horretarako, bi urrats hauek egin

beharko ditu: lehena, E.164 zenbaitik DNS izen bat eratorzea, eta, bigarrena, eratorritako izen horri lotutako SIP helbidea eskatzea berriz DNS erabilia.

E.164 zenbaki batetik eratorritako DNS izenak DNS zerbitzarien hierarkian izen horri dagozkion erregistroak bilatzeko modua eman behar du. Horretarako, oso egokia da zenbaki telefonikoen E.164 egitura, ezkerretik hasita dagoeneko hierarkia bat baitago definituta. Adibidez, +(376) 818 000 telefono-zenbakian, 376 estatuko aurrezenbakia dugu, Andorrari dagokiona. Nazioartean, sare telefoniko baten kommutagailuak telefono horretarako dei baten eskaera jasotzen duenean, aurrezenbaki horri esker jakingo du Andorran zerbitzua ematen duten sareetara bideratu behar duela deia. Antzekoa egiten du DNS zerbitzari batek .ad amaitzen den izen baten eskaera bat jasotzen duenean, hau da, .ad TLD (*Top Level Domain*) domeinuko zerbitzari bati galdetuko dio ea non dagoen bilatzen ari den DNS erregistroa gordetzen duen DNS zerbitzaria. Azken finean, biak, DNS izenak eta E.164 zenbakiak, antzeko era hierarkikoan idazten dira, baina, batean, hierarkia ezkerretik eskuinera azaltzen da (zenbaki telefonikoetan), eta, bestean, aldiz, eskuinetik ezkerrera (DNS izenak). Egokia dirudi, orduan, zenbaki telefoniko batetik DNS izen bat eratorri behar badugu, zenbaki bera alderantziz idaztea. Hori da RFC 6116 agirian definitzen den bihurketa, pasabidearen kontrolatzaileak egiten duena. Adibidez, +(376) 818 000 telefono-zenbakiari dago-kion DNS izena 0.0.0.8.1.8.6.7.3.e164.arpa izango da. Amaieran, .e164.arpa domeinua gehitu zaio zenbakiari, hori baita ENUM bihurketetarako espresuki definitu den TLD domeinua. Domeinu horren zerbitzariak erregistratua izango dute zer DNS zerbitzari dagozkion E.164 nazioarteko aurrezenbaki bakoitzari.

NAPTR erregistroak

Adibidearekin jarraituz, Beñaten SIP helbidea lortzeko bigarren urratsa falta da, hau da, Beñaten zenbaki telefonikotik eratorritako izenari dagokion DNS erregistroa eskatzea. Erregistro horiek NAPTR izenekoak dira (*Naming Authority PoiNTeR*, RFC 3403). Horrelako erregistro batean aurkituko dugu Beñaten zenbaki telefonikoari dagokion SIP helbidea. Hala ere, NAPTR erregistroak zenbaki telefonikoak eta SIP helbideak lotzeko baino gehiagorako balio dute: zenbaki telefoniko bati edozein motatako identifikadorea lotzeko ere balio dute, edo, hizkera teknikoagoa erabiliz, edozein URI E.164 zenbaki batekin lotzeko (gogoratu SIP helbidea URI mota bat dela). Berez, zenbaki bati ez dagokio NAPTR erregistro bakar bat, NAPTR erregistro sorta bat baizik; zenbakiari lotu nahi diogun zerbitzu bakoitzeko erregistro bat, hain zuzen ere. NAPTR erregistroen malgutasun horrek egundoko ahalmena ematen dio ENUM sistemari, E.164 zenbaki batekin edozein zerbitzu lot baitezakegu. Hau da, gure zenbaki telefonikoa emanda, nahikoa izan daiteke guri dei telefoniko bat egiteko Internetetik zein sare telefoniko konbentzionaletik, guri mezu elektronikoa bat bidaltzeko, gure web-orri pertsonalaren URLa lortzeko, edo uneko mezu bat guri bidaltzeko. Zerbitzu bilduma horri IP bidezko oraingo edo etorkizuneko beste edozein zerbitzu gehitu diezaiokezu.

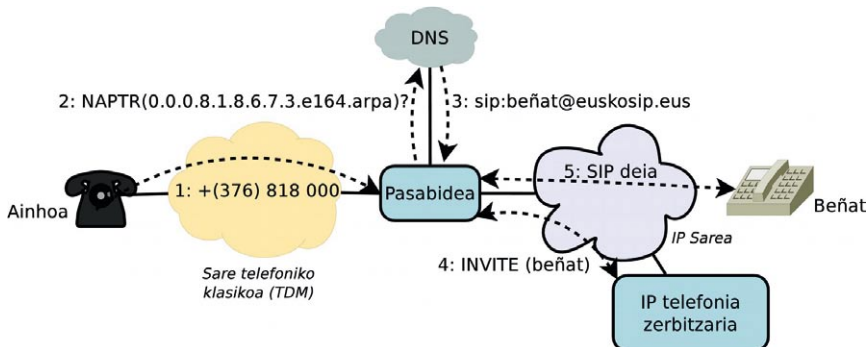
Malgutasunari eusteko, NAPTR erregistroek zenbait eremu behar dute. Honako hauek definitu dira:

- Izen bati dagozkion NAPTR erregistroak sailkatzeko zenbakia. Lehenago, zenbaki txikiena duten NAPTR erregistroak hartu behar dira kontuan. Zenbaki hori izenari lotutako zerbitzuen artean lehentasunak ezartzeko erabiltzen da. Adibidez, erabiltzaile batek nahiago badu IP telefoniako zerbitzua erabiltzea berarekin komunikatzeko, IP telefoniarako identifikadorea ematen duen NAPTR erregistroari emango dio zenbaki txikiena.
- Berdinen arteko lehentasuna azaltzeko zenbakia. Bigarren zenbaki horrek sailkapen bereko erregistroen arteko lehentasuna ezartzeko balio du; horretan ere, berriz, lehentasun handiena zenbakirik txikiak du.
- Flag bat erregistroaren eremuak interpretatzeko.
- Zerbitzua deskribatzeko eremua, azaltzeko nolako URIa gordetzen duen erregistroak eta zer protokolo erabili behar den zerbitzu hori eskuratzeko.
- Gordetako URIa azaltzen duen espresio erregular bat. Espresio erregularra hutsa denean, haren ondotik agertuko den DNS izena erabili behar da.

Beñatek bere zenbaki telefonikoari bere SIP helbidea besterik lotu nahi ez badio, zerbitzu telefonikoa ematen dion konpainiak horrelako NAPTR erregistro bat txertatu beharko du zenbaki horri dagokion barrutiko DNS zerbitzarian:

```
IN NAPTR 100 10 "U" "sip+E2U" "!^.*$!sip:beñat@euskosip.eus!"
```

Sailkatzeko zenbakia 100 da, eta lehentasuna, berriz, 10. "U" flagak azaltzen du erregistroak URI bat emango duela, erregistroaren amaieran aurkituko dugun espresio erregularra ebatzita. Zerbitzua deskribatzeko eremuak ("sip+E2U") SIP protokoloa erabiliko dela zehazten du, E.164 zenbakitik eratorritako URIa erabiliz (E2U kodeak *E.164 to URI* bihurteta esan nahi du). Amaieran dagoen espresioaren emaitza sip:beñat@euskosip.eus SIP helbidea da. Ikusi 3.15 irudian nolako litzatekeen Ainhoak Beñati egindako deia ENUM sistema eta NAPTR erregistroa erabiliz.



3.15 irudia. Kontrol pasabidea, seinale pasabidea eta pasabidearen kontrolatzailearen arteko erlazioa eta protokoloak.

Bestelako zerbitzuak NAPTR erregistroen bidez

Demagun Beñatek hainbat zerbitzu lotu nahi dizkiola bere zenbaki telefoniko finkoari, IP telefoniaz gain. Adibidez, demagun beste edozeinek nahi duela, Beñaten telefono finkoko zenbakia erabiliz, Beñati mezu elektronikoa bat bidali, beraren web-orria bisitatu, edo beraren mugikorrera deitu. Kasu horretan, honelako lau NAPTR erregistro sartu beharko ditu DNS zerbitzarietan:

```
IN NAPTR 100 10 "U" "sip+E2U" "!^.*$!sip:beñat@euskosip.eus!"
IN NAPTR 110 10 "U" "tel+E2U" "!^.*$!tel:+376-3-12345!"
IN NAPTR 120 10 "U" "smtp+E2U" "!^.*$!mailto:beñat.k@posta.eus!"
IN NAPTR 130 10 "U" "http+E2U" "!^.*$!http://beñat.eus!"
```

Aurreneko erregistroa VoIP zerbitzuari dagokio; bigarrena, telefonia mugikorriari; hirugarrena, posta elektronikoa, eta azkena, web-orriari. Pasabideak Beñaten zenbaki telefonikoari dagozkion NAPTR erregistroak eskatzen dizkionean DNSri, sorta hori jasoko du erantzun gisa. Pasabideak aukeratu behar du zein den egokiena eskatu dioten lana egiteko. Berez, NAPTR erregistroak ez dituzte soilik erabiltzen sare telefoniko konbentzionalak eta Internet lotzen dituzten pasabideek; komunikazio pertsonaleko edozein aplikaziok erabil ditzake, eta unean uneko zerbitzua aukeratu norbaitekin komunikatzeko.

Are gehiago, NAPTR erregistroen erabilera ez dago mugatuta E.164 zenbakiei IP zerbitzuak lotzean. Izan ere, beste identifikadoreak ere har ditzake erabiltzaile baten identifikadore unibertsal gisa, eta, gero, NAPTR erregistroen bidez zerbitzuak lotu identifikadore unibertsal horrekin. Adibidez, Beñatek posible zuen bere posta elektronikorako helbidea aukeratzea bere identifikadore gisa eta, NAPTR erregistroen bidez, helbide horri hainbat IP zerbitzu lotu. SIP telefonian ere oso erabiliak dira NAPTR erregistroak, RFC 3263 agirian deskribatzen den moduan. Kontuan hartu SIP erabil daitekeela UDP, TCP, SCTP edo TLS/TCP gainean, baina SRV erregistro batek emandako zerbitzariaren izenak ez digu azaltzen zein protokolo erabili behar den zerbitzari horrekin hitz egiteko. NAPTR eta SRV erregistroak konbinatuz, aldiz, protokolo-aukera horiek bereiz daitezke. Adibidez, demagun Beñaten VoIP hornitzaileak honako hiru NAPTR erregistro hauek lotzen dizkiola bere euskosip.eus domeinuari:

```
IN NAPTR 100 20 "S" "sips+D2T" "" _sips._tcp.euskosip.eus
IN NAPTR 120 20 "S" "sip+D2T" "" _sip._tcp.euskosip.eus
IN NAPTR 140 20 "S" "sip+D2U" "" _sip._udp.euskosip.eus
```

beñat@euskosip.eus helbidera dei bat egiteko TCP eta UDP protokoloiei eusten badie INVITE agindua jasotzen duen SIP zerbitzariak, euskosip.eus domeinuari dagokion SRV erregistroa eskatu baino lehen NAPTR informazioa eskatuko du. Aurreko erregistroak jasota, ikusiko du hiru aukera daudela Beñaten SIP zerbitzariarekin harremanetan jartzeko, hurrenkera honetan: sips+D2T, D2T edo D2U. Lehena TLS/TCP erabiltzea da, bigarrena TCP eta azkena UDP. Orain arte emandako NAPTR erregistroen adibideetan ez bezala, oraingoan "S" aurkituko dugu flag

eremuan. Flag-ek esan nahi du azken eremuan dugun izenari dagokion SRV erregistroa eskatu behar dela. Ohartu “S” flag duten erregistroetan espresio erregularra hutsik dagoela. Gure adibideko zerbitzariak SRV eskaera egingo du `_sip.-tcp.euskosip.eus` izenerako. Demagun honako erantzun hau jaso dela:

```
IN SRV 0 1 5060 tcp1.euskosip.eus
IN SRV 0 2 5060 tcp2.euskosip.eus
```

Ikusten denez, bi TCP-zerbitzari daude SIP proxiarena egiten euskosip.eus domeinuan. Batek erantzuten ez badu (1 lehentasuna duen `tcp1.euskosip.eus` zerbitzaria), bigarrenarekin saia gaitezke (2 lehentasuna duen bestea).

ENUM inguruko tirabirak eta kezak

ENUM erabilerak iraultza ekarri zuen telefoniaren mundu zaharrera, non zerbitzuak eskaintzea, kudeatzea eta, batez ere, kobratzea sarearen jabeari zegokion, hau da, konpainia telefonikoari. Baina ENUM sistemak betiko zenbaki telefonikoak ekarri ditu IP zerbitzuen mundura, eta zerbitzuak sareari lotutako gailuen kontua dira, ez sarearena. Hau da, erantzungailu-zerbitzua, deia birbidaltzea edo deiak erregistratzea erabiltzailearen gailuan dugun telefonia-aplikazioak egikaritutako scriptak izan daitezke, eta ez sareak eman eta kobratutako baliu erantsiko zerbitzuak. Muturreraino eramanda, telefonia-zerbitzua bera saretik ateratzen da, OTT operadoreen eskuetara joateko. Guztiz bereizita gelditzen da sare-konexiorako zerbitzua, betiko telekomunikazioko operadoreen eskutan gelditzen den zerbitzu bakarra, bai eta konexio hori erabiliz lor ditzakegun bestelako zerbitzuak ere, haietako batzuk edozein konpainiari kontratatuta eta beste batzuk guk geuk gure aplikazioetan inplementatuta.

ENUM sisteman erabili behar den TLDak ere eztabaida piztu du. Askok ez dute gustuko `.e164.arpa` izatea domeinu hori, `.arpa` TLDa lotuta dagoelako Amerikako Estatu Batuekin, eta egokiagoa jotzen dute `.e164.int` erabiltzea. Edozein izanda ere, TLDaren kudeaketaren inguruan ere badaude desadostasunak. Aukera bat betiko operadore telefonikoen eskuetan uztea da, azken finean operadore horiek kudeatzen baitituzte E.164 zenbakiak estatu bakoitzean. Baina Internet-hornitzaileen lantzat (ISPena, alegia) ere har daiteke, NAPTR erregistroetan deskribatutako zerbitzuak Internet bidez jasotako zerbitzuak baitira, azken finean. Izan ere, soilik operadore telefonikoek balukete domeinu horien kontrola, zer egin behar luke ISP batek, baldin eta zerbitzu telefonikorik ez baina horri lotutako hainbat ENUM zerbitzu eskaini nahi balitu? Bere zerbitzuak eskaini nahi dituen estatu bakoitzeko operadore telefonikoekin (agian, baita beraren lehiakide komertzialekin ere) negoziatu beharko al du dagokion `.e164.arpa` azpidomeinuan berarekin lotura egiten duten NAPTR erregistroak txertatzea? Are gehiago, baliteke zerbitzu bat eskuratzeko hornitzaile desberdinak agertzea, eta horietako batzuk egungo operadore telefoniko nagusiak izatea. Jokaleku hori ez dator bat herri gehienetan oraindik nagusia den telefonia-zerbitzuen merkatuaren antolaketarekin, operadore nagusi baten edo batzuen eskuetan egoten baita.

E.164 zenbakiei dagokienez, ENUMek eratorritako zenbakien egitura bera ere kolokan jarri dute batzuek. Andorrako edozein telefonorekin kontaktatzeko +376 nazioarteko aurrezenbakia erabiltzen denez, 6.7.3.e164.arpa domeinu bakarra egongo dela ondorioztatuko dugu. Baina domeinu bakar bat egoteak domeinu horretarako kudeatzaile bakarra dakar, eta kudeatzaile bakarra izateak monopolio-jarduera dakar. Horregatik aldarrikatzen da DNS domeinu bat baino gehiago erabiltzeko egungo E.164 estatu kode bakoitzeko. Horren kontrakoek argumetatzen dute hainbat ENUM izenen hierarkia paraleloak egoteak deskoordinazioa eta kaosa besterik ez lukeela ekarriko, ENUM bidezko zerbitzuen garapenaren kalterako.

Anabasa horretan, hainbat ENUM aldaera agertu dira; adibidez, .e164.org ENUM zerbitzua, zeina .e164.arpa TLDaren alternatiba baita. ENUM zerbitzu pribatuak ere abiatu dituzte zenbait ISPk, IP telefoniarako hornitzaileek edota sare-operadoreek, beren bezeroen informazioa eta zerbitzuak kudeatzeko, DNS pribatuak erabiltzen diren era berean. Haietako batzuk elkartu egiten dira beren bezeroei buruzko informazioa konpartitzeko eta, horrela, ITSPen arteko deiak era eraginkorra goan egiteko (*VoIP peering*).

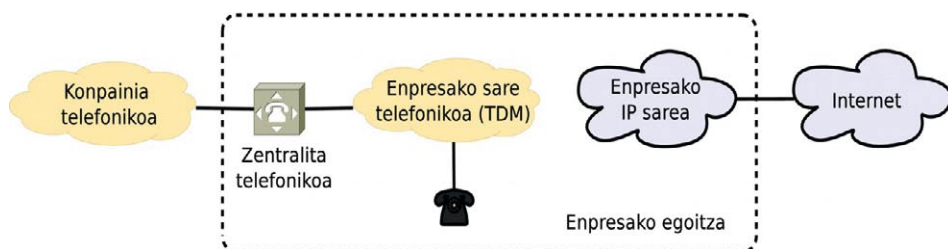
Teknologia guztiek bezala, ENUMek ere badu zaindu beharreko alde ilun bat. Ikusi dugunez, egun hain erabiliak diren zenbaki telefonikoetatik abiatuta eta ENUM erabiliz, edonorekin komunikatzeko bide guztiak identifika daitezke: nola hitz egin pertsona batekin IP telefonia-zerbitzua erabiliz, zein diren pertsona horren beste telefono-zenbaki alternatiboak, nola bidali uneko mezu labur bat edo posta elektronikoko mezu bat, baita zein den ere haren web-orri pertsonala edo harekin lotutako beste edozein zerbitzu. Oso egoera eroso agertzen zaigu begien aurrean: akabo txartel pertsonalak betetzea telefono finko eta mugikorrekin, gehi posta elektronikoko helbidea, web-orri pertsonalaren helbidea eta beste edozein helbide eta identifikadore. Nahikoa da horietako bat besterik ez hartzea gure lokalizadore unibertsala izateko, eta, hortik abiatuta, interesatuak aukeratu dezala bidea gureganaino heltzeko. Zenbaki arabiarak munduko edozein hizkuntzatan erabiltzen direnez, karaktere berezirik gabe herri bakoitzean, hautagai bikaina da E.164 numerazioa identifikadore unibertsal hori izateko. Baina erraztasun hori erabilera txarrerako ere bada. ENUM norberaren pribatutasunarekiko mehatxutzat har daiteke, beste urrats bat gizabanakoaren arrastoari segitzeko Interneten, nortasun digitalaren alde guztiak zenbaki bakar batekin uztartuta. Edo, hain urruti joan gabe, bidea errazten die spam-eragileei gu itotzeko.

5. IP telefonia enpresetan

Telefonia klasikoan, linea bat ezartzen da enpresako telefonogunea eta konpainia telefonikoaren telefonogunerik gertuena lotuz. Linea horri *trunk* izena ematen zaio, enpresako linea telefonikoen sorta biltzen baitzuen TDM teknologiaren

bat erabiliz, tipikoki ISDN edo E1/ T1⁶. Enpresako telefonogune horren zeregina eta izaera aldatu da urteetan, eta, egun IP telefonogune bilakatzen ari da. Hasierako enpresako telefonoguneen zeregin nagusia linea telefoniko batzuk zenbait terminalen artean (telefonoak, fax-makinak, txartel bidezko salmentarako gailuak) partekatu ahal izatea zen. Hau da, haren lana zen baliabide eskas eta garesti bat —linea telefonikoa— partekatu ahal izatea. Enpresako telefono bakoitzeko linea bat kontratatu ordez, estatistikoki nahikoa den linea kopuru txiki bat kontratatzen da, eta askoz handiagoa den terminal kopuru batek erabiltzen ditu linea horiek telefonogunearen bidez. Halako telefonoguneak izendatzeko, PBX terminoa erabiltzen da ingelesez (*Private Branch eXchange*). Kanpoko lineak partekatzeaz gain, enpresa barruko komunikazioa bideratzen dute, hau da, barruko telefonoen arteko komunikazio zuzena, konpainia telefonikoen saretik igaro gabe, eta ordaindu gabe.

Hasiera batean (eta, oraindik, enpresa batzuetan), langile batek jasotzen zituen kanpotik heltzen ziren deiak, eta behar zen telefonoarekin (luzapenarekin) konektatzen zituen. Egun, gehienetan, lan hori automatizatu egin da. Gainera, telefoniaren digitalizazioarekin batera, telefonoguneak zeregin gehiago bereganatu ditu. Baina, IP telefonia agertu bitartean, horretarako erabilitako azpiegitura mantendu da, hau da, telefonogune hori gehi berarekin enpresako telefonoak fisikoki lotzeko behar den kable-sarea. Berez, bi kableatu-sistema zabaldu eta mantendu behar ziren enpresa batean: sare informatikoarena, alde batetik, eta TDM-telefoniarako beharrezkoa dena, bestetik (ikusi 3.16 irudia). Kable desberdinak izanda ere, normalean, azpiegitura fisiko gehienak, kanalizazioak eta armairuak partekatzen dituzte. Orain, komunikazioen arloan enpresek duten erronka IP telefoniara igarotzea da. Telefonoguneen garaia telefoniaren garaia zen, baina, egun, enpresako komunikazioak betiko telefonia baino askoz gehiago dira: posta elektronikoa, uneko mezularitza, bideokonferentzia, mahaigainekoa partekatzea, SMSak eta telefonia mugikorren beste aplikazioak ... **Komunikazio bateratuak** (*Unified Communications*) da zerbitzu horiek guztiak bildu nahi dituen termino berria, betiko telefonia ordezkatuz.



3.16 irudia. Barruan TDM telefonia, kanporako IP telefonia.

⁶ T1 aukera AEBtan erabiltzen da; Europan, E1.

Enpresaren IP telefoniarako aldaketa egiteko arrazoiak honako hauek izaten dira:

- Kostua. Enpresa barruko komunikazioetan telefonia konbentzionalari eusteak bi sare sortu eta mantendu behar izatea dakar, bata telefoniarako eta bestea informatikarako. IP telefonia erabilia, komunikazio telefonikoen zerbitzua sare informatikoaren bidez ematen da, eta sare telefonikoaren beharra eta kostua desagertzen dira. Telefonia konbentzionalerako behar den inbertsioak eginda badaude ere, hau da, enpresak dagoeneko bere sare telefonikoa baldin badu, askotan, mezezi du sare hori ordezkatzeko IP teknologiarekin, merkeagoa baita ustiatzeko eta, ondorioz, epe labur batean amortiza baitaiteke IP telefonia ezartzeko egindako inbertsio berria.
- Barruko komunikazioen kudeaketa errazagoa da IP teknologia erabiliz, telefonia konbentzionaleko telefonogune baten bidez baino. IP erabiliz, telefonia datu-sareko beste zerbitzu bat izatera igarotzen da, eta informatikari batek kudea dezake. Ez da telekomunikazioetako espezialista bat kontratatu behar enpresako telefonia kudeatzeko.
- Gainera, IP telefoniak beste zerbitzu berri batzuk ere eman ditzake betiko telefoniarekin eman daitezkeen zerbitzuez gain (erantzungailua, deiak birbidaltzea, eta abar).

IP telefonoak datu-sarean

IP telefonoak datu-sarean konektatzeak zenbait aldaketa dakar. Alde fisikoan, argindarrerako entxufe bat eta datu-sarerako hartune bat gehiago gertu izatea dakar telefonoa behar duen lanpostu bakoitzean. Lehenengoa ekiditeko, PoE (*Power over Ethernet*) ahalmena duten konmutagailuak erabiliko ditugu gure sarean, argindarra Ethernet konexiotik jasoko baitu telefonoak, datuekin batera. Erabili gabeko beste hartunerik ez badago telefonotik gertu, baina, ohi den bezala, telefono ondoan sareari lotuta dagoen konputagailu bat badugu, hartune berri bat instalatzea baino errazagoa izango dugu konmutagailuarena egiteko ahalmena duten IP telefono bat erabiltzea. Halako bat ezarrita, konputagailua lotuko dugu telefonoarekin, eta telefonoa lotuko dugu sarerako hartune bakarrarekin, konputagailuak libratu duenarekin, alegia.

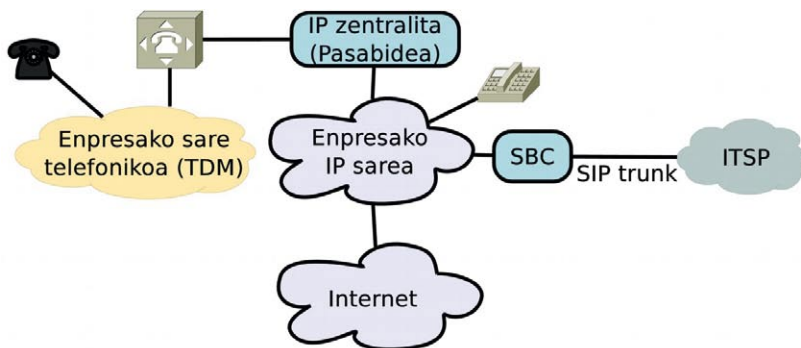
Beste alde batetik, komeni da IP telefonoak VLAN batean elkartzeko, trafikoa bereizteko. Horrela eginda, kudeaketa errazten da, eta tratamendu berezia eman dakioke telefonoen arteko trafikoari, denbora errealeko trafiko baina. Adibidez, lehen-tasuna eman dakioke trafiko horri bideratzaileen ilaretan, ahotsaren kalitaterako hain kaltegarria den atzerapen-aldakortasuna minimizatzearen.

5.1. Migraziorako aukerak

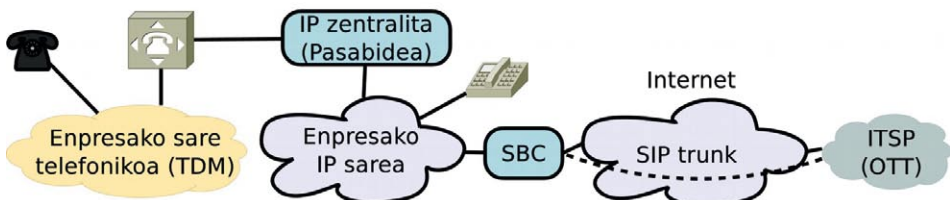
IP telefoniarako jauzia egiteko, badago era bat baino gehiago. Enpresa bakoitzak erabaki beharko du nola egin behar duen ibilbide hori, bere beharren eta baldintzen arabera. Behean azaltzen dira IP telefonian murgiltzeko enpresek dituzten aukerak.

Barruan TDM eta IP, kanpoan IP

Barruko komunikazioetarako dagoeneko TDM telefonia sare klasiko bat duten enpresei, askotan, kostatzen zaie sare hori baztertzea eta IP komunikazioetan % 100 murgiltzea, sare telefonikoan egindako inbertsioa amortizatutzat eman arte behintzat. Horrelako kasuetan, ohikoa da IP telefoniarako migrazioa epeka egitea, eta, orduan, lehenengo urratsa izan daiteke barruko komunikazioetarako telefonia klasikoari eustea baina kanpoko komunikazioetan IPra igarotzea. Kasu horretan, kanpoko komunikazioak merkatzea lehenesten da, bai eta IP testuingurura pasatzeak eskatzen dituen inbertsio gehienak atzeratzea ere; zehazki, enpresako terminal telefoniko guztiak aldatu behar izatea (edo egokigailuak erosi), sare lokala birkonfiguratzea telefonia-trafiko kontuan hartuta (VLAN berriak, PoE konmutagailuak ...) eta langileak egoera berrirako prestatzea. Nolanahi ere, enpresako telefonia-sareari eutsi behar zaio sare informatikoaren ondoan, eta, azken horretan, IP telefonogune bat ezarri behar da. Telefonogune horren lana izango da pasabidearena egitea TDM eta IP munduen artean. Behin IP telefonogune edukita enpresako sarean, erraza da IP telefonoak eta zerbitzuak ezartzen hastea. Horregatik, enpresa handietan behintzat, aukera dago egoera misto batean ibiltzeko aldi baterako, sail batzuetan TDM telefoniarari eutsita eta, beste batzuetan, aldiz, IP telefoniarari eutsita. Egoera hori agertzen da 3.17 irudian.



(a) Telefontziarako konexio berezitarra kontratatuta



(b) Kanpoko telefonia OTT bidez

3.17 irudia. Barruan TDM eta IP telefonia, kanporako IP telefonia.

Kanpoko komunikazioak IP eran egiteko, bi aukera dituzte enpresek: edo betiko linea telefonikoak ordezkatu **SIP trunk** batekin, edo Internet konexioa erabili OTT erako hornitzaile batekin lotzeko. Lehenengo kasuan, Interneterako konexioaz gain, telefoniarako beste konexio bat ere behar da. Zerbitzu guztiak Interneterako konexioaren bidez gauzatzea baino garestiagoa da, baina, beste alde batetik, bermatuak ditugu kontratatutako banda-zabalera eta, batez ere, atzerapenaren aldakortasunik eza. Bi aukerak agertzen dira 3.17 irudian. SIP trunk bat linea birtual bat da, betiko TDM linea multzo baten baliokidea IP munduan, hau da, gure konexioa konpainia telefonikoarekin. Komunikazio guztiak Internet bidez egiten direnean, SIP trunk hori gure sarearen eta ITSPren arteko VPN batek gauzatzen du (*Virtual Private Network*), komunikazioen konfidenzialtasuna bermatzearen. Enpresa ertain eta txikietan, zein etxeetan, nahikoa izaten da Internet konexioa erabiltzea IP telefoniarako, beste ezer kontratatu gabe. Aukera hori ematen dute, adibidez, Skypek eta antzeko OTT konpainiek. Joera hori zabaltzen ari da hain txikiak ez diren enpreetan, Internet konexioen kalitateak gora eta prezioek behera egiten duten heinean.

Pasabide-lanez gain, normalean, SBC lana ere egingo du IP telefonoguneak (*Session Border Controller*), nahiz eta irudian bi zereginak bereizituta agertu. SBC izeneko enpresako IP sarearen eta ITSPren arteko muga kokatzen den bitartekaria da, bideratzaile berezi baten eran. SBC terminoaren esanahia ez dago garbi definituta, ez baitago estandarizatuta zein den bere zeregina. RFC 5853 agirian deskribatzen da zein diren SBC baten lanak bi SIP eremuen arteko lotura egiten denean, baina terminoaren erabilera ez da horretara mugatzen. Gehienetan, SBC batek honako lan hauek egiten ditu:

- Segurtasuna: sarbidearen kontrola, NAT zerbitzua sarea ezkutatzeko, VPN murrira komunikazioak zifratzeko, eta DoS erasoen kontrako babesa.
- Sareen arteko pasabidearena, protokoloen arteko bihurketa eginez.
- TURN eta STUN bideratu.
- Trafikoaren monitorizazioa eta lehentasunak ezarri (QoS).

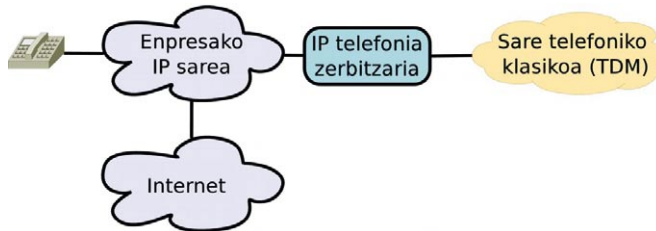
Kokapenari dagokionez, askotan, SBCak bi sareetan instalatu behar dira, enpresaren sarean eta ITSPren sarean. Enpresaren aldean dagoenari E-SBC izena ematen zaio (*Enterprise SBC*).

Barruan IP, kanpoan TDM

Aurreko aukeraren kontrakoa da. Normalean, enpresak kanpoko komunikazioak IP bidez egiteko aukerarik ez duenean agertzen da, operadoreek ez baitute egiten SIP trunk bat kontratatuzko eskaintzarik enpresa kokatuta dagoen tokian, eta Interneterako loturak ez baitu ematen behar den kalitate minimoa zerbitzua OTT bidez kontratatu ahal izateko.

Kasu horretan, enpresako egoitzetan ez dago telefoniarako sarerik: zerbitzu hori sare informatikoak berak ematen du. Hala ere, pasabide bat beharko da sare telefoniko klasikoarekin komunikatu ahal izateko. Hori izango da, beraz, IP telefonogunearen lan nagusietako bat. Telefonoguneak bi konexio izango ditu: alde batetik,

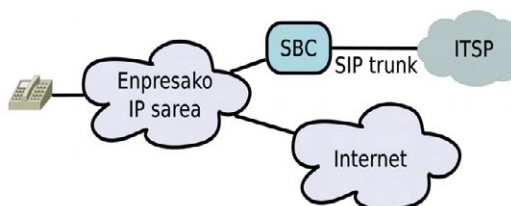
enpresako IP sarearekin, eta, beste alde batetik, TDM telefonia operadorearekin. Enpresako telefono guztiak IP erakoak izan behar dute. 3.18 irudian agertzen zaizkigu osagarri horiek guztiak.



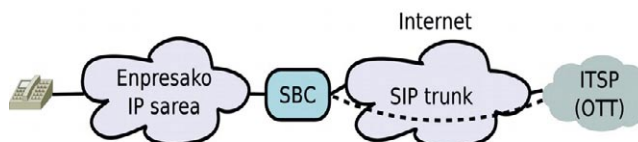
3.18 irudia. Barruan IP telefonia, kanporako TDM telefonia.

Telefonia guztia kanporatuta

Zerbitzua kanporatzea, boladan dagoen terminologia erabilia, zera da: IP telefonia-zerbitzua lainoan kontratatzea. Horretarako, antzeko hainbat termino erabiltzen dira ingelesez. Agian ezagunenak **Cloud Telephony** edo **Hosted Telephony** dira. Zabalagoa da **UCaaS** terminoa (*Unified Communications as a Service*), telefoniaz gain beste komunikazio-zerbitzu batzuk ere barneratzen baititu. Urrats hori egiten bada, gure sareko IP telefonogunerik ere ez dugu beharko, gure ITSPak hartuko baitu telefonogunearen lana. Izan ere, 3.19 irudia 3.17 irudi bera da, baina barruko TDM sarea eta IP telefonogunea kenduta. ITSPa gure ISP bera izan daiteke, soilik telefonia-zerbitzua ematen digun beste hornitzaile bat, edo OTT bat, hau da, bere zerbitzuak Internet irekian eskaintzen dituena.



(a) Telefoniarako konexio berezitatea kontratatuta



(b) Kanpoko telefonia OTT bidez

3.19 irudia. IP telefonia kanporatuta.

Aukera hori bereziki erakargarria da enpresa txikientzat, ez baita inongo inbertsiorik egin behar, salbu IP telefonoak ezartzea (eta hori ere ez da guztiz beharrezkoa, software bidezko telefonoak erabiltzen badira). Enpresa handietan, lehenengo aukeraren bilakaera naturala izan daiteke: hasi barruko bi sistemekin (TDM eta IP telefonia), pixkanaka TDM sarea eta telefonoak guztiz baztertu arte, eta, azkenean, IP telefonogunea ere kendu. Hala ere, enpresa handietan, joera handia dago oraindik zerbitzuak zuzenean kudeatzeko.

Laburpena

IP telefoniak iraultza ekarri du telekomunikazio-mundu zaharrera. Telefonoz hitz egitea konpainia batekin lotutako zerbitzu bat izatetik beste Internet-aplikazio bat izatera igarotzen ari da. Urteetan hain errentagarria izan den zerbitzuak eskuetatik ez alde egiteko, betiko konpainia telefonikoek ere IPra jo dute, OTT ereduari aurre egiteko azken saioan. Hala ere, Internet hornitzea eta konexio horretatik zerbitzuak jasotzea gero eta banatuago daude.

Egoera honetara heltzeko, IPren *best effort* izaerak denbora errealeko komunikazioetarako dakartzan oztupoak gainditu behar izan dira. Arazorik handiena atzerapenaren aldakortasuna da, telefonian oso bufferizazio gutxi egin baitaiteke aldakortasun hori ezabatzeko. Horrek ahotsa garraiatzeko RTP/UDP erabiltzera behartzen du kasu gehienetan, eta ez TCP gaineko aukerak. Hala eta guztiz ere, Interneteko azpiegituretan egindako hobekuntzak nabarmen gutxitu dute kongestioen mamua, eta, horrekin batera, erreprodukzio-unea baino beranduago heltzen diren datagramen kopurua. Beste alde batetik, uhinen bidezko komunikazioak transmisioetan eragindako galerak handitu dituzte. Baina galerak berreskuratzeko teknikak erabiliz, lortzen ari dira galera-tasa horri onargarria den atalase baten azpitik eustea.

Komunikazioaren kontrolean, SIP protokoloa nagusitu da lehiakideen artean. SIP zerbitzarien lan nagusia deitutakoa aurkitzea da. Horretarako, posta elektronikoen antzeko funtzionamendua du: deitutakoaren identifikadoretik haren SIP zerbitzariaren berri jaso, eta, hortik tiraka, deitutakoarekin harremanetan jarri. Hala eta guztiz ere, egun ezagunena dugun IP telefonia-zerbitzuak ez du SIP erabiltzen: Skypek bere protokolo pribatuak garatu ditu. Hasiera batean SIPEk eta Skypek oso bestelakoak badirudite ere, funtsean ez dira hain desberdinak: SIP zerbitzariak egiten duten lan bera —erabiltzaileak aurkitzea, alegia— Skypeko superkideek egiten dute. Bi kasuetan, bilaketa bat egin behar da zenbait makinatan banatutako datu-base batean, batean zenbait SIP erregistratzailetan banatuta, eta bestean superkideen artean. SIPEk DNS erabiltzen du erabiltzaile bati dagokion erregistratzailea aurkitzeko; Skypek, aldiz, DHT bilaketa egiten du superkideen artean.

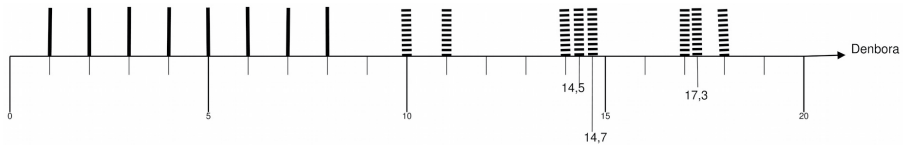
Internet bidezko telefoniak bi arazo izan ditu nagusiki: NATen eta suhesien eragina, eta betiko sare telefonikoarekiko komunikazioa. NATen eta suhesien

atzean dauden erabiltzaileak ikusezin bilakatzen dira Interneten, eta, ondorioz, ezin da haiekin saio telefoniko bat hasi. Txarrantxa horiek gainditzeko, TURN eta STUN zerbitzariak behar dira. Beste alde batetik, betiko sare telefonikoa garrantzia galtzen ari bada ere, erabiltzaile gehienak berari lotuta daude oraindik, eta, ondorioz, ezinbestekoa da IP telefoniako erabiltzaileek beste erabiltzaile klasiko horiekin nolabait komunikatu ahal izatea. Horretarako, pasabideak behar dira Interneten eta betiko konpainia telefonikoen artean. Baina ez pasabide horiek bakarrik: IP telefoniarako erabiltzaileen identifikadoreen —URIak— eta sistema telefoniko zahararren E.164 zenbakien arteko igarobidea ere behar da. Zubi-lan hori egiteko aukerarik erabilienak ENUM itzulpena eta NAPTR erregistroak dira. ENUMek DNS mundura ekartzen ditu E.164 zenbakiak, eta NAPTR erregistroek zerbitzuak lotzen dizkiote ENUMetik eratorritako izenari. Horrek zabaltzen dituen aukera guztiak ikus-teke ditugu oraindik.

IP telefoniaren bidea abiatuta dago enpresa askotan. Zertarako eutsi bi sare paralelori enpresen egoitzetan —bata telefoniarako bakarrik, teknologia, ekipo eta kable propioarekin, eta bestea IP zerbitzuetarako—, posible baldin bada telefonia ere beste IP zerbitzuekin batera integratzea enpresako sare informatikoan? Horrek IP telefoniarako zerbitzariak (edo IP telefonoguneak) enpresako IP sareetan ezartzea ekarri du; oso teknologia eta nomenklatura desberdinekoak izaten dira, gehienak pribatuak. Enpresako kanpoko komunikazioak ere IP telefoniaren bidez egiten dira gero eta gehiago. Horretarako lehenengo aukera betiko konpainiekin *SIP trunk* erako loturak ezartzea izan da, lehen ISDN lineak edo *trunk* bat zeuden lekuan. Baina OTT aukerak zabaltzen ari diren heinean, betiko konpainien atzaparretatik alde egiteko tentazioak ere gero eta handiagoak dira enpresentzat. Eta, lainoaren indarrak eraginda, kontua ez da bakarrik kanpoko komunikazioak Interneteko edozein konpainiarekin kontratatzea: barruko komunikazioen kudeaketa ere kanporatu dezakete.

3. kapituluko ariketak: IP telefonia

- 1) Ikusi denbora-grafika hau. Hasierako 8 marrak (jarraituak) telefonia G.711/PCM sistema batean bidalitako 8 UDP datagramak dira, eta beste 8ek (marra etenak eta lodiagoak) datagrama horiek noiz jaso diren azaltzen dute.



Demagun atera ziren ordena berean heldu direla datagramak.

- Jakinda marren lodierak datagrama bidaltzeko edo hartzeko denbora adierazten duela, nork du sare-konexio azkarragoa: igorleak ala hartzaileak?
 - Jakinda igorritako datagrama bakoitzean soinua daramaten 1.280 bit dau dela, zenbatekoa da, segundotan, grafikako bi une arteko iraupena? Zenbat segundoko soinua bidaltzen ari da datagrama guztiak hartuta?
 - Zenbateko sare-atzerapena izan du igorritako datagrama bakoitzak (grafikako denbora-unitatetan)? Zenbatekoa izan da batez besteko atzerapenaren aldakortasuna?
 - Demagun hartzailea lehenengo datagrama jaso bezain pronto hasiko dela ahotsa erreproduzitzen, inongo atzerapenik ezarri gabe. Zenbat soinu erreproduzituko du?
 - Demagun hartzailea lehenengo datagrama jaso eta 20 ms igaro eta gero hasiko dela ahotsa erreproduzitzen. Zenbat soinu erreproduzituko du?
 - Zein da hartzaileak aplikatu behar duen atzerapen minimoa inongo galerarik ez izateko?
- Sare telefoniko klasikoan, TDM bidezkoan, aspaldi erabiltzen da digitalizazioa. Baina sare horretan ez da erabiltzen erreproduzitzeko atzerapen dinamikorik. Zergatik?
 - Demagun etxean badugula xDSL sistema bat, eta PC bat kable bidez eta eramangarri bat wifi bidez konektatu ditugula. Demagun wifian dugun bit-errore tasa 10-5 dela, eta kablean, aldiz, 10-9.
 - Kalkulatu batez beste zenbat soinu, segundotan, galduko diren transmisio-erroreengatik 5 minutuko elkarrizketa batean, PCan VoIP sistema bat erabiltzen badugu G.711/PCM kodeketarekin.
 - Egin kalkulu bera eramangarrian erabiltzen badugu.

Kontuan hartu:

- Laginak 20 ms-tik behin bidaltzen dira UDP datagrama batean, RTP erabiliz.
- Ethernet goiburukoak 18 byte ditu, eta erabilitako wifiarenak (802.11 trama), 34 byte.
- RTP goiburukoa 12 bytekoa da; IPrena, 20 bytekoa, eta UDPrena, 8 bytekoa.

- 4) Errepikatu aurreko ariketa, baina pentsatu G.729 kodeketa erabitzen dela eta datagramak 10 ms-tik behin bildatzen direla, eta bakoitzak 10 byte ahots daramatzala kodetuta. Emaizta ikusita, trinkoketak dakarren banda-zabalera aurrezteaz gain, zer beste onura dakar?
- 5) Demagun IP telefonia-sistema bat dugula, RTP erabiltzen duena. Digitalizazioa G.711/PCMri jarraituz egiten da (8 Khz-eko laginketa, 8 bit lagineko), eta laginak datagrama batean elkartzen eta bidaltzen dira 20 ms-tik begin, UDP segmentu batean. Erroreak zuzentzeko, bigarren kanal bat erabiltzen da. Erroreetarako kanal horretan, 3 bit erabiltzen dira laginak kodetzeko. Erantzun bi galdera hauei:
- (a) Zer tamainatakoa izango da bidalitako datagramen datu-eremua? Kontuan hartu aplikazio- eta garraio-protokoloen goiburukoak (RTP = 12 byte, UDP = 8 byte).
- (b) Zein izango da hartzaileak utzi behar duen erreproduzitze-atzerapen minimoa, milisegundotan?
- 6) IP telefonian galerak berreskuratzeko, bi FEC teknika ikasi ditugu. Demagun bi teknika horien erabilera ebaluatu nahi dugula aurreko ariketako telefonia-sisteman, eta demagun:
- lehenengo teknikan (paritate-datagrama) jatorrizko 4 datagramako paritate-datagrama bat sortu eta bidaltzen dela;
 - bigarreanean kalitate baxuagoko kanal bat gehitzen dugula.
- Orduan:
- (a) Zenbateko erreproduzitze-atzerapena sortuko du teknika bakoitzak?
- (b) Nolako portaera izango dute 5 datagramako talde bakoitzean, lehena galtzen bada?
- (c) Eta bi datagrametako lehenengoa galtzen bada?
- 7) SIP dei baten hartzaileak etxeko konexio tipikoa badu eta RFC 1918 erako helbide pribatuak erabiltzen badira, zer arazo sortuko da deia jasotzeko?
- 8) Demagun Skype-dei bat dugula NAT atzean dauden bi erabiltzaileen artean. Idatz ezazu zein diren bidea egingo duten datagrama hauen jatorrizko eta helburuko IP helbideak eta portuak:
- Igorlearen eta haren NAT zerbitzariaren artean dabilen datagrama.
 - Igorlearen NAT zerbitzariaren eta Relayren artean dabilen datagrama.
 - Relayren eta hartzailearen NAT zerbitzariaren artean dabilen datagrama.
 - Hartzailearen eta haren NAT zerbitzariaren artean dabilen datagrama.

Helbideak eta portuak azaltzeko, erabili notazio hau:

- @I = igorlearen IP helbidea.
- @H = hartzailearen IP helbidea.

- @NAT-I = igorlearen NAT zerbitzariaren IP helbidea.
 - @NAT-H = hartzailearen NAT zerbitzariaren IP helbidea.
 - @R = Relayren helbidea
 - pI: igorleak erabilitako portua.
 - pH: hartzaileak erabiltako portua.
 - pNAT-I: igorlearen NAT zerbitzariak igorleari esleitutako portua.
 - pNAT-H: hartzailearen NAT zerbitzariak hartzaileari esleitutako portua.
 - pRI: Relayk igorleari irekitako portua.
 - pRH: Relayk hartzaileari irekitako portua.
- 9) Demagun Relay bidezko telefonia-sistema bat dugula, TURN erako protokoloa erabiltzen duena NAT zerbitzariak eta suhesiak gainditzeko. Baina demagun komunikazioko bi aldeek proxiek (edo superkideek) beste aldeari bidaltzen diotela beren NAT zerbitzariak esleitutako portua. Hau da, igorlearen proxiak igorlearen NAT zerbitzariaren IP helbidea eta igorleari esleitutako portua bidaltzen dizkio hartzaileari, eta hartzailearen proxi/registerrek (edo superkideak), hartzailearen NAT zerbitzariaren helbidearekin batera, zerbitzari horrek hartzaileari esleitutako portua helarazten dio igorleari.
- (a) Deskribatu bi aldeek arteko datagrama baten ibilbidea.
 - (b) Idatzi ibilbide horretan erabilitako jatorrizko eta helburuko (IP helbidea: portua) bikoteak.
- 10) Demagun Skypeko audio-elkarrizketa bat dugula, N partaide duena, non $N > 2$. Kontuan hartuta erabilitako kodeketak r b/s kontsumitzen duela, erantzun galdera hauei:
- (a) Zenbat b/s igortzen ditu hasieratzaileak?
 - (b) Zenbat b/s igortzen dituzte beste partaideek?
 - (c) Zenbat b/s sartzen dituzte denek artean sarean?
- 11) Demagun Skype-bideokonferentzia bat dugula, N partaide duena, non $N > 2$. Kontuan hartuta erabilitako kodeketak r b/s kontsumitzen duela eta zerbitzariarik ez dagoela (hau da, partaide bakoitzak bere seinalea igorri behar die beste partaide guztiei), erantzun galdera hauei:
- (a) Zenbat b/s igortzen ditu partaide bakoitzak? Bideragarria al da egungo etxeetako konexioetan?
 - (b) Zenbat b/s sartzen dituzte denek artean sarean?
- 12) Demagun Skype-bideokonferentzia bat dugula, N partaide duena, non $N > 2$. Kontuan hartuta erabilitako kodeketak r b/s kontsumitzen duela eta zerbitzari baten bidez egiten dela, erantzun galdera hauei:
- (a) Zenbat b/s igortzen ditu partaide bakoitzak?
 - (b) Zenbat b/s igortzen ditu zerbitzariak?
 - (c) Zenbat b/s sartzen dituzte denek artean sarean?

13) Lotu akronimo eta termino hauek dagokien kontzeptuarekin:

— <i>signaling gateway</i>	— <i>error concealment</i>	— SILK
— SIP	— <i>media gateway</i>	— <i>overlay network</i>
— Opus	— RTP	— Megaco
— SIP erregistratzailea	— IAX2	— RTCP
— H.323	— ITSP	— VoIP Relay
— NAPTR	— E.164	— <i>interleaving</i>
— FEC	— SIGTRAN	— ENUM
— SIP proxia	— TURN	— SBC
— H.248	— #SS7	— pasabidea

1. NAT edo suhesi baten atzean dagoen makina batean konexioak hartzeko protokoloa.
2. Telefonian deia kontrolatzeko erabiltzen den protokoloetako bat, Internet testuinguruan sortua (IETFk estandarizatua, RFC bidez).
3. Sarean jazotako galerak berreskuratzeko teknika sorta.
4. RTPrekin batera erabiltzen den kontrol-protokoloa.
5. Pakete-kommutazioko sareetan telefonia-zerbitzuak eskaintzeko protokolo multzoa, ITUk estandarizatua.
6. TCP/IP sareetan soinua eta bideoa denbora errealean bidaltzeko formatu estandarra.
7. Betiko telefono-zenbakiak eta Internet-identifikadoreak lotzeko sistema.
8. Skypen erabiltzen den ahots-kodetzailea.
9. Soinu-kodetzailea, partzialki SILKn oinarritua, libre eta egokia IP telefoniarako.
10. Transmisio-erroreak eragindako kaltea leuntzeko teknika, zeinetan galerearen eragina denboran zehar banatzen baita.
11. Transmisio-erroreak eragindako kaltea leuntzeko teknika sorta.
12. Deitzaileak egindako eskaerak jaso eta bideratzen dituen osagaia SIP telefonia-sistema batean.
13. IP telefonia-sistema batean Interneten eta betiko sare telefonikoen arteko zubiarena egiten duen ekipoa.
14. SIP telefonia-sistema batean, sareko erabiltzaileekin kontaktatzeko informazioa gordetzen duen osagaia.
15. Betiko sare telefonikoan erabiltzen den seinalizazio-protokoloa.
16. ITUren gomendioa, betiko telefono-zenbakien antolaketa arautzeko.
17. Izen bati zenbait zerbitzu lotzeko DNS erregistro mota.
18. P2P sare batean partaideen bilaketa egiteko estrategia. Euskaraz, bilaketarako sarea.
19. NAT eta suhesiak zeharkatzeko erabiltzen den zerbitzaria.

20. Asterisk zerbitzarietan erabiltzen den IP telefoniarako protokoloa.
21. Suhesiak eta NAT zerbitzariak gainditzeko erabiltzen den bitartekaria.
22. Pasabide batean kontrol-protokoloaren bihurketa egiten duen zati funtzionala. Euskaraz, kontrol-pasabidea.
23. Pasabide batean seinalearen bihurketa (ahotsa, bideoa) egiten duen zati funtzionala. Euskaraz, seinale-pasabidea.
24. SS7 protokoloen egokitzapena IP sareetan erabilgarria.
25. Pasabidearen kontroladorearen eta seinale-pasabidearen arteko komunikazioetarako protokoloa.
26. IP telefonia ematen duen hornitzailea izendatzeko akronimoa.
27. VoIPrako bideratzaile berezia; oso funtzionalitate zabala izan dezake.

Multimediarako sare-teknologiak

Kapitulu hau ikasi eta gero, irakurleak ondo ezagutuko ditu gai hauek:

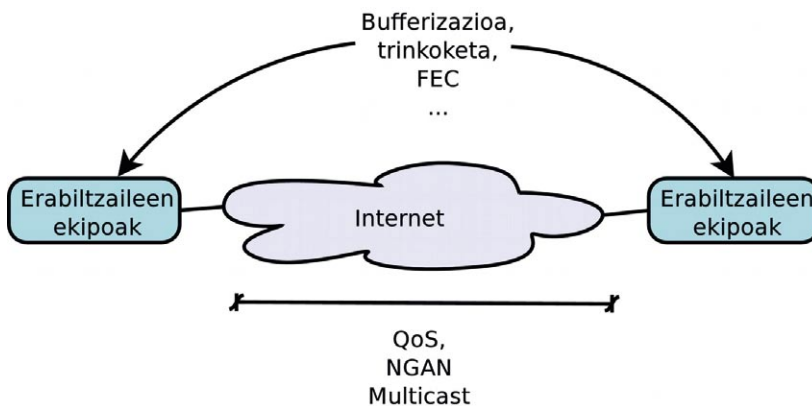
- Multicast teknologiaren oinarriak: helbideak eta protokoloak.
 - Zerbitzuaren kalitatea (QoS).
 - *Traffic Management* eta haren teknika nagusiak.
 - Trafiko-ingeniarietza eta MPLS/RSVPTE bikotea.
 - Banda zabaleko aukerak Interneterako sarbidean.
-

Aurreko kapituluetan ikasi dugu zer egiten duten multimedia-aplikazioek IP sareetan topatzen dituzten oztopoak gainditzeko: nola trinkotzen dituzten kode-tutako ahotsa eta irudiak banda-zabalera gutxiago kontsumitzeko, nola erabiltzen duten bufferizazioa atzerapenaren aldakortasuna ezabatuzeko, nola egokitzen dioten erreproduzitzeko abiadura sarearen egoerari, nola tratatzen dituzten sarean izandako galerak, nola antolatzen dituzten zerbitzariak CDNtan... Teknika horiek guztiak Internetek eta IP sareek ematen duten *best effort* moduko zerbitzuaren mugak gainditzeko saiatzen dira, baina sareko muinean ezer ukitu gabe. Aplikazioen antolaketan edota beren kode-lerroetan gauzatzen diren teknikak dira, komunikazioaren muturretan, saretik at (ikusi 4.1 irudia). Multimedia-aplikazioek IP sareetan dituzten arazoak konpontzeko bide alternatiboa sarean bertan ekiditea da. Hori aztertuko dugu kapitulu honetan: zer egin dezaketen sare-ingeniariak multimedia-trafikoaren arazorik gabe garraiatzeko IP sareetan. Funtsean, IP sareetan suertatzen den datagramen arteko atzerapenaren aldakortasuna eta datagrama-galerak minimoetan uztea da helburua. Eta, kontuan hartuta atzerapenaren aldakortasuna eta galeren iturri nagusia bideratzaileetan sortutako datagrama-ilarak direla, helburu hori buxadurak ekiditea bilakatzen da.

Bideratzaileetan sortzen diren ilarak desagerrarazteko modurik zuzenena lineen transmisio-abiadura eta bideratzaileen ahalmena handitzea da. Beste era batean esanda, banda-zabalera handitzea. Bada, banda-zabaleraren handitze horri ekin diote sare-operadoreek, eta, gogoratu, multimediararen hedapenaren eragile nagusietako bat izan da Interneten eta IP sareetan. Interneteko banda-zabalerari dagokionez, gabezia handienak sarbide-sareetan kokatzen dira. Horregatik aztertuko dugu

kapitulu honetan nolakoak diren multimedia-trafikoa xurgatzeko kapaz diren sarbide-sareak, NGAN akronimoarekin bataiatuak (*Next Generation Access Networks*).

Hala eta guztiz ere, beste edozein baliabide bezala, hobe da banda-zabalera ondo erabiltzea, sobera hornitzea baino. Hori da bigarren estrategia sareak berak *best effort* baino haratago doan zerbitzua emateko: IP trafikoa ondo kudeatzea sarearen muina diren bideratzaileetan. Horretan datza QoS akronimoarekin ezagutzen den teknika sorta (*Quality of Service*). Dagoeneko ezagutzen dugun multicast teknologian ere sakonduko dugu kapitulu honetan, masiboki erabiliz gero ikaragarri merkatuko bailuke zenbait multimedia-zerbitzuz behar duten inbertsioa. Gainera, dagoeneko ikusi dugunez, multicast erabiltzeak sarean dabilen trafikoa murrizten du, eta, ondorioz, baita bideratzaileetako ilaren tamaina eta haren ondorio txar potentzialak ere.



4.1 irudia. Multimedia gauzatzeko strategiak: sarean edo erabiltzaileen ekipoetan ekin.

1. Multicast teknologia

Multicast kontzeptua bigarren kapituluan ezagutu dugu. Orain, multicast zerbitzua gauzatzeko behar direnak aztertuko ditugu. Honako hiru osagai hauek erabiltzen dira horretarako: multicast helbideak, multicast helbide batek identifikatzen duen hartzaile taldearen kudeaketa, eta multicast datagramak bideratzea.

1.1. Multicast helbideak

Multicast helbide batek makina talde bat identifikatzen du, baina soilik hartzaile gisa. Hau da, helburuko helbidea multicast izan daiteke, baina ez jatorrizko

helbidea. Multicast helbideak Ethernet trametan edo IP datagrametan ager daitezke, IPv4 zein IPv6 aukeretan.

IPv4 multicast helbideak

IPv4 multicast eta unicast helbideak bereizteko, helbidearen hasierako 4 bit erabiltzen dira, eta, multicast helbideen kasuan, 1.110 balioa ematen zaie bit horiei. IP protokoloaren jatorrizko definizioan, helbideak A, B, C, eta D klaseetan sailkatzen ziren, eta multicast helbide taldea D klasea zen. Gero, IP helbideak kudeatzeko **CIDR** sistema etorri zen (*Classless Inter-Domain Routing*), eta klaseetan oinarritutako bereizketa baztertu zen, baina D taldeak multicast izaerari eutsi zion. CIDR eran, 224.0.0.0/4 adierazten da IPv4 multicast helbide guztiak barneratzen dituen helbide sorta, 224.0.0.0 eta 239.255.255.255 helbideen artekoa. Sorta horren barnean bereizten diren azpisortak RFC 5771 (BCP 51) agirian zehazten dira. Azpisorta horien artean, batzuk **IANAk** kudeatzen ditu zuzenean (*Internet Assigned Numbers Authority*), eta, besteetarako, esleipenetarako jarraibideak ematen ditu RFC 5771 agiriak. Multicast azpisorta nagusien ezaugarriak 4.1 taulan biltzen dira. Hona hemen sorta horiei buruzko azalpen gehiago:

- **Sare lokaleko kontrolerako helbideak** sare lokal baten barruko kontrolerako protokoloetan erabilitako helbideak dira. Helbideok helburu gisa daramatzaten datagramak ezingo dute sare lokaleko muga gainditu. Adibidez, 224.0.0.22 helbideak sare lokalean bertan dauden multicast bideratzaile guztiak identifikatzen ditu. Talde horretan sartzen da, halaber, 224.0.0.1 helbidea, sare lokaleko makina guztiak identifikatzen dituena.
- **Kontrolerako helbide globalak** aurrekoak bezalakoak dira, baina, kasu honetan, helburuak daramatzaten datagramak bere sare lokaletik atera daitezke. Adibidez, DHCP protokoloaren multicast bertsioan, 224.0.1.68 helbidera bidaltzen dira DHCP zerbitzariak aurkitzeko mezuak.
- **AD-HOC** sortak aurreko bi definizioetan sartzen ez diren trafikoei esleitzen dizkie IANAK.
- **SSM** (*Source-Specific Multicast*) sortako helbideak edonork erabil ditzake, inongo esleipenik jaso gabe. Hartzaileak igorlea aukeratzen duenez, ez dago erabiltzaileen artean talka egiteko arriskurik.
- **GLOP** helbideak (adi, GLOP ez da akronimo bat; ez du esanahirik) sistema autonomo bakoitzak erabiltzekoak dira. Sistema autonomo bakoitzak txertatzen ditu bere identifikadorearen 16 bitak GLOP helbidearen erdiko zortzikotearenak egiteko, eta 233.X.Y.0/24 sorta sortzen da. Adibidez, sistema autonomo baten ASN identifikadorea (*Autonomous System Number*) 5663 bada, erabil dezake 233.22.31.0/24 sorta, 5663 zenbakia era bitarrean idatzita 0001011000011111 baita, eta, hortik, hasierako 8 biteko taldea (00010110) 22 zenbakia baita, era hamartarrean, eta bigarrean (00011111), berriz, 31 zenbakia baita. 32 biteko ASN zenbakiak dituzten sistema autonomoek AD-HOC III sortako helbideak erabil-

tzeko eska diezaiokete IANARI. Ikusi, berez, AD-HOC III sorta GLOP taldearen azpisorta bat dela.

- **Multicast helbide pribatuak** unicast RFC 1918 helbideen parekoak dira: norberak bere sarean erabiltzekoak dira, Internetera atera gabe.

4.1 taula. IPv4 multicast helbide sorta nagusiak.

Izena	Sorta	Nork kudeatu	Esparrua
Sare lokaleko kontrolerako helbideak (<i>Local Network Control Block</i>)	224.0.0/24	IANAK	Sare lokala
Kontrolerako helbide globalak (<i>Internetwork Control Block</i>)	224.0.1/24	IANAK	Internet
AD-HOC sortak (I, II eta III)	224.000.2.0 – 224.000.255.255	IANAK	Edozein
	224.003.0.0 – 224.004.255.255		
	233.252.0.0 – 233.255.255.255		
SSM sorta	232/8	Librea	Internet
GLOP helbideak	233/8	AS bakoitzak	Internet
Helbide pribatuak (<i>Administratively Scoped IP Multicast</i>)	239/8	Librea	Sare pribatua

IPv6 multicast helbideak

RFC 4291 agiriak definitzen du IPv6 helbideen antolaketa orokorra, eta, horren barnean, multicast helbideena, ff00::/8 aurrezenbakia dutenak. Helbidearen 32 bitak 4 zatitan daude egituratuta (ikusi 4.2 irudia):

- Hasierako 8 bitak multicast aurrezenbakia dira.
- Hurrengo 4 bitak *flagak* dira.
- Hurrengo 4 bitek helbidearen esparrua adierazten dute. Definitutakoan artean, interesgarrienak 0010 (sare lokaletik ateratzen ez direnak), 0100 (erakunde baten bertako sarea), eta 1110 (globalak) dira.
- Azkeneko 112 bitak multicast taldearen identifikazioa dira. Batzuk aurredefinituta daude. Adibidez, 101 zenbakia (hamartarra) NTP zerbitzuari dagokio (*Network Timing Protocol*). Esparrua kontuan hartuta, ff02::101 helbideak sare lokaleko NTP zerbitzariak identifikatzen ditu, eta ff08::101 helbideak, aldiz, erakunde baten sare osoan dauden NTP zerbitzariak.

IANAk zenbait IPv6 multicast helbideren erabilera aurredefinitu du. Erreserbatutako helbide horiek eta beren erabilerak zein diren jakiteko, kontsultatu ezazu IANaren web-orria.



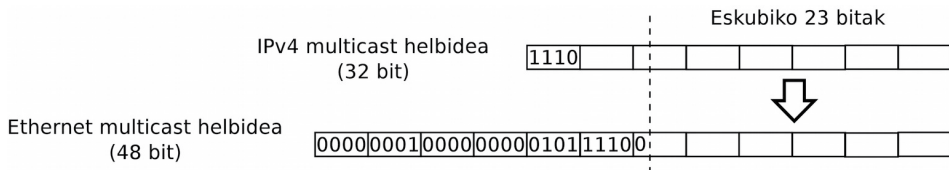
4.2 irudia. IPv6 multicast helbideen egitura.

Ethernet multicast helbideak

Multicast komunikazioa IP mailan definitu da, hau da, datagrama-mailan. Baina sare txartelek jasotzen dutena ez dira datagramak, tramak baizik. Horregatik, datagrama bat bidali ahal izateko, lehenengo itzulpen bat egin behar da, datagramaren bidean hurrengo makina denaren IP helbidetik bidaliko den tramako helburuko MAC helbidea lortzeko (normalean, ARP bihurketa da itzulpen hori). Horren guztiaren ondorioa honako hau da: multicast IP helbideak badaude, multicast MAC helbideak beharko ditugu, baita biren arteko bihurketa egiteko mekanismoa ere. Sare-teknologia bakoitzak bere trama-formatu propioa definitzen duenez, horietako bakoitzeko multicast helbideratze-eskema eta IP multicast helbideetatik eratortzeko mekanismoak definitu behar lirатеke. Egun, sare-txartel gehienek Ethernet teknologiako aldaeraren bat erabiltzen dutenez, tramen multicast helbideratzea Ethernet teknologietarako dago soilik garatuta.

48 biteko Ethernet helbideetan, 01-00-5E-00-00-00 eta 01-00-5E-7F-FF-FF arteko sorta gordeta dago IPv4 multicasterako. Irudian ikusten denez, Ethernet multicast helbideko ezkerreko 25 bitak finkatuta daude, eta eskuineko 23ak aldakorrak dira. IPv4 multicast helbide batetik dagokion Ethernet multicast helbidea eratoritzeko, IPv4 helbideko eskuineko 23 bitak Ethernet helbideko eskuineko 23 bitetan txertatzen dira. Kontu bitxia da zergatik hartzen diren 23 bit bakarrik, eta ez IPv4 multicast helbide baten 28 bit aldakorrak, eta ondorioa bistakoa da: IPv4 eta Ethernet helbideen arteko bihurketa ez da batetik batera erakoa, baizik eta zortzitik baterakoa, hau da, badaude 8 IPv4 multicast helbide Ethernet multicast helbide bakoitzeko. Beraz, gerta daiteke sare-txartel batek jasotzea ez dagozkion multicast tramak. Arazoa IP mailan konpondu beharko da; tramak daraman datagrama erauzi eta helburuko IP helbidea arakatzean, akatsa agerian gelditzen da, eta datagrama hori baztertua izango da. Badirudi funtzionamendu eskas horrek inor gutxi kezkatu duela, mekanismo bera erabili baita IPv6 multicast helbideak Ethernet helbideetan bihurtzeko (ikusi RFC 2464), baina ahuldadea hainbat aldiz handituta: IPv6 helbidea osatzen duten 120 bitetik, soilik eskuineko 32 bitak hartzen dira, eta, berez, 2^{112} IPv6 multicast helbideetatik Ethernet multicast helbide bera eratortzen da. Ethernet helbideko aurreneko 16 bitak finkatuta daude 33-33 balioan (formatu hamaseitarrean).

IPv4 eta IPv6 multicast helbideen bihurtetarako gordetako bi Ethernet helbide sorta horietaz gain, orokorrean, Ethernet helbideko zortzigarren bita batekoa denean, helbide hori multicast dela dago definituta (zortzigarren bit hori da transmititzen den lehena).



4.3 irudia. IPv4 multicasst helbidetik Ethernet helbiderako bihurteta.

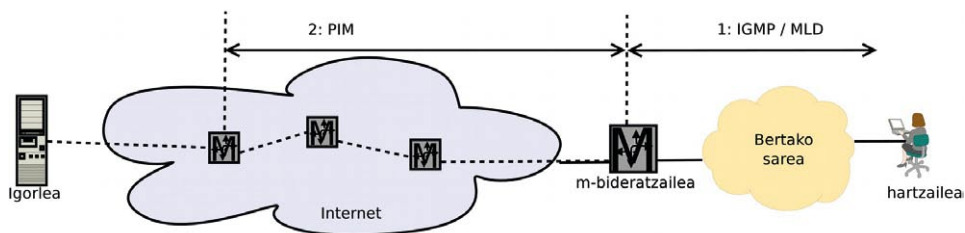
1.2. Hartzailen kudeaketa: IGMP eta MLD

Multicast talde baten igorlearen eta haren hartzaille guztien arteko bidean dauden bideratzaileek multicast talde horren **multicast zuhaitza** osatzen dute. Bideratzaile horiei jakinarazi behar zaie zuhaitz horretan daudela, taldeko helbidea daramaten datagramak birbidal ditzaten. Arazoa ez da makala, kontuan izanda igorleak ez dakiela zein diren hartzailleak eta, gainera, hartzaille talde hori oso aldakorra izan daitekeela unez unez. Ondorioz, multicast zuhaitz batean engaiatutako bideratzaile taldea ere aldakorra izango da. Mekanismo dinamikoa bat beharko dugu bideratzaile horiek zein diren taldearen bilakaerarekin batera eguneratzeko. Argi dago mekanismo hori hartzailleengandik abiatu behar dela, hartzaille horrek soilik kontrolatzen baitu noiz sartzen edo ateratzen den hartzaille bat taldean. 4.4 irudian azaltzen den bezala, bi urratsetan eguneratzen da multicast zuhaitz bat hartzaille bat taldean sartu edo taldetik ateratzen denean: lehenik, hartzailleak bere mugimenduaren berri eman behar dio bere sarean bertan izan behar duen multicast bideratzaile bati, eta, gero, bideratzaile horrek hartzaillearen sarearen eta igorlearen sarearen arteko bidean dauden multicast bideratzaileei helarazi behar die beritasuna. Atal honetan, hartzailen eta haren sareko multicast bideratzailearen arteko komunikazioaz arduratuko gara, eta, hurrengoan, multicast zuhaitza nola eraikitzen den ikasiko dugu.

Hartzaillearen eta haren sareko multicast bideratzailearen arteko komunikazioa IGMP protokoloak arautzen du (*Internet Group Management Protocol*) IPv4 trafikoa denean, eta MLD protokoloak IPv6 trafikoa denean (*Multicast Listener Discovery*). IGMPra hiru bertsio definitu dira. MLDri dagokionez, esan behar da haren eta IGMPren arteko alde bakarra mezuen formatua dela. Indarrean dagoen bertsioa bigarrena da, MLDv2 izenekoa (RFC 3810). Aipatu behar da, berez, MLD protoko-

loa **ICMPv6** protokoloaren zati bat dela, nahiz eta era guztiz berezitan aipatu agiri gehienetan. Ondoren, IGMPren azken bertsioa (IGMPv3) aztertuko dugu (RFC 3376). Haren ekarpen nagusia, aurreko bertsioekin alderatuta, SSM multicast erari emandako arreta da.

IGMP mezuak IPv4 datagrametan kapsulatzen dira zuzenean, hau da, TCP edo UDP erabili gabe. Bideratzaileak eta hartzaileak sare berean egon behar dutenez, IGMP mezuak garraiatzen dituzten datagramek bateko bat daramate TTL eremuan. Bi motatako mezuak besterik ez ditu definitzen protokoloak bere azken bertsioan: *membership_query* eta *membership_report* mezuak. Lehen sare baten multicast bideratzaileak bidaltzen du aldiro, zundarena eginez, sare lokal berean multicast hartzaileak hautemateko. Bigarrena hartzaileen makinek bidaltzen diete multicast bideratzaileei, talde batean sartu nahi dutenean, edo bideratzaile batek egindako itaunketari erantzuteko. Zundaketarako mezuak hiru eratakoak izan daitezke: orokorrak (*general query*), taldekoak (*group-specific query*) edo SSM galderak (*group-and-source-specific query*). Galdera orokorrak 224.0.0.1 helbidera igortzen ditu bideratzaileak, sare fisikoko beste makina guztiak jaso ditzaitez. Haien artean, multicast hartzaileak dituztenek *membership_report* mezu batekin erantzun behar dute, azalduz ea jarraitu nahi duten multicast trafiko guztia jasotzen. Beste bi motetako galderak dagokion multicast helbidera bidali behar ditu bideratzaileak, soilik dagokien makinek erantzun dezaten. Bideratzaileen galderei erantzuteko ez ezik, *membership_report* mezuak alta emateko ere bidaltzen dituzte hartzaileek, zundaren zain egon gabe. Mezuok 224.0.0.22 helbidera bidaltzen dituzte; sare lokal bereko multicast bideratzaile guztiak identifikatzen dituen helbidera, alegia.



4.4 irudia. Multicast zuhaitzaren eguneraketarako urratsak eta protokoloak.

IGMP protokoloak ez du definitu *membership_query* galdera bati ezezkoa emateko mezurik. Horren ordez, taldeko parte-hartzaileek taldea utzi nahi dutenean, nahikoa dute *membership_query* galderari ez erantzutea. Taldeko inongo hartzailek ez badu galdera erantzuten, bideratzaileak bere IGMP taulatik kenduko du talde hori, eta talde horren trafikoa jasotzeari eta birbidaltzeari utziko dio. Horrelako protokoloak, non egoera-aldaketak eragin baitaitezke ezer egin gabe, **protokolo bigunak** terminoarekin dira ezagunak (*soft state protocol*). Haien kontrakoak

protokolo gogorrak dira (*hard state protocol*), zeinetan egoera ez baita aldatzen esplizituki eskatzen ez bada.

IGMP snooping

Ethernet kommutagailu batek, multicast helburua duen trama bat jasotzen duenean, soilik multicast helbide horrekin lotutako makinei birbidali behar lieke. Haatik, Ethernet kommutagailu arruntek ez dute halako multicast ahalmenik, eta multicast helbideak broadcast balira bezala tratatzen dituzte, hau da, sareko linea guztietatik birtransmititzen dituzte. Jokabide horrek banda-zabalerak kontsumitzen du, alferrik, eta, gainera, **DoS** erasoak ekar ditzake (*Denial of Service*). Horregatik, zenbait ekoizleek multicast trafikoa soilik trafiko horri dagozkion lineetatik birbidaltzen duten Ethernet kommutagailuak merkaturatu dituzte. Haien lana IGMP mezuen edukia miatzean datza, multicast bideratzaileak IP mailan egiten duen taldeen jarraipen lanaren parekoa egiteko Ethernet mailan. Hau da, Ethernet kommutagailuak ARP taularen antzeko beste taula bat eraikiko du, aho bakoitzari dagozkion multicast helbideak aho horrekin lotzeko. Bideratzaileen eta hartzaileen arteko IGMP trafiko-zelatatzeko horri *IGMP snooping* deritzo. Bereziki onuragarria da multicast bidezko IP telebistan eta halako aplikazioetan, sare lokalean eragindako trafikoa era nabarian murriztu baitetzake.

IGMP snooping teknikan, bi kontu nahasten dira: Ethernet mailako kommutagailuen funtzionamendua eta IP mailako multicast trafikoa bideratzea. Horrek estandarizatorako arazo bat dakar, erakunde desberdinei baitagokie kommutagailuen funtzionamendua arautzea (IEEEk egiten du) eta IP multicast bideratzea arautzea (IETFren lana da). Beren artean ados jarri ez, eta, ondorioz, ez dugu IGMP snooping arautzen duen estandarrik. Teknika deskribatzen duen RFC 4541 agiriak dibulgatorako estatusa du (*Informational status*).

1.3 Multicast datagramak bideratzea: PIM

RFC 5110 agiriak deskribatzen du nola bideratzen den multicast trafikoa Interneten. Hemen, soilik SSM trafikoa aztertuko dugu, nahikoa baita pisu handiena duten multimedia-aplikazioetarako; zehazki, multicast erabiliz gero onura handia lortzen duten uneko telebistarako eta multikonferentziarako. Beste alde batetik, ASM erabiltzeak nabarmen zailtzen du bideratzea, eta, praktikan, ezinezkoa bilakatzen da sistema autonomoen arteko ASM trafikoa.

Multicast trafikoa bideratu ahal izateko, bideratzaileek multicasterako birbidaltze-taula bat osatu eta eguneratu behar dute. Taula horri izen bat baino gehiago ematen zaio agiri teknikoetan. Adibidez, RFC 4601 agirian, **MFIB** terminoa erabiltzen da (*Multicast Forwarding Information Base*), baina RFC 5132 agiriak, aldiz, *Multicast Routing Next Hop Table* terminoa erabiltzen du. Guk **multicast birbidal-**

tze-taula erabiliko dugu. Taulako sarrera bakoitza SSM kanal bati dagokio, hau da, [iturria, helburua] bikote bati. Beraz, bideratzaile batek sarrera bat izango du bere multicast taulan, parte hartzen duen SSM multicast zuhaitz bakoitzeko. Zehazki, taularen antolaketa eta edukia inplementazioaren arabera da, baina, orokorrean, honen antzekoa izango da:

4.2 taula. IP multicast birbidaltze-aula posible bat.

SSM kanala [Iturria, helburua]	Hurrengo bideratzaileak (Next hop)	Interfazea
[203.0.113.9, 233.252.0.1]	192.0.2.34	eth0
	198.51.100.56	ppp1
[203.0.113.148, 233.252.0.1]	192.0.2.212	eth0
	—	eth1
[192.0.2.213, 233.252.0.55]	198.51.100.197	ppp1

Unicast birbidaltze-taletan ez bezala, multicast taletan baliteke datagrama-linea batetik baino gehiagotatik birbidali behar izatea. Horrela egiten da 4.2 taularen hasierako bi kanaletan, jasotako datagramak bi helburutara birbidaltzen baitira. Azken kanalaren kasuan, ordea, jasotako datagrama birbidaltzen da, baina ez da ugaltzen. Taulako SSM kanal bati dagokion azpillerro bakoitzari **adarra** izena emango diogu; adarretan, hurrengo bideratzaile bat eta igortzeko sare-interfaze bat azaltzen dira. Adibidez, 4.2 taulako hasierako kanalak bi adar ditu, baina taulako azken kanalak adar bakarra du. Aipatzekoa da bigarren kanalean ere bi adar agertzen direla, bata eth0 interfazetik eta bestea eth1 interfazetik. Bigarren adar hori, aldiz, berezia da, ez baitu hurrengo bideratzaileirik. Horrek esan nahi du adar horren datagramak beren helburuko sarera heldu direla eta ez zaiela beste bideratzaile bati birbidali behar, hartzaileak bertan dituelako. Azpillerro hori, adarra baino gehiago, hostoa izendatu behar genuke.

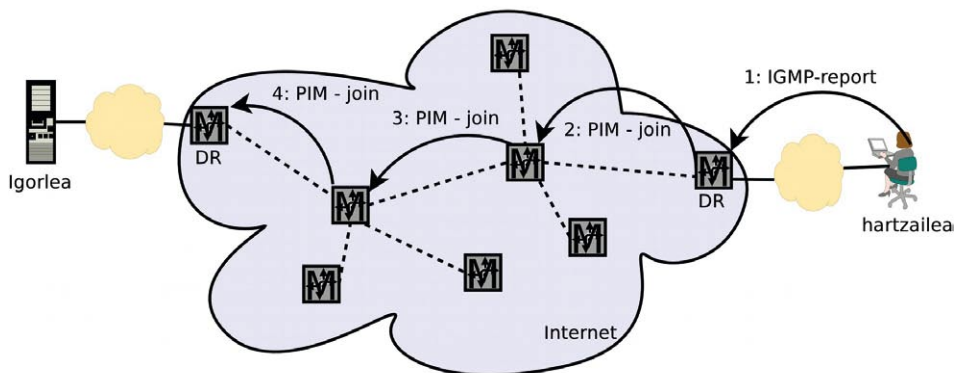
Bideratzaileen multicast birbidaltze-aulak eraikitzeko, bi arazo hauek konpondu behar dira:

- (1) Hartzaile berri batek kanal hori eskatzen duenean, zuhaitzeko bideratzaile guztiei jakinarazi behar die beren taletan sarrera bat gehitu behar dutela. Horri multicast zuhaitza eraikitzea esaten diogu. Arazo handiena zuhaitz horretan zer bideratzailek egon behar duten asmatzea da.
- (2) Zuhaitzeko bideratzaile bakoitzean, taulako sarrera bati dagokion hurrengo bideratzailea zein den zehaztu behar da.

Bi arazo horiek PIM protokoloa erabiliz (*Protocol Independent Multicast*) konpontzen dira. Protokolo horren bi aldaera definitu ziren hasiera batean, PIM-DM (*Dense Mode*) eta PIM-SM (*Sparse Mode*), baina, gaur egun, bigarrena soilik erabiltzen da. Haren azken espezifikazioa RFC 4601 agirian dago. Berez, edozein multicast trafikorako balio du PIM protokoloak, baina, gogoratu, guk soilik SSM trafikoa hartuko dugu kontuan. Hemen haren funtzionamenduaren marea erakutsiko dugu.

Iturriaren eta hartzaileen arteko multicast zuhaitza kudeatzea da PIM protokoloaren lana. Horretarako, bi zeregin betetzen ditu: bata, hartzaile batek kanal batean sartzeko eskatzen duenean, adarrak gehitzea zuhaitz horretan, eta, bestea, adar bateko azken hartzaileak kanala uzten duenean, adarra moztea. Lehenengo lanerako, join izeneko mezuak erabiltzen ditu, eta, bigarrenarako, prune izenekoak. Hartzaile baten multicast bideratzaileak kanal berri baterako IGMP membership_report mezua jasotzen duenean, bere IGMP taulan kanal hori sartu eta, segidan, kanal berri horren zuhaitzean adarra gehitzeko prozedura abiatzen du. Era berean, multicast bideratzaile batek igorritako zundari inongo hartzaileak erantzuten ez dionean, bideratzaileak bere IGMP taulatik kenduko du kanal hori, eta kanalari dagokion adarra kentzeko prozedura abiatuko. Ikusten denez, hartzaileen sareetako multicast bideratzaileek zubiarena egiten dute hartzailearen eta kanpoko multicast bideratzaileen artean, batekin komunikatzeko IGMP erabiliz, eta besteekin PIM. Hartzailearen sarean multicast bideratzaile bat baino gehiago balego, horietako bakar batek egin behar luke zubi-lana. Bideratzaile horri **DR** izena (*Designated Router*) ematen dio PIM protokoloak, eta mekanismo bat deskribatzen du DR bideratzailea aukeratzeko.

SSM kanal baten multicast zuhaitzean adar bat gehitzeko prozedura 4.5 irudian deskribatzen da. DR bideratzaileak emango dio hasiera, bere IGMP taulan SSM kanal berri bat sartzten duenean. Ondoren, bere multicast birbidaltze-taulan lerro bat gehituko du, baina, kasu honetan, hartzailearekin lotura zuzena duenez, ez du hurrengo bideratzailearik esleituko lerro honetan. Horren adibidea dugu 4.2 taulako laugarren lerroan, zeina [203.0.113.148, 233.252.0.1] kanalari dagokion bigarren adarra baita. Gero, join mezu bat bidali behar dio kanal horren iturrirako bidean duen hurrengo multicast bideratzaileari. Join mezu hori kanal horren trafikorako eskaera bat da. Jasotzen duen bideratzaileak lerro bat gehitu behar du bere multicast birbidaltze-taulan kanal horretarako, eta join mezua igorri dion bideratzailearen helbidea jarri behar du hurrengo bideratzailearen zutabearen. Gero, prozedura errepikatuz, join mezua birbidaliko dio iturrirako bidean duen hurrengo multicast bideratzaileari. Horrela, jauzika, join mezua kanal horren iturria den sareko DR bideratzailearaino helduko da, bideko bideratzaileetako multicast birbidaltze-tauletan azterna utzita, hau da, multicast zuhaitza osatuta.



4.5 irudia. Multicast zuhaitzaren eguneraketarako urratsak eta protokoloak.

Deskribatutakoa PIM protokoloaren oinarriko mekanismoa da, baina bi aipamen egin behar dira horretaz. Batetik, taula batean adar berri bat sartzen denean, tenporizadore bat abiatzen da adar horri lotuta, eta tenporizadore hori agortu baino lehen jasotzen ez bada adarra berretsi eta tenporizadorea berrabiatuko duen join mezu bat, adarra taulatik ezabatuko da. Beraz, adar horri eutsi ahal izateko, hartzailearen DR bideratzaileak join mezuak igorri behar ditu periodikoki. Ikusten denez, PIM protokoloa, IGMP bezala, biguna da. Bestetik, iturrirako bidean hurrengo multicast bideratzailea zein den asmatu behar da. Besterik ezean, unicast birbidaltze-taulan kontsultatzen da zein den hurrengo bideratzaile hori. Kasu honetan, unicast eta multicast trafikoa bideratzeko taula bera erabiltzen denean, esaten da unicast eta multicast topologiak **kongruenteak** direla. Hala ere, aurreikusten da bide desberdinak izatea multicast eta unicast trafikoetarako. Aukera hori gauzatzeko, multicast topologiari buruzko informazioa gordetzen duen beste taula bat kudea dezakete multicast bideratzaileek, **MRIB** izenekoa (*Multicast Routing Information Base*); taula horretan, helburu posible bakoitzeko multicast bide posibleak zein diren gordetzen da. Bideratzaile batean MRIB baldin badago, taula horretan begiratu behar du zein den join mezua birbidaltzeko hurrengo bideratzailea.

Ez dira nahastu behar multicast bideratzeko taula (MRIB) eta multicast birbidaltzeko taula (MFIB): bata join mezuak goranzko bidean birbidaltzeko erabiltzen da, iturrirantz, eta bestea, multicast aplikazioetako datagramak beheranzko bidean birbidaltzeko, hartzaileetarantz. Goranzko bidean mezuak bidaltzeari **RPF** deritzo (*Reverse Path Forwarding*). MRIB taula betetzeko, multicast bideratzaileek bideratze-informazioa trukatu behar dute beren artean, eta, horretarako, protokoloak behar dituzte. Multicast domeinuen arteko bideratze-informazioa trukatzeko, kanpoko bideratzerako erabiltzen den BGP protokoloaren hedapen bat erabiltzen da, **MBGP** izenekoa (*Multiprotocol Border Gateway Protocol*, RFC 4760). Multi-

cast domeinu berean, arrotza da unicast eta multicast topologiak desberdinak izatea, baina, hala ere, zenbait barne-bideratzeneko protokoloetarako ere definitu dira multicasterako hedapenak; adibidez M-ISIS eta MT-OSPF (*Multi-Topology OSPF*, RFC 4915).

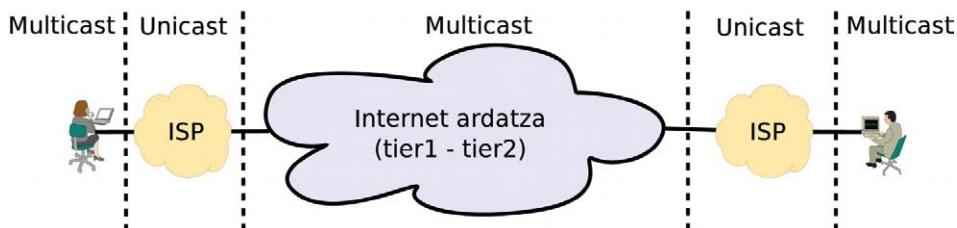
Beren IGMP taulan kanal batean erregistratutako hartzaile guztiek baja hartzen dutenean, DR bideratzaileak ez du igorriko join mezu gehiago. Adarra mozteko hori nahikoa balitz ere, PIM protokoloak badu mekanismo proaktibo bat adarra ezabatzeko bideko bideratzaileen tauletatik, prune mezua erabiliz. Adarra gehitzearen antzeko prozedura da, baina join mezuen ordez prune mezuak bidaltzen dira zuhaitzean gora, hartzailearen DR bideratzaileak hasita. Hurrengo bideratzaileak prune mezua jasotzen duenean, bere multicast birbidaltze-taulatik kenduko du prune mezua igorri dion bideratzaileari zihoan adarra, eta, kanal horretan adar gehiago gelditzen ez bada, kanala ere ezabatuko du bere taulatik. Aldiz, kanal horretan oraindik beste adarren bat badago, prune mezua ez du gorantz birbidaliko, kanal horretarako trafikoa beste kanaletara bideratzen jarraitu behar baitu.

1.4. Multicast hutsunea eta AMT tunelak

Multicast teknologia 1985. urtean definitu zen IP sareetarako. Hasierako definizio hori ASM ereduakoa zen. Eredu horrek arazo asko ekarri zion multicast hedapenari, bai segurtasunaren aldean, baita multicast bideraketaren aldean ere, bereziki domeinuen arteko bideraketari dagokionez. Horren ondorioz, urte luzez multicast teknologia ez da zabaldu Interneten. Gainera, multicast erabiltzearen onurak jasoko lituzketen aplikazioentzat —Internet bidezko telebista- eta bideomultikonferentzia-aplikazioentzat, alegia—, nahikoa da SSM ereduak; ez dute ASM behar. Horretan erreparatuz, 2006. urtean SSM multicast definitu zen, askoz seguruagoa eta bideratzen errazagoa.

Hala eta guztiz ere, geroztik, multicast teknologiak testuinguru itxietan izan du soilik arrakasta, hau da, sare korporatiboen barruko aplikazioetan edo *Triple Play* moduko eskaintzetan, non multicast trafikoa ez baita ateratzen ISP baten saretik. Internet irekian, oraindik, ikusteke dugu zer arrakasta izango duen multicast teknologiak, baita SSM eran ere. Domeinuen arteko multicast trafikoaren hedapenaren arazoa IPv6 bertsioaren arazo bera da: biak dira «dena edo ezer ez» erako teknologiak, hau da, ibili ahal izateko, iturriaren eta hartzailearen arteko bidean dauden bideratzaile guzti-guztiek onartu behar dute erabilitako teknologia; bestela, ez dago zer eginik. Multicasten kasuan, ez du ezertarako balio iturri baten ISPak multicast eskaintzeak bere zerbitzuen artean, ezin baitu bermatu zer gertatuko den bideratzaile batek iturriak igorritako multicast datagrama bat jasotzen duenean hartzaileen bidean, bere saretik kanpo. Hartzaileen ISPeK ere ez dute garbi ikusten zer onura ekar diezaiokeen kanpoko iturri batetik etorritako

multicast trafikoa onartzeak, baina bai, ordea, zer kalte: bertan behera geratuko litzateke *Triple Play* eskaintzearen erakargarritasuna, edozein OTT igorlek baldin badu «bere» hartzaileenganaino heltzeko multicast teknologiak ematen duen eskalabilitatea. Hartzaileen ikuspuntutik, multicast erabiltzeak ez dakar bistako onurarik, Internet konexioaren banda-zabaleraren kontsumoa bera baita unicast zein multicast erabili. Egoera horretan, edukien hornitzaileek ere ez dute interesik multicast teknologian inongo inbertsiorik egiteko, ez baitago trafiko hori jasoko duen hartzaileerik.



4.6 irudia. Multicast hutsunea.

Berez, egun, multicast teknologia guztiz hedatuta dago Internet handizkarien sareetan, Tier1 eta Tier2 erakoetan, baina sareko bazterrak osatzen dituzten ISPen sare gutxitan topatuko dugu multicast ahalmena bideratzaileetan, 4.6 irudian agertzen den bezala. Beste behin, masiboki publikoarengaino heltzeko bideko azken kilometroan dago tapoia, ISPen sareetan. Multicast hutsune hori gaingintzeko, proposamen bat egin du IETFk, AMT izenekoa (*Automatic Multicast Tunneling*, RFC 7450). Izenak dioenez, ideia tunelak erabiltzean datza: multicast trafikoa unicast datagrametan kapsulatzen da multicast sareko muga dauden bideratzeetatik, hartzaileera arteko multicast hutsunea zeharkatzeko. AMT guztiz multicast den Internet izan arteko trantsiziozko teknologia da. Nahiz eta 2015. urtera arte ez argitaratu Internet estandarra izateko moduan, gutxienez 2011. urtetik egon da inplementatuta merkatuan dauden zenbait bideratzaileetan. Hala eta guztiz ere, oraingoz, AMTk ere ez dio eman multicast teknologiari behar duen bultzada.

2. QoS mekanismoak

QoS akronimoa (*Quality of Service*), orokorrean, sareko erabiltzaileek jasotako zerbitzuaren pertzepzioari dagokio, zerbitzu horren kalitatea zenbait parametroren bidez neurtuta: atzerapena, atzerapenaren aldakortasuna, galera-tasa, emandako banda-zabalera, eta erabilgarritasuna, batez ere. IP sareetan, haatik, termino hori lo-

tuta dago parametro horiek hobetzeko erabiltzen diren teknikekin, eta, berez, ego-kiagoa da QoS teknikei edo mekanismoei buruz hitz egitea. Ondoren, QoS teknika nagusiak aurkeztuko ditugu.

2.1. Traffic Management

Besterik ezean, bideratzaile batek irteerako ilara bakarra esleitzen dio bere linea bakoitzari, eta, datagramak ilara horretatik atera, eta ilaran sartu diren ordena berean birbidaltzen ditu. Hau da, **FIFO** eran kudeatzen da ilara hori (*First Input First Out*). Ilara batean datagramak sartzen direnean, buxadura sortzen da, linea horretatik transmititzeko abiadura baino azkarragoan. Epe batean, bideratzaileak datagramarik galdu gabe eutsiko dio, baina, ilara bete baino lehen buxadura arintzen ez bada, azkenean, bideratzaileak datagramak baztertzen hasi beharko du. AQM (*Active Queue Management*) teknika erabiltzen ez duen bideratzaile batean (gehienak Interneten) zer datagrama baztertu aukeratzeko, **Tail Drop** irizpidea erabiltzen da, hau da, ilara beteta aurkitu duen datagrama hori heldu berri baztertuko da. Portaera horrek sarearen neutraltasuna definitzen du: trafiko guztiak jasotzen du tratamendu bera. Hala ere, ikusi dugunez, horrelako portaerak ez die kalte bera egiten aplikazio guztiei. Datu-aplikazioek galdutako datagrama berreskura dezakete, birtransmisioen bidez, emandako zerbitzuaren kalitatean eraginik izan gabe, edo eragin txikiarekin. Gure multimedia-aplikazioetan, aldiz, denbora errealekoak direnez, galdutako datagramak ezin dira birtransmititu, eta galdutako informazioak eragin zuzena izango du jasotako zerbitzuaren kalitatean. Horregatik, zilegi da datagrama guztiei tratu bera ez ematea buxaduretan, baizik eta garraiatzen duten trafikoaren arabera baztertu edo ez baztertu (beste kontu bat da tratu berezi hori beste parametroen arabera baltitz). Hori da, funtsean, **Traffic Management** izenarekin ezagunak diren teknikek egiten dutena: datagrama batzuei lehentasuna eman bideratzaile edota konmutagailuen ilaretan. Edozein datagrama izan daiteke lehentasunezkoa, baina teknika horiek IP telefoniaren eta bideo-transmisioen kalitatea bermatzeko erabiltzen dira nagusiki.

Traffic Management terminoaren esanahia testuinguruaren arabera izaten da. IP sareez ari garenean, terminoak buxadurak kudeatzeko eta datagramen sailkapenetan oinarritutako teknikak biltzen ditu (ikusi RFC 7640). Horregatik, zerbitzuaren kalitatea bermatzeko *Traffic Management* erabiltzen denean, QoS helburua **CoS** bilakatzen dela esaten da (*Classes of Service*). Orokorrean, *Traffic Management* ahalmena duen gailu batek honako lan hauek betetzen ditu:

- Trafikoa sailkatzea, hau da, datagramak markatzea beren edukia arabera.
- Trafikoa mugatzea, hau da, sarean sartzen edo saretik ateratzen den trafiko kantitatea kontrolatzea, sailkapenaren arabera. Askotan, lan hori ez dago lotuta QoS irizpideekin, baizik eta helburu komertzialekin. Kasu horretan, jasotako edo igo-

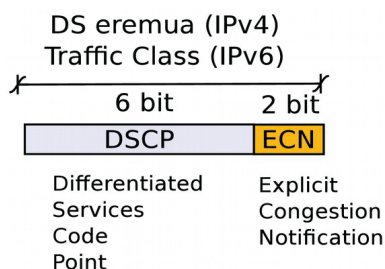
rritako trafiko kantitatea ez da zaintzen sailkapenaren arabera, baizik eta kontratatutako banda-zabaleraren arabera.

- Ilarak kudeatzea, hau da, datagramak ilaratan banatzea, ilaretatik ateratzeko algoritmoak erabiltzea, ilaren egoera zelatatzea eta, beharrezkoa denean, zein baztertu erabakitzea.

Datagramen arteko lehentasunak bereizteko Interneteko proposamena **DiffServ** da (RFC 2475). DiffServ hizkeran, datagramak PHB izeneko kategorietan eta azpikategorietan bereizten dira, jaso behar duten zerbitzuaren arabera (*Per-Hop Behavior*). DiffServ definizioak zehazten du nolako zerbitzua jaso behar duten kategoria bakoitzeko datagramek, baina ez du zehazten inongo mekanismorik zerbitzu hori lortzeko. Praktikan, horrek zera dakar: sare bakoitzeko kudeatzaileak definituko duela zer egin kategoria bakoitzeko datagramekin. Hortik sortzen da DiffServ domeinua kontzeptua (*DS Domain*), hau da, sare multzo bat non DiffServ kategorien tratamendua homogeneoa den. DS domeinua izendatzeko ingelesezko beste era bat *QoS trust boundary* da; QoS **konfiantza-muga**, alegia.

Sailkapena

IPv4 eta IPv6 datagramek 6 biteko eremu bat dute beren goiburukoan sailkapena egiteko, DSCP izeneko (*Differentiated Services Code Point*). IPv4ren kasuan, DS eremuko (DS field) hasierako 6 bit dira DSCPkoak, eta, IPv6 goiburukoan, Traffic Class izeneko eremuko aurreko 6 bitak, 4.7 irudian agertzen den moduan. Teorian, sailkapen hori datagrama sortu duen makinak berak egin dezake, baina, praktikan, normalean, *Traffic Management* egiten duen sarerako sarbidearena egiten duen bideratzaileak emango dio balioa DSCP eremuari. Hau da, DS domeinu baten sarbideko bideratzaileak sailkatzen ditu DS domeinu horretan sartzen diren datagramak.



4.7 irudia. DS eremuaren egitura, datagramen goiburukoan.

Datagramako goiburuko DSCP eremuari balioa emateko irizpidea DS domeinuko kudeatzaileak erabaki behar du, eta, horretarako, sailkapena egingo duen bideratzailea konfiguratu behar du. Horretarako, bide hauek hartzen dira gehienetan:

- Garraio-mailako goiburukoan agertzen den informazioa erabiltzea aplikazioa identifikatzeko, eta, horren arabera, datagrama sailkatzea. Laburrago esanda, datagrama TCP/UDP portuen arabera sailkatzea. Portuez gain, IP helbideak eta datagramak barruan daraman protokoloaren identifikadorea ere erabil daitezke sailkatzean.
- Datagramak daraman aplikazio-mailako informazioari ere begiratu dakioke, hau da, DPI egin (*Deep Packet Inspection*). DPI oso teknika polemikoa da, sareko neutraltasunari, kompetenziari edota pribatutasunari egin diezaiokeen kalteagatik.
- Sare korporatiboen barruko trafikoa denean, askotan, sailkapena jatorriaren VLANaren arabera egiten da. Adibidez, oso ohikoa da sareko IP telefonoak VLAN batean elkartzeko, eta gero VLAN horren trafikoa denbora errealeko kategorian sartzeko eta lehentasuna ematea bideratzaileetan. Izan ere, Ethernet saretarako VLAN arauan (IEEE 802.1Q) definitzen da 3 biteko eremua sailkapena egiteko. Eremu hori Ethernet goiburukoan txertatutako VLAN etiketan dago, PCP izenarekin jasota estandarrean (*Priority Code Point*).

Beste alde batetik, gerta daiteke lehentasunen tratamendua ez egitea IP mailan soilik, baizik eta baita IP azpian dagoen sare-teknologian ere, gehienetan Ethernet kommutagailuetan. Izan ere, bideratzaileek eta kommutagailuek lan oso antzekoa egiten dute, eta bietan kudeatu behar dituzte buxadurak. Oraintxe aipatu dugun PCP sailkapena erabiltzen dute Ethernet kommutagailuek beren ilarak kudeatzeko. Ahalmen hori dutenak QoS kommutagailuak dira. DS domeinu baten barruan sare batetik bestera igarotzeko, Ethernet goiburuko PCP eremua mapatu egiten da datagrametako DSCP eremuan. Mapatze hori errazteko, IEEE 802.1Q estandarrak definitzen dituen zortzi kategorია edo zerbitzu-klaseetatik (*Classes of Service, CoS*), hasierako seiak eta DiffServ estandarrak definitzen dituen sei trafiko kategoría berdina dira (baina DiffServ hizkeran Class Selector dira kategoría horiek).

Trafiko-lehentasunak kudeatzeko ahalmena duten beste sare-teknologia batzuk ATM eta MPLS dira. ATM zaharritutako teknologia da jadanik, baina MPLS oso erabilia da operadoreen sareetan. Haren funtzionamendua Ethernet VLAN sarean antzekoa da: MPLS etiketa bat txertatzen da IP datagramen goiburukoan, trafikoa elkartzeko eta beraren etiketaren arabera kommutatzeko. MPLS etiketan ere, lehentasunerako 3 bit daude definituta; kasu horretan, Traffic Class izenekoak (lehen, EXP bit zeritzen; ikusi RFC 5462). Etherneten kasuan bezala, DiffServ eta MPLS kategorien artean badago mapatze-sistema bat definituta (RFC 3270).

Azpinarratu behar da bideratzaile (edo kommutagailu) bakoitzak egiten duen datagramen (edo tramen) tratamendua independentea dela, hau da, soilik konfigurazioan oinarrituta dagoela. Bideratzaile bakoitzean badago kasu egitea ala ez datagramak dagoeneko dakarren sailkapenari, baina sailkapen hori aldatzea ere badu datagrama jasotzen duen bideratzaileak. Hori bai, espero da DS domeinu batean soilik sarrerako bideratzaileak aldatzea DS sailkapena.

Trafikoa mugatzea: policing-a eta traffic shaping-a

Trafikoa mugatzeko teknikak (**traffic metering** edo **rate limiting**) epe batean interfaze batetik zenbat byte ari diren jasotzen edo igortzen zelatatzen dute, bermatzeko ez dela gainditzen aurretik konfiguratutako muga bat. Bi eratako kontrola egin daiteke:

- *Policing*-a: helburua definitutako abiadura ez gainditzea da. Gehiegizko trafikoa baztertzen da, edo birsailkatzen, haren lehentasuna jaisteko. *Policing*-a sarrerako bideratzaileetan erabiltzen da.
- *Traffic shaping*-a edo trafikoa moldatzea: helburua trafikoa konfiguratutako abiadurara egokitzea da, segida bateko datagramak bakanduz azkarregi heltzen ari badira. Segida bateko gehiegizko trafikoa buffer batean gordetzen da, geroxeago birtransmititzeko. *Traffic shaping*-a sareko irteerako bideratzaileetan erabiltzen da.

Bi teknikak oso antzekoak dira, eta, askotan, nahasten dira. Bien arteko aldea 4.8 irudian azaltzen da. *Policing*-a inplementatzeko, **token pertza** izeneko algoritmoa erabiltzen da (*token bucket*), eta, *Traffic shaping*-a egiteko, oso antzekoa den **zulatutako pertzarena** (*leaky bucket*). Token pertzaren algoritmoa kontagailu baten bidez inplementatzen da. Hona hemen haren bertsioetako bat:

```

E hasieratu;
while (beti)
    Itxaron: (Datagrama berri bat heldu arte);
    kontagailua := kontagailua + X;
    if (kontagailua > MUGA),
        then datagrama bota (edo birsailkatu eta birbidali);
    else birbidali datagrama;
    if (E denbora igaro da)
        then kontagailua := kontagailua - E*R;
        E hasieratu;
end while;

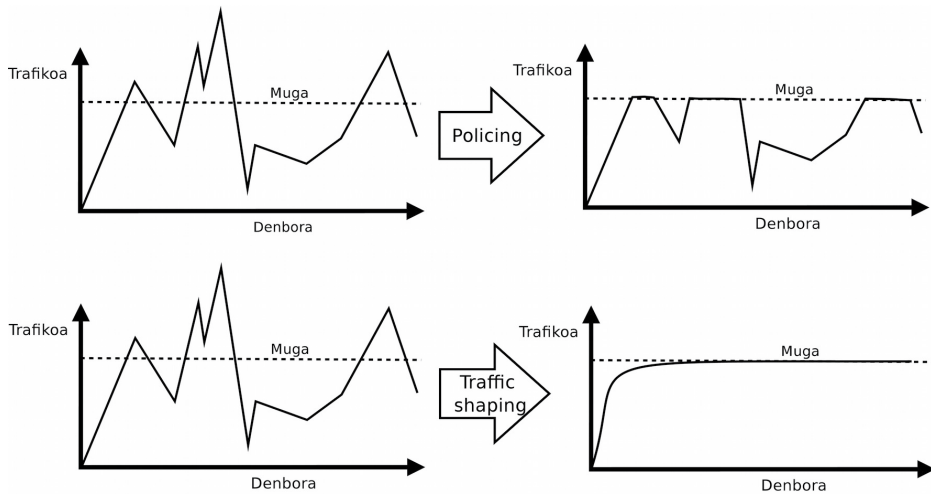
```

X heltzen den datagramaren tamaina da. R parametroa interfaze horri dagokion batez besteko abiadura da. E trafikoa kontrolatzeko epea da. MUGA parametroa segidan bidali daitekeen bit kopurua da, hau da, gehienez zenbat bit bidal daitezkeen E denbora-epe batean. Kontagailua ezin da balio negatiboa izan. Adibidez, demagun kontrolatu behar dugula erabiltzaile batek sarean sartzen duen trafikoa ez izatea 50 Mb/s baino handiagoa, nahiz eta haren sare-txartela 100 Mb/s abiadura izan. Aldi berean, 100 ms-ko epe batean onartuko diogu segida bat abiadura fisikoan transmititzea. Erabiltzaile horren sarrera den interfazean, honelako konfigurazioa egin behar genuke:

$$R = 50 \text{ Mb/s}$$

$$E = 0,1 \text{ s}$$

$$\text{MUGA} = 10 \text{ Mb}$$



4.8 irudia. Policing eta Traffic Shaping arteko aldea.

Trafikorik gabeko epe baten ondoren, kontagailuaren balioa zero izango da. Orduan segida bat hasten bada, bideratzaileak 10 Mb-ra arte onartuko du hasierako epean, nahiz eta 50 Mb/s-ko abiaduran 5 Mb besterik ezin duen bidali 100 ms irauten duen epean. Hurrengo epeetan, aldiz, soilik 5 Mb onartuko ditu bideratzaileak, epearen hasieran kontagailua 5 Mb balioan egongo delako. Horrela, azkenean, batez besteko abiadura izango da, gehienez, hitzartutako 50 Mb/s hori. E segundoko epe batean baino luzeagoan erabiltzaileak igortzen baditu 50 Mb/s baino gehiago, azkenean, interfaze horren sarrerako bufferrak gainezka egingo du, eta datagramak baztertzen hasiko da. Kasu horretan, erabiltzaileak sareko administratzailearekin hitzartutako gehienezko abiadura handitu behar luke, edo sortzen duen trafiko kantitatea jaitsi. Sistema horretan, jasotzen den datagramaren tamaina maximoko buffer bat behar da lineako sarreran, gehiago ez.

Zulaturako pertza izeneko algoritmoa buffer baten kudeaketan datza. Hona hemen haren funtzionamendua:

```

E hasieratu;
while (beti)
    Itxaron      (Datagrama berri bat heldu arte)
                edo
                (E agortu arte);
    if (datagrama berri bat heldu da)
        if (bufferrean tokia dago)
            then onartu;
            else baztertu;
    if (E denbora igaro da)
        then atera bufferretik datagrama bat eta bidali;
        E hasieratu;
end while;

```

Kasu horretan, bufferraren tamaina eta E parametroa konfiguratu behar dira. Orain, bufferraren tamainak mugatzen du zenbatekoa izango den gehienez onartuko den segidaren tamaina. Adibidez, demagun erabiltzaile batek kontratatu duela saretik 50 Mb/s jasotzea baina haren sareko konexioaren abiadura fisikoa 100 Mb/s dela. Erabiltzaile horrekiko konexioa egiten duen bideratzailearen konfigurazioan trafikoa mugatzeko epea 0,1 segundo bada, erabiltzaile horri dagokion lineako irteerako bufferraren tamainak ez luke 5 Mb baino handiagoa izan behar. Hala ere, 10 Mb tamainako bufferra konfiguratu dezakegu, eta, horrela, 100 Mb/s-ko abiaduran 0,1 segundoko segidak onartuko ditu bideratzaileak, saretik erabiltzaileari birbidali baino lehen. Denbora luzeagoan saretik datagramak sartzen badira 100 Mb/s-ko abiaduran, bufferrak gainezka egingo du. Edozein izanda ere saretik informazioa sartzeko abiadura, bideratzailetik beti ateratzen da, batez beste, kontratatutako abiaduran. Algoritmoak, berriz, jasotako fluxua kontratatutako abiadurara moldatzen du. Hau da, *Traffic shaping*-a egiten du. Ohartu token pertza algoritmoak ez duela abiadura moldatzen; muga ez gainditzea (*Policing*) kontrolatzen du soilik, baina jasotako abiadura berberean birbidaltzen du onartzen duen trafikoa.

Zorrotzak izanik, trafikoa mugatzeko bi teknika horiek ez dira QoS bermatzeko teknikak, baizik eta ISP konpainiek beren bezeroek erabiltzen dituzten baliabideak kontrolatzeko teknikak. Hala ere, *Traffic Management* teknikekin batera inplementatzen dira bideratzaileetan; izan ere, datagramen sailkapena uki dezakete (token pertzean egin daitekeen birsailkapena, baztertzearen ordezt).

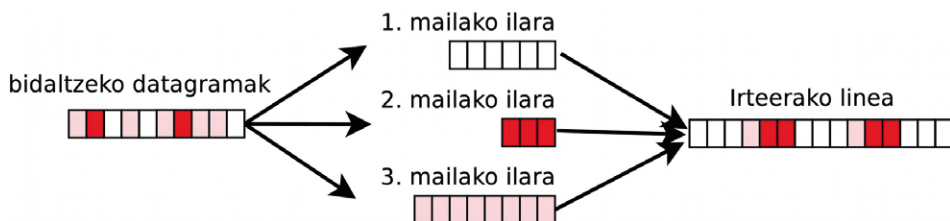
AQM teknikak: scheduling-a eta ilaren kudeaketa (queue management)

Atal honen hasieran aipatu dugunez, Internet irekian dauden bideratzaile gehienak neutralak dira, hau da, datagrama guztiek jasotzen dute tratu bera, eta, ilara beteta badago, etorriko den hurrengo datagrama baztertua izango da (*Tail Drop*). Besterik ez. Horren alternatiba AQM teknikak dira; teknika horietan, baztertuko den datagramak ez du izan behar etorri den azkena. Azken batean, ilaren tamaina beti kontrolpean edukitzea bilatzen dute, guztiz betetzen utzi gabe.

RFC 2309 agiriak ekarri zuen AQM kontzeptua, eta, horrekin batera, AQM algoritmo bat ere definitu zuen, **RED** izenekoa (*Random Early Detection* edo *Random Early Drop*). Algoritmo hori erabiliz, datagrama bat baztertua izateko probabilitatea ilararen betetze-mailaren arabera da. Horrela, ilara hutsik badago, etorriko den lehenengo datagrama baztertua izateko probabilitatea zero izango da. Ilara betetzen den heinean, probabilitate hori handituko da, eta, beraz, baliteke ilara beteta egon gabe datagrama bat baztertua izatea. Ondo parametrizaturik egonez gero, RED algoritmoa ondo ibiltzen da. Baina oso zaila da parametro horiek asmatzea eta eguneratuta izatea dinamikoki, eta, ondorioz, nahiz eta RFC 2309 agirian RED erabiltzea gomendatu, ez da oso erabilia. Orokorrean, sare-ingeniariei zaila egiten zaie datagrama bat sakrifikatzea ilaran tokia egonda, ber-

matu gabe datagrama hori orduan botatzeak gero datagrama gehiago bota behar ez izatea ekarriko duela. Egungo RFC 7567 agiriak, RFC 2309 ordezkatu duenak, gomendatzen du AQM erabiltzea, haren erabileraren onura onartuta baitago Interneten, baina ez du babesten inongo AQM algoritmo konkreturik. REDen ondok, algoritmo asko agertu dira, haietako asko RED beraren aldaerak: REM, RRED, RED-PD, SFB, PI kontrola ...

Egun, AQM tekniken artean, bi motatako algoritmoak bereizten dira, eta biak aldi berean erabil daitezke. Alde batetik, goian deskribatutako RED algoritmoaren familiakoak daude, **ilaren kudeaketa** (*queue management*) izenarekin sailkatuta; halakoek ilaren luzera kontrolpean edukitzea dute helburu. Beste alde batetik, datagramak ilaretatik nola atera ezartzen dutenak. Bigarren algoritmo talde hori izendatzeko, *scheduling* edo *dispatching* terminoak erabiltzen dira ingelesez. Dagoen banda-zabalera trafikoko mota desberdinen artean banatzeko erabiltzen dira *dispatching* algoritmoak. AQM erabiltzen ez bada, FIFO da datagramak bidaltzeko irizpidea, baina, trafikoa sailkatuta badago, sailkapen horren arabera aukeratu daiteke zer datagrama birbidali. Kategoría bakoitzeko trafikoa ilara batean sartzen da, eta, gero, bideratzailea ilaren artean txandaka ibiltzen da datagramak ateratzen. Txandak uniformeki banatuta badaude ilara guztien artean, **Fair Queuing** izena hartzen du *dispatching* era horrek. Baina, txandak beste proportzio batean banatzen badira, orduan, WFQ izena erabiltzen da (*Weighted Fair Queuing*). Adibidez, hiru trafikoko mota badaude, eta hiruren artean *Fair Queuing* eran banatzen bada linea, 1-2-3 patroia erabiltzen da, hau da, lehenengo kategoriako datagrama bat hartzen da, gero bigarren kategoriako beste bat, gero hirugarren kategoriako beste bat, eta, gero, berriaz hasten da zikloa. Beste era batean esanda, **Round Robin** moduan bidaltzen dira hiru ilaretako datagramak. Baina, lehenengo kategoriarako banda-zabalera osoaren erdia gorde nahi badugu, bigarrenarentzat banda-zabaleraren herena eta azken kategoriarentzat gelditzen den banda-zabaleraren $1/6$ zatia, orduan, patroia izango da 111-22-3. Azken hori WFQren adibide bat da, baina WFQk aldaera asko ditu. Multimedia-aplikazioen trafikoa lehenetsi nahi badugu, bide bat WFQ erabiltzea da, eta banda-zabalera handiagoa gordetzen da multimedia kategorian sailkatuta dauden datagramentzat.



4.9 irudia. *Weighted Fair Queuing*. Patroia 111-22-3 da.

2.2. Onarpen-kontrola (*Call Admission*)

Traffic Management teknikak buxadurak eragindako kalteak trafikoaren sailkapenaren arabera banatzen saiatzen dira, galeren aurrean erresistentzia gutxien duten aplikazioei kalte txikiagoa egiteko asmoz. Onarpen-kontrolak oso bestelako estrategia hartzen du: buxadurak guztiz ekiditea. Horretarako, sarea erabili baino lehen, aplikazio batek sarearen oniritzia lortu behar du bere trafikoia isurtzeko. Sareak soilik emango dio baimen hori, baldin eta bermatua badu badagoela nahikoa baliabide trafiko horretarako eta horretarako erreserbatuta daudela.

Planteamendu horren zergatia ulertzeko, har dezagun adibide bat. Demagun bi bideokonferentzia-saiok 1,5 Mb/s-ko linea beretik igaro behar dutela. Bi saio horietako bakoitzak 1 Mb/s behar badu, biak batuta linearen ahalmena gainditzen dute. Sare horretan *Traffic Management* teknikak erabili arren, galerak suertatuko dira seguru, ez baitago nahikoa banda-zabalera bi saioentzat. Galera horiek bi saioen artean uniformeki banatzen badira ere, bakoitzak bere laginen % 25 galduko du, eta, ondorioz, erabiltzaileek jasoko duten kalitatea oso kaltetua izango da. Praktikan, linea betetzen ari gara ezertarako balio izango ez duen trafikoarekin.

Onarpen-kontrolerako teknikak honako proposamen hau egiten du aurreko egoeraren aurrean: sareak bi saioetako bakar bat onartu behar luke, eta besteari uko egin. Horrela, saio batek, behintzat, normaltasunez jardungo luke. Funtzionamendu horren adibidea sare telefoniko klasikoa da: dei bat onartu baino lehen, sareak egiaztatzen du nahikoa baliabide badagoela deia ondo gauzatu ahal izateko. Deiak egin behar duen ibilbide osoan zeharreko linea bakoitzean, kanal bat erreserbatzen da eskatutako deirako, eta soilik erreserbak ibilbideko linea guztietan eginda daudenean onartzen du deia sareak. Bestela, deia eskatu duen erabiltzaileak ahozko ohar bat jasoko du, «lineak kargatuta» daudela jakinaraziz, eta ge-roago deitzeko eskatuz.

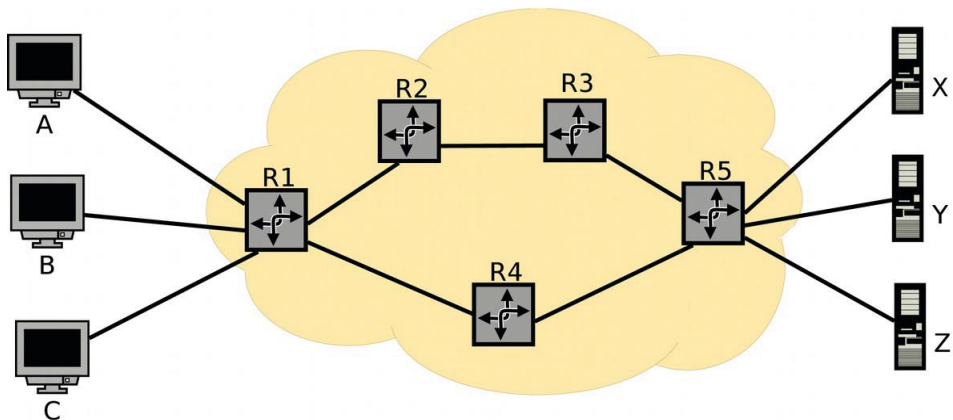
IP sareetarako onarpen-kontrolak mekanismo bera erabiltzea proposatzen du, hau da, saio bat ezarri baino lehen sareari eskatzea behar diren baliabideak erreserbatzeko, saio horrek behar duen QoSari eusteko. Sareak baliabiderik ez badu, eskaera baztertu behar luke. Interneten onarpen kontrola ezartzeko proposamena 1994an argitaratu zen, RFC 1633 agirian, IntServ izenarekin (*Integrated Services*). Proposamen horretan, saioa onartu behar duen sarguneak bideko bideratzaileekin hitz egin ahal izateko protokolo baten definizioa ere bazegoen. Sargunearen eta bideratzaileen arteko komunikazio hori ezinbestekoa da bidean saio berrirako tokirik badagoen ala ez ebazteko, eta inplikaturako bideratzaileei erreserba egiteko eskatu ahal izateko. Hori da RSVP protokoloa (*ReSerVation Protocol*, RFC 2210).

Interneten, eta IP sareetan orokorrean, onarpen-kontrola garatzeko esfortzu erraldoia egin bada ere, inoiz ez da gauzatu, salbu esperimentalki. Arrazoi nagusia banda-zabaleraren horniketan egindako aurrerapena izan da. Hau da, sareetan ban-

da-zabalera nahikoa edukita, QoS bermatuta dago, eta ez da behar beste inongo mekanismorik horretarako. Akaso, arazo puntualai aurre egiteko, nahikoak izan daitezke ikusitako sailkapen-mekanismoak, denbora errealeko trafikoari lehentasuna emateko buxadura dagoenean. Horren aurrean, IntServ erabiltzeak zenbait arazo zekarren. Lehenik eta behin, erreserba-mekanismoek zirkuitu-kommutazioaren teknologia zaharren arazo nagusia barneratzen dute: baliabideen erabilera eskasa. Horri gehitzen badizkiogu IntServ ezartzeak dakartzan beste arazoak, garbi dago porrota izan dela.

2.3. Trafiko-ingeniaritza (*Traffic Engineering*)

Trafiko-ingeniaritzaren helburua sarearen funtzionamendua optimizatzea da (RFC 2702). Optimizatzea, funtsean, trafikoa sareak dituen bide posible guztien artean banatzea da, hasiera batean trafiko guztia bide hoberenean kontzentratu gabe. Trafiko-ingeniaritzak konpondu nahi duen arazoa ulertzeko, ikus dezagun 4.10 irudiko sarea. Demagun une batean $A \rightarrow Z$, $B \rightarrow X$ eta $C \rightarrow Y$ trafikoak dabiltzala sarean. Barruko bideratze guztia ohikoa den SPF moduan (*Short Path First*) egiten bada (OSPF edo antzekoa den beste edozein protokolo erabiliz), eta distantziak neurtzeko bideko bideratzaile kopurua erabiltzen bada, hiru trafiko horiek igaroko dira R1-R4-R5 ibilbidean. Trafiko bakoitza 1 Mb/s-ko mugitzen bada, eta bideratzaileen arteko linea guztiak 3 Mb/s-koak badira, R1-R4 eta R4-R5 lineak dagoeneko kolapsatuta egongo dira, eta, beste edozein trafiko hortik bideratzen bada, buxadura sortu eta datagramak galitzen hasiko dira. Bien bitartean, R1-R2-R3-R5 bidea hutsik egongo da, alferrik. Hobe genuke trafikoren bat bideratzea beste bide horretatik. Hori da trafiko-ingeniaritzako teknikek egiten dutena.



4.10 irudia. Sare topologia SPF protokoloen arazoak azaltzeko.

Merezi du aipatzea Interneten erabiltzen diren bideratze-protokoloek ez dutela balio trafikoaren banaketa egiteko, lehen aipatutako beren SPF izaera horrengatik. OSPF, RIP, IS-IS, BGP eta antzekoak diren protokolo horiek guztiak biderik laburrena aukeratzen dute beti puntu batetik bestera joateko, eta ez dituzte beste bide alternatibo guztiak kargatzen bideratzaileen birbidaltze-tauletan. Horregatik, aurreko adibidean, arazoa konpontzeko lineen pisua aldatuko bagenu, R1-R2-R3-R5 bidea lehenesteko, arazoa tokiz aldatzea besterik ez genuke lortuko: trafiko guztia bidez aldatuko genuke, eta, R1-R4-R5 bidea kolapsatuta egon ordez, R1-R2-R3-R5 izango genuke gainezka.

Trafiko-ingeniaritza sarean dauden trafikoak zelatatzean eta dinamikoki bideratzean datza. Trafikoa zelatatzeko sare-monitorizaziorako sistemak erabiliz, atzemango du noiz ari den hurbiltzen linea bat bere saturazio-puntura. Orduan, alarma bat bidaliko du monitorizazio-sistemak, eta bideratzaileen jarduera era dinamikoa aldarazteko mekanismoak abiatuko dira. *Traffic Management* erabilera gaituta badago bideratzaile horietan, beren parametroak ere doitu ditzake sareko kudeaketa-sistemak, horrelako alarma bat jasotzen duenean.

Trafiko-ingeniaritzak egindako bideratze dinamikoa ezin da egin IP mailan zuzenean. Hau da, bideko zati bat partekatzen duten datagramak era egokian banatzeko zenbait ibilbideren artean, ez da nahikoa datagrama horien helburuko IP helbidea erabiltzea eta datagrama bakoitza banaka tratatzea, IP protokoloak ezartzen duen moduan. IP protokoloaren gabezia hori ulertu ahal izateko, fluxu kontzeptua erabili behar dugu.

Fluxuak bideratzen

Datagrama-fluxu bat, trafiko-fluxu bat edo sareko fluxu bat datagrama talde bat da; datagrama horiek guztiak zenbait ezaugarri amankomun dituzte; gutxienez, iturriko eta helburuko helbideak. Horietaz gain, gainera, normalean iturriko eta helburuko garraioko portua eta IP datagramako *protocol* eremuko balioa hartzen dira fluxuak identifikatzeko, 5-tupla bat osatuz. Adibidez, bi makinaren arteko IP saio telefoniko bati dagozkion datagramak fluxu batean elkartu daitezke, eta makina beren arteko web-deskarga bati dagozkionak beste fluxu batean. Ikusten denez, fluxu kontzeptua oso gertu dago konexio, saio, edo zirkuitu kontzeptuetatik. Baina fluxua zabalagoa eta malguagoa da: fluxu batean hainbat saio, konexio edo zirkuitu elkartu daitezke.

Fluxu bereko datagrama guztiak QoS bera jaso behar dute saretik. Denbora errealeko aplikazioei dagokienez, horrek behartzen du fluxu bereko datagrama guztiak ibilbide bera izatea sarean, beren iturritik helmugaraino heltzeko. Bestela, ibilbide desberdinak edukita, datagrama bakoitzak sare-latentzia desberdina izango luke, atzerapenaren aldakortasuna nekez izango litzateke egonkorra, eta, ondorioz, sareak emandako QoS eskasa litzateke. Horretan datza lehen aipatutako IP protokoloaren gabezia: soilik IP goiburukoan dugun helburuko IP helbidean oinarrituta datagrama bat birbidaltzean, ez dago modurik jakiteko ea fluxu bereko datagrama guztiak bide beretik bideratzen ari garen ala ez.

Beraz, trafiko-ingeniaritza gauzatu ahal izateko, datagramak fluxuetan elkartzeko eta kudeatzeko moduren bat behar dugu. Gero, bideratzaileetan fluxuak birbidaltzeko taulak osatzeko, eta, batez ere, dinamikoki eguneratzeko, beste mekanismoren bat ere beharko dugu. Bi lan horietarako, hainbat proposamen agertu dira, baina MPLS eta RSVP-TE bikoteak izan du arrakasta xx. mendearen amaieratik.

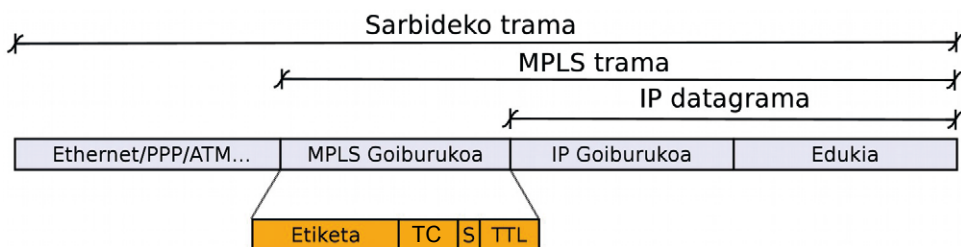
MPLS eta RSVP-TE

MPLS (*MultiProtocol Label Switching*, RFC 3031, RFC 3032) xx. mendearen azken hamarkadan aurkeztutako teknologia da. Garai horretan, bideratzaileen ahalmena arazo bat zen, ez baitziren kapaz Interneten sortzen zen trafiko guztia behar den abiaduran birbidaltzeko. Denbora gehiegi ematen zuten datagrama bakoitzeko, batez ere birbidaltze-taulak atzitzen, helburuko IP helbideari zegokion irteeraren bila. Arazoa CIDR helbideratze-sistema zabaldu zenean lehertu zen, helbideen aurrezabakia edozein luzeratakoa izan zitekeelako. Horrek zirkuitu birtualen bidezko teknologietara eraman zuen berriz arreta: paketeak birbidaltzeko, ez da bilaketa bat egin behar taula batean, baizik eta indizatu egiten da taula horretan, luzera finkoko indize bat erabilita. Hau da, bideratzaileak ez du alderatu behar paketeko helburuko helbidea birbidaltzeko taulako sarrera bakoitzarekin, banan-banan. Horren ordez, nahikoa da paketeari dagokion zirkuituko identifikadorea indize gisa erabiltzea eta indize horrek azaltzen duen birbidaltze-taulako sarrera hartzea. MPLS aurrekariak izan dira X.25, FR (*Frame Relay*) eta ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), denak zirkuitu birtualetan oinarritutako teknikak.

MPLS garatzearen helburua ez zen IP protokoloaren alternatiba izatea, baizik eta haren osagarria izatea, datagramek WAN sare bat (*Wide Area Network*) azkarrago zeharkatu ahal izateko. Berez, MPLS IP azpian koka dezakegu komunikazio-arkitekturan, WAN sarbideko teknologia gisa, Ethernet teknologia LAN saretarako (*Local Area Network*) den era berean. Izan ere, MPLS gailuak ez dira bideratzaileak (*router*), kommutagailuak baizik (*switch*), izenak berak dioen bezala. Ethernet kommutagailuak bezala, ez dute *bideratzen* (tauletan irteerak bilatzen), baizik eta *kommutatzen* (tauletan irteerak atzitzen). Hala ere, merkatuko hizkeran ez da MPLS kommutagailuez mintzatzen, baizik eta MPLS ahalmena duten bideratzaileez.

MPLSk komunikazio-arkitekturan duen kokapena 4.11 irudian ikus daiteke, MPLS goiburukoaren kokapena eta egitura agertzen baitira. Ikusten denez, MPLS goiburukoak IP datagrama kapsulatzen du. Gero, MPLS trama transmisio-teknologiaren bateko beste trama batean kapsulatu behar da, linea batetik bidali ahal izateko. Ohartu MPLS paketeak kommutatzeaz arduratzen dela soilik, eta ez paketeak sare batetik transmititzeaz. Horregatik du horren goiburuko sinplea: ez dago erroreak atzemateko koderik, sinkronizaziorako mekanismorik ezta linea-kontrolak behar dituen beste inongo eremurik. Irudiko sarbideko goiburukoa Ethernet trama batena izan daiteke, sare lokal baten bidez bi MPLS gailu konektatzen ari bagara; PPP trama batena, linea baten bidez bi MPLS gailu horiek lotzen baditugu; ATM gelaxka, ATM sare bat erabiltzen badugu lotura horretarako, edo beste edozein sa-

re-teknologiaren goiburukoa. Erabiltzen den kasu bakoitzeko argitaratu da nola txertatu MPLS goiburukoa IP goiburukoaren eta sare-teknologiakoaren artean. Askotan, MPLS goiburukoa erabilitako sare-teknologiaren tramaren goiburukoaren hedapentzat hartzen da. Horregatik argitaratzen da RFC agiri bat MPLSrekin batera erabili nahi dugun sare-teknologia bakoitzeko.



4.11 irudia. MPLS goiburukoa, IP eta sarbide geruzen artean kokatuta.

MPLS goiburukoan dugun eremurik garrantzitsuena etiketa-zenbakia da (*label*), horrek identifikatzen baitu datagrama multzoa. Beste hiru eremuak hauek dira: S izeneko (datagrama multzoak aldi berean elkartzeko, supermultzo erako taldeetan), TTL (IP datagramen antzeko *Time To Live* iraungitze-eremua) eta trafikoa sailkatzeko TC (*Traffic Class*) izeneko hiru bitak (2009 arte, eta agiri askotan oraindik, EXP bitak deituta). MPLS gailuek etiketa-zenbakia erabiltzen dute fluxuak identifikatzeko, eta, beraz, horren arabera birbidaliko dituzte datagramak linea batetik edo bestetik. Datagrama MPLS sare batean sartzean, sarrerako MPLS gailu horrek MPLS goiburukoa gehituko dio datagramari, etiketa bat esleituz. Esleipen horrekin, datagramaren ibilbide osoa MPLS sarean zehar definituta geldituko da. Hau da, bideratzeko erabakia, datagramaren helburuko IP helbidean oinarrituta, behin bakarrik hartuko da MPLS sarean, atarian. Datagramak gero zeharkatuko dituen beste MPLS gailu guztietan, etiketa kontsultatuko dute datagrama (berez, MPLS trama) birbidaltzeko, eta ez helburuko IP helbidea. MPLS sareko azken gailuan, MPLS goiburukoa kenduko diote datagramari.

Sareko MPLS gailuek behar dituzten etiketekin osatutako birbidaltze-taulak betetzeko, sareko informazio topologikoa behar da. Informazio hori lortzeko, MPLS gailuek dagoeneko definituta dauden IP barne-bideratzeko protokolo berberak erabiltzen dituzte (adibidez, OSPF). Informazio horrekin aurkitu daiteke zein den ibilbide laburrena fluxu bakoitzeko MPLS sarean zehar. Trafiko-ingeniaritza gauzatzeko, ordea, informazio topologikoaz gain, QoS bermatzeko beste informazioa ere behar da (batez ere, lineen okupazioa). Informazio hori trukatzeko eta definitutako ibilbideak sareko MPLS gailuen tauletan hedatzeko, protokolo bat behar da. Protokolo hori izateko lehia ibili ziren MPLSko jatorrizko

LDP (*Label Distribution Protocol*) eta IntServ zerbitzuetarako definitu zen RSVP protokoloa. Azken hori hautatu zuten (RFC 3468), dagokion hedapenarekin: RSVP-TE (*RSVP-Traffic Engineering*, RFC 3209, 5151).

MPLS birbidaltze-prozesua azkartzeko asmoz garatu bazen ere, geroko arrakasta ez zaio ustezko azkartzeko horri zor. Izan ere, MPLS agertu eta gutxira, ASIC (*Application-Specific Integrated Circuit*) teknologien erabilera nabarmen azkartu du bideratze-lana, eta IP mailan lan egiten duten bideratzaileak merkatu ditu. Berez, MPLSren arrakasta trafiko-ingeniaritzarako ahalmenean datza. Horren barnean, oso baloratua da haren malgutasuna eta arintasuna sareko birkonfigurazioei aurre egiteko, hau da, linea bat bertan behera gelditzen denean, bide alternatiboetatik trafiko bideratzeko ahalmena izatea (RFC 3469). MPLSren ahalmen horri *Fast Reroute* izena eman zaio. IP sare arrunt batean, linea batek kale egiten duenean, orduan abiatzen da bide alternatiboak definitzeko prozedura. Prozedura horrek segundo batzuk har dezake, eta, gainera, eragindako aldaketa sareko bideratzaile guztiek kontuan hartu bitartean, bideratze-begiztak ager daitezke. Sareko bideratze-sistemako trantsizio-denbora kritiko horri **konbergentzia-denbora** deritzo. MPLS sareetan, konbergentzia-denbora askoz txikiagoa da, milisegundo batzuk besterik ez, bide alternatibo horiek aurretik kalkulatu baitaude, lineako akatsik itxaron gabe, eta bideratze-aldaketak segituan kargatzen dira (zuhurrak izanik, konmutazio-aldaketak, MPLS sare batean) sareko nodo guztietan. Aipatzekoa da MPLSren beste erakargarritasun bat izan dela sare pribatu birtualak (VPN, *Virtual Private Network*) definitzeko eta kudeatzeko ahalmena. VPNak alokatutako lineen ordezkua dira. Haiei esker, enpresen eta erakundeen WAN sare pribatuak eraikitzea eta kudeatzea askoz merkeagoa da.

2.4. Buxaduren prebentzioa

QoS-ri kalte handiena egiten diona buxadura da, atzerapenak hor eragiten direlako gehien, eta datagrama-galera gehienak hor suertatzen direlako. Egun Interneten egiten den buxaduraren kudeaketa garraio-mailan egiten dute zerbitzariak eta erabiltzaileen ekipoak. Aplikazioak erabilitako garraio-mailako protokoloaren arabera, TCP edo UDP, kudeaketa hori era batekoa edo bestekoa izango da. UDP denean aukera, ez dago inongo buxadura-kudeaketarik garraio-mailan: bost axola zer gertatzen ari den sarean, UDPk berdin-berdin jarraituko baitu bere bidalketekin. Aplikazioak, akaso, neurriak hartuko ditu datagrama gutxiago heltzen ari direla atzematen duenean. DASH teknikak, adibidez, kodeketa aldatuko du, kontsumitutako banda-zabalera sarearen egoerari egokituz. Garraio-mailako protokoloa TCP denean, aldiz, buxadura dagoela atzemanda, TCPk sarean txertatutako trafiko kantitatea gutxituko du. Nolanahi ere, buxaduraren tratamendua, halakorik dagoenean, erreaktiboa da. Hau da, neurriak hartzen dira soilik arazoa agertu eta gero. *Traffic Management* teknikak erabiltzen direnean ere, buxaduren tratamendua *a posteriori* erakoa da: bide-

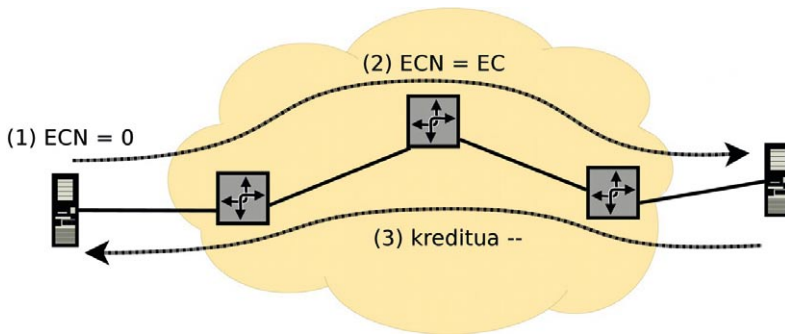
ratzaileen helburua buxadurak eragindako kalteak nolabait minimizatzea izango da, kalte hori eginez errekupeatzeko aukera duten aplikazioetan soilik. Buxadurak kudeatzeko beste estrategia bat prebentzioa da, hau da, buxada gertatu baino lehen ekitea, buxadurarik sor ez dadin.

ECN bitak

Estrategia prebentiboek bideratzaileen eta sareari lotutako makinak arteko komunikazioa behar dute, sareak (bideratzaileek, alegia) bere erabiltzaileei (zerbitzariak eta erabiltzaileen makinak) ohartarazteko beren ilarak gainezka egiteko arriskuan egon baino lehen. Komunikazio hori gauzatzeko, ECN bitak gehitu dira IP datagramen goiburukoan (*Explicit Congestion Notification*, RFC 3168). Bit horiek berak agertu zitzaizkigun DiffServ sailkapena azaldu genuenean, DS eremuaren azken bi bitak baitira (ikus 4.7 irudia). Honako lau kode hauek gorde daitezke bit horietan:

- 00 – *Non ECN-Capable Transport*, Non-ECT.
- 10 – *ECN Capable Transport*, ECT(0)
- 01 – *ECN Capable Transport*, ECT(1)
- 11 – *Congestion Encountered*, CE.

Komunikazioaren bi muturreko makinek, gai badira ECN bitak erabiltzeko, ECT(0) edo ECT(1) kodea erabili behar dute isurtzen duten datagrametan. Horrela egiten du 4.12 irudiko ezkerreko makinak. Bi kodeak baliokideak dira, eta, beraz, edozein erabil dezakete. Kode bakarra behar bada (normalena), RFC 3168 agirian gomendatzen da ECT(0) erabiltzea. Horrelako kodea daraman datagrama bat ECN gai den bideratzaile batetik igarotzen denean, bideratzaile horretan buxada arriskua badago, bideratzaileak CE bilakatuko du ECN kodea, 4.12 irudian egiten den moduan. Hartzaileak, horrelako kodea atzementean, neurriak har ditzake buxada suertatu baino lehen. Neurri horiek, azken finean, neurri bakarra dira: beste aldeari egoera jakinarazi, transmititzeko erritmoa apaldu dezan. Teorian, lan hori garraio-edo aplikazio-mailako protokoloek egin dezakete, baina, praktikan, soilik garraio-mailan egin daiteke, sistema eragileek ez dietelako biderik ematen aplikazioei ECN bitekin lan egiteko. Garraio-mailako protokoloen artean ere, soilik fluxu-kontrolerako mekanismoak dauzkatenek badute aukera ECN bitekin lan egiteko, soilik protokolo horietan baitu modua hartzaileak igorleari jakinarazteko bere erritmoa mantotu behar duela. Hori da TCPren kasua, kredituen bidez, eta ez, aldiz, UDPren. Irudiko bi makinak arteko komunikazioa TCP bidez egiten denez, eskuineko makinak, EC kodea daraman datagrama jaso duenean, beste aldeko makinari TCP kreditua jaitsi dio. ECN erabiltzen duen beste garraio-protokolo bat DCCP da (*Datagram Congestion Control Protocol*, RFC 4340). Protokolo hori bereziki diseinatu zen multimedia-aplikazioentzat, UDPren eta TCPren arteko alternatiba gisa. Baina, aurreko kapituluetan ikusi dugunez, aplikazio horiek nahiko ondo moldatu dira betiko TCP edo UDP erabilia, eta DCCP protokoloak arrakasta eskasa izan du.



4.12 irudia. ECN biten erabilera.

ECN biten erabilera AQM ilaren kudeaketan kokatzen da, datagramak botatzen hasi baino lehen, horren ordez ECN marka ezarriz.

LEDBAT algoritmoa

LEDBAT algoritmoa (*Low Extra Delay Background Transport*, RFC 6817) beste aukera bat da buxadurak prebenitzeko. Haren helburua ahal duen azkarren transmititzea da, baina buxadurarik eragin gabe. Horretarako, datagramak izandako atzerapena zelatatzen du, eta, handitzen dela atzematen badu, igortzeko erritmoa jaisten du. Bestela, gero eta azkarrago bidaltzen ditu datagramak. Irakurleak atzemango duenez, TCPk egiten duenaren antzekoa da, azken finean. Bien arteko aldea erreakzionatzeko denboran datza, TCP ez baita mantsotzen buxadura gertatu arte (datagramak galtzen hasten direnean), eta LEDBAT algoritmoan, aldiz, lehenago hasten da balazta erabiltzen.

LEDBAT aplikazio-mailan erabiltzen da gehien, UDP gainean, baina, berez, DCCP edota TCP inplementazioetan ere erabil daiteke. Bi inplementazio ezagunak hauek dira: alde batetik, μ TP izeneko P2P aplikazioa, BitTorrent-en aldaera, eta, bestetik, Mac OS sistemaren TCP inplementazioa. Apple etxearen sistemak LEDBAT erabiltzen du bere sistemaren eguneraketak deskargatzean eraginik ez izateko sarea erabiltzen ari diren beste aplikazioetan.

Ohartu LEDBAT ez dagoela pentsatuta multimedia-aplikazioentzat, baizik eta kontrakoa, trafikoa guztiz elastikoa duten aplikazioentzat (deskargak, batez ere). Ideiak oso manera onak erakusten ditu: utzi banda-zabalera presa duten datagramentzat, eta zuk erabili soilik besteek behar ez dutena. Horrelako heziera onekoa izanda ere, algoritmo sarraskijalea dela esaten da, besteek utzitakoa kontsumitzen duelako.

3. Sarbide-sareak

Hasierako kapituluan aztertu genuen Interneten egitura fisikoa, eta orduan ikasi genuen alde batetik hornitzaileen sareak daudela, bestetik erabiltzaileen sare

partikularrak ditugula, eta, bien artean, sarbide-sareak. Azken horiek dira garestienak, beren kapilaritate handiarengatik. Eskala kontua da: Internetera lotu nahi ditugun etxe eta eraikin guztietaraino heldu behar dute sarbide-sareek. Linea xumeek osatzen dute, baina, milioika izanik, edozein aldaketa egiteak oso kostu handia du. Telekomunikazio-hizkeran, sare horiek dira «**azken zatia**» (*last mile*). Izena ondo jarrita dago bigarren zentzu batean ere, sare hori baita azkena hobekuntza teknologikoak jasotzen. Adibidez, zuntzaren kasuan, aspalditik operadoreen barruko sareetan eta beren arteko loturetan zuntz optikoaren erabilera arrunta bada ere, soilik orain dela gutxi hasi gara ikusten FTTH sarbide-sareak (*Fiber To The Home*) gure etxe eta enpresen atarian. Internet bidezko telebista eta streaming-teknologiak aztertu genituenean aipatu genuen nolako garrantzia izan duen sarbide-sareen banda-zabaleraren handitzeak, hor egon baita, urteetan, hainbat multimedia-aplikazioen hedapenerako botila-lepoa. Azter dezagun orain nolakoak diren sarbide-sare horiek, arreta beren banda-zabaleran jarritz.

3.1. Next Generation Network (NGN)

Historian zehar, zerbitzu telematiko berri bat agertu den bakoitzean, telekomunikazio-sare propioa eraiki izan da zerbitzu horretarako. Horrela, telegraforako, telefoniarako, irratirako, telebistarako, eta datuetarako sare-azpiegiturak ugaritu egin dira gure lurralde eta hirietan, zerbitzu horiek hedatu diren heinean. Egun, telegrafo-sarea da desmuntatu den bakarra, beste zerbitzuek telegrafoa zaharkitua utzi dutenean. Beste telekomunikazio-sare guztiak hor daude, ordea. Hala ere, xx. mendean bertan hasi ziren zenbait zerbitzu sare berean integrazteko ahaleginak, azpiegiturak sinplifikatzeko, zerbitzuak hobetzeko, eta kostuak jaisteko asmoz. Horrela, kable ardazkidezko sareen bidez batu zituzten telebista-eta telefonia-zerbitzuak etxeetan, eta, beste alde batetik, ISDN estandarrak (*Integrated Services Digital Network*) telefonia eta datuen zerbitzuak batera eskaini zizkien enpresei. Baina, bi kasutan, integrazioa mugatua zen, zerbitzu guztiak ez baitziren integratzen, eta soilik sarbide-sareari ekin baitzion integrazio partzial horrek. Hau da, telebistak, telefonoak, eta datuek, bakoitzak bazuen bere ardatz-sare propioa, eta soilik azken zatian erabiltzen ziren sare integratuak zerbitzuak erabiltzailearenganaino heltzeko.

Internet egoera hori iraultzen ari da, telekomunikazio-zerbitzuak fagozitatzen dituen heinean. Internet datu-zerbitzueterako diseinatu zen, eta banan-banan bereganatu ditu beste sareek ematen dituzten zerbitzuak. Egun, gure Interneterako konexioa erabiltzen dugu telefonoz hitz egiteko, telebista ikusteko, irratia entzuteko edo, noski, gure datu-aplikazioetarako. Multimedia-sare bakarra da edozein zerbitzutarako balio duena. Beste telekomunikazio-sare zaharrek irauten dute, baina argia dirudi trantsizio-epe batean murgilduta gaudela eta beste sareen etorkizun bakarra desagertzea dela, edo Internet multimediaren zati bat bilakatzea. Aldaketa

nabaria izaten ari da etxeetan eta enpresetan: etxeetan, alde batetik telebistarako antena eta beste batetik telefonorako konexioa ezartzea amaitzen ari da, eta, enpresetan, jada ez du zentzurik alde batetik zerbitzu telefonikorako linea kontratatzeak eta, bestetik, datuetarako konexioa.

Sare eta zerbitzuen integrazioko testuinguru horretarako sortu dute, hain zuzen, **Hurrengo Belaunaldiko Sareak** terminoa (NGN, *Next Generation Network*). Erabiltzen ditugun telekomunikazio-zerbitzu guztiak garraiatzeko kapaz den sare-azpiegitura bakarra izendatzeko asmatutako terminoa da. Zerbitzu horiek guztiak IP protokoloaren bidez ematen direnez, multimedia-Internetarako sare-azpiegiturak izendatzeko era bat da. Atal honetan, beraren sarbiderako zatian zentratuko gara, zeina NGAN edo NGA sarea izenez ezagutzen baita (*Next Generation Access Network*), edo, beste batzuetan, *banda zabaleko sareak* izen hutsarekin. Beren ezau-garri nagusia da, hain zuzen ere, zerbitzu guztiak behar den kalitate-mailarekin garraiatzeko nahiko banda-zabalera edukitzea. Teknologia desberdinak erabiltzen dira horretarako, gehienak aurreko sarbide zaharren bilakaera izanik. Kable bidezkoak dira batzuk, eta kablerik gabekoak besteak.

3.2. Kable bidezko sareak

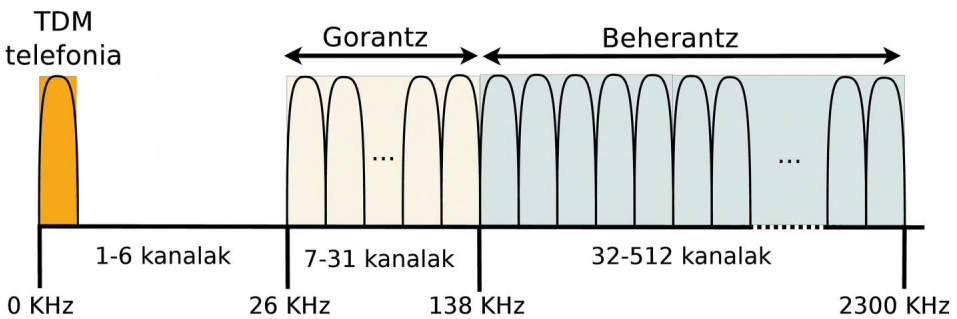
DSL teknologiak (Digital Subscriber Line)

DSL teknologiek gure etxearen eta telefonogunearen arteko kablea gure banda-zabalerako konexioa bilakatzen dute. Kable hori kobrezko bi harik osatzen dute, bere garaian jarriak telefonia analogikorako. Telefonoko mikrofonoak, gure ahotsak eragindako soinu-uhinak jaso, seinale elektriko analogiko bilakatu, eta kable horretan transmititzen du telefonoguneraino. Gure ahotsak 4 KHz-eko zabalera duen kanal bat besterik ez du behar, baina, berez, kable horrek askoz banda zabalagoko korrante elektriko bat transmiti dezake. Ahalmen horretan datza DSL teknologia: ez du mugatzen transmisioa zerbitzu telefoniko analogikoak behar duen 4 KHz-eko banda es-tuan, baizik eta kobrezko kableak eman dezakeen banda-zabalera osoa hartzen du.

Zenbatekoa da kablearen banda-zabalera hori? Edo, zorrotzago esanda, zenbateko transmisio-abiadura lor daiteke kobrezko kable baten banda-zabalera osoa erabilita? Erantzuna ez da bakarra, kablearen ezaugarri fisikoen araberakoa baita. Parametro nagusia luzera da: zenbat eta kable luzeagoa, orduan eta transmisio-abiadura eskasagoa lortuko du. Horregatik, DSL teknikak lortutako abiadurak lotura zuzena du telefonogunearekiko distantziarekin. Hirietan, etxebizitzien kontzentrazioa altua denez, telefonoguneak gertu egon ohi dira, eta abiadura handiagoa lortzen da landa-eremuetan baino, halakoetan telefonogune batek eraikin sakabanatu batzuei ematen baitie zerbitzua. Horregatik, ezinezkoa da bezeroei abiadura zehatz bat eskaintzea lurralde zabal batean, bere kableak uzten diona lortuko baitu bakoitzak, gehiago ez. Horregatik, operadoreen eskaintzak izaten dira, «gehienez jota» modukoak, hau da, konpainiak abiadura bat eskaintzen duenean, abiadura hori lortuko

den maximoa da. Telefonogunetik urrutiegi daudenek edo kablea egoera txarrean dutenek ez dute lortuko maximo hori.

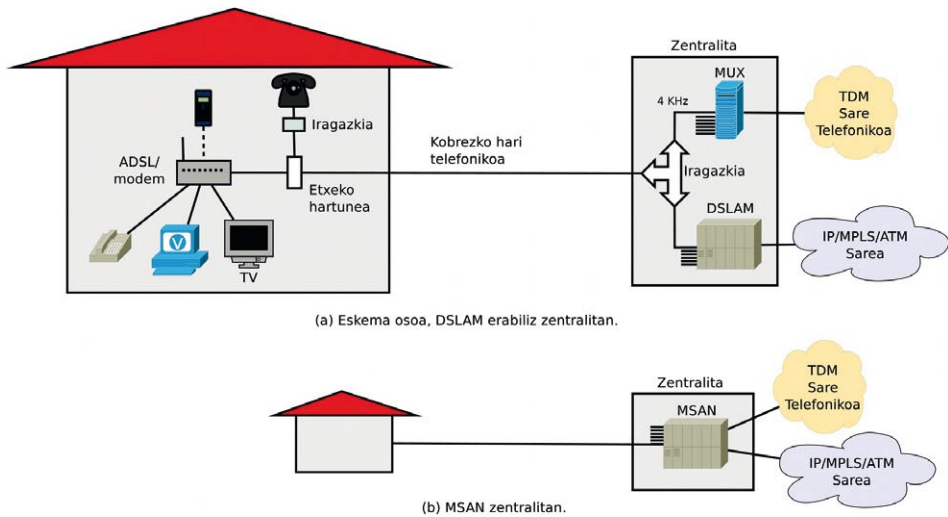
DSL teknologietan, kablearen espektroa hainbat kanaletan zatitzen da, eta, gero, kanal horiek zenbait erabileratarako esleitzen dira. Beheko 4 KHz betiko telefoniarako gordetzen dira, eta beste guztiak beheranzko eta goranzko transmisiorako banatzen dira. Bi noranzkoen artean erdibana egiten bada, abiadura bera lortuko da Internetetik informazioa deskargatzeko eta igotzeko. Baina etxeetako erabiltzaile gehienek askoz informazio gehiago jaisten dute igo baino, eta, beraz, hobe da datu-transmisiorako kanal horiek era asimetrikoan banatzea, hau da, askoz kanal gehiago esleitzea beheranzko transmisioari goranzko transmisioari baino. Hortik dator gehien erabiltzen den DSL teknologien aldaeraren izenaren hasierako A hizkia: **ADSL**, hau da, DSL asimetrikoa. 4.13 irudian duzu kablearen maiztasunen banaketa tipiko bat ADSL sistema batean.



4.13 irudia. Kobreko kablearen maiztasunen banaketa ADSL sistema batean.

DSL erabiliz lortzen den abiadura 256 kb/s eta 100 Mb/s artekoa izaten da egun, betiere erabilitako DSL aldaeraren eta linearen egoeraren arabera. Egun, gehien erabiltzen den teknologia da, baina, eremu batean zuntz optikoa hedatzen den heinean, DSLk nagusitasuna galtzen du.

ADSL sare baten egitura 4.14 irudian agertzen dena da. Alde batetik, erabiltzailearen egoitza dago; bestetik, konpainiaren telefonogunea, eta, bien artean, kobreko kablea. Kable horren mutur bat atzigarria da erabiltzailearentzat, paretan duen hartunean. Normalean, hartune nagusi horretatik adar pare bat edo gehiago ateratzen dira, hartune telefonikoak edukitzeko etxeko gela batean baino gehiagotan. Normalki, horrelako hartune batean lotzen dugu ADSL gailua, eta, besteetan, telefonoak. Telefono zaharrek igorritako seinaleek ez dute 4 KHz baino altuagoko maiztasunik txertatu behar kablean, eta, hori bermatzearen, konpainiek iragazkiak (*splitter*) banatzen dituzte, telefonoen eta hartuneen artean konektatzeko. Era berean, iragazki horiek telefonoak jasoko duen seinalea ere garbitzen dute, eta soilik beheko 4 KHz-eko maiztasunak helarazten zaizkio telefonoari.



4.14 irudia. ADSL sarbide baten ohiko egitura.

ADSL gailuak ataza ugari bereganatzen ditu. Alde batetik, modem-lana egiten du, hau da, telefonogunearekiko komunikazio fisikoa bideratzen du, horretarako kablean transmititutako seinalea modelatuz (igortzean) eta demodelatuz (jasotzean). Baina etxeko sareko sargunea ere bada, Ethernet kommutagailuarena eta wifi-sargunearena egiten baitu. Are gehiago, bideratzaile-lanak ere egiten ditu, erabiltzailearen sarea eta ISParena lotuz IP mailan. Horrekin batera, sareko irtenbidea diren bideratzaileen beste ohiko lanak ere hartzen ditu; DHCP zerbitzariarena, NAT zerbitzariarena eta suhesiarena, kasurako.

Telefonogunearen aldean, kableko seinalea jaso eta bitan banatzen da, beste iragazki bat erabilita. Alde batetik, beheko DSL kanaletan dabilen betiko ahots-seinalea, 4 KHz-era mugatua, betiko sare telefonikorantz bideratzen da. Seinaleko beste kanal guztiak, aldiz, telefonogunean instalatu behar den DSL modem batera eramango dira, seinale horretatik datuak erauzi ahal izateko eta IP sarean txertatzeko. Telefonogune batean erabiltzaileen kableekin lotutako DSL modemak **DSLAM** izeneko gailuetan (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) elkartzen dira. Beraz, betiko sarbide telefonikoa NGAN bilakatzeko, konpainia batek egin behar duen inbertsio bakarra bere telefonoguneetan iragazkiak eta DSLAMak ezartzea da. Zabalatzeko erraztasunean datza DSL sareen arrakasta, baita alderdi ekonomikoan ere. Egun, iragazkien, TDM telefonoguneen eta DSLAM gailuen ordez, beste ekipo batzuk ezartzen dira telefonoguneetan, **MSAN** izenekoak (*Multi-Service Access Node*). MSAN batek seinale guztiak jasotzen ditu, telefonikoak eta datuetakoak, eta dagoen sarera eramaten ditu (ikusi 4.14b irudia).

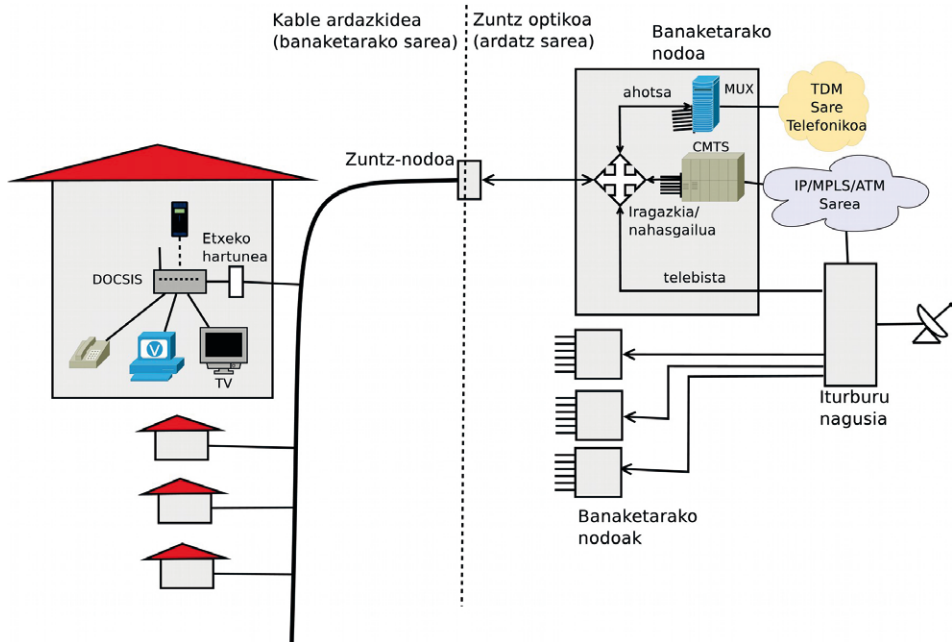
HFC sareak

Hego Euskal Herriko herri askotan, kable bidezko telebista-sareak (CATV, *Community Antenna TV*) hedapen nabaria lortu zuen xx. mendearen amaieran. Munduko beste herrialdeetan bezala, sarbide-sare hori zerbitzu telefonikorako eta Interneterako bide gisa ere erabili izan da, bere HFC bilakaeran (*Hybrid Fiber Coaxial*). Egun, ADSLk bezala indarra galdu badu ere zuntz optikoaren bidezko sareen hedapenaren aurrean, haren presentzia nabaria da gure auzoetan.

Hasierako CATV sareak nahiko sinpleak ziren. Alde batetik, iturburu zegoen, hau da, sateliterako antena bat, eta, bestetik, antena hori partekatu nahi zuten bizi-lagunak. Bien artean, kable ardazkide bat, adar batekin bizi-lagun bakoitzeko. Seinalea iturburutik etxeetara zihoan, noranzko bakarrean. Egungo kable bidezko sareak konplexuagoak dira, helburuak aldatu direlako eta horrek aldaketa teknologikoak eragin dituelako sare horietan. Helburua, orain, ez da satelite bidezko antena bat partekatzea, baizik eta kable bidezko telekomunikazio-konpainia batek eskainitako zerbitzuak atzitzea, tartean telebista-zerbitzua, baina telefonia eta Interneterako sarbidea ere bai. Sareak milaka edo milioika etxeei eman behar die zerbitzua orain, eta hori ez da posible adarrak dituen kable ardazkide bakar batekin, ezta urruti kokatu beharko den telebistarako iturburu bakarra erabiliz ere. Gainera, telefoniako eta Interneteko trafikoa bi noranzkotan dabil. Behar horiek eragindako aldaketen ondorioz, kable bidezko sareek xDSL sarbidea ematen duten sare telefonikoen antz handia dute, baina, beren jatorriak hain desberdinak izanik, sare mota horietako bakoitzean erabiltzen den terminologia zeharo desberdina da. Gainera, HFC sareen zenbait alderdi ez daude estandarizatuta, eta, ondorioz, HFC sareak deskribatzeko erabiltzen den terminologia ere ez dago bateratuta.

Egungo HFC sareak bi zatitan banatzen dira: alde batetik, etheen eta konpainiaren hartuneen arteko sarea dago (normalean **banaketa-sarea** deitua), eta, bestetik, telebista-seinalearen iturburuaren eta hartuneen arteko sarea (gehienetan **ardatz-sarea** edo *backbone* deitua). Banaketa-sarea lehen ikusi dugun xDSL sareen baliokidea da, baina, HFC sareetan, kable ardazkidea erabiltzen da kobrezko pareen ordean, eta, konpainiaren telefonoguneekin ez, baizik eta **zuntz-nodoekin** (*fiber node*) lotzen da etxeetako kable ardazkidea. Gainera, zuntz-nodotik ez da ateratzen kable bana etxe bakoitzeko, baizik eta kable bakarra, eta etxe bakoitzerako adar bat ateratzen da kable horretatik. Ardatz-sarea hierarkikoki antolatutako zuntz optikoaren sare bat da, hainbat maila izan dezakeen zuhaitz baten moduan. Zuhaitzaren erroan, telebistarako iturburu nagusia (*headend*) edo iturburu zentrala dago, zuntz optikoaren bidez zuzenean lotuta lehen mailako banaketa nodoekin. Horrelako banaketa-nodo batek ehunka mila etxeri eman diezake zerbitzua, baina zifra horiek aldakorrek dira oso. Ardatz-sareko hierarkian dagoen maila kopuruaren arabera da, batez ere, etxe kopurua. 4.15 irudian, hiru mailatako sarea irudikatu dugu. Maila gorena erroa da, hau da, iturburu nagusia, sare osoari seinalea banatzen diona. Baina ez die etxeei zuzenean banatzen, bigarren mailako nodoei baizik, hau da, banaketarako nodoei (gogoratu terminologia ez dagoela bateratua). Nodo

horietan kokatzen dira sarbideko iturburuak, zeinek kontzentrazio-lanak egiten baitituzte (batzuetan, *hub* deritze). Haietatik ateratzen diren zuntz-nodoekiko konexio zuzenak ardatz-sareko hirugarren maila osatzen dute. Zuntz-nodo bakoitzak 125-500 etxeri ematen die zerbitzua.



4.15 irudia. HFC sarbide baten ohiko egitura.

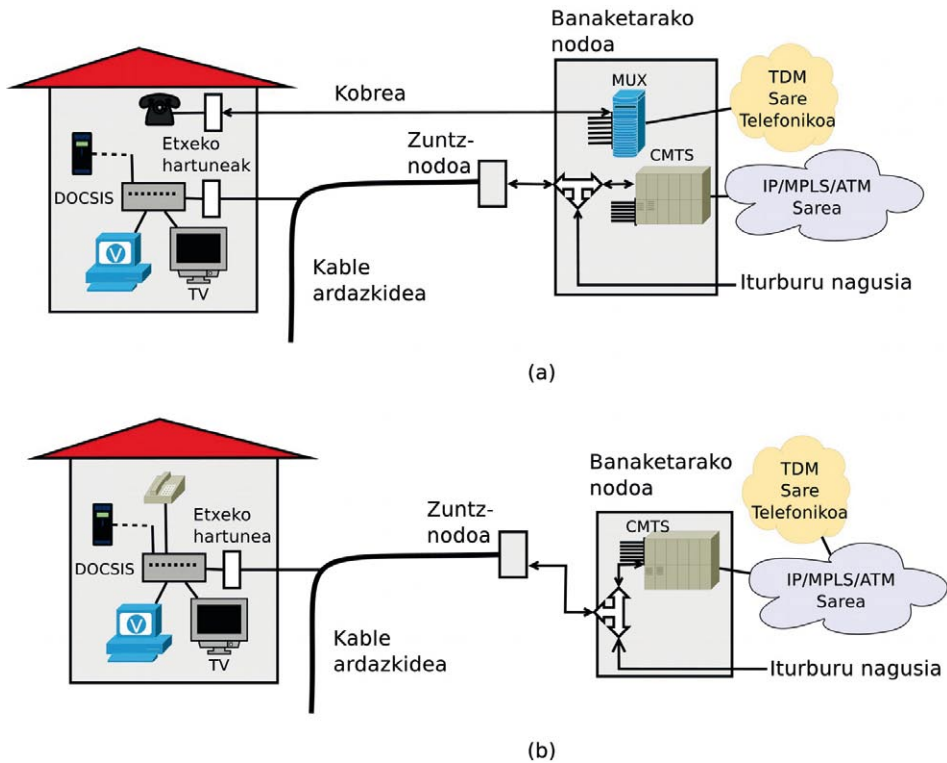
Banaketarako nodoak ADSL telefonoguneen baliokideak dira. Beheranzko bidean jasotzen dituzte iturburu nagusiko seinalea, IP trafikoa eta telefonia-seinaleak, eta hirurak nahasten dituzte. Goranzko bidean bereizten dituzte telefonia- eta datu-trafikoak. IP trafikoa jasotzeko, CMTS izeneko gailua erabiltzen da (*Cable Modem Termination System*), zeina ADSL sareen DSLAM/MSAN parekoa baita. IP sarrerako eta sare telefonikoekiko loturak zentralizatuak egon daitezke erroan, iturburu nagusian, baina, sare handietan, banatuta egoten dira. Horrela agertzen da 4.15 irudian, non banaketarako nodoetan ere IP eta TDM sare telefonikoarekiko loturak agertzen baitira.

Etxeetan, ADSL gailuaren ordez, kablerako modem berezi bat instalatu behar da. Halako modemek DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*) estandarra bete behar dute, edo, Europan, EuroDOCSIS. Egun, etxeetan instalatzen diren gailuek, DOCSIS modemarena egiteaz gain, telebistarako kode-tzaile-deskodematzailarena (*set-top-box*) eta telefonorako egokigailuarena ere egiten dute.

Jatorrizko CATV sareetan, trafikoa beheranzkoa zen bakarrik, eta fluxu bakarra zegoen erabiltzaile guztientzat, une bakoitzean jasotzaile kopurua edozein izanda ere. Kablea Interneten ibiltzeko erabili nahi badugu, aldiz, trafikoa mugimendua oso bestelakoa da. Erabiltzaile bakoitzak bere beheranzko eta goranzko kanalak behar ditu, besteen trafikoetatik bereiz. Egoera horretan, zenbat erabiltzaile dauden garrantzi handia du, bakoitzak banda-zabaleraren zati bat kontsumitzen baitu. Kable ardazkideak telefoniarako erabiltzen den kobreak baino askoz banda-zabalerari handiagoa duenez, aukera bat da kable bakar bat hainbat erabiltzailearen artean partekatzea. Kableak garraia ditzakeen seinaleen espektroa kanaletan banatzen da, DSL teknologietan bezala, **FDM** erabiliz (*Frequency Division Multiplexing*). Kanal batzuk goranzko trafikorako gordeko dira, datuak eta telefonia igotzeko, eta beste guztiak beheranzko trafikorako, hau da, erabiltzaileen datuez eta ahotsaz gain, telebista- edota irrati-banaketarako. Kanalak erabiltzaileen artean partekatzeko, **TDM** eta **CDMA** tekniken konbinazioak erabiltzen dira. Kanalen banda-zabaleraz gain, erabiltzaile bakoitzak bere kablearekin lor dezakeen abiadura erabiltzaileen kopuruaren arabera da, baina baita erabiltzaile horien jardueraren arabera ere, transmisio-bidea partekatua delako.

Kable-sareen bidez telefonia-zerbitzua eskaintzeko, badira zenbait aukera. Lehena zera da: datuekin egiten den bezala, ahotserako kanal batzuk definitzea goranzko eta beheranzko bandetan, eta ahots-kanal horien erabilera erabiltzaileen artean banatzea. Aukera hori 4.15 irudian agertzen da. Banaketa-nodoan dagoen iragazkiak bereiziko ditu telefonia- eta datu-trafikoak, lehena TDM kommutagailu baterantz eramanda eta bestea CMTSrantz. Ahots-kanalak nola definitu eta erabili ez dago estandarizatua, eta, ondorioz, ekoizle bakoitzak berea egiten du.

Telefonia-zerbitzuak eskaintzeko kableko konpainiek hartu duten bigarren aukera hari telefoniko klasikoak erabiltzea izan da, hau da, ADSL sareetan erabiltzen den pare kordatu bera. Kable ardazkidean telebista, datuak eta telefonia batera garraiatzeko aukera zabaldu baino lehenago beren kable-sareak eraiki zituzten konpainiek hartu dute bide hori, tartean Hegoaldekoek. Kable ardazkidearen ondoan pare telefonikoak etxeetaraino eramateko, kable ardazkiderako zituzten kanalizazio berak erabili dituzte, eta telefonogune telefonikoak ezarri dituzte beren nodo banatzailetan, 4.16(a) irudian agertzen den moduan. Kable-sareek telefonia eskaintzeko hirugarren aukera, egun indar handiena duena, IP telefonia da (ikus 4.16(b) irudia). Kasu horretan, trafiko telefonikoa datuen trafikoarekin batera dabil, datuetarako kablean definitutako kanaletan, eta aurreko kapituluan ikusi ditugun QoS teknikak erabiliz kable-sarean. Erabiltzen diren DOCSIS kable-modemek badute QoS ahalmena, eta IP telefoniarako egokigailuarena ere egiten dute. Sare telefoniko klasikoarekiko komunikazioa kable-operadoreak bermatuko du, bere IP sarearen bidez, sareak erabiliz.



4.16 irudia. Telefonia zerbitzua HFC sareetan. (a) kobrezko sare paraleloan, (b) IP telefonia kable ardazkidean.

Kable ardazkidearen eta zuntzaren arteko muga den zuntz-nodoaren koparen araberako badago HFC sareak izendatzeko beste sistema bat, segituan aztertuko ditugun zuntz optiko bidezko sareen nomenklatura bera erabiltzen duena. Ingelesezko terminoak erabiliz, FTTP, FTTB, FTTC edo FTTN izan daitezke, besteak beste, HFC sareak, zuntza noraino heltzen den: etxeke lursaile-raino (*Fiber To The Premises*), atariraino (*Building*), baliokidea den fatxadaraino (*Curb*) edo, era orokor batean eta kokapena zehaztu gabe, zuntz-nodoraino (*Node*). Sigla horien esanahia eta erabilera ez dago estandarizatuta, eta, ondorioz, aukera bat baino gehiago agertu dira, hemen aipatu ditugunez gain, eta nahaspila sortu da. Horregatik, testu honetan, guztiak izendatzeko HFC terminoa erabiltzea aukeratu dugu.

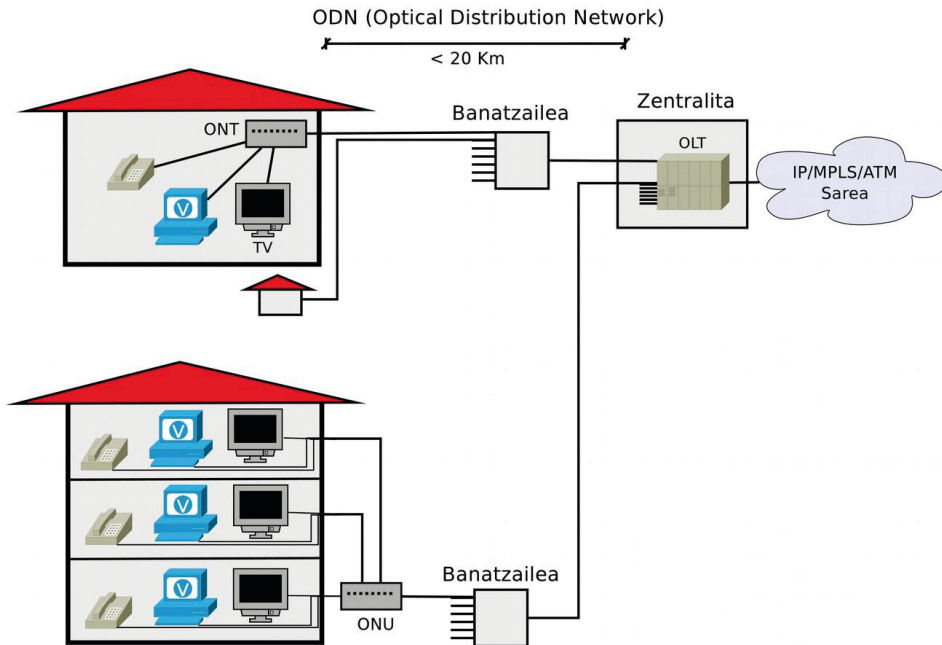
Zuntz optiko bidezko sarbidea

Sare telefoniko zaharren ondorengoa **FTTH** (*Fiber To The Home*) sareak dira. Halako sareetan, etxeen eta telefonoguneen arteko kobrezko kable zaharra zuntz optikoarekin ordezkatzen da, askoz abiadura altuagoak lortzeko asmoz.

FTTH sareetan, telefonogunearen eta etxeen artean ezarritako sare-azpiegitarari banaketarako sare optikoa edo ODN deritzo (*Optical Distribution Network*). Sare horren izaeraren arabera, FTTH sareak pasiboak (**PON**, *Passive Optical Network*) edo aktiboak (**AON**, *Active Optical Network*) izan daitezke. Sare pasiboetan, telefonogunetik ateratzen den zuntz bakoitza zenbait etxeren artean partekatzen dute, **banatzaileak** (*splitter*) erabiliz. Izenak dioen bezala, banatzaileak zenbait haritan banatzen du hari batean datorren seinalea, behearanzko bidean, eta kontrakoa egiten du goranzkoan: zenbait etxetatik datozen seinale optikoak elkartzen ditu telefonogunerantz doan hari optiko bakar batean. Horretarako, ez du elektronikarik behar, ezta, berez, argindarrik ere; hortik datorkio *pasibo* hitza PON sareen izendapenari. 4.17 irudian duzu horrelako sare baten egitura. Telefonogunearen eta etxeen artean, puntu bakarretik puntu anitzetara doan linea bat (*point-to-multipoint link*) osatzen da banatzaileak erabiliz. Irudian, banatzaile bakarra agertzen da telefonogunearen eta etxeen artean, baina gehiago ere izan daitezke, azkena etxebizitza-blokeen kanpoaldean kokatuta normalean. Hegoaldean, *torpedo* izena ematen zaio, eta, Iparraldean, PBO (*Point de Branchement Optique*). PON sareetako telefonogunean zuntzak jasotzen dituen gailuak **OLT** izena du (*Optical Line Termination*). Haren lana MSAN edo DSLAM baten antzekoa da, hau da, ISParen sarea eta haren bezeroentzako sarbide-sarearen arteko zubiarena egitea. Alde batetik, ISParen sarerako lotura zuntz optiko bidezkoa ez bada, seinalearen bihurketa egin beharko du, eta, bestetik, multiplexazio-lana egin beharko du etxeen artean ISPrako lotura partekatzeko. Banaketarako sare pasiboaren beste muturrean, etxeetako sarguneak kokatzen dira, **ONU** izenekoak (*Optical Network Unit*) IEEEren hizkeran, edo **ONT** (*Optical Network Terminal*) izenekoak ITUren hizkera erabiltzen badugu. Praktikan, badago alde txiki bat ONU eta ONT terminoen artean, ONT erabiltzen baita bezeroaren etxe barruan kokatzen bada, eta ONU izena ematen zaio, aldiz, etxetik kanpo kokatuta badago. Azken kasu horretan, ONU bat erabiltzen da normalean etxe bati baino gehiagori zerbitzua emateko. ONU batetik etxeetako sareen kableak ateratzen dira, kobrezkoak edo ardazkideak. ONU/ONT sargunea ekipo aktiboa da, hau da, argindarra behar du bere lana betetzeko. DOCSIS eta ADSL modem/router ekipoen baliokidea da.

Sare optiko pasiboek abiadura handia eman diezaioke etxe bakoitzari, telefonogunetik 20 km-ko distantziara arte, gutxi gorabehera. Kasu bakoitzean teknikoki lor daitekeen abiadura distantziaren eta erabilitako teknologiararen arabera izango da. Gero, konpainiek eskaintzen dutena beren politika komertzialaren arabera izaten da, baita beren ardatz-sarearen egoeraren arabera ere, batez ere goranzko transmisioaren abiadurari dagokionez. Euskal Herrian, XXI. mendeko bigarren hamarkadan, ohikoa da 100-300 Mb/s-ko abiadura izatea behearanzkoan, eta hamar aldiz txikiagoa goranzkoan.

PON teknologien estandarizazioari dagokionez, bi dira egile nagusiak. Alde batetik, badaude betiko telekomunikazio-konpainien inguruan ITUk egindako estandarrak, **GPON** akronimoan bilduak (*Gigabit PON*). Beste alde batetik, Internet mundutik gertuago dagoen IEEE institutuak ateratako estandarrak daude, **EPON** izenez ezagunak (*Ethernet PON*).

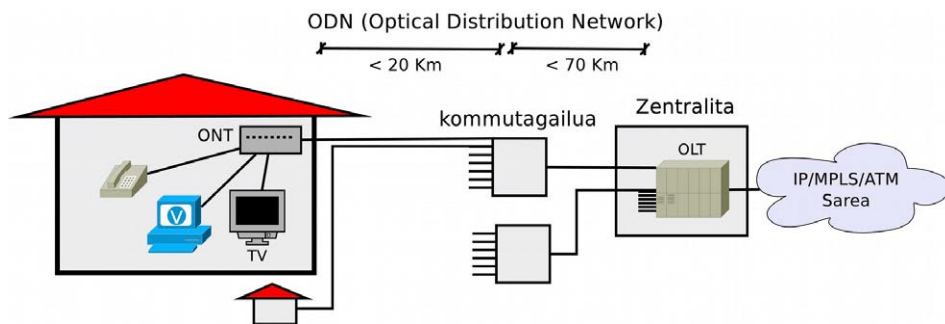


4.17 irudia. PON sare baten egitura.

Edozein PON estandar erabilita ere, **WDM** (*Wavelength Division Multiplexing*) banaketa erabiltzen da beheranzko eta goranzko norabideetako seinaleak hari optiko bakar batean bereizteko. Beheranzkoan, igorle bakarra telefonogunea da. Seinalea hari horretan konektatuta dauden etxe guztietara hedatzen da, eta, berez, mekanismoren bat behar da norberak soilik dagozkion datagramak jasotzeko, eta ez bizilagunarenak. Hori bermatzeko, igorritako tramaren helburua zein den identifikatzen da, eta edukia zifratzen da, soilik hartzaileak dezifratu ahal izateko bere seinalea. Goranzkoan, konplikatua da kanala partekatzea, igorle asko baitaude. Beren artean talka ez egiteko, bi aukera daude gaur egun. Erabiliena **TDMA** aukera da (*Time Division Multiple Access*), hau da, goranzko kanal bakarra txandaka erabiltzen dute etxeek. Txanden esleipena telefonoguneak kontrolatzen du. Etxeetako batek igorri ahal izateko, txanda eskatu behar dio telefonoguneari, hark esleitu diezaion. Bigarren aukera goranzko kanalaren erabilera antolatzeko WDM erabiltzea da, etxeen artean kanala azpibanatzeko.

Sare pasiboen alternatiba sare optiko aktiboak dira. Aktibotasun hori, berriz, banaketarako sare optikoan datza. PON sareen kasuan banatzaile pasiboak ditugun tokian, kommutagailu bat topatuko dugu sare aktiboetan. Beraz, banaketarako sarea ez da izango linea puntuanitez osatutako sare bat, baizik eta Ethernet moduko sare bat, non erabiltzaileen lineak optikoak baitira. Erabiltzaileen lineak jasotzeko eta telefonoguneari konektatzeko erabiltzen den gailuaren arabera, badaude sare optiko akti-

boetarako zenbait aukera teknologiko. **Metro Ethernet** izenekoa oso erabilia da. Aukera horretan, interfaze optikoak dituzten Ethernet konmutagailuak erabiltzen dira etxeak eta telefonogunea elkarrekin konektatzeko. ADSL sareetatik pixkanaka sare optikoetara igarotzeko, interfaze optikoak dituzten MSAN ekipoak erabiltzen dira. Horrela, telefonogune berean eusten zaie kobrezko linea telefoniko zaharrei, ADSL zerbitzua emateko, eta, aldi berean, linea optiko berriei, FTTH sarrera emateko. Kobrezko konexioak zuntz optikoarekin ordezkatzen diren heinean, MSAN ekipoaren kobrezko interfazeak husten dira. 4.18 irudian dugu AON sare baten egitura.



4.18 irudia. AON sare baten egitura.

Etxeetarako FTTH sarbidea emateko erabiltzen dira gehien sare pasiboak, arrazoi sendo batengatik: ekonomia. Merkeago suertatzen da gailu elektrikorik ez duen lineen sare bat, tartean konmutagailuak dituen sare aktibo bat baino. Baina ez da abantaila bakarra, matxura gutxiago ere izaten baitituzte sare pasiboek, elektronika gutxiago erabiltzen delako. Behin sarea ezarrita, haren mantenua sinpleagoa da, eta, berez, merkeagoa.

Hala ere, sare aktiboek badituzte aldeko ezaugarriak. Bata, lineak partekatzen ez direnez, banda-zabalera bermatuta dago erabiltzaile bakoitzarentzat, besteek zer egiten duten kontuan hartu gabe. Sare pasiboek garai bateko Ethernet kontzentragailuen portaera dute (*hub*), eta aktiboek, aldiz, konmutagailuarena egiten dute. Izaera konmutatu horrek bigarren abantaila bat dakar: laguntzen du arazoak isolatzen, erabiltzaile bakar baten seinalea baitugu linea bakoitzean. Sare aktiboen hirugarren abantaila distantzia da. Sare pasiboetan, zuntza partekatzeak telefonogunearen eta erabiltzaileen arteko distantzia 20 km baino handiagoa ez izatea dakar. Sare aktiboetan, muga hori 90 km ingurukoa da. Laburrean, esan dezakegu sare aktiboak hobeak direla, baina garestiagoak; pasiboak, aldiz, nahikoak dira erabilera gehiengotan, eta merkeagoak. Enpresen merkatuari begira, sare aktiboak MAN esparruko sareak garatzeko (*Metropolitan Area Network*) ezartzen ari dira; pasiboek, berriz, etxetako merkatua bereganatu dute.

3.3. Kablerik gabeko sarbide-sareak

Betiko kable bidezko sarbideak ez dira nahikoak egungo erabiltzaile-profil barentzat, hau da, Internetera edozein tokitan eta edozein gailu erabiliz konektatzen direnentzat. Gero eta gehiago dira halako erabiltzaileak, eta, haientzat, kablerik gabeko sareak ditugu, horiek ere zerbitzu telefonikorako garatutako sareetatik eratorriak, kasu gehienetan. Kablerik gabeko sareek beti izan duten handicap handia banda-zabalera eskasa izan da. Oztopo hori gainditu ez den arte, kablea lortzerik ez zegoenerako mugatu da erabilera.

Sare zelularrak

Orain dela ez asko arte, halako sareei *sare telefoniko zelularrak* izena ematea zen zuzena, zerbitzu telefonikorako garatu baitziren. Alta, egungo sare zelularrak, zerbitzu telefonikoa ematen badute ere, ez daude soilik horretarako diseinatuta. Izan ere, proportzionalki, gero eta ahots trafikoko gutxiago garraiatzen dute, eta gero eta gehiago beste aplikazioei dagokiena. Ahotsetik beste trafikoetarako ibilbide teknologikoa halako sareen bilakaeran atzematen da. Bilakaera hori belaunalditan antolatzen da, 1Gtik hasita egun dugun 4G belaunaldira arte. Belaunaldien artean 10 urte igarotzen dira, gutxi gorabehera. Sareen estandarizazioa ITUk bideratu du.

Sare zelularren 1G belaunaldiaren ezaugarri nagusiak honako hauek dira: soilik zerbitzu telefonikoa emateko diseinatu zen, transmisio analogikoa erabiltzen zen, zirkuitu kommutazioa zen oinarria, eta, tokian-tokian, estandar ugari eta bateraezinak zeuden. 2G izeneko bigarren belaunaldiaren ezaugarri nagusia digitalizazioa izan zen. Baina hori ez zen berrikuntza bakarra: lehen aldiz, datu-zerbitzuak kontuan hartu ziren diseinuan, nahiz eta, oraindik, bigarren mailakoak izan telefoniaren ondoan. Hala ere, datuetarako eskaintzen zuen abiadura urriak (9,6 kb/s) baliogabetu zuen arrakastarako edozein aukera kanal horren bidezko datu-zerbitzuetan. Hala ere, halako sareek erakutsi zuten datu-zerbitzuek ikaragarritzko ahalmena dutela kontrolerako sarearen bidez emandako beste datu-zerbitzu baten eskutik: SMS mezuak (*Short Message Service*). 2G belaunaldiak ekarri zuen beste aurrerapauso garrantzitsu bat estandarizazioa izan zen. Ez zen estandar bakarra lortu, baina bai sorta txiki bat; horietatik batek, Europako **GSMk**, nagusitasuna lortu zuen mundu-mailan.

2G belaunaldiaren datu-gabeziak agerian gelditu ziren segituan, eta, berez, tar-teko 2,5G bat sortu behar izan zuten, 3Gren zain egon gabe. 2,5Gren ikurra **GPRS** estandarra izan zen, GSMren osagarria, zeinetan pakete-kommutazioa agertzen baita datuetarako kanaletan eta zirkuitu-kommutazioa, aldiz, ahots-kanaletarako. Orduan hasi ziren telefono mugikorrek, bai eta beste gailu batzuk ere, Interneten erabiltzen. Baina, abiadurari dagokionez, nahiz eta GSMk ematen zuena baino hamar aldiz handiagoa izan, ez zen nahikoa. Gainera, Interneten ibiltzeko terminal mugikorren mugak ere bistan zeuden: pantaila eskasak, teklatu deserosoak eta bateria ahulak. Argi zegoen hitz egiteko diseinatutako terminalek ez zutela balio beste gauzetarako, baina, horrez gainera, agerian geratu zen Interneten eskaintako zerbitzuak ez zeudela prestatuta be-

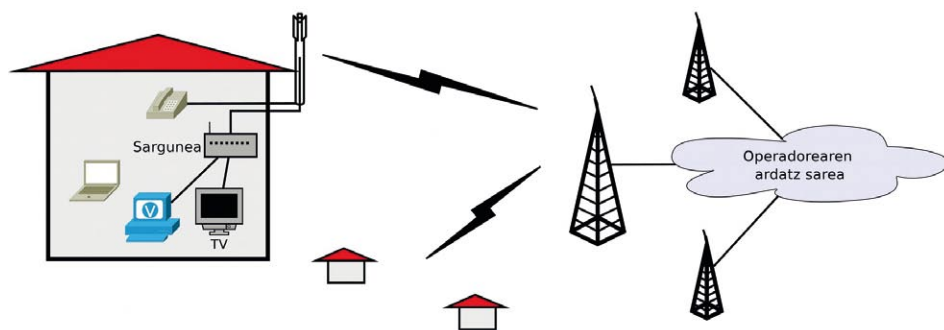
tiko konputagailuak ez ziren terminalen bidez jasotzeko. Komunikazioen aro berri bat sortzen ari zen, eta paradigmak aldatu beharra zegoen. Sarearen aldetik, 3G belaunaldiak datuen aldeko jauzia egin zuen; hala, sare zelularretik Interneten ibiltzeko aukera gauzatu zen, nahiz eta multimedia-aplikazioetarako eskas izan. **UMTS** da 3G estandar nagusia, GSMtik eratorria. Oso abiadura aldakorra lortzen da, sarearen egoeraren eta erabilitako teknologiaren arabera. Hasierako UMTS estandarrak 384 kb/s-ko abiadura lortzen du beheranzko trafikoan, baina, errealitatean, gutxiago izaten da. 2G belaunaldian gertatu zen bezala, tarteko teknologiak aurreratu ziren, 3,5G eta 3,75G izenpean, transmisio-abiadurak Mb/s eskalara ekarri arte.

Baina, 3. belaunaldian, oraindik, zirkuitu- eta pakete-kommutazioa sarean agertzen dira. Dikotomia hori irrati bidezko sarbidean dago (zeluletako antenetan, alegia), baina baita kontrol-sarean ere: alde batetik, SS7 seinalizaziorako sare bati eutsi behar zaio zerbitzu telefonikoetarako, eta IP sarea beste guztietarako. 4G belaunaldian, zerbitzu telefonikoak beste zerbitzu guztiekin integratu dira IP sarean, eta zirkuitu-kommutazioa irrati bidezko sarbidean ere desagertu da. Laugarren belaunaldia multimediararen belaunaldia da, lortzen diren abiadurei esker, orain bai, edozein aplikazio erabil baitaiteke sare zelularren bidez Internetera konektatuz gero. 4G izena erabili ahal izateko baldintzak IMT-Advanced estandarrak definitzen ditu. Hor ezartzen dira abiadura minimoak: 100 Mb/s azkar mugitzen direnzentzat, eta 1 Gb/s erabiltzaile estatiko edo ia estatikoentzat. Baldintza horiek bi teknologiak betetzen dituzte: **LTE Advanced** eta WirelessMAN-Advanced (IEEE 802.16m estandarra, WiMax2 izenez ere ezaguna). Azken hori segituan aztertuko dugu, WLL sareei buruzko atalean. Hau idazten ari garela, eztabaidatzen ari da zein izan behar duten 5G belaunaldirako ezaugarriek, baita ea benetan bosgarren belaunaldi bat behar den ere.

Kablerik gabeko sarbidea (WLL - Wireless Local Loop)

Europar eta mundu osoko herri askotan, telekomunikazioen liberalizazioak kompetentzia ekarri nahi zuen sare telefonikoen bidez ematen diren zerbitzuen merkatuetara; izan ere, telefoniaz gain, ADSL sareen bidez ematen den Internetarako sarbidea ere badago. Merkatu batean sartu nahi zuten konpainiek bazuten arazo bat: betiko sarbide-sare publikoa, kobrezko kableekin egina, pribatizatutako konpainia baten eskuetan gelditu zen herri askotan; tartean, Euskal Herrian. Gauzak horrela, merkatuan sartu nahi izanez gero, sarbide berri bat eraiki behar al du konpainia batek, telefonogune eta milioika etxeetarako kanalizazio eta guzti? Hori ekonomikoki bideraezina eta baliabideen erabilerari dagokionez absurdoa denez, telekomunikazioen liberalizazioaren kompetentziarako helburu hori teoria hutsa da, baldin eta beste aukerarik zabaltzen ez bada konpainia berriak bezeroen etxeetaraino heltzeko. Horregatik, liberalizazioak berak konpainia nagusiak (**incumbent**) derrigortu zituen ondare publikotik jaso zituzten sarbideak kompetentziako beste konpainiei erabiltzen uztera, araututako alokairuen bidez. Konpainia baten sarbidea kompetentziako beste konpainia batek erabiltzeari **linearen bereizketa** deritza (*local-loop unbundling*).

Hala ere, sarbidearen liberalizazioaren zain egon gabe, beste bide bat agertu zen merkatuan sartzeko: kablerik gabeko sarbide sarea eraikitzea. Herri baten kanpoaldeko mendixka batean antena bat jartzea askoz merkeagoa da etxe guztietarako kable bidezko sarbideak eraikitzea baino. xx. mendearen amaieran hasi ziren horrelako teknologiak garatzen, LMDS izenarekin (*Local Multipoint Distribution Service*), hasiera batean kable bidezko telebistaren alternatiba gisa. Gero, IEEE institutuak horren estandarizazioa hartu, edozein zerbitzutarako, eta 802.16 seriea argitaratu zuen; egun, horixe erabiltzen da kablerik gabeko abiadura handiko sarbideetan (*wireless broadband*). Haren izen komertziala **WiMAX** da.



4.19 irudia. WLL sareen egitura.

WLL sareen egitura 4.19 irudian dugu. Betiko sare kableatuarekin alderatuta, telefonogunearen ordez antena bat dugu, eta telefonogunearen eta etheen arteko kablea edo zuntza uhinek ordezkatzen dute. Sare zelularrekin erkatuz, sare-egitura oso antzekoa dute WLL sareek: antena bakoitzaren hedatze-esparruan dauden erabiltzaileak mikrouhinen bidez konektatzen dira antena horrekin, eta antenak telekomunikazio-operadorearen ardatz-sarearekin daude lotuta.

Badaude bi motatako WiMAXak: estatikoa, etxe baten barruan eta motel mugitzen diren ekipoentzat, eta mugikorra, kanpoaldean eta azkar mugitzen direnentzat. Estatikoan, 3,5 GHz-eko eta 5,8 GHz-eko bandak erabiltzen dira, 70 Mb/s arteko abiadura emateko, zenbait baldintza teknikoren arabera. Hala ere, Euskal Herrian, 512 kb/s eta 4 Mb/s arteko abiadura eman ohi dute zerbitzu hori eskaintzen duten operadoreek. Antenek badute 50 km-ra arteko hedatzea. WiMAX estatikoa sare kableatua heltzen ez den tokietan erabiltzen da, zerbitzu telefonikoa eta Internetarako sarbidea emateko. Aipatu behar da mikrouhinen banda zenbat eta altuagoa erabili orduan eta errazago xurgatzen duela atmosferako urak uhin horren energia. Horren ondorioz, euria denean, gerta daiteke WiMAX zerbitzua nahiko gaizki ibiltzea. Hori handicap bat da WiMAX aukerarentzat beraren kompetentzia diren sare zelularrekin alderatuta, azken horiek, European, 2,1 GHz-eko eta 2,6 GHz-eko bandak erabiltzen

baititutze 3G eta 4G zerbitzuentzat, hurrenez hurren, hau da, WiMAX erabiltzen dituenak baino baxuagoak.

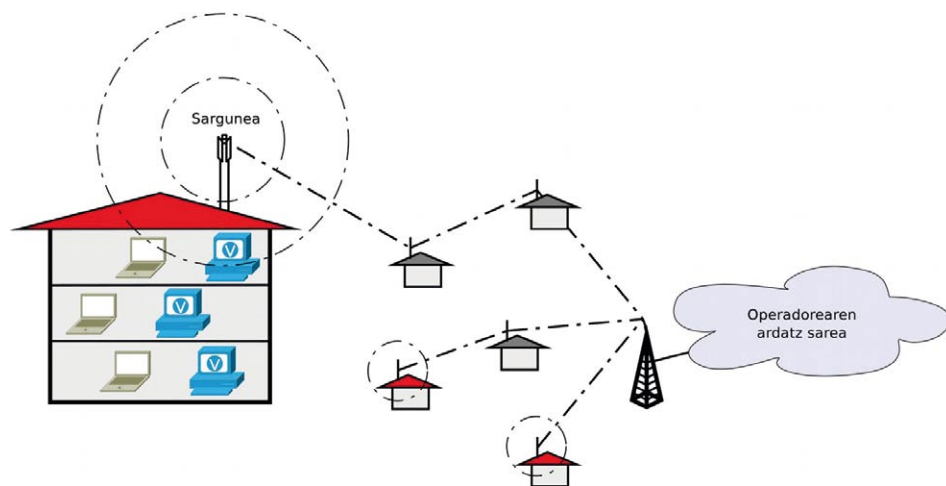
WiMAX mugikorra estatikoaren bilakaera da, eta 4G zerbitzuak emateko erabiltzen da. Europan WiMAXentzat baimendutako bandak 2,3 GHz-ekoa (Hego Euskal Herrian ezin da erabili), 2,5 GHz-ekoa (LTE bidezko beste 4G aukerentzat erabiltzen ari da gehienetan, eta ez WiMAXentzat) eta 3,5 GHz-ekoa dira. Orokorrean, WiMAX mugikorrak estatikoak baino hedadura eta abiadura txikiagoak lortzen ditu. Hala ere, WiMAX2 bertsioan, teoriarik, 300 Mb/s-ko abiadura lor daiteke. Zerbitzu hori ez dute eskaini, oraingoz behintzat, Euskal Herrian lan egiten duten konpainiek. Testu hau idaztean, WiMAX mugikorraren etorkizuna nahiko iluna da; LTE teknologiak partida irabazi dio 4G teknologien lehian. WiMAX mugikorra erabiltzen zuten konpainia gehienek LTErekin ordezkatu zuten teknologia hori 2015. eta 2016. urteetan.

WiMAX teknologiaren beste erabilera **atzealdeko sarea** osatzekoa da (*backhaul*). Atzealdeko sare hori da telefonoguneak operadorearen ardatz-sarearekin lotzen dituzten lineak osatzen dutena. Erabilera hori, berriz, landa-esparruetan agertzen da, hau da, telefonoguneak ardatz-saretik urruti dauden tokietan, eta, ondorioz, kablea haraino eramatea oso garestia suertatzen da.

Wifi bidezko sarbidea

Wifi teknologia kablerik gabeko sare lokalak eratzeko sortu zen, hau da, gehienez ehunka metrora dauden ekipoak Ethernet sare bati konektatzeko. Haren estandarizazioa IEEE institutuak egiten du, **802.11** izeneko agirietan. Haren erabilera nagusia etxe edo enpresen barrualdeko edozein tokitan Internetarako konexioa atzigarri egitea da, hormetako hargune baten menpe egon gabe. Sare lokalez haratago joanda, wifi teknologia erabiliz, sarbide-sareak ere sortu dira. Kable bidezko konexio bat bizilagunen artean partekatzeko hasi zen erabiltzen wifia. Gero, wifi-sarguneen arteko konexio zuzenak erabiliz, atzealdeko sare bat osatzen da, seinalea ardatz-sareraino eramateko. 4.20 irudian ikus daiteke horrelako sare baten egitura (***Wireless Mesh Network***).

Wifi sarbide-sare batean, bi motatako antenak erabiltzen dira. Alde batetik, erabiltzaileak konektatzeko erabiltzen direnak sarguneak dira. Bere seinalea inguruan barreiatzen dute, erabiltzaileen ekipoen bila. Berez, sare zelularren antenak bezalakoak dira, baina txikiagoak, eta beste teknologia erabiltzen dute. Beste alde batetik, sarguneak eta ardatz-sarea lotzeko erabiltzen diren antenak daude, nolabaiteko atzealdeko sarea osatzen dutenak. Antena horien arteko konexioak zuzenak dira, binakakoak. Seinalea elkarri zuzentzen diote gertu dauden antena bikoteek, inguruan barreiatu gabe, eta, horrela, jauzika, distantzia handiko lineak osatzen dira.



4.20 irudia. WiFi bidezko sarbidea.

Sare zelularrekin eta WLL sareekin erkatuz, badaude alde teknologikoak, baina baita, eta batez ere, kudeatzeko erari dagozkionak ere. Teknologiari dagokionez, ISM bandak erabiltzen dira (*Industrial, Scientific and Medical*). Zehazki, wifi-sareetan, 2,4 GHz-eko eta 5,8 GHz-eko bandak erabiltzen dira. Banda horiek erabilera liberako esleituta daude, betiere esparru lokaletan. Banda libre izateak esan nahi du edonork erabil dezakeela, estatuak kudeatutako lizentzia baten beharrik gabe. Haren erabilera oso lokala denez, hau da, seinalea ezin denez oso urrutira hedatu, erabiltzaileen artean talka egiteko arriskua maila bideragarri batera jaisten da. Gainera, banda horiek zenbait azpibandatan banatzen dira estandarretan, esparru berean aritzen diren sareek egin ez talka dezaten.

Kudeaketari dagokionez, sareok ez dituzte eratzen eta kudeatzen telekomunikazio-operadoreek, beste sarbide sareak legez. Wifi sarbide-sareak instituzio publiko txikiek —adibidez, udaletxe batzuek—, edo, gehiagotan, erabiltzaile talde antolatuek eratzen dituzte, era kolektiboan. Horrela, erabiltzaileak berak dira sare-azpiegituren jabeak, eta berek kudeatzen dituzte, zuzenean. Ondorioz, normalean, zerbitzua jasotzeagatik ordaindu beharrekoa askoz baxuagoa da, betiko operadoreekin alderatuta. Baina horrelako inizatibean motibazioa ez da, normalean, soilik ekonomikoa. Sustraian dagoena Internet eskubide gisa hartzea da, eta ez negozio gisa. Munduan gehien zabalduta den horrelako sarea Guifi.net izenekoa da, Herri Katalanetan sortua baina egun bost kontinenteetan hedatua. Euskal Herrian ere zabaltzen ari da Guifi.net. Haren konexio gehien-gehienak wifi bidezkoak badira ere, gero eta gehiagotan ari dira zuntz optikoa erabiltzen, bai sarguneekin konektatzeko, baita Guifi.net ardatz-sarea osatzeko ere.

Satelite bidezko sarbidea

Komunikazio-satelite bat zeruan dagoen errepikagailu bat da. Mikrouhinak jasotzen ditu goranzko bandan, garbitzen ditu, eta Lurrerantz itzultzen ditu behe-ranzko bandan. Altueraren arabera, hiru taldetan sailkatzen dira: geogonkorrak (GEO – *Geostationary Earth Orbit*), tarteko orbitakoak (MEO – *Medium-Earth Orbit*) eta baxuak (LEO – *Low-Earth Orbit*).

GEO sateliteak distantzia handiengan kokatzen direnak dira, ia 36.000 km-ko altueran. Interesgarrienak dira telekomunikazioetarako, orbita horretan satelitea geldirik baitago lurrazaletik ikusita (hortik datorkio geogonkorra izendapena). Horrela, badago aukera antena igorle batekin satelitea seinaltzeko eta, gehiago mugitu gabe, seinalea bidali. Hartzailerek ere, behin antena ondo zuzenduta, nahikoa dute. Egun, oso erabiliak dira telebista hedatzeko, eta, iraganean, oso erabiliak izan dira kontinenteen arteko telekomunikazio-loturak gauzatzeko. Egun, aldiz, kontinenteen arteko komunikazio gehienak itsas azpiko zuntz optikoko kableen bidez egiten dira, transmisiorako ezaugarriak askoz hobekak direlako. Sateliteen erakargarritasuna edozein tokitatik atzitu ahal izatean datza, baita Internet sarbidea edukitzeko ere. Horregatik, GEO sateliteak badira alternatiba bat beste inongo sarbiderik ez dagoen tokietan. Horretarako, VSAT teknologia erabiltzen da (*Very Small Aperture Terminal*), hau da, antena txikiak (metro baten diametroa baino txikiagoak) erabiltzen dituenak. GEO sateliteen bidezko Interneterako sarbidean lortzen diren abiadurak ez dira ikaragarriak, baina, egun, nahikoak etxe baterako. Gutxi gorabehera, eta faktore askoren arabera, beheranzkoan 20 Mb/s izan daitezke abiadura hori, eta 6 Mb/s goranzkoan. Teknologia berrienak erabiliz, 50 Mb/s arte eman daitezke beheranzkoan.

GEO sateliteen bidezko komunikazioak duen arazorik handiena eragindako latentzia da. Nahiz eta mikrouhinak argiaren abiaduratik gertu hedatu, ia 300.000 km/s-ko abiaduran, seinaleak igaro behar duen distantzia hain handia denez, txangoak hartzen duen denbora esanguratsua da, bereziki multimedia-aplikazioentzat. Espaziorako joan-etorriak 250 eta 300 ms artean har dezake, baina, are okerrago, VSAT sistemetan, bi erabiltzaileen arteko komunikazioetan lurreko bitartekari bat behar izaten da, eta, ondorioz, bien arteko komunikazioan, bi aldiz pasatu behar da satelitetik. Normalki, horrelako VSAT linea batean, atzerapena 540 ms-koa izaten da. IP telefonia aplikazio batentzat, onartezina. Erabiltzaileen egoitzan VSAT sistemek behar duten instalazioa merkea da, baina, horren truke, atzerapen handi horri eutsi behar diote. Pentsatu, egun, arraroa dela 100 ms baino gehiago behar izatea Internet osoa zeharkatzeko lurreko lineak erabiliz.

MEO eta LEO orbitetan kokatutako sateliteak askoz gertuago daude lurrazaletik, eta, ondorioz, beren latentzia eta behar duten igortze-potentzia ere askoz baxuagoak dira. Adibidez, MEO orbitan dagoen O3B satelite sarea 8.000 km-ko altueran dago, eta haren RTTa 125 ms-koa da. LEO orbitan dauden Iridium eta Globalstar sateliteak 670 eta 1.420 km-an daude, hurrenez hurren, eta beren atzerapena 40 ms ingurukoa da. Horrek erakargarri egiten ditu Internet sarbiderako, baina, beste alde batetik, orbita baxuagoetan dauden sateliteek badute beren handicap-a: lurrazaletik

ikusita, mugitzen ari dira, eta tarte batean soilik daude ikusgarri. Horrek asko zailtzen du haiekiko komunikazioa. Izan ere, satellite bakar batekin, zeruan aldiro agertzen da eta, gero, berriz desagertzen da, eta, hortaz, ezin diogu komunikazioari eutsi. Horregatik, LEO eta MEO orbitetan, satellite-sareak behar dira, bermatu ahal izateko gure antenaren bistatik satellite bat desagertu baino lehen beste bat agertuko dela. Komunikazioa eten baino lehen, sare bereko bi sateliteren arteko trantsizioa (*roaming*) egin beharko da. Horrek guztiak sistema zailtzen eta garestitzen du. Gainera, egungo LEO konpainiek ematen duten datu-transmisorako zerbitzua nahiko eskasa da, kb/s batzuetakoa besterik ez, Interneterako gutxiegi. Beraz, LEO sistemak telefoniarako erabiltzen dira, eta ez Internet sarbiderako. MEO sateliteen erabilera nagusia geokopakapen-zerbitzuak dira (Galileo eta GPS), baina O3B sarea telefonia-eta datu-zerbitzuak eskaintzen hasi zen 2014. urtean. Haren merkatua, hala ere, ez da zuzenean erabiltzailea, baizik eta ISPak eta telefonia mugikorrerako operadoreak. Haren loturak erabiltzen dira, adibidez, atzealdeko sarea osatzeko beste sareak helitzen ez diren tokietan (adibidez, itsasontzietan). Gb/s mailako abiadura emateraino hel daiteke.

Laburpena

Aurreko kapituluetan ikasi dugu nola egokitzen diren multimedia-aplikazioak Internetek ematen duen IP zerbitzuan; *best effort* zerbitzuan, alegia. Multimedia-aplikazioek IP sareetan dituzten arazoak konpontzeko bide alternatiboa sarean bertan ekiditea da, hau da, sare-azpiegiturak hobetzea eta bideratzaileetan teknika berriak erabiltzea, multimedia-trafikoa arazorik gabe garraiatzeko IP sareetan. Funtsean, IP sareetan suertatzen den datagramen arteko atzerapenaren aldakortasuna eta datagrama-galerak minimoetan uztea da helburua. Horretarako, badaude zenbait estrategia.

Lehenengo estrategia sarean sartzen dugun trafiko kantitatea murriztea da, bideratzaileetan sortzen diren ilarak gutxitzeko, eta, horrekin batera, buxaduraren arriskua eta haren ondorio negatibo guztiak ere murrizteko. Hori bilatzen du aztertu dugun lehenengo teknikak: multicasta. Multicasten erabilera masiboak asko jaitziko luke Interneten *broadcast* moduan bidalitako trafikoa. Teknologia heldua da aspalditik; multicast helbideak araututa daude, eta erabiliak dira, batez ere esparru lokalean. Taldeak kudeatzeko protokoloak ere, IGMP eta MLD, inplementatuta daude egungo sistema eragileetan. Eta bideratzaileetan prest dugun multicast bideratze protokoloa, PIM-SM, nahikoa da erabiltzen diren multicast aplikazio nagusiek sortzen duten trafikorako (SSM motako trafikoa). Baina teknologikoak ez diren arazok geldiarazi dute multicast ISP sareetan hedatzea. Horri multicast hutsune deritzo (*multicast gap*). Ikusteke dugu zer gertatuko den etorkizunean, baina, oraingoz, multicast teknologiak dakarren onura ez dugu ikusi Internet irekian; soilik sare itxietan da ohikoa haren erabilera.

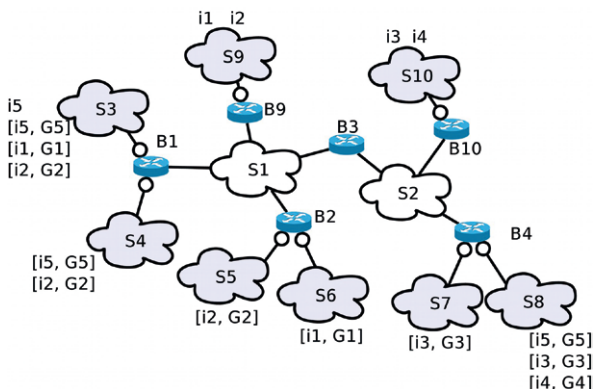
Bigarren estrategia buxaduren kudeaketan datza, buxadura bera eragozteko, edo, hala eta guztiz ere buxadura suertatzen bada, eragindako kalteak, hau da, datagrama-galerak, multimedia ez diren aplikazioei egoztean. Estrategia hori bilatzen duten teknikak QoS epigrafean bildu ditugu. Hor daude *Traffic Management*, onarpen kontrola, eta trafiko-ingeniari-tza. *Traffic Management* funtsean CoS egitea da, hau da, datagramak tratatzea beren sailkapenaren arabera. Horrela, galerak daude-nean, hobe da kaltea konpon dezaketen aplikazioei egoztea galera horiek; denbora errealekoak ez direnei, alegia. CoS kudeaketaz gain, AQM teknikak ere erabiltzen dira *Traffic Management* barruan buxadurak minimizatzeke: trafikoa mugatzea sarerako sarreran, edota ilarak kudeatzea, ilarak gainezka egitea eragozteke. Onarpen-kontrolari begirada eman diogu, baina, haren arrakasta eza ikusita, ez dugu sakondu. Trafiko-ingeniari-tzan, sareko baliabideak —hau da, lineak— ahal den modurik onenean erabiltzea bilatzen da. Ideia trafikoa bide alternatibotan banatzea da, eta bide laburrenean datagramak metatzea saihestea. Horretarako, datagramak fluxuetan elkartu behar dira, eta, gero, fluxuen arabera mugitu trafikoa sarean, eta ez datagramak banan-banan. Horretarako, oso egokiak suertatu dira MPLS eta RSVP-TE protokoloak, biak beste helburu batzuekin sortu baziren ere. Buxadurak prebenitzeko teknikak ere QoS barruan hartu ditugu. Hor daude ECN bitak, normalean AQMrekin batera erabiliak, eta LEDBAT algoritmoa, trafikoa guztiz elastikoa sortzen duten aplikazioek erabiltzekoa.

Hirugarren estrategia indar hutsa erabiltzea da (*brute force*): bideratzaileetan sortzen diren ilarak desagerrarazteke, lineen transmisio-abiadura eta bideratzaileen ahalmena handitzea. Beste era batean esanda, banda-zabalera handitzea. Interneterako sarbide-sareetako banda-zabalera handitzea izan da multimediararen hedapenaren gakoa Interneten. Izan ere, *banda zabaleko sareak* izena erabiltzen da edozein aplikaziok sortutako trafikoa xurgatzeko ahalmena duten sarbideak izendatzeko. Sare horiek kable bidezkoak edo kablerik gabekoak izan daitezke; bigarren horiek ezinbestekoak dira gero eta garrantzitsuagoak diren gailu eramangarriei sarbidea emateko. Kable bidezko sarbideetan, ADSL, kable ardazkidekoak eta zuntz optikoko sareak ditugu. Kablerik gabeko sarbideetan, multimediarako bereziki diseinatutako 4G belaunaldiko sare zelularrak, WLL sarbideak eta wifi bidezko sarbideak ditugu. Sateliteak ere hor daude, beste inongo sarerik heltzen ez denerako.

4. kapituluko ariketak: multimediarako sare-teknologiak

- 1) Demagun erakunde baten AS zenbakia (Autonomous System) 16421 dela. Zer IPv4 GLOP helbide erabil ditzake erakunde horrek?
- 2) Demagun talde baten helbidea 232.153.61.25 dela. Zer multicast helbide mota da? Zein izango da haren Ethernet itzulpena (RFC 1112)?
- 3) IPv4 talde-helbideen hauen artean, zeinek izango dute Ethernet itzulpen bera?
 - 224.18.72.8
 - 232.18.72.8
 - 232.18.6.8
 - 224.146.72.8
- 4) Demagun beheko eskeman dagoen sarea dugula. Agertzen diren bideratzaileak multicast bideratzaileak dira. Gainera, B1, B2, B4, B9 eta B10 IGMP bideratzaileak dira; S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9 eta S10 saretarako Designated Router lana egiten dute (irudian, biribil batekin amaitutako marrak horixe azaltzen du). Sarean, 5 SSM kanalen trafikoa dabil: [i1,G1], [i2,G2], [i3,G3], [i4,G4] eta [i5,G5]. Kanal baten hartzaileak badaude sare batean, sare horren ondoan [iturria, taldea] erako pareta agertzen da. S4-n, adibidez, [i5, G5] eta [i2, G2] moduko hartzaileak daude. Osatu bideratzaile bakoitzaren m-birbidaltze taulan aurkituko ditugun Next-hop eta interfaze zutabeak.

[iturria, taldea]	B1	B2	B3	B4	B9	B10
	Next-Hop / Interf	Next-Hop / Interf	Next-Hop / Interf	Next-Hop / Interf	Next-Hop / Interf	Next-Hop / Interf
[i1,G1]						
[i2,G2]						
[i3,G3]						
[i4,G4]						
[i5,G5]						



5) Lotu akronimo eta termino hauek dagozkien kontzeptuarekin:

— DR	— broadcast helbidea	— IGMP
— MLD	— barruko multicasta	— <i>inter domain multicast</i>
— SSM	— PIM	— ASM

1. Talde batean sartzeko edo ateratzeko hartzaileek erabiltzen duten protokoloa.
 2. Sareko makina guztiak identifikatzen dituen helbidea.
 3. Sare baten taldeen kudeaketa egiten duen bideratzailea, normalean atebidearena egiten duena.
 4. Iturri bakarreko multicasta.
 5. IGMP funtzionalitate bera duen protokoloa, baina IPv6-n erabiltzekoa dena.
 6. Iturri anitzeko multicasta.
 7. Multicast trafikoa birbidaltzeko taulak eguneratzeko erabiltzen den protokoloa.
 8. Multicast domeinutik ateratzen ez den multicast trafikoa.
 9. Zenbait multicast domeinuren artean igaro daitekeen multicast trafikoa.
- 6) ISP batek, bere erabiltzaileek igorritako trafikoa doitzeko (*Traffic shaping*), tiket-pertzaren teknika erabiltzen du (token bucket, leaky bucket as a meter). Horrela, erabiltzaile batek ISPari igortzen dizkion datagrama guztiak tiket-pertz batek kontrolatutako ilara batean sartuko dira, kommutaziogunean sartu baino lehen. Demagun bezero honen kasua dugula:
- 1 Mb/s-ko batez besteko igortze-abiadura kontratatu du.
 - Ilara kontrolatzeko kontagailuak byteak neurtzen ditu.
 - Segundoero kenketa egiten zaio kontagailuari.
- Zehaztu zenbateko kenketa egin behar zaion kontagailuari.
- 7) Demagun tiket-pertza erabiltzen duen bat dugula, bitetan neurtuta. Segundo erdiro, 0,75 Mb kentzen dio kontagailuari, eta muga 1 Mb da. Zenbateko batez besteko abiadura kontratatu du erabiltzaileak? Zenbatean gaindi daiteke abiadura hori bultzada (burst) batean?
 - 8) Izan bedi ondoko sarea. Demagun barruko bideratze guztia SPF moduan (Short Path First) egiten dela, OSPF erabiliz, eta distantziak neurtzeko hop kopurua erabiltzen dela. Demagun une batean trafiko-fluxu hauek daudela sarea: AD, AE, AF, BD eta CD. Fluxu guztiak 1 Mb/s mugitzen badira, eta sareko lotura guztiak 3 Mb/s badira, ikusten al duzu buxadura-arriskurik?

9) Lotu akronimo eta termino hauek dagozkien kontzeptuekin:

— <i>scheduling</i>	— CoS	— ECN
— DSCP	— <i>tail drop</i>	— MPLS
— DCCP	— <i>call admission</i>	— <i>traffic shaping</i>
— <i>policing</i>	— <i>traffic engineering</i>	— RED/WRED
— WFQ	— <i>leaky bucket</i>	— DiffServ
— <i>traffic management</i>	— <i>best effort</i>	— sarrera-kontrola
— IntServ	— LEDBAT	— RSVP-TE

1. Buxadurak kudeatzeko teknikak, datagramen sailkapenetan oinarrituak.
2. Datagramaren sailkapena grabatzeko erabiltzen den IP goiburukoaren eremua.
3. Buxaduraz ohartarazteko IP goiburukoetan dagoen eremua.
4. Trafiko doitzea izendatzeko ingelesez erabiltzen den terminoetako bat.
5. *Classes of Service*, askotan *Traffic Management* bidez lortutako QoS era izendatzeko erabiltzen den akronimoa.
6. Datagramen sailkapenerako definitutako estandarra.
7. Sare baten sargunean trafikoa doitzeko erabiltzen den teknika.
9. Bideratzailetan ilarak kudeatzeko erabiltzen diren teknikak.
10. IP mailak ematen duen zerbitzu era (ez dago kalitatearen bermerik).
11. Iltaran sartzeko estrategia, heldu den azken datagrama baztertzen duena iltaran tokirik ez badago.
12. Iltaran sartzeko estrategiak, datagramak baztertze probabilitatea iltara betetzeko mailaren arabera erabiltzen dutenak.
13. Dispatching estrategia, interfaze batetik igortzeko hurrengo datagramak aukeratzean iltaren lehentasunaren arabera erabakitzen duena.
14. Sarean trafiko berri bat onartu baino lehen behar diren baliabideen erre-serba egiten duen QoS estrategia.
15. Onarpen-kontrola izendatzeko ingelesez erabiltzen den terminoa.
16. Onarpen-kontrolerako definitutako Internet estandarra.
17. Sarean dagoen trafikoak dinamikoki birbideratzeko teknikak, sarearen erabilera optimizatzeko eta buxadurak ekiditeko.
18. IP datagramak fluxuetan elkartzeko protokoloa, trafiko-ingeniaritzarako oso erabilia.
19. Trafiko-fluxuak era dinamikoko definitzeko eta eraldatzeko protokoloa, MPLSrekin batera erabilia.
20. TCPren alternatiba den garraio-mailako protokoloa, kongestioen kontrola arinago baten aukera eskaintzen duena.
21. Aplikazio- edo garraio-mailan erabil daitekeen algoritmoa, beste aplikazioek libre uzten duten banda-zabalera erabiltzea helburua duena.

10) Demagun herri txiki batekoa zarela eta ADSL zerbitzua eta kablea ez direla ailegatzen herriko etxe gehienetara. Udaletxea egoera konpontzeko urratsak egin nahian dabil, eta honako hiru aukera hauek planteatu dizkiote:

- a. Herriko udal FTTH sarea eraikitzea.
- b. Herriko udal wifi-sarea eraikitzea.
- c. Bizilagunek satellite bidezko konexioak erabiltzea.
- d. Herriko 4G udal sarea eraikitzea.

Aztertu lau aukera horiek, eta erantzun galdera hauei aukera bakoitzean:

- Zer zerbitzu eman daitezke aukera bakoitzean (Internet, telefonia, telebista)?
- Internet zerbitzuan, zein izango litzateke etxe bakoitzeko transmisio-ahalmena, gutxi gorabehera?
- Zenbateko inbertsioa ekarriko luke aukera bakoitzak (handia, tartekoa, txikia), eta nork egin beharko luke (udalak, bizilagunak, konpainiaren batek)?
- Zenbateko kostua ekarriko luke zerbitzua bizilagun batentzat kontratatzeak? (ADSL estandar batena, garestiagoa, merkeagoa).

Aukera horiei buruzko informazio gehiago lor dezakezu hemen:

- (a) Herriko FTTH sarea eraikitzea: ikusi <https://blog.cnmc.es/2014/09/26/como-montar-una-red-de-banda-ancha-municipal-en-varios-faciles-capitulos/>
- (b) Herriko wifi-sarea eraikitzea. Ikusi guifi.net
- (c) Satellite bidezko konexioak erabiltzea. Bilatu Interneten hornitzailei buruzko informazioa.
- (d) Herriko 4G sarea eraikitzea. Ikusi http://www.economiadigital.es/es/noticias/2013/08/abertis_cambia_aeropuertos_por_antenas_de_telefonia_44092.php

11) Lotu akronimo eta termino hauek dagozkien kontzeptuekin:

- | | | |
|------------------|--------------|-------------|
| — NGAN | — CNAF taula | — CDMA |
| — GSM | — Backhaul | — Incumbent |
| — xDSL | — TDMA | — WiMAX |
| — NEBA zerbitzua | — UMTS | — FDM |
| — LTE | — FTTx | |

1. Sarbide-sare baten telefonoguneen sarea.
2. Telefonikak beste operadoreei bere sarbide-sarea alokatzeko zerbitzua.
3. Zuntz optikoa erabiltzen duen sarbide-sarea izendatzeko akronimoa.
4. Oso banda zabaleko sarbide-sareak izendatzeko erabiltzen den akronimoa.
5. Espainiako estatuan eskaintzen diren uhinen bidezko zerbitzuen artean espektroa banatzen duen taula.
6. Merkatu batean nagusia den telekomunikazio-operadorea.

7. Zerbitzu telefoniko zaharrerako ezarritako kobrezko kablea erabiltzen duen banda zabaleko sarbide-sarea.
8. Espektroa txanden bidez banatzen duten teknikak.
9. Espektroa kodeen bidez banatzen duten teknikak.
10. Espektroa maiztasunen bidez banatzen duten teknikak.
11. 2G belaunaldiko teknologia nagusia.
12. 3G belaunaldiko teknologia nagusia.
13. 4G belaunaldiko estandarra.
14. WMAN sareetarako erabiltzen den izen komertziala.

Bibliografia

Liburu honetan ez dago multimedia-Interneti buruzko guztia. Interesa duen irakurleak liburu hauetan aurkitu dezake informazio gehiago, sakonagoa, eta zehatzagoa.

Liburu orokorrak

- Multimedia Networks: Protocols, Design and Applications. Hans W. Barz, Gregory A. Bassett. John Wiley & Sons, 2016.
TCP/IP sareetan multimedia-aplikazioak erabili ahal izateko behar direnak aztertzen dira liburu horretan: soinuaren eta bideoaren kodeketa, VoIP eta streamingerako protokoloak, eta abar.
- Computer Networking, 7th edition. J. F. Kurose, K.W. Ross. Pearson, 2017.
Sare informatikoak eta Internet orokorrean azaltzen duen liburu honetan kapitulu oso bat dago multimedia sarean aztertzeko.
- Computer Networks, 5th edition. A. S. Tanenbaum, D. J. Wetherall. Pearson, 2011.
Nahiko liburu entziklopedikoa da. Multimedia-sareari dagokionez, bideoaren eta audioaren kodeketa lantzen du, baita sarbide-sareetarako teknologiak ere.
- TCP/IP Protocol Suite 4th edition. B. A. Forouzan. McGraw-Hill Education, 2009.
Sare informatikoei buruzko beste liburu orokorretan bezala, sarbideetarako teknologiak azaltzen dira. Horretaz gain, badakar multicast teknologia aztertzeko kapitulu berezi bat, baita multimedia sarean orokorrean lantzeko beste bat ere.

Lehenengo kapituluak landutakoa zabaltzen duten liburuak:

- Video Over IP, Second Edition. Wes Simpson. Focal Press, 2008.
- Video Processing and Communications. Y. Wang, J. Ostermann, and Y.-Q. Zhang, Prentice Hall, 2001.
- The Zettabyte Era—Trends and Analysis. Cisco White Paper, 2017.

Bigarren kapituluaren landutakoa zabaltzen duten liburuak:

- The Technology of Video and Audio Streaming, Second Edition. David Austerberry. Focal Press, 2004.
- Mastering Internet Video: A Guide to Streaming and On-Demand Video. Damien Stolarz. Addison-Wesley, 2004.
- A Practical Guide to Content Delivery Networks, Second Edition. Gilbert Held. CRC Press, 2010.
- IP Multicast with Applications to IPTV and Mobile DVB-H. D. Minoli. John Wiley & Sons, 2008.

Hirugarren kapituluaren landutakoa zabaltzen duten liburuak:

- Understanding Voice Over IP Technology. Nicholas Wittenberg. Delmar Cengage Learning, 2009.
- VoIP and Unified Communications: Internet Telephony and the Future Voice Network. W. A. Flanagan. Wiley, 2012.

Laugarren kapituluaren landutakoa zabaltzen duten liburuak:

- Technical, Commercial and Regulatory Challenges of QoS. X. Xiao. Morgan Kaufmann, 2008.
- Tecnologías de Banda Ancha y Convergencia de redes. M. Álvarez-Campana, J. Berrocal, F. González, R. Pérez, I. Román, E. Vázquez. Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2009.
- Broadband Last Mile: Access Technologies for Multimedia Communications. N. Jayant. CRC Press, 2005.
- Implementation and Applications of DSL Technology. P. Golden, H. Dedieu, K. S. Jacobsen. CRC Press, 2007.

RFCak

Askotan agertzen dira RFCetarako erreferentziak liburuan zehar, agiri horiek baitira, askotan, informazio-iturririk onena TCP/IPri eta Interneti dagokiez. Hainbat tokitan daude eskura RFCak sarean. Hoberena zuzenean Internet Society-ko RFC Editor entitateak kudeatutako gunea erabiltzea da (www.rfc-editor.org). Webgune horretan badago aukera RFCak bilatzeko izenaren, zenbakiaren edo egilearen arabera, eta RFC bakoitzaren egoera (uneko estandarra, proposatutakoa, historikoa, eta abar) azaltzen du, baita zer beste RFCk eguneratu edo ordeztu duten bilatutakoa ere.

Indizea

1G 200
2,5G 200
2G 200
3G 17, 200
4G 17, 201
5G 201
802.11 203

A

A-legea 36
AAC – Advanced Audio Coding 46
abiarazlea 96
Active Optical Network – AON 197
AD-HOC sorta 163
adaptive bitrate streaming 83
adarra 169
ADPCM 45
ADSL 191
all-or-nothing 106
AMT – Automatic Multicast Tunneling 173
anycast 91
aplikazio banatua 18
AQM 179
ardatz sarea 193
ASIC – Application-Specific Integrated Circuit 186
ASM – Any Source Multicast 103
ATA – Analog Telephone Adapter 116
ATM – Asynchronous Transfer Mode 176
atzealdeko sarea 203, 206
atzerapena 24
atzerapenaren aldakortasuna 68, 120

Audio 39
aurrekarga 69
AVC/H.264 54, 56
AVI 55
azken zatia 189
azpistream 95

B

B-frame 54
backbone 193
backhaul 203
banatzailea 197
banda handiko ahotsa 45
banda zabalera 23
barruko multicast 103
Benetako streaming 75
Bereizmena 49
Berreraiketa 125
best effort 24
bezeroa 18
bideratzailea 16, 20
Bigarren kanala 123
bilaketa sarea 136
BitTorrent 96, 188
bizkarroia (leecher) 100
bootstrapping node 96
bpp – bits per pixel 50
bufferizazioa 29, 69, 121
business gateway 142
buxadura 20, 26

C

Cable Modem Termination System 194
Call Agent 143
CATV 193
Cb, Chroma blue 51
CDMA 195

CDN – Content Delivery Network 85
CELP – Code-Excited Linear Prediction 46
CIDR – Classless Inter-Domain Routing 163
Class Selector 176
Cloud Telephony 153
container 55
content provider 65
CoS – Classes of Service 174
Cr, Chroma red 51

D

DASH – Dynamic Adaptive Streaming over HTTP 84
datagrama 18
DCCP – Datagram Congestion Control Protocol 187
DCT bihurtzailea – Discrete Cosine Transform 51
dejitterazio-bufferra 121
Delta fotograma 53
dena-edo-ezer-ez 106
Denbora marka 126
denborazko informazioa 76
deskarga progresiboa 79
DHT – Distributed Hash Table 136
DiffServ 175
DiffServ domeinua 175
digitalizazioa 32
diskretizazioa 35
dispatching 180
DivX 55
DOCSIS 194
domeinuen arteko multicast 103
DoS – Denial of Service 168

DPCM 45
 DPI – Deep Packet Inspection 176
 DR – Designated Router 170
 DS Domain 175
 DS field 175
 DSL 190
 DSLAM 192

E

E.164 143
 E1 149
 ECN 187
 edukien hornitzailea 65
 edukiontzia 55
 Ekiga 136
 ENUM 143
 Erreproduzitailea 73
 erreproduzitzeko abiadura 22, 69
 Erreproduzitzen hasteko atzerapena 70
 error concealment 122
 Ethernet multicast helbideak 165
 Ethernet PON – EPON 197

F

Fair Queuing 180
 Fast Reroute 186
 FDM 195
 FEC – Forward Error Correction 122
 fenakistiskopio 48
 fiber node 193
 FIFO 174, 180
 FIFO – First Input First Out 174
 flickering 48
 fluxu kontrola 72
 FLV 55
 fotograma 48
 Fourier 40
 FPS – Frames Per Second 48

FR – Frame Relay 184
 frame 48
 FTTB 196
 FTTC 196
 FTTH 189, 196
 FTTN 196
 FTTP 196

G

G.114 120
 G.711 44, 117
 G.721 44
 G.722 45
 G.723 45
 G.726 45
 G.729 46, 117
 galera kontrola 72
 Gatekeeper 137
 Gateway 137
 gateway controller 141
 GEO – Geostationary Earth Orbit 205
 Gigabit PON – GPON 197
 Globalstar 205
 GLOP helbideak 163
 GPRS 200
 GSM 200

H

H.225 137
 H.235 137
 H.239 137
 H.245 137
 H.248/Megaco 143
 H.323 136
 H.450 137
 H.460 137
 hard state protocol 168
 hartzeko abiadura 22
 headend 193
 HEVC/H.265 54, 56
 Hosted Telephony 153
 HTML5 82

HTML5 Media Source Extensions 85
 HTTP 18, 20
 HTTP Dynamic Streaming for Flash 84
 HTTP Live Streaming 85
 HTTP streaming 78
 Hurrengo Belaunaldiko Sa-reak 190

I

I-frame 53
 IANA – Internet Assigned Numbers Authority 163
 IAX2 138
 ICE – Interactive Connectivity Establishment 140
 ICMPv6 167
 IEEE 802.16m 201
 IEEE 802.1Q 176
 IGMP – Internet Group Management Protocol 166
 IGMP snooping 168
 igortzeko abiadura 22
 ilaren kudeaketa 180
 IMT-Advanced 201
 incumbent 201
 inguratzaila 46
 inter-frame trinkoketa 52
 interdomain multicast 103
 Internet hornitzaile 16
 Internet TV 67
 intra-frame trinkoketa 50
 intradomain multicast 103
 IntServ – Integrated Services 181
 IP telefonia 30
 IPTV 66
 Iridium 205
 ISDN 149, 189
 ISM bandak 204
 ISP 16
 ITSP – Internet Telephony Service Provider 116
 iturburu nagusia 193
 Iturriko kodetzaileak 46

J

Jabber 137
 Jingle 137
 jitter 68
 jitter buffer 121
 join time 97
 Joost 100
 JPEG – Joint Photographic Ex-
 perts Group 50

K

Kazaa 136
 keinada 48
 Kodeketa 37
 Kodetzaila 73
 kolorearen sakonera 50
 kommutagailu 16
 Komunikazio bateratuak 149
 konbergentzia denbora 186
 kongestio kontrola 72
 kongestioa 20, 26
 kongruentea 171
 Kontrolerako helbide globa-
 lak 163
 Krominantzia 51
 krominantziaren azpilagin-
 keta 51
 kuantizazio ez uniforme 36
 kuantizazio uniforme 36
 kuantizazio-distortsioa 35
 kuantizazio-errorea 35
 Kuantizazioa 34

L

Laginketa 33
 laginketa-abiadura 33
 laginketa-teorema 34
 last mile 189
 Latentzia 119
 LDP – Label Distribution Pro-
 tocol 185
 leaky bucket 177
 LEDBAT 188
 LEO – Low-Earth Orbit 205
 linearen bereizketa 201
 load balancer 87

Local Multipoint Distribution
 Service – LMDS 202
 LPC – Linear Predictive Co-
 ding 46
 LTE Advanced 201
 Luma 51
 Luminantzia 51

M

M-ISIS 172
 MAC protokoloak 25
 Maiztasunen kodeketa 40
 makroblokea 54
 manifest file 73
 Matroska 55
 MBGP – Multiprotocol Border
 Gateway Protocol 171
 MBR streaming – Multi Bit
 Rate streaming 85
 MCU blokeak (Minimal Co-
 ding Unit block 54
 MDCT – Modified Discrete
 Cosine Transform 47
 media gateway 141
 media publisher 73
 Megaco 143
 MEO – Medium-Earth Or-
 bit 205
 metafitxategia 73
 Metro Ethernet 199
 MFIB – Multicast Forwarding
 Information Base 168
 MGCP – Media Gateway Con-
 trol Protocol 143
 MLD – Multicast Listener Dis-
 covery 166
 MP3 – MPEG Audio Layer
 3 46
 MPEG – Motion Picture Ex-
 perts Group 55
 MPEG-4 55
 MPEG-H 55.
 MPLS – MultiProtocol Label
 Switching 184
 MRIB – Multicast Routing In-
 formation Base 171

MSAN 192
 MT-OSPF 172
 Multicast bidezko strea-
 ming 104
 multicast birbidaltze-
 taula 168
 multicast gap 196
 Multicast helbide pribat-
 uak 164
 Multicast helbidea 162
 Multicast Routing Next Hop
 Table 168
 Multicast streaming 100
 multicast zuhaitza 166
 Multikonferentzia 118
 Multiple Description Coding
 (MDC) 95

N

Nahasketa 124
 NAPTR 144
 NAT 138
 native multicast 102
 Next Generation Network 189
 NGA 190
 NGAN 190
 NGN – Next Generation Net-
 work 189

O

O3B 205
 Onarpen-kontrola 181
 online TV 67
 Optical Distribution Net-
 work 197
 Optical Line Termination –
 OLT 197
 Optical Network Terminal –
 ONT 197
 Optical Network Unit –
 ONU 197
 Opus 117
 OTT – Over The Top 67
 overlay network 102, 136

P

P-frame 53
 P2P 136
 P2P lainoak 96
 P2P Streaming 93
 P2P zuhaitzak 95
 packet delay variation 68
 paritate bertikala 123
 Pasabidea 129
 Passive Optical Network – PON 197
 pay-per-view 64
 PBX 149
 PCM 44
 PCP – Priority Code Point 176
 peer-to-peer 93
 PHB 175
 PI kontrola 180
 PIM – Protocol Independent Multicast 170
 pixel 49
 Plateau 48
 PoE – Power over Ethernet 150
 Point de Branchement Optique – PBO 197
 policing 177, 179
 PPLive 100
 PRISM 136
 progressive downloading 75, 82
 protokolo biguna 167
 protokolo gogorra 168
 pseudo-streaming 75, 79
 Psikoakustika 42

Q

QoS – Quality of Service 173
 QoS konfiantza muga 175
 QoS trust boundary 175
 queue management 179

R

Random Early Drop 179
 rate limiting 177
 real streaming 75

RED – Random Early Detection 179
 RED-PD 180
 REM 180
 RGB – Red Green Blue 49
 RJ-11 116
 Roget 48
 Round Robin 180
 router 16
 RPF – Reverse Path Forwarding 171
 RRED 180
 RSVP – ReSerVation Protocol 181
 RSVP-TE – RSVP-Traffic Engineering 186
 RTCP – RTP Control Protocol 127
 RTMP 75
 RTP 116, 126
 RTP – Real time Transport Protocol 76
 RTSP – Real Time Streaming Protocol 76
 run-length encoding 52

S

sailkapena 175
 sarbide-sarea 17
 Sare lokaleko kontrolerako helbideak 163
 sare-abiadura 23
 sare-aplikazioa 18
 sare-atzerapena 25
 Sare-jokoa 31
 SBC – Session Border Controller 152
 SBC, Sub Band Coding 45
 SCCP – Skinny Call Control Protocol 138
 SCCP – Stream Control Transmission Protocol 142
 scheduling 179
 seed 96
 segiden kodeketa 52

seinale analogiko 32
 sekuentzia-zenbakia 76, 126
 set-top-box 194
 SFB 180
 Short Message Service – SMS 200
 signaling gateway 141
 SIGTRAN 142
 SILK 117
 SIP – Session Initiation Protocol 128
 SIP bezeroa 129
 SIP erregistratzailea 129
 SIP helbidea 131
 SIP proxia 129
 SIP trunk 152
 Skype 134
 smart TV 66
 Smooth Streaming 85
 soft state protocol 167
 softphone 116
 softswitch 143
 source coders 44
 spectral envelope 46
 SPF – Short Path First 182
 splitter 191, 197
 SS7 114
 SSM – Source Specific Multicast 103
 SSM helbideak 163
 stateful 77
 streaming 28
 Streaming dinamikoa 83
 Streaming zerbitzaria 73
 STUN 138, 140
 superkidea 136
 supernodo 96
 swarming 96
 switch 16

T

T1 149
 Tail Drop 174
 TCP/IP protokoloak 18
 TDM 195

- Time Division Multiple Access – TDMA 198
- timestamp 76
- tit-for-tat 100
- token bucket 177
- token pertza 177
- torpedo 197
- tracker 96
- Traffic Class 175
- Traffic Management 174, 179, 181, 183, 186
- traffic metering 177
- traffic shaping 177, 179
- trafiko malgua 30, 72
- trafiko zurruna 72
- Trafiko-ingeniariatza 182
- trama 19
- transcoding 141
- trinkoketa 37
- Triple Play 67
- trunk 149
- trunking gateway 142
- TURN 138, 140
- U**
- UCaaS – Unified Communications as a Service 153
- Uhin kodetzaileak 44
- UMTS 201
- unicast 101
- Unified Communications 149
- URI – Uniform Resource Identifier 131
- V**
- Very Small Aperture Terminal – VSAT 205
- VOB 55
- Vocoder 46
- VoD, Video on Demand 64
- VoIP 30, 114
- VoIP peering 148
- VP8 55
- VP9 55
- VPN – Virtual Private Network 186
- W**
- W3C – World Wide Web Consortium) 138
- walled garden 67
- waveform coders 44
- Wavelength Division Multiplexing – WDM 198
- WebM 55
- WebRTC 137
- WFQ – Weighted Fair Queuing 180
- WiMAX 202
- WiMax2 201
- wireless broadband 202
- Wireless Local Loop – WLL 201
- Wireless Mesh Network 203
- WirelessMAN-Advanced 201
- wrapper format 55
- X**
- X.25 184
- XML 137
- XMPP – Extensible Messaging and Presence Protocol 137
- Z**
- zama banatzailea – load balancer 87
- Zattoo 99
- zerbitzaria 18
- Zulatutako pertza 178
- zuntz-nodoa 193
- μ**
- μ-legea 36
- μTP 188