Aut-75.195 Kuvatekniikan harjoitustyöt
Multimedialiikenne lähiverkoissa

Markus Peuhkuri
37681E TiN

12. toukokuuta 1997

Käytetyt lyhenteet ja termit

100BaseT ANSI/IEEE 802.3 kierretylle parikaapelille, 100 Mbit/s versio [ANS96].

100VG-AnyLAN IEEE:n määrittelemä 100 Mbit/s-verkko, jossa liikenteelle on mahdollista asettaa eri prioriteetteja [Net95a].

10BaseT ANSI/IEEE 802.3 kierretylle parikaapelille [ANS96].

4B5B Koodaustapa, jossa neljä databittiä koodataan siirtoa varten viideksi bitiksi. Käytetyt bittiyhdistelmät on valittu siten, että signaalin spektri pysyy haluttuna ja tahdistus säilyy. Ylimääräisiä koodeja voidaan käyttää ohjaukseen.

AAL1 ATM Sovituskerros 1. Vakiobiitinopeuksiselle liikenteelle.

AAL3/4 ATM Sovituskerros 3/4. Vaihtelevanopeuksiselle yhteydelliselle sekä yhteydettömälle ei-reaaliaikaliikenteelle.

AAL5 ATM Sovituskerros 5. Vaihtelevanopeuksiselle yhteydelliselle sekä yhteydettömälle ei-reaaliaikaliikenteelle; yksinkertaisempi kuin AAL3/4.

ABR Avaiable Bit Rate. Liikenteenhallintamenetelmä, jossa verkko ilmoittaa päätelaitteelle, paljonko se saa lähettää minäkin hetkenä.

ACELP Algebraic Code-Excited Linear Prediction; algebraallinenkoodiherätteinen lineaari prediktio. Puheenkoodausmenetelmä.

ANSI American National Standards Institute. Standardisoimisjärjestö.

Apache Vapaasti levitettävä HTTP-palvelinohjelmisto.[1]

ARPA Advanced Research Projects Agency. Yhdysvaltain puolustusministeriön alainen tutkimuslaitos.

ASCII 7-bittinen merkistö kirjainten A-Z, numeroiden ja muutamien erikoismerkkien esittämiseen. Yleisesti käytettävät merkistöt ovat tämän laajennuksia [ISO91].

ATM Tahdistamaton siirtomuoto (Asynchronous Transfer Mode).

AU Access Unit. Korvaa keskittimen Iso-Ethernet-verkossa.

AUI Liitäntä trancieverin ja verkkokortin välillä [ANS96].

BER Bit Error Rate. Bittivirhesuhde.

[1] http://www.apache.org

BUS Broadcast and Unknown Server. ATM:n lähiverkkoemulaation osa [Com95b].

CBR Constant Bit Rate. Vakiobittinopeus.

CD Compact Disc. Laserlevy, johon voi tallentaa noin 640 megatavua tietoa tai 74 minuuttia musiikkia.

CLR Cell Loss Rate. Soluhukkasuhde.

CSMA/CD Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection. Väylänvaraus protokolla, jota mm. IEEE 802 käyttää.

Ethernet Käytetään yleisnimityksenä IEEE 802.3 -pohjaisille verkoille. Alunperin Digitalin, Intelin ja Xeroxin kehittämä standardi, jota hiukan muuttamalla IEEE 802.3 -standardi on luotu. Xeroxin rekisteröimä tavaramerkki.

FDDI Fiber Distributed Data Interchange. ANSI:n komitea X3T9.5:n kehittämä kahteen kuiturenkaaseen perustuva 100 Mbit/s nopeudella toimiva verkko.

GSM Global System for Mobile communications. Alunperin eurooppalainen digitaalinen matkapuhelinstandardi.

HTTP HyperText Transfer Protocol. Standardi (hyperteksti)dokumenttien siirtämiseen [BLFF96, FGM+97].

HUB Parikaapelikeskitin / ristikytkentä.

IEEE The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. Yhdysvaltalainen elektroniikka-alan järjestö, joka mm. standardisoi.[2]

IEEE 802.3 Kilpavarausväylä törmäksen tunnistuksella [ANS96].

IETF Internet Engineerin Task Force. Vastaa Internetin teknologian kehityksestä ja standardisoinnista.[3]

Internet Protocol Yleisimmin internetissä käytetty verkkokerroksen protokolla [Pos81b, MP85, Mog84a, Mog84b, Pos81a, Dee89].

IP kts. Internet Protocol.

IPX Internet Packet Exchange. Muunmuassa NOVELL NETWARE:ssa käytettävä protokolla.

ISDN Integrated Services Digital Network. Digitaalinen monipalveluverkko.

ISO International Standards Organization. Kansainvälinen standardoimisorganisaatio.[4]

Iso-Ethernet Ethernetin versio, jossa isokronisen liikenteen välittäminen on mahdollista [Net95b].

[2] http://www.ieee.org
[3] http://www.ietf.org
[4] http://www.iso.ch/

isokroninen engl. isocronous. Liikennekapasiteetti on jaettu samansuuruisiin, samatahtisiin osiin.

ITU International Telecommunications Union. Yhdistyneiden kansakuntien alainen tietoliikenteen järjestö, joka mm. vastaa tietoliikenteen standardisoinnista.[5]

ITU-R ITU:n radioliikenneosa.

ITU-T ITU:n teleliikenneosa. Entiseltä lyhenteeltä CCITT.

kbit/s Siirtonopeuden yksikkö. Yleesä 1000 bittiä sekunnissa mutta voi olla myös 1024 bittiä sekunnissa.

LANE Local Area Network Emulation. Perinteisen lähiverkon emuloiminen ATM-verkossa [Com95b].

LEC Lan Emulation Client. Asiakaskone ATM:n lähiverkkoemulaatiossa [Com95b].

LECS Lan Emulation Configuration Server. ATM:n lähiverkkoemulaation osa [Com95b].

LES Lan Emulation Server. ATM:n lähiverkkoemulaation osa [Com95b].

LUNI Lan Emulation User-Network Interface: liittymärajapinta asiakkaan (LEC) ja verkon välillä [Com95b].

M-JPEG Motion JPEG. Videokuvan koodausmenetelmä, missä yksittäiset videon ruudut tallennetaan JPEG-muodossa. Ei standardi vaan valmistajakohtaisia ratkaisuja.

MAC Media Access Control. Lähiverkoissa OSI:n siirtoyhteyskerrokselle kuuluva osa, joka määrittelee verkkoon pääsyn (vuoronvarauksen).

Macintosh Apple Computer:n valmistama tietokone ja käyttöjärjestelmä.[6]

Manchester Koodaustapa, jossa jokaista databittiä kohden tulee yksi tai kaksi tilasiirtymää, jotta tahdistus säilyy. Ylimääräisiä koodeja voidaan käyttää ohjaukseen.

MAU Media Access Unit. Verkkokortin fyysinen liitäntä verkkoon, joka on nykyään yleensä integroitu verkkokortille, mutta on 10Base5:ssä erillinen osa.

Mbit/s Siirtonopeuden yksikkö. Yleesä $1\ 000\ 000 = 1000 \times 1000$ bittiä sekunnissa mutta voi olla myös $1\ 048\ 576 = 1024 \times 1024$ bittiä sekunnissa.

MPEG Moving Picture Experts Group. Videokuvan kompressointimenetelmä.

MPEG2 Versio MPEG:stä, joka on suunniteltu bittinopeuksille 4 Mbit/s alkaen. [ISO96]

Novell Netware Verkkokäyttöjärjestelmä.[7]

[5] http://www.itu.ch/
[6] http://www.apple.com/
[7] http://www.novell.com/

ohutethernet Slanginimitys 10Base2:lle.

PC Tässä esityksessä käytetty Intel 8086 -yhteensopivaa prosessoria käyttävästä, MS-DOS -käyttöjärjestelmän ajamiseen kykenevästä koneesta.

Q.931 ISDN-verkossa käytetty merkinantoprotokolla [Q.993].

RSVP Resource ReSerVation Protocol. Resurssinvarausprotokolla IP-verkkoihin.

TCP kts. Transmission Control Protocol.

TCP/IP Käytetään yleisnimikkeenä tarkoitettaessa IP-protokollan toimivien protokollien perhettä.

Token Bus kts. IEEE 802.4.

Token Ring kts. IEEE 802.5.

UA User Access. Iso-Ethernet-verkon osa.

UBR Unspecified Bit Rate. Määrittelemättömän bittinopeuden palvelu ATM-verkoissa.

UBR+ Kuten UBR, mutta yhteyksille voidaan varata osa kaistanleveydestö taattuna palveluna.

VC1015 US Federal Standard 1015 vokoodaus. Puheenkoodausmenetelmä 2,4 kbit/s nopeudelle.

VHS Matsushita Corporationin kehittämä videonauhuristandardi.

Sisältö

Luku 1

Johdanto

Multimediasta on tullut eroittamaton osa tietoliikennettä. Aluksi multimedia oli kokoelma levykkeitä, joissa oli graafisesti vaatimatonta sisältöä. CD-tietolevyn tulo mullisti sisällöntuoton: kerrankin on tarjolla lähes rajoittamattomasti tilaa sisällölle – tosin vanha totuus ”ohjelmistot laajenevat käyttämään kaiken käytettävissä olevan tilan” piti paikkansa. Eräät sovellusohjelmat vievät useita CD-levyjä kaikkine kuva-arkistoineen.

CD-levyllä on kuitenkin sama ongelma kuin painetulla julkaisulla: se vastaa sisällöltään sitä hetkeä kun se valmistettiin. Seuraava tavoite onkin siirtää multimediaa sujuvasti verkkoja pitkin. Tämä asettaa verkoille vaatimuksia, jotka osittain poikkeavat perinteisille tietokoneverkoille asetetuista vaatimuksista.

Tämän työn tarkoitus on selvittää eri lähiverkkojen mahdollisuuksia multimedian siirtoon. Mitkä edellytykset ovat milläkin verkolla ja millä niitä voidaan parantaa – jos millän.

Ensin käydään läpi multimedian siirron edellytyksiä ja vaatimuksia, tämän jälkeen luodaan katsaus nykyisin käytössä oleviin lähiverkkoihin ja arvioidaan niiden soveltuvuutta multimedian siirtoon.

Luku 2

Palvelun laatu

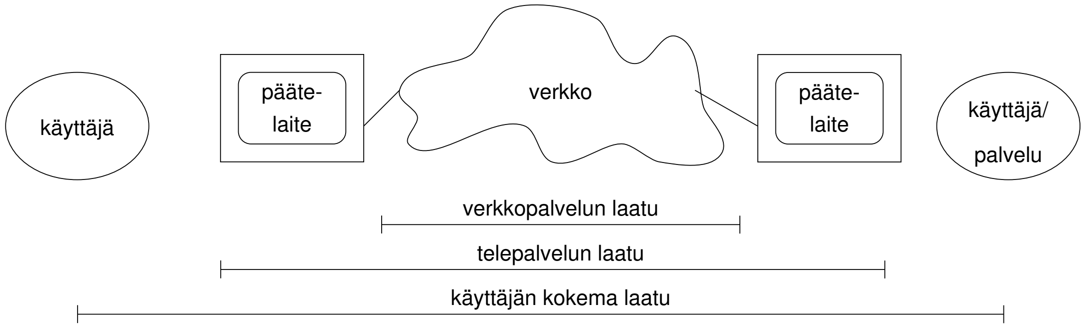
Milloin verkko sopii multimedian siirtoon? Tähän on vaikea vetää rajaa, sillä multimediankin määritelmä on epäselvä. Tekniikan sanastokeskuksen tietohuollon sanasto määrittelee multimedian olevan

> *. . . aineisto, joka koostuu kahdesta tai useammasta viestintyypistä siten, ettei niistä yksikään ole määriteltävissä ensisijaiseksi.*
> *Multimediaan voi kuulua esimerkiksi tekstiä, grafiikkaa, kuvia ja ääntä.*

Mikäli näistä valitaan kaksi pienillä resurssivaatimuksilla olevaa mediaa: teksti ja grafiikka, voidaan selvitä hyvinkin pienellä siirtonopeudella. Tekstin siiroon useimpien ihmisen lukunopeudella riittää reilut 100 bittiä sekunnissa ja yksinkertainen viivagrafiikka ei sekään vie paljoa enempää. Teksti voidaan edellen syntetisoida puheeksi; samoin midi-muotoinen musiikki vie hyvin vähän siirtokapasiteettia.

Taulukossa 2.1 on esitetty eräiden viestintyyppien tarvitsemaa kaistanleveyttä ja palvelun laatua erilaisilla koodaustavoilla.

Käyttäjän kokema laatu muodostuu kuvassa 2.1 esitetyn verkko- ja telepalvelun lisäksi käyttäjän aisteista, kokemuksista ja odotuksista sekä ympäristöstä. Syrjäseuduilla 12 tuuman mustavalkoista matkatelevisiota katsellut huononäköinen vanhus voi olla hyvinkin tyytyväinen 15 tuuman tietokonenäytöllä näkyvään ISDN-yhteyden yli siirret-



Kuva 2.1: Laadun viitemalli [I.393].

Taulukko 2.1: Eräiden multimediapalvelujen vaatimia ATM-siirtoverkon ominaisuuksia [I.293].

palvelu	siirtonopeus [bit/s]	viive [ms]	Δviive [ms]	BER	CLR
teksti/ASCII	100				
audio/VC1015	2400				
audio/ACELP	8k				
audio/GSM	9,6k	25	1	10^{-5}	10^{-3}
audio/puhelin	64k	25	1	10^{-5}	10^{-3}
H.261 ISDN vn	128k	250	1	$1,2 \times 10^{-6}$	10^{-7}
H.261 6B vn	384k	250	1	$1,2 \times 10^{-6}$	10^{-7}
H.261 30B vn	1,9M	250	1	$1,2 \times 10^{-6}$	10^{-7}
audio/HIFI MPEG2	128k	1000	1	10^{-5}	10^{-7}
audio/HIFI CD	1,4M	1000	1	10^{-5}	10^{-7}
video/MPEG2 (VHS)	1,5M	500	0,5	$5,4 \times 10^{-7}$	10^{-8}
video/MPEG2 (YLE)	4-6M	500	0,5	$5,4 \times 10^{-7}$	10^{-8}
video/MPEG2 (studio)	20-50M	500	0,5	$1,2 \times 10^{-7}$	10^{-9}
video/M-JPEG	10-20M				
video/ITU-R (studio)	270M				

Taulukko 2.2: ITU:n asteikko subjektiiviseen laatuvirheiden arvioimiseen [H$^+$93].

5	huomaamaton (imperceptible)
4	näkyvä mutta ei häiritsevä (perceptible but not annoying)
3	hieman häiritsevä (slightly annoying)
2	häiritsevä (annoying)
1	hyvin häiritsevä (very annoying)

tyyn videokuvaan, jota taas kotiteatterin omistavava videofriikki ei kokeilua pitempään katso — paitsi jos se on ainoa mahdollisuus katsoa harvinaista kulttielokuvaa.

Digitaalisessa siirrossa kuvan laatu heikkenee eri tavoin kuin perinteisessä analogisessa siirrossa. Analogisen televisiosignaalin heikentyessä kuvan kontrasti heikkenee, värit katoavat ja virhettä (lumisadetta) tulee tasaisesti ympäri ruutua. Analogisen äänisignaalin osalta mukaan tulee ylimääräisiä suhinoita ja ensin korkeita taajuuksia katoaa. Digitaaliseen mediaan tulevat häiriöt ilmenevät käyttäjälle terävimpinä: kadonnut tai vaurioitunut MPEG-lohko erottuu kuvasta terävästi nelikulmaisena häiriönä; ääneen tulee teräviä napsauksia ja hiljaisuuksia mikäli tietoa katoaa [Kar97].

Subjektiivista laatua on usein vaikea määrittää, etenkin absoluuttiselle asteikolle, riippuen juuri eri henkilöiden erilaisista odotuksista. ITU on määritelly viisitasoisen asteikon, joka on esitetty taulukossa 2.2. Palvelukokonaisuutta arvioidaan taulukossa 2.3 esitetyllä matriisilla.

Taulukko 2.3: Laatukriteerimatriisi [E.492].

	nopeus	tehokkuus	tarkkuus
yhteyden luominen			
käyttäjän tiedonsiirto			
yhteyden purkaminen			

Luku 3

Multimediatiedonsiirto

Tiedonsiirtoverkon ominaisuuksia voidaan ajatella vakiotilavuisena tetraedrina, jonka kärjissä ovat pieni viive, pieni viiveen vaihtelu, tiedonsiirtohäviöt ja siirtokapasiteetin hyödyntämisaste. Mikäli jotain ominaisuutta parannetaan, esimerkiksi lisätään hyödyntämisastetta, muut ominaisuudet huononevat.

3.1 Reaaliaikaliikenne

Reaaliaikaliikenne voidaan jakaa kahteen luokkaan: vuorovaikutteiseen ja yksisuuntaiseen. Esimerkki vuorovaikutteisesta reaaliaikapalvelusta on videoneuvottelu: jotta kommunikaatio olisi jouhevaa, siirrossa ei saa olla liikaa viivettä, jo puolen sekunnin viive edestakaisessa kommunikaatiossa häiritsee. Yksisuuntaisessa palvelussa absoluuttisella viivellä ei ole niin suurta merkitytä.

Sekä ääni että kuva ovat herkkiä viiveen vaihtelulle. Koska vuorovaikutteisessa kommunikoinnissa viive tulee pitää pienenä, ei voida käyttää puskureita tasaamaan viiveen vaihteluja.

3.1.1 Video

Videokuva sisältää paljon informaatiota ja ellei sitä kompressoida, se vie siten paljon siirtokaistaa kuten taulukosta 2.1 (s. 3) nähdään.

Videokuvassa on kuitenkin sekä ajallista että tilakohtaista redundanssia. Tilakohtaisen redundanssin poistoon sopivat samat menetelmät kuin still-kuvien kompressointiin. Ihmisen näkö eroittaa heikommin yksityiskohtia liikkuvasta kuvasta, joten videokuvan kompressoinnissa voidaan tyytyä pienempään laatutasoon kuin painettavaksi tarkoitetun kuvan kompressoinnissa.

Ajalinen redundanssi taas muodostuu peräkkäisten kuvien samankaltaisuudesta. Yleensä kuva-alalla olevat kohteet pysyvät paikallaan tai liikkuvat muotonsa säilyttäen. Tämähän perustuen voidaan kuvan osille laskea liikevektoreita, jolloin vältytään itse kuvainformaation siirtämiseltä. Tämän laskenta vaatii paljon tehoa eli vaikka esimerkiksi tehokas PC pystyy purkamaan MPEG-videota reaaliajassa, ei laadukas pakkaaminen onnistu läheskään reaaliaikaisesti.

Johtuen suuresta kaistanleveyden käytöstä, videokuvan siirto on todennäköinen ehdokas kärsimään pakettien tai solujen häviöistä. Siirron kyky sietää virheitä on hyvin paljon riippuvainen käytetystä koodausmenetelmästä. Tutkimuksessa [Kar97] todettiin ATM-verkossa siirretyn M-JPEG videokuvan laadun laskevan arvosta 4, mikä oli virheettömän kuvansiirron keskimääräinen laatuarvio, soluhukasta 5×10^{-5} alkaen lineaarisesti soluhukan logaritmiin nähden. Soluhukan todennäköisyydellä 10^{-4} laaduksi arvioitiin 2. Tässä soluhukka oli satunnaisesti jakautunut.

Tutkimuksen mielenkiintoinen toteamus oli, että koettu laatu riippuu häiriön laadusta: mikäli sama määrä soluja (50) samalla todennäköisyydellä (2×10^{-5}) katoaa, koetaan parempi laatu (yli 3), jos nämä solut ovat peräkkäiset kuin jos nämä olisivat satunnaisesti jakautuneet 5000 solun joukkoon (0,1 %); laatu jälkimmäisessä tapauksessa oli hiukan yli 1 eli virheet olivat ”hyvin häiritseviä”. Keskimääräinen kehyksen koko oli 10 solua ja yhden solun katoaminen aiheuttaa koko ja mahdollisesti seuraavankin kehyksen hylkäämisen.

3.1.2 Audio

Audiosignaali jaetaan käyttötarkoituksen yleensä kahteen luokkaan: puheeseen ja audioon. Puhe rajataan siirtoa varten yleensä 300 ja 3500 Hz:n väliseen taajuuskaistaan. Lähes kaikki puheen ymmärtämisen ja puhujan tunnistamisen kannalta merkittävä informaatio sisältyy tähän taajuuskaistaan.

Digitaaliseen puheen koodaukseen käytetyistä menetelmistä yleisin on puhelinverkossa käytettävä ITU-T:n määrittelemä G.711, jossa koodataan 8000 kertaa sekunnissa puhesignaali kahdeksalla bitillä käyttäen logaritmista asteikkoa [G.788]. Logaritmisen asteikon avulla voidaan kahdeksalla bitillä lähes sama tarkkuus lineaarisella koodauksella 12 bitillä. Logaritmiselle asteikollle on kaksi määritelmää, A- ja μ-laki, mikä tulee huomoida tarkassa (de)koodauksessa. Eri puheenkoodausmenetelmiä kehitettäessä yleensä tätä käytetään referenssinä, johon koodausmenetelmän laatua verrataan.

Puhetta voidaan kompressoida käyttämällä sekä ennustusta että adaptiivista koodausta. Puheessa on aikariippuvaa korrelaatiota, joten peräkkäisistä näytteitä voidaan laskea erotus. Samoin puheessa runsaasti olevia hiljaisia hetkiä voidaan samalla menetelmällä koodata tehokkaasti. Tehokkaasti kompressoivien algoritmien tehokkuus vaihtelee usein käytetyn kielen ja puhujan sukupuolen mukaan [Hæg96].

Audion koodamiseen tavoitteena on tallentaa koko ihmisen kuulema taajuuskaista 20 – 20 000 Hz. CD-levylle ääni tallennetaan lineaarisella 16-bittisellä koodauksella 44 100 Hz:n taajuudella: jokaisessa 5,5 kertaa tiheämmin otetussa näytteessä on 256 kertaa enemmän tasoja [Kar97].

Täyden CD-kaistan käyttö äänen tallentamiseen on useimmissa tapauksissa turhaa. Ihmisen korvan herkkyys vaihtelee eri taajuuksilla ja lisäksi voimakas ääni yhdellä taajudella peittää hiljaisemmat äänet lähitaajuuksilla. Huomioimalla nämä tekijät voidaan bittinopeutta vähentää huomattavasti; useat paikallisradiot käyttävät ohjelman siirtoon 128 kbit/s nopeutta (MPEG2-audiokoodaus).

3.2 Tietojen siirto

Tiedon siirrossa näyttää standardiksi vakiintuvan alunperin Yhdysvaltain puolustusministeriön ARPA-projektissa 70- ja 80-luvuilla kehitetty IP-protokolla ja siihen liittyvät ylemmän tason protokollat, tärkeimpänä siirtokerroksen protokollana TCP. Yksittäisissä lähiverkoissa käytetään edelleen yleisesti muitakin verkkoprotokollia, esimerkiksi IPX-protokollaa.

Nykyään TCP/IP-protokollien kehittämisestä ja standardisoinnista vastaan Internet Engineering Task Force (IETF). IP-protokollasta ollaan kehittämässä uutta versiota, joka tuo helpotusta mm. Internetin nopean kasvun aiheuttamaan osoitepulaan ja samoin sopii paremmin nopeisiin verkkoihin [DH96].

Vaikka tavumääräisesti suurin osa verkossa tapahtuvasta liikenteestä tulee muodostumaan edellä mainituista reaaliaikaliikenteestä, on myöskin virheettömän datasiirto merkitys suuri. Videokuvaan siirron yhteydessä syntyvä virhe räpsähtää ehkä hetken katselijan ruudulla mutta katoaa sen jälkeen. Ohjelmakoodille tai ylipäänsä mille tahansa tiedostolle, esimerkiksi tekstille, virhe aiheuttaa jopa käyttöarvon katoamisen. Verkon kannalta on tärkeää, että sovellus sopeutuu käytössä olevaan siirtokapasiteettiin, joka voi muuttua huomattavasti nopeasti.

3.2.1 TCP-siirto

TCP-protokolla käyttää liukuvan ikkunan protokollaa: vastaanottaja ilmoittaa paljonko lähettävä osapuoli voi lähettää ilman kuittausta [Pos81c]. Ikkunan koko on tärkeää siirron tehokkuuden kannalta. Ikkunan koko ei voi olla suurempi kuin vastaanottajalla on puskuritilaa datan varastoimiseen. Alkuperäisen määritelmän maksimi ikkunan koko (65 535 tavua) on osottautunut monissa sovelluksissa liian pieneksi, esimerkiksi maksimisiirtonopeus 5 000 kilometrin yhteysvälillä on 10 Mbit/s jo pelkästään valon fyysisen etenemisnopeuden vuoksi — verkkoelementtien aiheuttamat viiveet rajoittavat nopeutta edelleen [BBJ92].

Yhteyttä luotaessa voidaan neuvotella optiolla ikkunan skaalausparametrista N, jolloin ikkunan koko on $2^N \times window$. Koska lisäys on melko uusi — vuodelta 1992 — skaalaus tulee käyttöön yhteydellä vain mikäli molemmat ovat asetteneet tämän option yhteyttä luotaessa [BBJ92]. Muita optioilla neuvoteltavia ominaisuuksia ovat maksimi segmentin koko, jonka lähettäjä on valmis hyväksymään sekä aikaleimaoptio, jota voidaan käyttää siirtoviiveen määrittämiseen. Se toimii myöskin sarjanumeron jatkeena nopeilla ja viiveisillä yhteyksillä suojaten laskurin pyörähtämiseltä.

3.2.1.1 Datan vastaanotto

Vastaanottavassa koneessa linkkikerroksen rutiini tunnistaa verkkokerroksen protokollan IP:ksi ja siirtää kehyksen sisällön tämän protokollan käsiteltäväksi, joka tarkistaa omalta osaltaan vastaanotetun datan oikeellisuuden ja että se on osoitettu oikeaan järjestelmään. Tämän jälkeen TCP-kerros tarkistaa, että tieto on ehjää ja tullut oikeilla tiedoilla.

Kuittaukset vastaanotetuista segmenteistä palaavat takaisin lähetettävien datapakettien mukana, kun siirto on kaksisuuntaista. Yksisuuntaisessa siirrossa, vastaanottaja lähettää pelkkiä kuittaussähkeitä takaisin.

3.2.1.2 Datan lähettäminen

Uusimman suosituksen [Ste97] mukaan lähettävän koneen täytyy ylläpitää vastaanottajan ikkunan lisäksi myös ruuhkaikkunaa, joka otetaan käyttöön silloin kun yhteydeltä katoaa segmentti. Segmenttien vaurioituminen on nykyisissä verkoissa hyvin epätodennäköistä ($\ll 1\%$), joten ruuhkatilanteen aiheuttama paketin hylkääminen on todennäköisin syy segmentin katoamiseen.

Ruuhkatilanteessa lähettäjän tulee sopeuttaa lähetysnopeutensa verkon siirtokykyä vastaavaksi: mikäli segmenteistä katoaa yksi prosentti, suorituskyky tippuu 14 prosentilla [Jac88].

Luku 4

Lähiverkot

Lähiverkot ovat yleistyneet 80-luvun loppupuolelta alkaen. Erä syy on ollut mahdollisuus tiedostojen yhteiseen käsittelyn: verkkopalvelimelle tallennettua tiedostoa ovat voineet kaikki oikeutetut käsitellä. Sähköposti on nopeuttanut monia rutiineja. Yhä enemmän tietoa tulee käsiteltäväksi lähiverkkojen kautta ja odotettavissa on perinteisen puhelinjärjestelmän integroituminen lähiverkkoon: tarjoaahan graafinen näyttö paremman käytettävyyden kuin hieroglysiset symbolit.

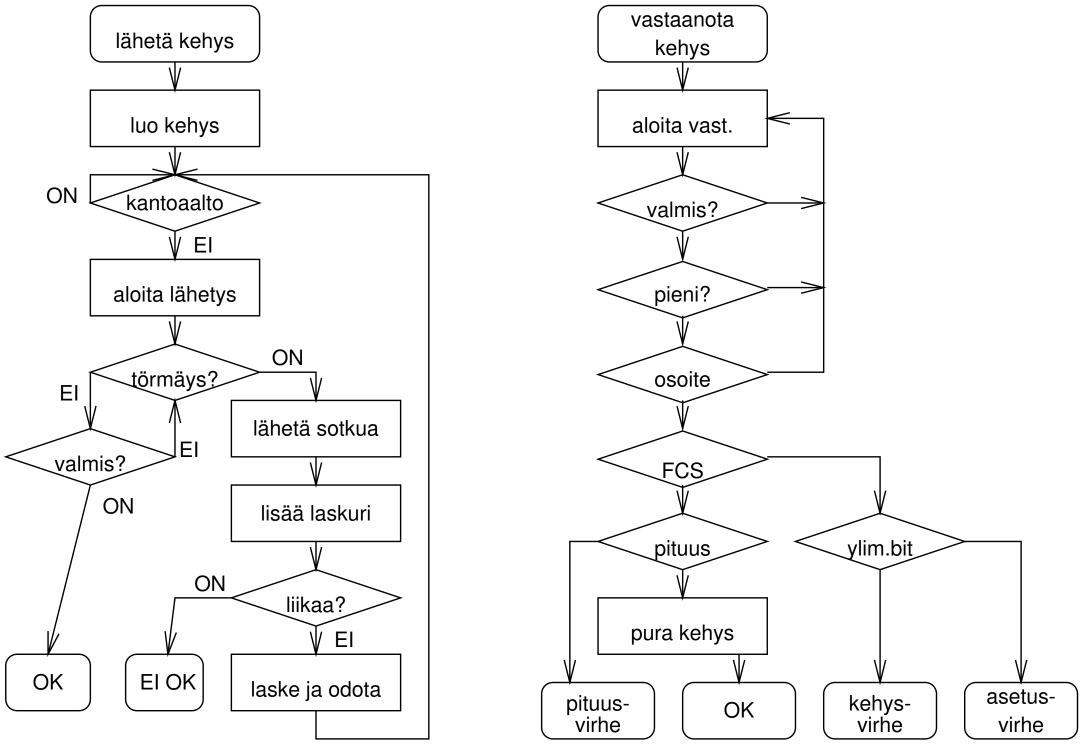
Lähiverkkojen liittäminen toisiinsa ja Internettiin tulee tarjoamaan uusia palveluja. Siirretyn tiedon määrä ei ainankaan tule vähenemään.

4.1 Ethernet

Ethernet eli IEEE 802.3 eli ISO 8802 on todennäköisesti laajimmin käytetty lähiverkkotekniikka. Ethernetin ensimmäinen versio ja määrittely on vuodelta 1980 [eth80]. Järjestelmän topologia on jaettu väylä ja vuoronvarausmenetelmänä on kilpavaraus kantoaallon tunnistuksella ja törmäyksen tunnistuksella (CSMA/CD, kuva 4.1).

Usein esitetään väite, että Ethernetin maksimisiirtokyky on 37 % nimelliskapasiteetista. Tämä on kuitenkin virhe, joka perustuu tutkimuksiin, joissa on tutkittu Ethernetin kaltaista verkkoa mutta jossa on ollut eräitä ratkaisevia parametreja toisin aseteltuna. Hyvä suorituskyvyn analysointia selventävä lähde on [BMK88].

Törmäyksen tunnistusmenetelmästä johtuen verkossa täytyy määrittää kaksi toisistaan riippuvaa parametria: kehyksen minimipituus ja verkon maksimilaajuus. Jotta törmäys tunnistettaisiin varmasti, täytyy kehyksen lähetysaikana signaalin ehtiä kulkea kaksi kertaa verkon päästä päähän. Ethernettiin valittiin kehyksen minimipituudeksi 64 tavua (maksimi 1536 tavua), jolloin verkon maksimilaajus on 2 km. Lisäksi verkon rakennetta on rajoitettu siten, että kahden koneen välillä saa olla korkeintaan 5 segmenttiä (mukaan lukien ne, jossa koneet ovat kiinni) ja vain kolmessa voi olla koneita. Segmenttien välissä ovat toistimet, jotka vahvistavat ja korjaavat signaalia.



Kuva 4.1: CSMA/CD-algoritmin toiminta [Saa93]

4.1.1 Koaksiaalikaapeliversio

Alkuperäinen Ethernet toimii 10 Mbit/s nopeudella noin senttimetrin paksuisessa koaksiaalikaapelissa, jonka maksimipituus on 500 m. Tämä kaapeli oli kuitenkin hankalaa käsitellä ja kallista. Lisäksi kiinnittämiseen tarvittiin erillinen MAU ja AUI-kaapeli. Tämän seurauksena kehitettiin ohuemmassa (4 mm) kaapelissa toimiva versio, johon laitteet littyvät T-kappaleella. Ohuemman kaapelin haittapuolena on suurempi signaalin vaimentuminen, niinpä ohutethernet-segmentin maksimipituus on 185, joskin melkein toimivia yli 300 m segmenttejä on tavattu.

Koaksiaalikaapelissa toimii myös laajakaistainen versio Ethernetistä, jossa signaali on moduloitu kantoaallon päälle: etuna on suurempi segmentin pituus (3600 m) ja parempi häiriönsieto kuin kantataajuista Manchester-koodausta käyttävällä perusversiolla. Lisäksi käyttämällä eri kantotaajuutta, voi samassa kaapelissa toimia useita loogisia verkkoja. Tämä versio on käytössä hyvin harvinainan.

4.1.2 Parikaapeliversio

Jo ensimmäisessä IEEE:n Ethernet-standardissa vuonna 1983 oli mukana parikaapelia käyttävä vaihtoehto: ”Starlan”. Se tosin oli nopeudeltaan vain kymmensosa koaksiaalikaapeliversiosta eikä saavuttanut juurikaan tunnettuvutta.

Rakenteellisten kaapelointijärjestelmien yleistyessä ja parikaapelin alkaessa korvata koaksiaalikaapelia monikäyttöisempänä, standardisoitiin myös Ethernetistä parikaapelia käyttävä versio. Parikaapeliverkossa väylä on kutistettu keskittimen (HUB) sisään ja jokainen työasema liittyy siihen maksimissaan 100 m pitkällä kaapelilla [Tho96].

4.1.3 Valokuitu

Valokuitua käytetään lähinnä segmenttien yhdistämiseen, esimerkiksi rakennusten välillä. Valokuitua on käytetty myös useiden segmenttien kytkemiseen yhteen käyttämällä optista tähteä, josta jokaiseen sakaraan tulee yksi kuitu jonka valosignaali leviää kaikkiin muihin. Tähden säätäminen toimimaan oikein on kuitenkin hankalaa eikä niitä juurikaan käytetä.

Valokuitua voidaan käyttää myös koneiden yhdistämiseen häiriöllisessä tai vaaralllisessa ympäristössä sen häiriönsiedon ja häiritsemättömyyden vuoksi.

4.1.4 100 Mbit/s Ethernet

Tietokoneiden nopeudet nousuvat ja vähitellen 10 Mbit/s nopeus alkoi olla riittämätön, erityisesti palvelinkoneiden liittämiseen. Niinpä standardoitiin 100 Mbit/s nopeudella toimiva versio. Nopeuden noston yhteydessä jouduttiin pienentämään suurinta verkon kokoa samassa suhteessa eli verkon maksimilaajuus on 200 m ja vain kaksi toistinta on sallittu [ANS96].

Parikaapelia varten on määritelty kaksi eri versiota 100BaseTX, joka käyttää kahta paria ja 100BaseT4, joka käyttää neljää paria mutta kaapelin laaduksi riittää sama kuin 10BaseT:llä. Myös valokuitua käyttävä versio on olemassa.

4.1.4.1 100VG-AnyLAN

Sadan megabitin Ethernetin kehitystyön alkuvaiheessa pääasissa Hewlett-Packard esitti prioriteettien lisäämistä reaaliaikasovellusten mahdollistamiseksi. Tämän kehitys siirrettiin työryhmään 802.12 ja tuloksena on 100VG-AnyLAN, jonka vuoronvaraus muistuttaa Token Ring-verkkoa [Net95a].

Tämän avulla voidaan tehdä verkko, johon voidaan edelleen liittää sekä Ethernet- että Token Ring-verkkoja. Tämä tekniikka on hiukan (noin 50 %) kalliimpaa kuin 100BaseT-versiot.

4.1.5 Gigabit Ethernet

Viimeisin tulokas Ethernet-perheeseen on gigabitin Ethernet, josta ensimmäiset määrittelyt valmistuivat kesällä 1996. Merkittävin muutos toiminnassa on pienimmän kehyksen kasvattaminen 512 tavun mittaiseksi, jotta verkon suurin koko ei olisi rajoittunut 20 metriin. Suurta hukkaosuutta pienillä kuittauskehyksillä voidaan vähentää lähettämällä useita pieniä kehyksiä yhden täytetavuilla lisätyn kehyksen lisäksi. Tämä ei ole kuitenkaan ongelmatonta, koska kuittausten, jotka ovat tyypillisesti pieniä, viivästyminen voi aiheuttaa toimintahäiriöitä sovellusohjelmissa [Rob97, Net96].

Toinen gigabitin verkkoihin liittyvä ongelma esiintyy jo sadan megabitin verkkoissa: liikenteen halllinta. Suurin teho verkosta saadaan hylkäämällä CSMA/CD ja luottamalla kytkivien keskittimien puskureihin ja määriteltyyn vuonohjaukseen [Tho96]. Tämä vuon ohjajaus kuitenkin toimii vain koneen ja keskittimen välillä, ei kahden keskittimen välillä, mikä on todennäköinen sovelluskohde huippunopeuksille.

Gigabin verkkojen standardisoinnista on saatu määriteltyä versiot valokuiduille sekä lyhyillä matkoilla twinaxial-kaapeleille.

4.1.6 Iso-Ethernet

Perinteinen Ethernet-lähiverkko ei voi taata palvelun laatua sovelluksilla. Vaikka liikenne olisikin pääosin vähäistä, voi kuitenkin ajoittain joku suovellus käyttää kaiken käytössä olevan kaistan ja tällöin reaaliaikaisten multimediayhteyksien laatu kärsii.

Tätä puutetta varten on kehitetty Isochronous Ethernet Integrated Services, IEEE 802.9a [Net95b]. Siirtokapasiteetti 16,144 Mbit/s on jaettu kahteen osaan: 10 Mbit/s ISDN P-kanavaan normaalille CSMA/CD-Ethernet -liikenteelle ja 6,144 Mbit/s ISDN C-kanavaan, joka on edelleen jaetty 96 ISDN B-kanavaan (64 kbit/s) tiedonsiirtoa varten ja yksi 64 kbit/s merkinantoa varten [Bra95].

Erotuksena normaaliin Ethernet-verkkon, joka käyttää Manchester-koodausta datan siirrossa, Iso-Ethernet käyttää 4B5B-koodausta kuten esimerkiksi FDDI. Tämä koodaus käyttää signaalikaistanleveydestä noin 80 % datan siirtoon kun Manchester-koodauksen hyötysuhde on vain 50 %. Tehokkaampi kaapelin siirtokapasiteetin käyttö mahdollistaa suuremman tiedonsiirtonopeuden samoissa kaapeleissa.

P-kanavan liikennöinti toimii kuten perinteisessä Ethernet-verkossa käyttäen CSMA/CD-väylänvarausta. Isokronisten kanavien varaamiseen verkossa käytetään Q.931-merkinantoa [Q.993], jolla päätelaite voi varata tarvitsemansa määrän B-kanavia käyttöönsä AU:lta (Access Unit).

Tavallisen 10BaseT-verkon muuntaminen Iso-Ethernet-verkoksi vaatii keskittimen (HUB) vaihtamiseta AU:iin. Lisäksi koneisiin on vaihdettava verkkokortit. Samassa verkossa voi olla kytkettyinä normaaleilla 10BaseT-verkkokorteilla varustettuja koneita, mutta luonnollisestikaan ne eivät pysty hyödyntämään isokroninenisokronisia kanavia.

Päätelaittella on kolme eri toimintamuotoa:

10BaseT Fyysinen liitäntä vastaa täysin 10BaseT-verkkoa, koodauksena käytetään Manchester-koodausta. Päätelaitteella on käytössään ainoastaan ISDN P-kanava.

monipalvelu Kaistanleveys on jaettu 10 Mbit/s Ethernet-verkoksi ja 6,144 Mbit/s isokroniseksi verkoksi. Tämä on normaali toimintatapa päätelaitteelle, joka tarvitsee sekä data- että puhelinverkkopalveluja. UA tunnistaa, mikäli jokin siihen kytketty päätelaite on ainoastaan 10BaseT-kykyinen ja siirtyy tämän päätelaitteen portin osalta 10BaseT-toimintaan.

täysin isokroninen Koko 16,144 Mbit/s voidaan jakaa 248:ksi 64 kbit/s ISDN B-kanavaksi. Tämä toimintatapa on käyttökelpoinen mikäli päätelaite on esimerkiksi videoneuvottelupalvelin tai muusta syystä tarvitsee suuren määrän isokronisia kanavia.

Iso-Ethernet-verkko liitetään yleensä yhdyskäytävällä puhelinvaihteeseen, jonka kautta voidaan kytkeytyä puhelinverkkoon ja päinvastoin.

4.1.7 Verkon tehostaminen

Mikäli verkossa käytetään runsaasti multimediasovelluksia, käy 10 Mbit/s kaista nopeasti ahtaaksi etenkin, mikäli verkossa siirretään suuria tiedostoja. Ensimmäinen keino verkkokapasiteetin loppuessa on jakaa verkko osiin liikenteen perusteella.

Nykyaikainen ratkaisu on hankkia kytkevä keskitin; tämä edellyttää että kaikissa tai lähes kaikissa koneissa on 10BaseT-liitäntä. Tarvittaessa palvelinliitännät ja tehotyösemien liitännät päivitetään 100BaseT-tekniikkaan.

4.2 Token Ring

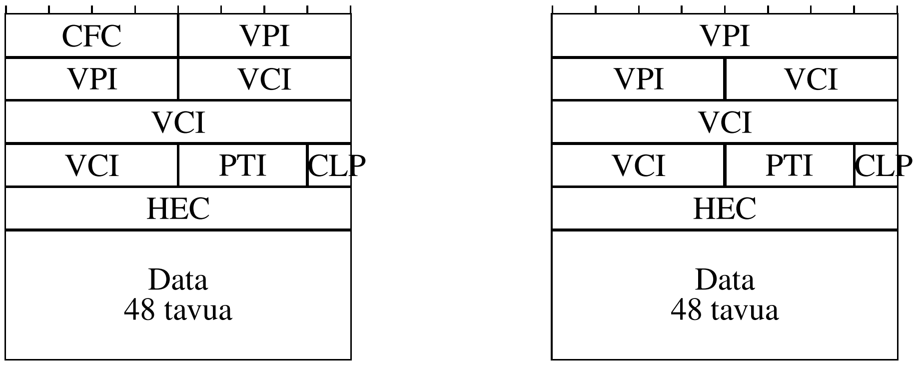
Token Ring on IBM:n kehittämä, valtuuden välitykseen perustuva rengasverkko, joka esiteltiin tuotteena 1985. Uudempana tekniikkana se on monipuolisempi ja samalla sen toiminta-algoritmi on monimutkaisempi kuin Etherneissä.

Sen ominaisuuksiin kuuluu mm. kehyskohtainen prioritisointi, mikä tekee sitä soveliaan multimediakäyttöön: reaaliaikaliikenteelle voidaan antaa etuoikeus. Monimutkaisuuden aiheuttamasta kalleudesta johtuen verkko ei kuitenkaan ole kovin yleinen. Verkosta on kaksi eri nopeutta: 4 ja 16 Mbit/s versiot, joissa vastaavasti kehyksen datan pituus on 4099 ja 18000 bittiä.

4.3 FDDI

FDDI:n (Fiber Distributed Data Interchange) kehitystyö alkoi jo aikaisin 80-luvulla kun oli nähtävissä Mooren lain mukainen prosessorien nopeutuminen: verkon nopeuttakin täytyi lisätä. ANSI:n komitea X3T9.5 tutki optisten kuitujen käyttömahdollisuuksia tietokoneverkoissa, etenkin supertietokoneiden huippunopeaan yhdistämiseen.

Rakenteeltaan FDDI muistuttaa Token Ring-verkkoa, mutta eroaa siitä muodostumalla kaksoisrenkaasta ja myös valtuuden käsittely on sovitettu suuremmille nopeuksille; kehyksen dataosan pituus on 4352 tavua.



(a) Käyttäjä-verkko -rajapinta (b) Verkko-verkko -rajapinta

CFC	vuonohjaus (generic flow control)
VPI	väylätunniste (virtual path id)
VCI	kanavatunniste (virtual channel id)
PTI	solutyyppi (payload type id)
CLP	hukkaamisprioriteetti (cell loss priority)
HEC	otsikon tarkistussumma (header error correction)

Kuva 4.2: ATM-solu [Com95a].

Suurin FDDI:n ongelma on sen kykenemättömyys välittää isokronista liikennettä, tätä aloitettiin korjata FDDI II:ssa, mutta sen kehitystyö lopetettiin kesken koska muut nopeat verkot, lähinnä ATM toteuttivat jo sen, mitä oltiin määrittelemässä.

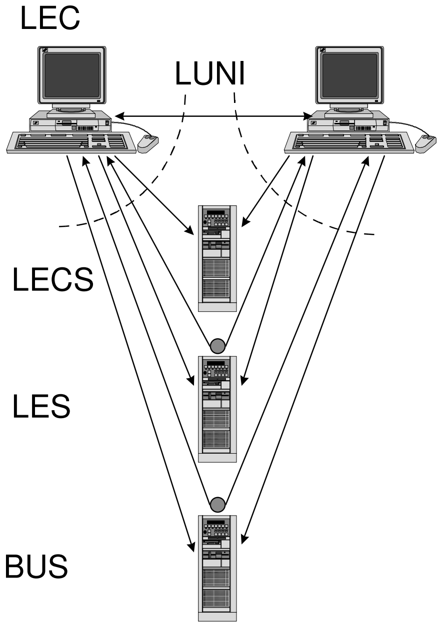
Nykyään FDDI on yleisin 100 Mbit/s -luokassa käytettävä verkkostandardi kun vaaditaan suurta käyttövarmuutta. Käyttämällä kytkeviä keskittimiä FDDI:hinkin saadaan lisää tehoa: renkaita muodostuu efektiivisesti useita.

Kuidun asemasta voidaan siirtotienä käyttää myös kuparia, mutta tällöin maksimietäisuudet ovat pienempiä.

4.4 ATM

ATM on ITU-T:n valitsema siirtomuoto laajakaistaiseen monipalvelveluverkkoon. ATM:n toiminta perustuu 53 tavua pitkään kiinteämittaiseen soluun (kuva 4.2), josta hyötykuorman osuus on 48 tavua. Lyhyellä ja kiinteällä solupituudella mahdollistetaan solujen tehokas käsittely laitteistotasolla ATM-kytkimissä. Solujen kytkentä perustuu virtuaaliväyliin (VP) ja -kanaviin (VC). Nämä arvot ovat kullekin linkkivälille paikallisia ja voivat vaihtua samalle solulle seuraavalle yhdysvälille.

ATM-solu on pieni verrattuna perinteisten lähiverkkojen kehyksiin. Mikäli yksi ylemmän tason paketti sijoitettaisiin ATM-soluun, jäisi esimerkiksi TCP-hyötykuormalle tilaa 8 tavua mikä on kovin tehotonta. Tästä syystä käytetään ATM-sovituskerroksia: yksi ylemmän kerroksen paketti tai datalohko sijoitetaan useampiin soluihin sovituskerroksen avulla. Kiinteälle bittinopeudelle (esimerkiksi puheelle) on AAL1-sovitus, jonka lisäksi on määritelty AAL3/4 datasiirrolle, jonka tosin on monin paikoin korvannut AAL5 yksinkertaisempana.



Kuva 4.3: ATM Lan Emulaatio -verkon komponentit [Com95b].

ATM on määritelty hyvin suurelle joukolle erilaisia siirtoteitä. Yleisimmin lähiverkkopuolella ovat käytössä 25 Mbit/s ja 155 Mbit/s yhteydet.

4.4.1 ATM Lan Emulaatio

Jotta ATM-tekniikka saatiin nopeasti käyttöön lähiverkoissa, ei voitu jäädä odottamaan lähiverkko-ohjelmistojen muokkaamista ATM-verkon mukaiseksi, joten ATM-verkkon lisättiin palveluita, joiden avulla verkko saadaan näyttämään perinteiseltä lähiverkolta.

Kaaviokuva verkon toiminnasta on esitetty kuvassa 4.3. Verkon komponentit ovat;

LEC Lan Emulation Client: päätelaitteessa oleva ohjelma, joka toimii rajapintana ATM-verkkokortin ja verkko-ohjelmiston välillä.

LUNI Lan Emulation User-Network Interface: liittymärajapinta asiakkaan ja verkon välillä.

LECS LE Configuration Server: Käynnistyessään asiakas ottaa yhteyden tähän palvelimen. Tämän osoite on joko määrittelyssä [Com95b] mainittu tai järjestelmään asetettu. Tälle asiakas ilmoittaa, millaiseen lähiverkkon haluaisi liittyä, minkä perusteella LECS antaa oikean LES:n osoitteen.

LES LE Server: Asiakasohjelma ottaa tähän yhteyden ja antaa oman MAC-osoittensa ja liittyy kontrollijakeluun. Tämän jälkeen kysyy LES:ltä BUS:n osoitteen.

BUS Broadcast and Unknown Server. Huolehtii jakelulähetysten levittämisestä. Samoin datapakettien välityksestä, jos kohdekonetta ei tiedetä.

Halutessaan liikennöidä toisen LEC:n kanssa, LEC kysyy LES:ltä kohdekoneen MAC-osoitten perusteella tämän ATM-osoitteen ja luo tämän jälkeen yhteyden suoraan kohdekoneeseen. Varsinainen datasiirto ei siis kierrä LANE-palvelimien kautta.

Nykyisen lähiverkkoemulaation (versio 1.0) suurin epäkohta on riippuvuus yksistä palvelimista; mikäli joku menee pois toiminnasta, koko verkko pysähtyy pian. Tähän on olemassa valmistajakohtaisia laajennuksia ja seuravassa versiossa (2.0) tämä asia on korjattu. Palvelimet voivat muodostua myös verkon pullonkaulaksi, mikäli verkossa on paljon jakeluliikennettä.

Lähiverkkoemulaatiolla toteutettu verkko on helppo liittää olemassa olevaan lähiverkkoon, jolloin käyttöönotto voidaan tehdä vaiheittain.

4.5 Muut lähiverkot

Aikojen saatossa on ollut useita lähiverkkoja käytössä mutta suurin osa on aikojen saatossa kadonnut. Token Bus -verkolla oli oma sijansa teollisuusautomaatiossa mutta yleiskäyttöistentietokoneiden yhdistämiseen sitä ei juurikaan käytety. Multimedian kannalta sen ominaisuudet muistuttivat Token Ring -verkkoa, joskin vapaan kiertojärjestyksen ansiosta suortituskyky olisi saattanut olla jopa parempi.

4.5.1 Apple Local Talk

Jokaisessa Apple Macintosh-koneessa oleva sarjaliitäntä sopi parikaapelilla toteutettuun verkkon. Koska verkko ei vaadi erillistä verkkokorttia, se on edullinen verkko. Ajan myötä nopeusvaatimukset ovat kuitenkin ajaneet tämän 230 kbit/s nopeudeksien kirjoittimen jakoon suunnitellun verkon ohi yleiskäyttöisenä verkkona.

4.6 Millainen lähiverkko multimediakäytöön?

Multimedialiikenteen välittäminen verkossa edellyttää että reaaliaikasovelluksille on käytettävissä riittävästi kapasiteettia oikeaan aikaan. Kasvattamalla verkon raakaa siirtonopeutta saadaan lyhennettyä muun liikenteen siirtoaikoja. Vaikka katkokset ehkä lyhenevätkin, eivät ne täysin häviä sillä ei-reaaliaikaliikenne voi yhä vallata koko verkon kapasiteetin.

Toinen vaihtoehto on jakaa verkko riittävän pieniin osiin. Kytkevät keskittimet tekevät tämän ohjaamalla kuhunkin liitäntään vain sinne ohjattavan liikenteen. Useimmiten tämä siirtää ruuhkan vain toiseen kohtaan: palvelimen tai toisen keskittimen ja keskittimen väliin. Tämä on ongelma jo 100 Mbit/s:n EthernetEthernetissä ja ongelman odotetaan pahenevan nopeuksien kasvaessa [Rob97].

ATM-verkkoon on määritelty resurssien varaus eli yhteydelle voidaan varata haluttu kaistanleveys. Ongelmana erilaisissa menetelmässä on se, että ne ovat monimutkaisia (ABR), käyttävät kapasiteettia tehottomasti vaihtelevalle liikenteelle (CBR) tai eivät takaa mitään (UBR). Ratkaisuiksi on ehdotettu peruskapasiteetin varaamista: ylimenevä osa välitetään verkossa, mikäli onnistuu (UBR+) [GH96]. Toinen ehdotus on nimelliskapasiteetin käyttö: soluja prioritisoidaan sen perusteella paljonko todellinen siirtomäärä on nimelliskapasiteettiin nähden. Verkon ruuhkautuessa hylätään ensin niitä soluja, joiden yhteydellä siirtokapasiteetin ylitys on suurin [Kil97].

Nykyinen ATM lähiverkkoemulaatio ei tue kaistanleveyden varaamista. Tämä johtuu ennenmuuta siitä, että kysymyksessä on *emulaatio*: perinteiset verkot eivät ole tukeneet siirtokapasiteetin varausta. Useimmissa ohjelmointirajapinnoissa ei myöskään ole mekanismia kaistanleveyden varaamiseen ja siten sovelluksetkaan eivät osaa varata kaistanleveyttä. Tämä alue tulee varmaankin kehittymään [ABO96, Böc96].

IP-verkkoihin on kehitetty kapasiteetin varaus (RSVP), jolla vastaanottaja voi varata siirtokapasiteettia yhteydelle [RB96]. Tämä on myöskin kehitystyössä kohdannut samanlaisia ongelmia kuin ATM-verkkojen resurssin varaus: miten saada aikaan riittävän kevyt mutta hyvä toteutus, jotta se olisi käyttökelpoinen.

Yhteenveto

Lähiverkoissa multimedian välittäminen yleensä onnistuu. Verkon suorituskykyä voidaan nykyisin lisätä varsin edullisesti kelpaavaksi vaikka hyvälaatuisen videokuvan siirtoon. Ongelmat tulevat kuitenkin esiin laajoissa verkoissa ja verkkojen yhdistämisessä. Koska toimivaa kapasiteetinvarausta ei ole käytössä, ei käyttäjä pysty vaikuttamaan eri liikenteen suosituimmuuteen.

Eri lähiverkkotekniikoista lupaavimpana pitäisin ATM-tekniikkaa. Siinä käytettävän merkinannon ansiosta resurssin varaus onnistuu päätelaittella kunhan ohjelmistot ja verkko tukevat sitä: hankinnoissa kannattaa selvittää hankittavan laitteen tuki seuraaviksi vuosiksi. Nopeat tiedonsiirtolaitteet on edullista toteuttaa ATM:n avulla. ATM on myös määritelty laajalle nopeusaluella: 25 Mbit/s on sopiva nopeus tavalliselle PC:lle, tehokkaat työasemat, palvelimet ja runkoyhteydet voidaan toteuttaa 155 Mbit/s tai 625 Mbit/s nopeuksilla. Tekniikka on skaalautuvaa: samaa tekniikka voidaan käyttää myös televerkkojen puolella mikä tuo laajuuden etua.

ATM:n etuna mahdollisuus toteuttaa erilaisia virtuaaliverkkoja, jotka voivat olla maantieteellisesti laajoja. Myös eräät Ethernet-kytkimet tukevat virtuaaliverkkojen muodostusta, mutta toteutukset ovat valmistajakohtaisia. Virtuaaliverkkoja voidaan käyttää suorituskyvyn ja turvallisuuden parantamiseen ryhmittämällä koneet loogisesti eikä sijainnin mukaan.

Perinteisten lähiverkkotekniikoiden etuna on niiden tuttuus: nopeampien tai kytkentäisten versioiden soveltaminen ei tuo uusia käsitteitä ylläpitoon. Vuonhallinnan puuttuminen on vaikea ongelma ja täytyy toteuttaa ylemmillä kerroksilla mikä voi aiheuttaa yhteensopivuusongelmia.

Käytännössä kaikki vähintään 10 Mbit/s nopeudella toimivat lähiverkkotekniikat pystyvät välittämään multimedialiikennettä ainankin yhden hyvälaatuisen videokuvan verran yhdelle työasemalle. Ongelmat tulevatkin esiin siinä tapauksessa kun täytyisi välittää useampia yhteyksiä. Videojakelun ja -neuvotteluiden yleistyminen vaatii verkkojen rakentamista siten, että niissä voidaan taata palvelun laatu — kuinka tämä tehdään kustannustehokkaasti, on vielä auki.

Kirjallisuutta

[ABO96] Werner Almesberger, Jean-Yves Le Boudec, and Philippe Oechslin. Application requested ip over atm (arequipa). Technical Report draft-rfced-info-almesberger-00, Internet Engineering Task Force, Oct 1996. URL:ftp://ietf.org/internet-drafts/draft-rfced-info-almesberger-00.txt.

[ANS96] ANSI/IEEE. Information technology–telecommunications and information exchange between systems–local and metropolitan area networks–lan/man-type specific requirements, part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (csma/cd) access method and physical layer specifications and 802.3u-1995 supplement to ieee std 8802-3 : 1996: Media access control (mac) parameters, physical layer medium attachment units, and repeater for 100 mb/s operation, type 100baset (clause 21-30). Iso/iec standard, ISO/IEC, 1996.

[BBJ92] D. Borman, R. Braden, and V. Jacobson. TCP extensions for high performance. Request for Comments (Proposed Standard) RFC 1323, Internet Engineering Task Force, May 1992. (Obsoletes RFC1185). URL:ftp://ds.internic.net/rfc/rfc1323.txt.

[Böc96] Stefan Böcking. Sockets++: A uniform application programming interface for basic-level communication services. *IEEE Communications Magazine*, 34(12):114–119, December 1996.

[BLFF96] T. Berners-Lee, R. Fielding, and H. Frystyck. Hypertext transfer protocol – http/1.0. Request for Comments (Informational) RFC 1945, Internet Engineering Task Force, May 1996. URL:http://www.internic.net/rfc/rfc1945.txt.

[BMK88] David R. Boggs, Jeffrey C. Mogul, and Christopher A. Kent. Measured capacity of an ethernet: Myths and reality. Technical Report 88/4, The Western Research Laboratory, Sep 1988.

[Bra95] Richard Brand. Iso-ethernet: Bridging the gap from wan to lan. Technical report, Data Communications on the web, July 1995. URL:http://www.data.com/Tutorials/Iso-Ethernet.html.

[Com95a] ATM Forum Technical Commitee. *ATM User Network Interface (UNI) Specification Version 3.1*. Prentice Hall Professional Technical Reference, June 1995.

[Com95b] Technical Committee. Lan emulation over atm version 1.0. Technical Report af-lane-0021.000, The ATM Forum, Jan 1995.

[Dee89] S. Deering. Host extensions for IP multicasting. Request for Comments (Standard) STD 5, RFC 1112, Internet Engineering Task Force, August 1989. (Obsoletes RFC0988). URL:ftp://ds.internic.net/rfc/rfc1112.txt.

[DH96] S. Deering and R. Hinden. Internet protocol, version 6 (ipv6) specification. Request for Comments (Proposed Standard) RFC 1883, Internet Engineering Task Force, January 1996. URL:ftp://ds.internic.net/rfc/rfc1883.txt.

[E.492] E.430. Quality of service framework. Technical Report ITU-T Rec. E.430, International Telecommunication Union, 1992.

[eth80] The ethernet, a local area network: Data link layer and physical layer specifications (version 1.0). Technical report, Digital Equipment Corporation, Intel, Xerox, 1980.

[FGM+97] R. Fielding, J. Gettys, J. Mogul, H. Frystyk, and T. Berners-Lee. Hypertext transfer protocol – http/1.1. Request for Comments (Standards Track) RFC 2068, Internet Engineering Task Force, January 1997. URL:http://www.internic.net/rfc/rfc2068.txt.

[G.788] G.711. Pulse code modulation (pcm) of voice frequencies. Technical Report ITU-T Rec. G.711, International Telecommunication Union, 1988.

[GH96] Roch Guerin and Juha Heinänen. Ubr+ service category definition. ATM Forum 96-1598, The ATM Forum, Dec 1996.

[H+93] Charles J. Hughes et al. Modelling and subjective assessment of cell discard in atm video. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2(2), 1993.

[Hæg96] Johan Hæggström. Puheenkoodaus tietoliikenteessä. On the Web, 1996. URL:http://keskus.hut.fi/opetus/s38116/1996/esitelmat/40457h/.

[I.293] I.211. B-isdn service aspects. Technical Report ITU-T Rec. I.211, International Telecommunication Union, 1993.

[I.393] I.350. General aspects of quality of service and network performance in digital networks, including isdns. Technical Report ITU-T Rec. I.350, International Telecommunication Union, 1993.

[ISO91] ISO/IEC. Iso/iec 646:1991 information technology – iso 7-bit coded character set for information interchange. ISO/IEC standard ISO/IEC 646, ISO/IEC / JTC 1 / SC 2, 1991.

[ISO96] ISO/IEC. Information technology – generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems. International Standard ISO/IEC 13818-1:1996, International Standards Organization, 1996.

[Jac88] V. Jacobson. Congestion avoidance and control. In *Proceedings of the ACM SIGCOMM Conference*, pages 314–329, August 1988.

[Kar97] Hanna-Maija Karjalainen. Videopalvelun subjektiivinen laatu atm-verkossa. Master's thesis, Teknillinen korkeakoulu, February 1997.

[Kil97] Kalevi Kilkki. Simple integrated media access (sima). Internet-Draft 00, Nokia Research Center, March 1997. Expire in 20th September 1997. URL:http://www-nrc.nokia.com/sima/.

[Mog84a] J. Mogul. Broadcasting internet datagrams. Request for Comments (Standard) STD 5, RFC 919, Internet Engineering Task Force, October 1984. URL:ftp://ds.internic.net/rfc/rfc919.txt.

[Mog84b] J. Mogul. Broadcasting internet datagrams in the presence of subnets. Request for Comments (Standard) STD 5, RFC 922, Internet Engineering Task Force, October 1984. URL:ftp://ds.internic.net/rfc/rfc922.txt.

[MP85] J. Mogul and J. Postel. Internet standard subnetting procedure. Request for Comments (Standard) STD 5, RFC 950, Internet Engineering Task Force, August 1985. URL:ftp://ds.internic.net/rfc/rfc950.txt.

[Net95a] Computer/Local & Metropolitan Area Networks. Ieee std 802.12-1990, ieee standards for local and metropolitan networks: Demand priority access method, physical layer and repeater specification. IEEE Standard 802.12-1995, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 1995.

[Net95b] Computer/Local Metropolitan Area Networks. Local and metropolitan area networks: 802.9 supplement: Ieee standard specification of islan 16-t (supplement to 802.9-1994.). Technical Report 802.9a-1995, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 1995.

[Net96] Computer/Local Metropolitan Area Networks. Supplement to information technology - local and metropolitan area networks - part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (csma/cd) access method and physical layer specifications - media access control parameters, physical layers, repeater and management parameters for 1,000 mb/s operation. Ieee standard, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, Jun 1996.

[Pos81a] J. Postel. Internet control message protocol. Request for Comments (Standard) STD 5, RFC 792, Internet Engineering Task Force, September 1981. (Obsoletes RFC0777). URL:ftp://ds.internic.net/rfc/rfc792.txt.

[Pos81b] J. Postel. Internet protocol. Request for Comments (Standard) RFC 791, Internet Engineering Task Force, September 1981. (Obsoletes RFC0760). URL:ftp://ds.internic.net/rfc/rfc791.txt.

[Pos81c] J. Postel. Transmission control protocol. Request for Comments (Standard) STD 7, RFC 793, Internet Engineering Task Force, September 1981. URL:ftp://ds.internic.net/rfc/rfc793.txt.

[Q.993] Q.931. Digital subscriber signalling system no. 1 (dss 1) - isdn user-network interface layer 3 specification for basic call control. Technical report, International Telecommunication Union, Mar 1993.

[RB96] Ed. L. Zhang S. Berson S. Herzog S. Jamin R. Braden. Resource reservation protocol (rsvp) – version 1 functional specification. Internet Draft draft-ietf-rsvp-spec-14, Internet Engineering Task Force, Nov 1996.

[Rob97] Erica Roberts. Gigabit ethernet: Fat pipe or pipe bomb? Technical report, Data Communications on the web, May 1997.

[Saa93] Kari Saarelainen. *Lähiverkkojen tekniikka*. Yritysmikrot Oy, 1993.

[Ste97] W. Stevens. Tcp slow start, congestion avoidance, fast retransmit, and fast recovery algorithms. RFC 2001, Internet Engineering Task Force, January 1997. URL:ftp://ds.internic.net/rfc/rfc2001.txt.

[Tho96] Geoffrey O Thompson. Supplement to 802.3 - specification for 802.3 full duplex operation. New Standard Project 802.3x, IEEE, 1996.

Hakemisto

Taulukot

Kuvat