

6. Erilaisia verkkoja

LAN, MAN ja WAN

10/16/2003

1

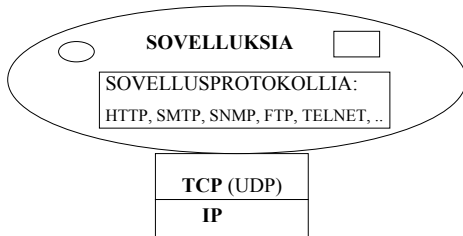
6.1 Lähiverkkostandardi IEEE 802:

LAN- ja MAN-verkoille

- 802.1 Johdanto, rajapintaprimitiivit
- 802.2 LLC (Logical Link Control)
- 802.3 CSMA/CD (kuulosteluväylä)
- 802.4 Token bus (vuoroväylä)
- 802.5 Token ring (vuororengas)
- 802.6 DQDB (Distributed Queue Dual Bus)
- 802.11 langaton LAN

10/16/2003

4



Erilaisia verkkoja: kuulosteluverkko ('Ethernet'), vuororengas, *vuoroväylä*, atm, fddi, *dqdb*, X.25, puhelinverkko, satelliittiverkko, *gsm*, valmistajien omat verkot, ...

Erilaisia linkkikerroksia

HDLC, PPP

MAC-protokollia

Erilaisia tapoja lähettää generoida ja siirtää bittejä

Ethernet-lähiverkko

□ Yleisin lähiverkkoteknologia

- CSMA/CD (kuulosteluväylä)
 - kuunnellaan, ja jos vapaa, lähetetään
 - jos syntyy törmäys, odotetaan satunnainen aika
 - binary exponential backoff
- ei kuittauksia, ei prioriteettejä
- paljon erilaisia kokoonpanoja
 - 10BASE5, 10BASE2, 10BASE-T, 10BROAD36, 10BASE-F
 - 100BASE-T
 - 1000BASE-LX, 1000BASE-SX (kuitu)

Paljon erilaisia verkkoja!

□ LAN

- Ethernet
- Vuororengas (802.4, Token Ring)
- langaton lähiverkko WLAN (wireless LAN, 802.11)
- Atm (?)

□ MAN

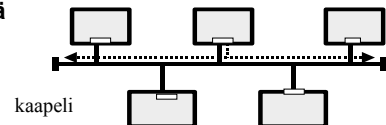
- FDDI, DQDB

□ WAN

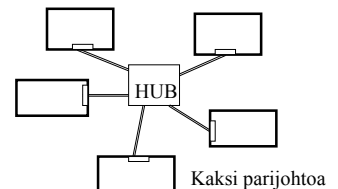
- puhelinverkko, X.25, kehysvälitys (frame relay)
- atm

Eetteriverkon rakenne

□ väylä



◆ Kytkin tai keskitin



Erittäin nopeat Ethernet-verkot

- Klassisen version nopeus 10 Mbps
- 100 Mbps (fast Ethernet)
- Gigabit Ethernet
- 10 Gigabit Ethernet
- 100 Gigabit Ethernet
- Terabit Ethernet

10/16/2003

7

□ lähetysmoodi

- vain jos on vuoromerkki
 - omaa dataa siirretään ulosmenoon
 - lähetetyt bitit kiertävät koko renkaan ja lähettäjä poistaa ne
 - voi tutkia, onko kehyksissä virheitä
 - lopetettuaan lähettäjä lähettää vuoromerkkin renkaaseen
- 10/16/2003 – rengas ei rajoita kehyksen kokoa

10

Vuororengas (802.5)

- rengas on ketju kaksipisteyhteyksiä
 - ei siis yleislähetystä
 - tekniikka hallussa
 - digitaalitekniikkaa (melkein kokonaan)
 - kierretty pari
 - koaksiaalikaapeli
 - valokuitu
 - IBM:n valinta
 - enää melko vähäisessä käytössä

10/16/2003

8

□ jos kevyt kuorma

- vuoromerkki kiertele renkaassa
- joskus joku lähettää
- jos raskas kuorma
 - kaikilla asemilla jonoa
 - kaikki lähettävät maksimimäärän ja siirtävät vuoromerkkin seuraavalle
 - **renkaan suoritusnopeus lähes 100%**

10/16/2003

11

Lähetys vuororengaassa

- renkaassa kiertää vuoromerkki
 - erityinen bittikuvio
- vuoromerkkin tulee mahtua renkaaseen
 - kunkin aseman aiheuttama viive (1 bitti)
 - öisin keinotekoinen viive
 - siirtoviive
- kuuntelumoodi
 - kopioi bittejä sisääntulosta ulosmenoon

10/16/2003

9

FDDI (Fiber Distributed Data Interface)

□ vuororengas

- valokuitu
- 100 Mbps
- => 200 km
- 500 asemaa,
 - asemien väli < 2 km, kun monimuotokuitu + LED
 - yksimuotokuidulla ja laserille voi olla suurempi
- käyttö LANeja yhdistävänä runkolinjana

10/16/2003

12

synkronista ja asynkronista dataa

- ISDN
 - ääntä PCM-koodattuna
 - dataa
- BER < 1 virhe /2.5*10**10 bittiä
- maksimi kehys 4599 tavua

10/16/2003

13

6.2. WLAN langaton lähiverkko (Wireless LAN)

- IEEE 802.11-standardi
 - IEEE 802.11: 1 ja 2 Mbps
 - IEEE 802.11a: 6, 12, 24, 54 Mbps
 - IEEE 802.11b: 5.5, 11 Mbps
 - IEEE 802.11g: ~ 25 Mbps
- ETSI: HiperLan, HiperAccess
 - HiperLAN1: 20 Mbbps, HiperLAN2: 25 -54 Mbps
 - HiperAccess: 25 Mbps
 - HiperLink: 155 Mbps
- Bluetooth, HomeRF

10/16/2003

16

FDDI: rakenne

- kaksi valokuiturengasta
 - toisessa myötäpäivään
 - toisessa vastapäivään
- renkaan katkeaminen
 - tarvittaessa renkaat voidaan yhdistää yhdeksi
- asemat
 - A: kiinni molemmissa renkaissa
 - B: kiinni vain yhdessä renkaassa

10/16/2003

14

IEEE 802.11-standardi

- Ratifioitu 1997
 - 7 vuoden kehitystyön jälkeen
- nopeus 1 tai 2 Mbps
- 2.4 GHz:n lisenssivapaa alue
 - MAC-kerros ~ Ethernetin kaltainen
 - CSMA/CA (Collision Avoidance)
 - piilolähetäjäongelma (hidden terminal)
 - fyysinen kerros
 - kaksi eri ratkaisua radioaalloille
 - hajaspektritekniikkoja (Spread spektrum), jotka hajauttavat lähetyksen laajalle taajuusalueelle
 - infapuna-aallot

10/16/2003

17

FDDI: protokolla

- Vuororenkaan johdannainen
 - renkaassa useita lähetyksiä
 - vuoromerkki heti renkaaseen, kun oma lähetykset loppunut
 - kehys hyvin samanlainen kuin vuororenkaassa

10/16/2003

15

ISM

(Industrial, Scientific, and Medical)

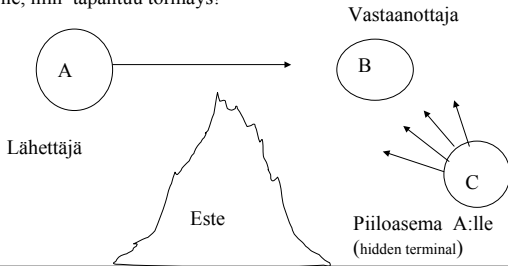
- Radiotaajuudet ovat säänneltyjä ja luvanvaraisia
 - 'rajallinen luonnonvara: UMTS-lisenssit'
- ISM: Vapaassa käytössä olevia radiotaajuuksia mm. :
 - 902-928 MHz,
 - 2.4-2.483 GHz,
 - 5.15-5.35 GHz,
 - 5.725-5.875 GHz.
- Eri maissa alueiden rajat ja säännökset ovat erilaisia
- yleensä paljon häiritseviä muita laitteita
 - esim. 2.4 GHz:n taajuudelle toimivat monet mikroaaltouunit
 - hyvin korkeiden taajuuksien käyttö teknisesti vaativaa

10/16/2003

18

Piiloasemaongelma (Hidden terminal)

Lähettäjä ei kuule C:n lähetystä. Jos A lähettää B:lle, niin tapahtuu törmäys!

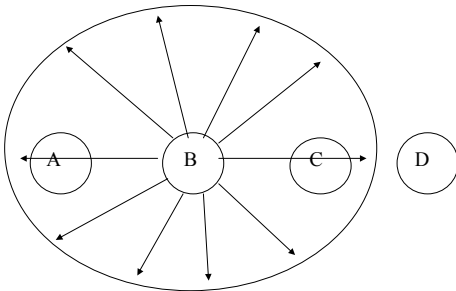


Datan lähetys B --> C

- B lähettää C:lle RTS-kehiksen (Request To Send)
 - kehyksessä datalähetyksen pituus
 - => A:n naapurit osaavat varoa
- C lähettää B:lle CTS-kehiksen (Clear To Send)
 - datalähetyksen pituus
 - => B:n naapurit osaavat varoa

□ exposed station problem:

- B:n lähetys A:lle estää turhaan C:tä lähettämästä D:lle



CSMA/CA: Lähetyksen koordinointi

□ IFS (Interframe space)

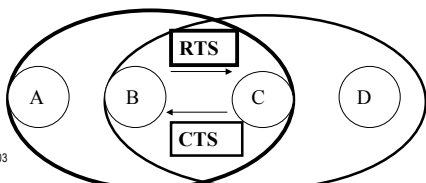
- erilaisia aikavälejä
 - mitä lyhyempi aika sitä suurempi prioriteetti
 - **DIFS (Distributed IFS)**
 - määrää kuinka pitkään aseman on kuunneltava ennenkuin se voi valmistautua lähettämään tavallista dataa
 - **SIFS (short IFS)**
 - määrää kuinka pitkään on kuunneltava ennen kuittauksen lähettämistä
 - **PIFS**
 - odotusaika ei -kilpaileville lähetyksille

10/16/2003

23

CSMA/CA (Collision avoidance): lähetyksen varaaminen

- RTS (Request to send)
 - lähettäjä kysyy vastaanottajalta lähetyksilupaa
- CTS (Clear to send)
 - vastaanottaja antaa luvan lähettää



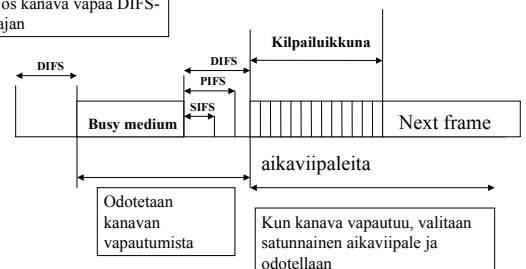
10/16/2003

21

SIFS < DIFS

CSMA/CA: lähettäminen

Voi lähettää vapaasti, jos kanava vapaa DIFS-ajan



CSMA/CA: Satunnaisperääntyminen (Random backoff)

□ samankaltainen kuin Ethernetissä

- Kilpailuikkuna : 31-1023 aikaviipaleta
 - oletusarvo 31
 - kasvaa, jos lähetykset törmäävät, pienee kun lähetys onnistuu
 - törmäys aina kaksinkertaistaa ikkunan
- Ikkunasta valitaan satunnainen odotusaika
 - jos kukaan muu ei ala aikaisemmin lähettää, niin aloitetaan lähetys odotusajan päätyttyä

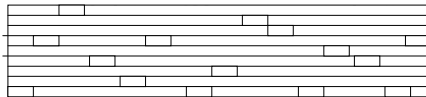
10/16/2003

25

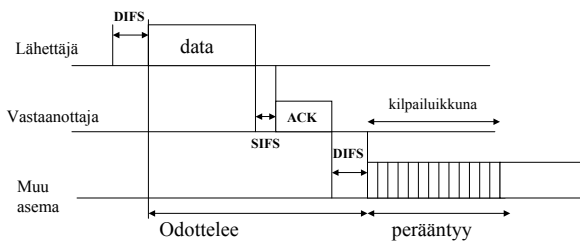
Fyysinen kerros: hajaspektri

□ FHSS taajuushyppely (frequency hopping)

- koko käytössä oleva taajuuskaista on jaettu useaan alikaistaan
 - maksimissaan 79 alikaistaa a' 1 MHz
 - lähetyksessä käytettävä ainakin 6 eri alikaistaa
- lähettäjä vaihtaa alikaistaa koko ajan tietyn kuvion mukaan => vähentää häiriöiden vaikutusta



Lähetysten kuittaukset

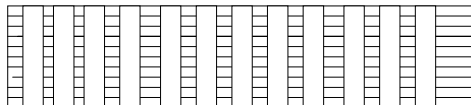


Jos lähettäjä ei saa kuittausta, niin sanoma lähetetään uudestaan

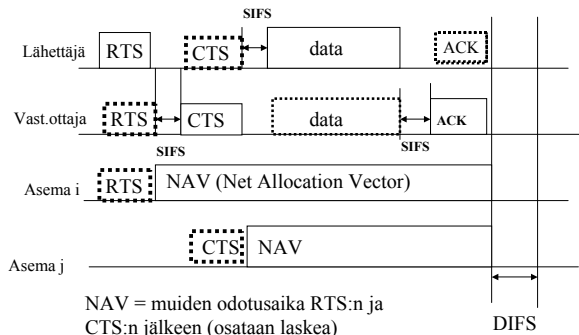
Hajaspektri: toinen tapa

□ DSSS suorasegvenssi (direct sequence)

- lähettää datan yhdessä satunnaisen bittisekvenssin (pseudo-noise) kanssa eli useana siruna (vrt. CDMA)
- tuloksena hyvin laajakaistainen, kohinan kaltainen signaali
 - kestää hyvin häiriöitä
 - ei häiritse voimakkaampaa kapeakaistaista lähetystä
 - vaikeaa havaita, salakuunnella tai väärentää



RTS, CTS ja NAV



Peruserkerros: OFDM

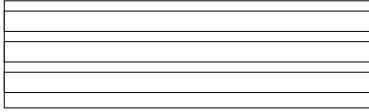
□ OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

- Saadaan suhteellisen kapeaan kaistaan mahtumaan paljon bittejä lähettämällä samanaikaisesti monta signaalia eri alikanavilla (multicarrier modulation), joiden taajuudet voivat olla osin päällekkäisiä
 - Sopivia taajuuksien kerrannaisia käyttäen => signaalit eivät häiritse toisiaan (mutual interference)
- Lupaava, mutta vaativa teknologia, joka hyödyntää digitaalista signaalin prosessointia, Fourier-muunnoksia, yms => 54 Mbps

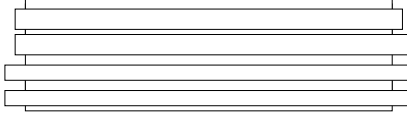
10/16/2003

30

Alikanavien välissä varoalueet, jotta signaalit eivät häiritse toisiaan:



OFDM: alikanavien taajuudet voivat olla osin päällekkäisiä



Silti eri signaalit pystytään erottamaan :



ETSI:n Hiperlan-standardit (vain Euroopassa)

- HiperLAN-tavoitteita
 - suuret nopeudet (> IEEE:llä)
 - turvallisuuspiirteet
 - priorisointi
 - yhteensopivuus 3G-mobiililaitteiden kanssa
- Standardeja
 - HiperLAN1: 20 Mbbps
 - HiperLAN2: 25 -54 Mbps
 - HiperAccess: 25 Mbps
 - HiperLink: 155 Mbps
- Onko näitä missään käytössä?

10/16/2003

34

IEEE 802.11a

- Nopeudet 6->54 Mbps
- Käyttää 5 GHz:n kaistaa
 - herkkä monenlaisille häiriöille
 - USA:ssa 300 MHz vapaa-alue (UNII)
 - Euroopassa varattu HiperLAN2:lle
- fyysinen kerros OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
 - useita alikanavien eri taajuuksia, jotka keskenään ortogonaalisia
- laitteita vuoden 2001 lopussa

10/16/2003

32

HiperLAN2

- Nopea: fyysisellä tasolla 54 Mbps, verkkokerroksella 25 Mbps)
- Fyysinen kerros lähes samanlainen kuin 802.11a:ssa
 - OFDM (Orthogonal Frequency Digital Multiplexing)
 - 5 GHz
- MAC: dynaaminen aikajako (TDD, Time-Division Duplex)
 - MAC-kehys 2 ms
 - Resource Request -pyyntö ennen lähetystä
 - tässä kilpailua muiden lähettäjien kanssa
 - lähetysvuorot jaetaan ja lähetys tapahtuu ilman kilpailua
- Yhteydellinen ja keskitetty valvoja => QoS
 - Sovituskerros: sovittaa erilaisten linkkikerrosten palvelut
 - solu- tai pakettiliikenteelle (atm tai Ethernet), UMTS, PPP, ..

10/16/2003

35

IEEE 802.11b

- Yhteensopivuus perusversion kanssa
 - 2.4 GHz:n alue
 - samankaltainen fyysinen kerros
- nopeudet 5.5 tai 11 Mbps (~10 Mbps perus-Ethernet)
 - nopeutus perustuu suurelta osin kehittyneempään modolointitekniikkaan
 - yhtä signaalimuutosta kohden enemmän bittejä
 - sopeutuu automaattisesti lähetyskanava ominaisuuksiin
 - Huonolla linjalla nopeus voi olla vain 1 tai 2 Mbps!

10/16/2003

33

HiperAccess ja Hiperlink

- Hiperaccess
 - langaton laajakaistayhteys koteihin
 - vrt. xDSL-yhteys ja kaapelimodeemi
 - 25 Mbps
 - max. 5 km:n etäisyydellä
- Hiperlink
 - kiinteä kaksipisteyhteys
 - 17 GHz:n taajuusalueessa
 - 155 Mbps nopeus
 - atm-yhteensopivuus

10/16/2003

36

HomeRF

- ❑ Korvaamaan kotiympäristössä 802.11b:n
 - ❑ 802.11b tarkoitettu yritysten käyttöön
 - ❑ kallis ratkaisu
 - ❑ jos laitteita tiiviisti kuten kotona, 802.11b edellyttää keskitettyä valvontaa
 - ❑ ei sovi hyvin äänensiirtoon
 - ❑ siirtoetäisyys n. 50 metriä, nopeus 10Mbps (2.4 GHz)
 - ❑ ääni + data; äänenlaatu hyvä, koska sille varattu oma kaista
 - ❑ Käyttää taajuushyppelyä=> sietää hyvin häiriöitä
 - ❑ Laitevalmistajat eivät enää tue?

10/16/2003

37

6.3 Laajaverkot (WAN)

- ❖ Televerkko
 - ❖ runkolinjat
 - ❖ digitaalisia, kuitua
 - ❖ local loop
 - ❖ analoginen, kierretty pari
 - ❖ kanavointi
- ❖ X.25, Frame Relay
- ❖ Atm-verkko

10/16/2003

40

Bluetooth

- ❑ erilaisten elektronisten laitteiden langattomaan kommunikointiin
 - ❑ Halpa ja yksinkertainen
 - ❑ Radiolinkki=>
 - ❑ ei tarvitse näköyhteyttä (vrt infrapuna)
 - ❑ Monen laitteen välinen kommunikointi
 - ❑ 2.45 GHz vapaakäyttöinen radiotaajuus
 - ❑ nopeus jopa 2 Mbps saakka
 - ❑ 10-100 m etäisyydellä
 - ❑ Käyttää taajuushyppelyä: 79 eri 1 MHz taajuutta

10/16/2003

38

Peruserros

Bittien generointi ja lähettäminen linjalle

- miten bitit esitetään ja koodataan
 - esim. voltteina ja ampeereina, taajuuksina ja vaiheina
 - Manchesterin koodaus
- ajoitukset
 - kauanko yhden bitin lähetyksessä?
- miten yhteys muodostetaan
- millaiset liittimet

10/16/2003

41

Bluetooth:

- ❑ sekä FEC (Forward Error Correction) että CRC (Cyclic Redundancy Check) + uudelleen lähettäminen
- ❑ laitteet voivat muodostaa keskenään verkkoja
 - ❑ pico net: isäntä + enintään 7 orjaa (slave)
 - ❑ hajaverkko (scatternet) yhdistää pico-verkkoja

10/16/2003

39

Lainalaisuudet

- valonnopeus
- informaatioteorian teoreemat
 - maksimaalinen nopeus, jolla kanavalla voidaan siirtää dataa riippuu kanavan kaistan leveydestä
 - Nyquist: kohinattomalle kanavalle
 - Shannon: kohinalliselle kanavalle
 - teoreettiset raja-arvot
 - “täysin kohinaton kanava, jossa pystytään erottamaan ääretön määrä tasoja”

10/16/2003

42

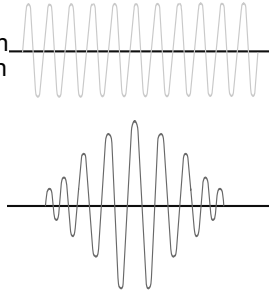
Tiedon koodaus signaaliin

□ bittien koodaukseen käytetään signaalin

- taajuutta
- amplitudia
- vaihetta

□ signalointinopeus

- signaalia / s
- yksikkönä **baudi**



Fysikaalinen tulkinta

□ mielivaltainen jaksollinen signaali

□ generoidaan tarpeellinen määrä eritaajuisia siniaaltoja

□ siniaaltoja on helppo generoida

□ määrä voi olla myös ääretön

□ käytännössä mukaan vain äärellinen määrä

□ signaali vääristyy

□ spektri

• signaalin siniaaltojen taajuuksien kokoelma

10/16/2003

46

Sinifunktio

□ perusesimerkki jaksollisesta funktiosta

$$s(t) = A \sin(2\pi f t + \phi)$$

A maksimiampplitudi

f taajuus

ϕ vaihe

Pelkkä sinifunktio ei pysty sellaisenaan välittämään informaatiota, vaan siinä täytyy olla muutoksia!

10/16/2003

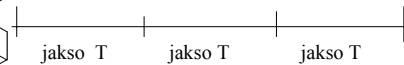
44

Esimerkki: 'b'-kirjain

□ b = 01100010

□ tästä saadaan jaksollinen funktio, kun ajatellaan b:n lähetyksen toistuvan

□ 01100010 01100010 01100010



$$T = 8; \quad f = 1/T = 1/8$$

10/16/2003

47

Fourier-sarja

□ Mikä tahansa (lähes) jaksollinen funktio voidaan esittää Fourier-sarjana

$$g(t) = C/2 + \sum_n A_n \sin(2\pi n f t) + \sum_n B_n \cos(2\pi n f t)$$

summissa n saa arvot [1,4]

taajuus $f = 1/T$, jossa T = yhden jakson aika (s)

$A_n, B_n =$ Fourier-kertoimet (harmonics)

C = vakio

10/16/2003

45

□ $g(t) = 0, 0 \leq t < 1$

1, $1 \leq t < 2$

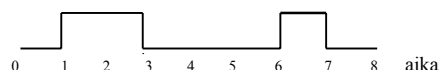
1, $2 \leq t < 3$

0, $3 \leq t < 4$

.....

1, $6 \leq t < 7$

0, $7 \leq t < 8$



Kertoimien laskeminen

- ❖ Kun integroidaan lausekkeet A_n , B_n ja C_n käyttäen 'b':n jaksollista funktioita, saadaan 'b'-funktion Fourier-kertoimet.
- ❖ 'b'-signaalin tarkkaan esittämiseen tarvitaan ääretön määrä Fourier-sarjan kertoimia
- ❖ signaali voidaan approksimoida äärellisellä määrällä termejä
- ❖ mitä enemmän kertoimia sitä tarkempi approksimaatio

10/16/2003

49

Kanavan siirtokyky

- siirtonopeus ja siirrettävän tietoyksikön koko ('signaalin pituus bitteinä') ==> tietoyksikön siirtoaika eli sen jaksonpituus T
- 1. Kertoimen taajuus = $1/T$
- rajallisessa kanavassa voi lähettää vain rajallisen määrän harmonic-termejä
- termien määrä ==> signaalin laatu

10/16/2003

52

Spektri ja kaistanleveys (bandwidth)

- signaalin spektri
 - $f_2 - f_1$, missä f_1 on pienin ja f_2 suurin signaalin siniaaltokomponentin taajuus
- siirtomedian kaistanleveys
 - väli $[f_1, f_2]$, jolla alueella olevia taajuuksia media pystyy välittämään
 - vääristämättä niitä liian paljon
 - siirtomedian ominaisuus

10/16/2003

50

Esimerkki

- kanavan nopeus 9600 bps
- tietoyksikön koko 8 bittiä ('b')
- tietoyksikön siirtoaika
 $T = 8/9600 = 0.833$ ms
- 1. termi = $1/T = 9600/8 = 1200$ Hz

10/16/2003

53

Kaistanleveys ja tiedonsiirto

- mitä suurempi kaistanleveys, sitä suuremmat taajuudet mahdollisia, sitä useampi Fourier-termi kaistaan mahtuu ==> **signaalin muoto säilyy oikeampana**
 - ❖ Pieni kaistanleveys => siirtonopeus on myös pieni!
 - ❖ Suuri kaistanleveys sallii suuremmat nopeudet

10/16/2003

51

Esimerkki jatkuu

- Jos kanavan kapasiteetti on 3000 Hz (~puhelinlinjalla)
- => kanavaan mahtuu $3000/1200$ eli 2 termiä
- => lähetyksen laatu on huono

10/16/2003

54

Esimerkki jatkuu yhä

- tiedonsiirtonopeus 38400 bps
- ja kanavan kaista 3000 Hz
- => 1. termi = 4800 Hz

- => binääritietoa eli kaksiarvoista (0, 1) ei voida lähettää, sillä kaistaan ei mahdu yhtään tämän taajuisen signaalin termiä!

10/16/2003

55

Näytteiden otto

- Nyquist =>
 - Jos siirtokanavan kaistanleveys on H, niin kaikki kanavan kuljettava informaatio saadaan ottamalla kanavasta 2 H näytettä sekunnissa
 - tiuhempi näytteiden otto ei enää tuota lisää informaatiota
 - Kaikki, mitä tapahtuu havaitaan tutkimalla tilannetta 2H kertaa sekunnissa

10/16/2003

58

Miten suuremmat nopeudet ovat mahdollisia?

- Kyseessä oikeastaan signaalimuutosten määrä aikayksikössä: baudit
- signaalilla voi olla useita tasoja
 - kaksi tasoa: 0 ja 1
 - useampia tasoja : esim. 0, 1, 2 ja 3
 - Tasojen määrä kasvattaa yhdessä muutoksessa välittyvää informaation määrää: 1 bitti, 2 bittiä, ... eli \log_2 (tasojen lukumäärä)

10/16/2003

56

Esimerkki

- Modeemi yleisessä puhelinverkossa käyttää 8 tasoa. Verkon kaistanleveys on 3100 Hz. Mikä on tiedonsiirtonopeus?
- Nyquistin kaava: $C = 2H \log_2(V)$ bps
- $C = 2 * 3100 * \log_2(8)$ bps
= 6200 * 3 bps
= 18600 bps

10/16/2003

59

Nyquistin kaava

- maksimaalinen tiedonsiirtonopeus häiriöttömällä kanavalla

$$C = 2 H \log_2 V \text{ bps}$$

C = tiedonsiirtonopeus (bps)
H = kaistanleveys
V = tasojen lukumäärä

10/16/2003

57

Kohina

- Kohinaksi kutsutaan johtimessa aina taustalla esiintyvää sähkömagneettista aaltoliikettä
 - vahvistamaton signaali vaimenee kohinaksi
- signaali-kohina -suhde SNR
$$\text{SNR} = 10 \log_{10} (S/N) \text{ dB}$$

S = signaalin teho
N = kohinan teho

 - ilmoitetaan desibeleinä
 - suuri SNR => hyvä signaalin laatu

10/16/2003

60

Shannonin kaava

- maksimaalinen tiedonsiirtonopeus kohinaisessa kanavassa

$$C = H \log_2 (1 + S/N) \text{ bps}$$

H kaistan leveys

S signaalin teho watteina

N kohinan teho watteina

10/16/2003

61

Laajaverkot (WAN)

- **Televerkko**
 - Modeemi, xDSL, kanavointi, PCM, T1, SONET
- **X.25, kehysvälitys** (Frame Relay)
- **Atm-verkko**

10/16/2003

64

Esimerkki

- Yleisessä puhelinverkossa H = 3000 Hz ja SNR = 20 dB. Mikä on (teoreettinen) maksiminopeus C?

$$SNR = 20 = 10 \log_{10} (S/N)$$

$$2 = \log_{10} (S/N) \text{ eli } S/N = 10^{**2} = 100$$

$$C = H \log_2 (1+S/N) = 3000 \log_2 (1+100)$$

$$= 3000 \log_{10}(101) / \log_{10}(2)$$

$$= 19974 \text{ bps}$$

10/16/2003

62

Puhelinverkko

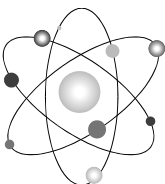
- Olemassa oleva infrastruktuuri 'tiedon' kuljetukseen
- Ongelma
 - äänenkuljetusteknologian sopivuus tietokoneiden väliseen kommunikointiin
 - datalinja 10^{**7} - 10^{**9} bps, BER ~ 10^{**12}
 - puhelin 10^{**5} bps, BER ~ 10^{**5} (?)
 - vrt. 1 km/t <-> 100 - 10000 km/t
 - MTBF 2.8 min <-> 53 vuotta

10/16/2003

65

Esimerkki jatkuu

- Tyypillisesti SNR = 30 DB ==>
- 3000 Hz:n kanavalla teoreettinen maksimi aina < 30000
- käytettiin koodauksessa kuinka monta tasoa tahansa
- 'luonnonlaki' ~ valon nopeus



10/16/2003

63

Ristiriita

- eri taajuuudet vaimenevat eri tavoin
- eri taajuuudet etenevät eri nopeudella
- ==> kapea kaista
 - vähemmän virheitä analogisissa signaaleissa
- digitaalinen 'kantti'-signaali
- ==> leveä kaista
 - digitaalisen signaalin muoto säilyy

10/16/2003

66

Digitaalisen signaloinnin edut

- vaimenee ja vääristyy nopeammin, mutta ylläpidettävissä
 - vähemmän virheitä
- eri tietomuodot limitettävissä
 - ääni, kuva data
- suuret siirtonopeudet
- tekniikka yksinkertainen
- => puhelinverkon digitalisointi

10/16/2003

67

xDSL-modeemit

- digitaalinen paikallissilmukka
 - (Digital Subscriber Loop)
- kierretyn parin kaistanleveys >> 4000Hz
 - 4 000 HZ:n rajoitus puhelintekniikasta
- useita hieman erilaisia ratkaisuja
 - ADSL
 - SDSL
 - HDSL
 - VDSL

10/16/2003

70

Modeemi

- muunnokset digitaalisen ja analogisen signaalin välillä
- kehittynyt modeemi moduloi sekä amplitudia että vaihetta
 - taajuuden havaitseminen on liian hidasta!
- 'constellation pattern' ilmoittaa käytetyt vaiheet ja amplitudit

10/16/2003

68

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Loop)

- kaksi eri nopeutta
 - hidas tilaajalta palvelulle (esim. tilausvideo)
 - nopea palvelulta tilaajalle
 - maksimissaan 6 - 8 Mbps alavirtaan, 0.8-1 Mbps ylävirtaan
 - nopeus riippuu johdon laadusta ja etäisyydestä
- samanaikainen puhelin- tai ISDN-yhteys
- menetelmät
 - DMT (Discrete MultiTone)
 - CAP (Carrierless Amplitude/Phase Modulation)

10/16/2003

71

Modeemeja

- QAM (Quadrature Amplitude Modulation)
 - 9600 bps 2400 baudin linjalla, 16 eri 'tasoa' = 4 bittiä
- V.32bis
 - 14 400 bps 2400 baudin linjalla, 64 tasoa => 6 bittiä
- V.34
 - 28.8 Kbps => 33.6 Kbps (teoreettinen raja (Shannon): 35 Kbps)
- V.90, V.92
 - 56 Kbps
 - "V.90 will be the final analog modem speed standard."

10/16/2003

69

DMT (Discrete multitone)

- jaetaan kaista alikanaviin (ANSI T1.413):
 - 256 kappaletta 4 KHz:n alikanavaa,
 - 32 kaksisuuntaista => lähetävät myös ylävirtaan
 - kullakin kanavalla oma QAM-modeemi
 - vaihtelevat bittinopeudet eri kanavilla 0-16 bpHz
 - signallointi sovitettu eri taajuuksien ominaisuuksiin
 - siirrettävän sanoman bitit jaetaan eri kanaville kanavien laadun (~SNR) perusteella
 - lähetyskanavan laatua valvotaan ja niiden kuormitusta muutetaan tarpeen mukaan, jopa suljetaan tarvittaessa
 - monimutkainen laskenta => paljon prosessointia

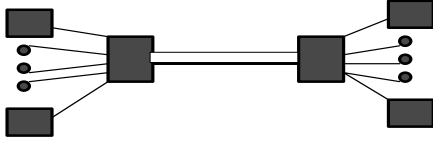
10/16/2003

72

Kanavointi (multiplexing)

□ Kanavointi (tai limitys)

- runkolinja yhteiskäytössä



10/16/2003

73

WDM (Wavelength Division Multiplexing)

□ valokaapelissa käytetty FDM

- samassa kaapelissa voidaan lähettää useita, 4-32 eri aallonpituutta
 - ~ valo ja sen eri aallonpituudet eroavat prismassa
 - DWDM (Dense wavelength division multiplexing)
- nykyisten kuituyhteyksien nopeudet saadaan moninkertaisiksi
 - yhdessä kuidussa päästään jopa 960 Gbps
 - jakamalla kuitu kanaviin => terabitinopeuksia

10/16/2003

76

Kanavoitintekniikat

□ FDM (Frequency Division Multiplexing)

- taajuusjakokanavointi
 - linja jaettu useaan eri kanavaan
 - kukin lähettää omalla kanavallaan

□ TDM (Time Division Multiplexing)

- aikajakokanavointi
 - koko kanava vuorotellen eri lähettäjän käytössä
 - lyhyet ajat => tasainen lähetys kaikilla

10/16/2003

74

Aikajakokanavointi TDM

□ digitaalikanavan yhteiskäyttö

- FDM: vain analogisille linjoille

□ TDM vain digitaaliselle datalle

- puhelinverkossa
 - 'local loop' analoginen
 - runkolinjat digitaalisia
- tarvitaan muunnos analogisesta digitaaliseen
 - codec: 8000 näytettä/s, 7-8 bittiä/ näyte

10/16/2003

77

Taajuusjakokanavointi

□ puhelinliikenteessä

- kullekin kanavalle varattu 4000 Hz
 - 3000 Hz puhelua varten + varoalue
- eri kanavien taajuusalueet muutetaan erilaisiksi
- kanavat yhdistetään yhdelle linjalle
 - varoalueesta huolimatta hiukan sotkevat toisiaan

10/16/2003

75

PCM (Pulse Code Modulation)

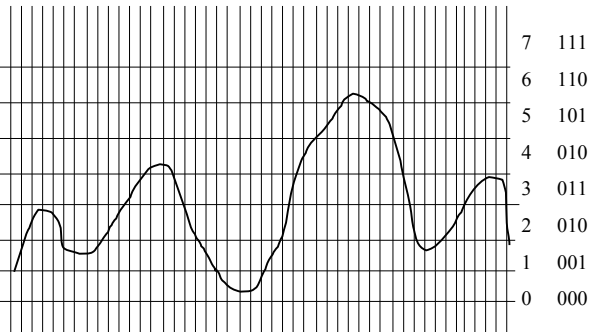
□ Tekniikka analogisen signaalin digitalisointiin

- nykyaikaisen puhelinjärjestelmän 'peruspalikka'
- useita erilaisia versioita käytössä
 - USA, Japani: T1 carrier -tekniikka
 - ITU-T (CCITT)
- otetaan anal. signaalista näytteitä, joiden arvo esitetään kiinteällä bittimäärällä (usein 8 tai 64).

10/16/2003

78

Yleensä tasoja on 256 kappaletta => 8 bittiä



Näytteitä tarpeeksi tiuhaan
(Nyquist: 2* maksimitaajuus) $2*4000*8 \text{ b/s} = 64\text{Kbps}$

SONET/SDH

- ❖ **SONET** (Synchronous Optical NETwork)
 - ❖ **Bellcore**
- ❖ **SDH** (Synchronous Digital Hierarchy)
 - ITU-T
 - lähes samanlaiset!
- ❖ korvaamaan eri tahoilla kehitetyt optiset TDM-käytännöt
- ❖ Käytössä erityisesti Internetin runkolinjoilla

10/16/2003

82

T1-linja (tai DS1 (digital signal))

- ❖ 24 äänikanavaa, kanavista näyte vuorotellen
 - näyte = 8 bittiä, joista yksi pariteettibitti
 - $7*8000 = 56\,000 \text{ bps}$ dataa ja 8000 bps signaalointi-fooa
- ❖ kehys:
 - $24 * 8 = 192 \text{ bittiä}$
 - + kehystysbitti: 010101010101
 - 193 bittiä/125 μs => 1.544 Mbps
- ❖ eurooppalainen E1 2.048 Mbps
- ❖ käytössä esim. vuokralinjoilla

10/16/2003

80

Tavoitteet

- ❖ kaukopuhelun fyysisen kerroksen standardi
 - ❖ operaattoreiden yhteistoiminta
 - ❖ aallonpituus, ajoitus, kehysrakenne, ...
 - ❖ PCM-kanavoinnin 'yhtenäistäminen'
 - ❖ digitaalikanavien limitys runkolinjoihin
 - ❖ T3 =>
 - ❖ toiminnan, hallinnan ja ylläpidon tuki
 - ❖ OAM (operation, administration, management)

10/16/2003

83

T1-linjojen yhdistäminen

- ❖ T1-linjoja voidaan yhdistää edelleen
 - 4 T1-linjaa => T2-linja (6.312 Mbps)
 - 6 T2-linjaa => T3-linja (44.736 Mbps)
 - 7 T3-linjaa => T4-linja (274.176 Mbps)
 - joka yhdistämisellä lisätään bittejä kehystystä ja kehysvirheestä toipumista varten
- ❖ useita erilaisia yhdistämistapoja
 - ITU: yhdistetään jatkossa aina neljä joka kerralla
 - 32, 128, 512, 2048, 8192 kanavaa => 2.048 - 565.148 Mbps

10/16/2003

81

TDM

- yksi kanava, josta aikaviipaleita alikanaville
- ❖ **synkroninen**
 - master clock, tarkkuus $\sim 1/10^{*}9$
 - bitit lähetetään kellon tahdissa
- ❖ **kehys**
 - 810 tavua, 125 ms välein (= PCM-näytteenottotaajuus)
 - lähetetään oli dataa tai ei

10/16/2003

84

SONET-kehys

❖ 810 tavua =

9 riviä, jolla kullakin 90 saraketta

- kehyksen 3 ensimmäistä saraketta hallintaa varten
 - vierekkäisten laitteiden keskinäistä tiedonvaihtoa
 - MUX:ien välistä tiedonvaihtoa
- 87 saraketta käyttäjändataa =>
SPE (Synchronous Payload Envelope)
 - $87 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 8000 = 50.112 \text{ Mbps}$

10/16/2003

85

X.25

- ❖ ensimmäinen **julkinen** pakettikytkentäinen teknologia, maks 64 kbps
 - kehitettiin 70-luvun lopussa, käytössä vielä 90-luvulla, tuskin missään enää käytössä
 - vanhanaikaiseen puhelinverkkoon
 - vanhoja kuparikaapeleita => paljon virheitä
 - => **HDLC-tyyppinen siirtoyhteysprotokolla**
 - virhetarkistus ja kuittaus sekä vuonvalvonta joka linkillä
 - tyhmiä päätteitä => älykkyys verkkoon
 - => **virtuaaliipiiverkko**

10/16/2003

88

SPE

- ❖ kuljetushallinnon yksikkö (~‘kontti’)
- ❖ voi alkaa mistä tahansa kohtaa kehystä
 - osoitin alkuun
 - ‘line overhead’ 1. rivillä
 - voi jatkaa toiselle kehykselle
 - ei tarvitse odottaa kehyksen alkua
 - esim. atm-solukuorma sopii paremmin
- ❖ hallintatietoa lähettävän ja vastaanottavan SONET-terminaalien (esim. reititin) välillä
 - ❖ siirtoon liittyvää tietoa

10/16/2003

86

Kehyväilytys (Frame Relay)

- ❖ “second-generation X.25”
 - kehitettiin 80-lopussa, käytössä 90-luvulla
 - virtuaaliipiiverkko (usein pysyvä)
 - ei virhevalvontaa, ei vuonvalvontaa
 - lasikuitulinkit lähes virheettömiä
 - taattu lähetyksenopeus
 - käytetään LANien yhdistämiseen
 - IP-liikennettä yrityksen eri toimintapisteiden välillä
 - luotettavampi kuin Internet!
 - 64 kbps ... 1.544 Mbps

10/16/2003

89

Datavirtojen limitys

- ❖ siirtonopeus
 - $8 \cdot 810 = 6480$ bittiä => 51.84 Mbps =>
OC-1 optisille signaaleille (STS-1 (Synchronous Transport Signal-1) elektromagneettisille signaaleille)
- ❖ limitys
 - kolme OC-1 => OC-3 = 155.52 Mbps
 - neljä OC-3 => OC-12 = 466.56 Mbps
 - ... => OC-192 = 9953.28 Mbps ~10 Gbps
 - Vastaavasti STS-1 STS-192

10/16/2003

87

ISDN (Integrated Services Digital Network)

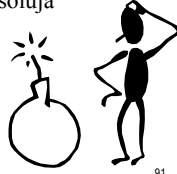
- ❖ Telelaitosten suuruusuntainen hanke
 - 70- ja varsinkin 80-luvulla: IDN (Integrated Digital Network) => ISDN
- yhdistää ääni- ja datapalvelut
- evolutionäärinen kehitys
 - N-ISDN (Narrowband ISDN) => mm. Frame Relay
 - 64 Kbps
 - B-ISDN => **atm** (asynchronous transfer mode)
- Internet-käyttö
 - 2B+D => 144 Kbps ~ modeeminopeus 28.8 -56 kbps

10/16/2003

90

B-ISDN (Broadband ISDN)

- ❖ nopeus 155 Mbps
- ❖ atm-teknologia
 - pakettikytkentä, virtuaalipiiri
 - kiinteän kokoisia paketteja eli soluja
- ❖ mullistus aikaisempaan
 - piirikytkentä
 - kytkintekniikka
 - tilaajasilmukka (local loop)



10/16/2003

91

Atm on yhteydellinen

- ❖ virtuaalikanava (virtual channel)
 - yksisuuntainen **virtuaalipiiri**
 - pakettien (solujen) järjestys yhdessä virtuaalikanavassa säilyy
 - eri virtuaalikanavilla järjestystä ei taata
 - runkolinjoissa yleensä kiinteät virtuaalipiirit
- ❖ virtuaalikanavat voidaan ryhmitellä **virtuaalipoluiksi** (virtual path)
 - ~ johtokimppu
 - reititetään yhdessä

10/16/2003

94

Atm (Asynchronous Transfer Mode)

- ❖ ITU ja ATM Forum kehittivät atm-standardeja 80-luvun puolivälistä lähtien
 - pakettivälitystä virtuaalipiirissä
 - erilaista palvelua erityyppisten sovellusten tarpeisiin
 - pieni paketti eli solun koko = 48 tavua + 5 tavun otsake
 - solukytkentää (cell switching)

10/16/2003

92

Atm-käyttö

- ❖ Runkolinjoissa
 - n. 80% on atm-linjoja
 - atm-kytkin on nopea
 - terabitteja sekunnissa
 - Pieni solu ja yksikertainen otsake => nopea käsittely
 - IP-over-atm
 - IP pitää atm-verkkoa linkkitason yhteytenä

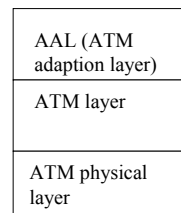
10/16/2003

95

- ❑ telelaitosten suurisuuntainen projekti
 - koko puhelinverkon korvaaminen!
 - muiden televerkkojen korvaaminen
 - TV-verkkojen 'kaappaaminen'
- ❑ erilaisten sovellusten tarpeisiin
 - ❑ mukana myös palvelun laatu ja verkon hallinta
 - ❑ ääntä, kuvaa, tekstiä
- ❑ erilaisiin verkkoihin: runkoverkot => LAN
- ❑ toimii erilaisten fyysisten kerrosten päällä
 - ❑ SONET

10/16/2003

93



Atm:n kolme kerrosta

atm-sovituskerros: eri tarpeisiin erilaisi

AAL 5 IP-liikenteelle
atm-kerros

atm:n fyysinen kerros
siirtää atm-soluja
fyysisellä linkillä

Atm-kerros

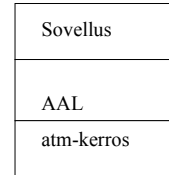
- ❖ ei käytetä kuittauksia eikä uudelleenlähetystä
 - tarkoitettu luotettaville valokaapeliverkoille
 - yhden tai muutaman bitin virheen korjaus tarkistussumman avulla
 - tosiaikainen liikenne
- ❖ otsakkeen tarkistus
 - HEC
 - ATM Fyysinen kerros käyttää solurajojen selvittämiseen

10/16/2003

97

AAL-kerros

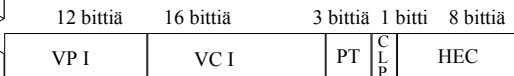
- ❑ Sovittaa erilaiset protokollat (esim. IP) ja sovellukset (esim. video ja ääni) toimimaan atm-kerroksen päällä
 - ❑ IP-reitittimien välillä
 - ❑ isäntäkoneiden välillä



10/16/2003

100

Solun otsake



- VPI Virtual Path Identifier
- VCI Virtual Channel Identification
- PT Payload Type
- CLP Cell Loss Priority
- HEC Header Error Check

10/16/2003

98

Palveluluokat

- ❑ **CBR** constant bit rate
 - ❑ T1- piiri, ~sähköjohto
- ❑ **RT-VBR** variable bit rate, real time
 - ❑ videokonferenssi
- ❑ **NRT-VBR** variable bit rate, non-real time
 - ❑ multimedia sähköposti
- ❑ **ABR** available bit rate
 - ❑ selailu www-verkossa
- ❑ **UBR** unspecified bit rate
 - ❑ tiedonsiirto tausta-ajona, IP-pakettien siirto

10/16/2003

101

❖ CLP

- tärkeä tai vähemmän tärkeä solu
- ruuhkan sattuessa hävitetään ensin vähemmän tärkeät

❖ HEC

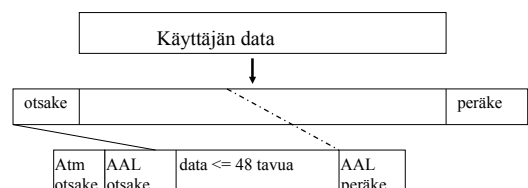
- laskee tarkistussumman otsakkeelle
 - korjaa yhden bitin virheet
 - havaitsee noin 90 % virheröyöpiästä
 - valokuidussa suurin osa virheistä yhden bitin virheitä

10/16/2003

99

Erilaisia AAL-kerroksia

- ❖ AAL 1: CBR-palvelua varten
- ❖ AAL 2: VBR-palveluihin
- ❖ AAL 5: datalle (esim. IP-liikenteelle)



ATM:n ongelmia

- ❖ suurimmat nopeudet OC-48 –luokkaa: segmentointi ja uudelleen kokoaminen rasittavat ('on jo liian hidas'
- ❖ solun otsakkeen yleisrasite liian suuri
- ❖ AAL-kerrokset melko onnettomia => AAL5
- ❖ erilliset signaalointi- ja reititystoiminnot
- ❖ hankala sovittaa LAN:iin (LAN-emulointi)
- ❖ => MPLS-teknologia (Multi-Protocol Label Switching)
 - Vaihtelevan mittaisia paketteja
 - Käyttää IP-reititystä