

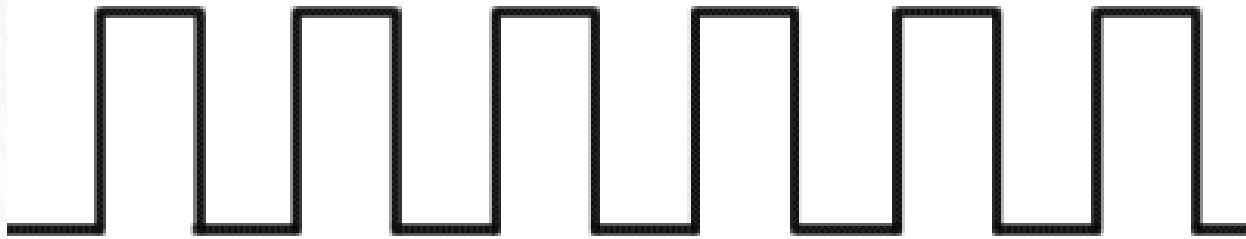
OSI füüsiline kiht

Füüsilise taseme komponendid

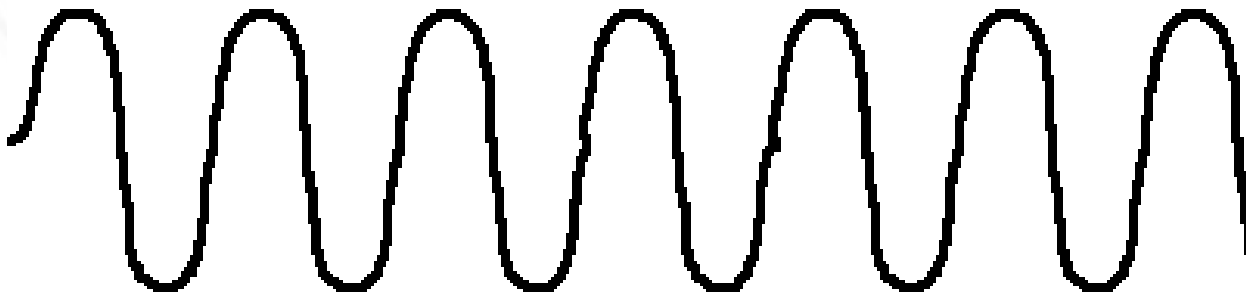
- Sobiv meedium (sideliin)
- Liides arvuti ja sideliini vahel (võrgukaart)
- Võrguseadmed (suunavad ja võimendavad signaale)

Signaalid

Digital signal



Analog signal

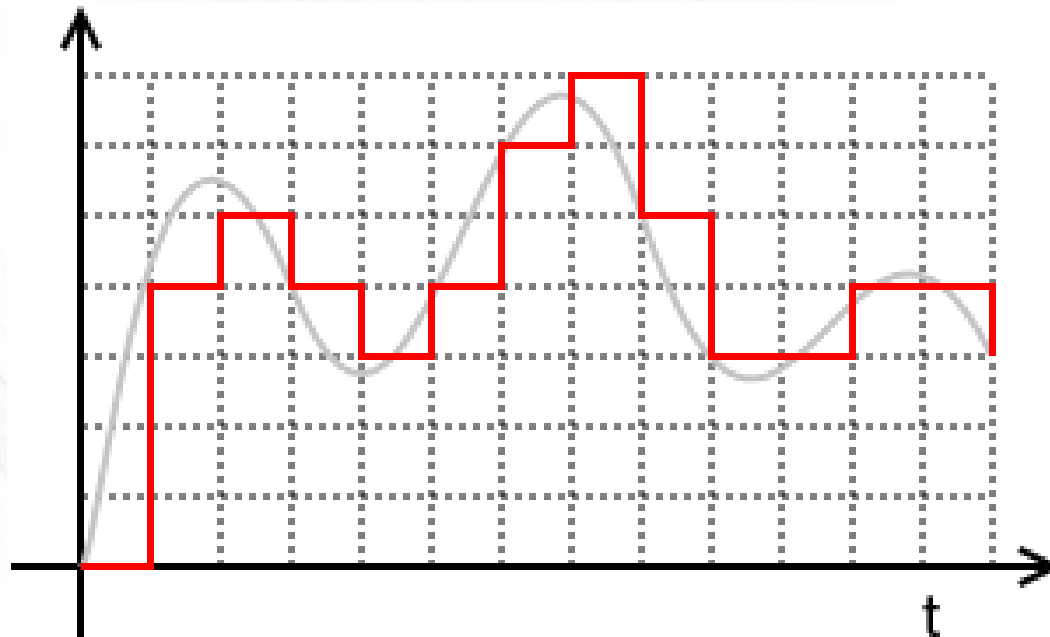


Signaal

- Ajas ja väärtustelt pidev
- Ajas pidev, väärtustelt diskreetne
- Ajas diskreetne, väärtustelt pidev
- Ajas ja väärtustelt diskreetne

Signaal

- Ajas pidev, väärtustelt diskreetne



Analoog- vs digitaalsignaali

- Ribalaiust mõõdetakse
 - analoogsignaali korral võngetes ajaühiku kohta, nt hertsides (Hz)
 - digitaalsignaali korral infohulgas (bittides) ajaühiku kohta (b/s)
- Digitaalsignaali edastatakse analoogsignaali “kaudu”, st füüsiliselt edastatakse ikkagi analoogsignaali

Meedium - elektriikaabel

- Signaali kvaliteedi kaablis määravad kaabli parameetrid
 - mahtuvus (F)
 - üldtakistus (Ω)
 - sumbuvus (dB/100m)

Signaal kaablis

- Signaal ei saa kaablis levida ükskõik kui kaugele. Põhjused
 - sumbuvus
 - peegeldused (vigastused, suurema takistusega kohad jm ebaühtlused)
 - ülekoosted

Ülekosted

- NEXT (*near-end crosstalk*) – signaali ülekoste kõrvaltraatidese saatjapoolses otsas mõõdetuna
- FEXT (*far-end crosstalk*) – signaali ülekoste kõrvaltraatidesse vastuvõtjapoolses otsas mõõdetuna
- PSNEXT (*power sum near-end crosstalk*) – ülekoste ühele traadile mitmelt naabertraadilt
- AXT (*alien crosstalk*) – ülekoste naaberkaablitest
- . . .

Multipleksimine

- Üle ühe sideliini kantarise korraga mitu sidekanalit
- multiplekser – demultiplekser

Multipleksimine

- Aegmultipleksimine (TDM – time-division multiplexing)
 - GSM, ISDN, xPON (upload)
 - olemuselt järjestikune
- Sagedusmultipleksimine (FDM – frequency-division multiplexing)
 - raadio- ja telejaamad
 - olemuselt paralleelne
- WDM (wavelength division multiplexing)
 - nagu FDM, aga valguse puhul FO kaablis

Multipleksimine

- Statistiline multipleksimine
 - nagu TDM, ajapilusid jagatakse dünaamiliselt vajadusel, ajapilu suurus on muutuv

Asünkroon vs sünkroonedastus

- Asünkroonne

Saatja annab vastuvõtjale märku andmete saatmise alustamisest

start/stop signaalid + juhtsignaalid iga baidi kohta

sünkroniseerimisinfo edastatakse koos andmetega (enne andmeid)

- Sünkroonne

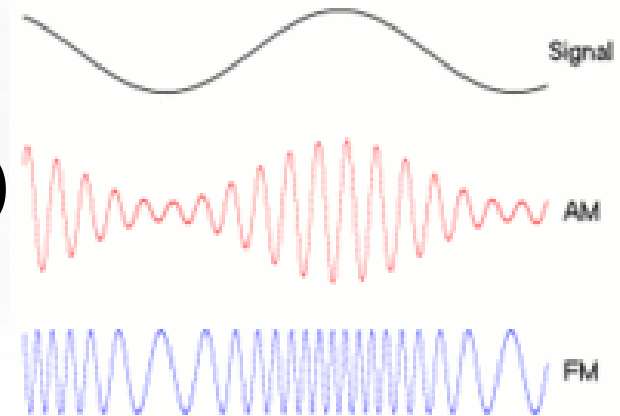
vastuvõtja on pidevalt valmis andmeid vastu võtma ja saatja saadab neid “ette teatamata”

Sünkroniseerimine

- eraldi juhe sünkrosignaali jaoks
- sünkrosignaali ja andmed “kokku liidetud”

Moduleerimine

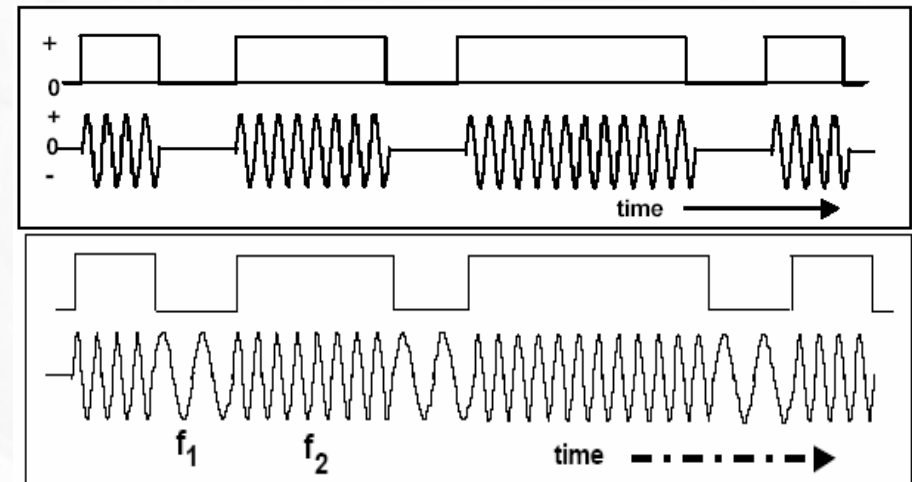
- Toimub ühe signaali (kandja) mingi parameetri muutmine vastavalt ülekantavale signaalile
- modulaator – demodulaator (detektor)
- Analoogmodulatsioon
 - amplituudmodulatsioon (AM)
 - sagedusmodulatsioon (FM)
 - faasimodulatsioon (PM)



Moduleerimine

- Digitaalmodulatsioon

- ASK (amplitude-shift keying)
- FSK (frequency-shift keying)
- PSK (phase-shift keying)
- QAM (quadrature amplitude modulation)



*BAND

- **BASEBAND** – põhiribaedastus
 - kaablisse edastatakse üks moduleerimata ja multipleksimata signaal
- **BROADBAND** – lairibaedastus
 - mitu signaali paralleelselt ühes juhtmes

Ethernet

Ajalugu

1970 – ALOHA projekt (ALOHAnet) – Hawaii Ülikool

1972 – Xerox PARC (Robert Metcalfe)

1973 – Ethernet (22. mai, 11 nov) Bob Metcalfe, David Boggs

1975 – US Patent 4063220 (*Multipoint Data Communication system with Collision Detection* Metcalfe, Boggs, Lampson)

1980 – DIX Ethernet, Ethernet ver 1 (Digital, Intel, Xerox)

1981 – IEEE 802.3 komitee

1982 – Ethernet II – 10Mbps

1983 – IEEE 802.3 Ethernet 10Mbps (jäme koaksiaal)

1986 – IEEE 802.3a Ethernet 10Mbps (peenike koaksiaal)

Ajalugu

1991 – IEEE 802.3i Ethernet 10Mbps (keerupaar)

1994 – IEEE 802.3j Ethernet 10Mbps (fiiber)

1995 – IEEE 802.3u Fast Ethernet 100Mbps

1998 – IEEE 802.3z 1000Mbps (1Gbps)

2002 – IEEE 802.3ae 10Gbps (fiiber)

2006 – IEEE 802.3an 10Gbps (UTP)

2010 – IEEE 802.3ba 40Gbps ja 100Gbps (100m MMF, 40km SMF)

2015 – IEEE 802.3bm 40Gbps ja 100Gbps (fiiber)

2016 – IEEE 802.3bq 25Gbps ja 40Gbps (UTP)

~2017 – IEEE 802.3bs – 400Gbps (fiiber)

Etherneti meediumi standardid

- Lisanimed, mis koosnevad kolmest osast:

XXXXBASE-**ZZ**

nt 10BASE-2, 100BASE-TX, 100BASE-T4

kus

XXXX - edastuse ribalaius
megabitti/sekundis

BASE - baseband signaalikodeering

ZZ - kaabli pikkust, tüüpi, töömeetodit
vms eristav tähis

Kaablid

- Cat3
- ...
- Cat6a
-
- Cat8.1

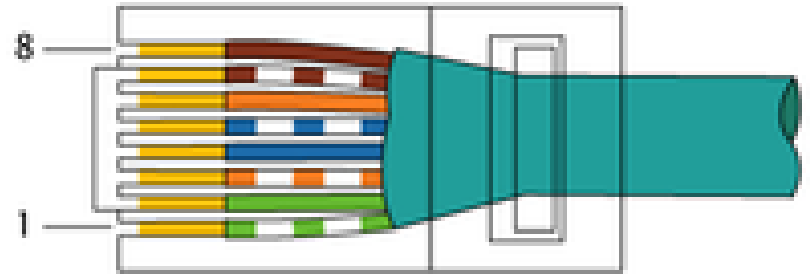
- SM või MM fiiber

Otsikud

- Cat5 UTP kaabli otsikuks on RJ45 (registered jack)
- Cat6 kaabli otsik on 8P8C
 - traadid lähevad otsikusse siksakis
 - ühilduv RJ45-ga
- Cat8 kaabli otsikuks 8P8C

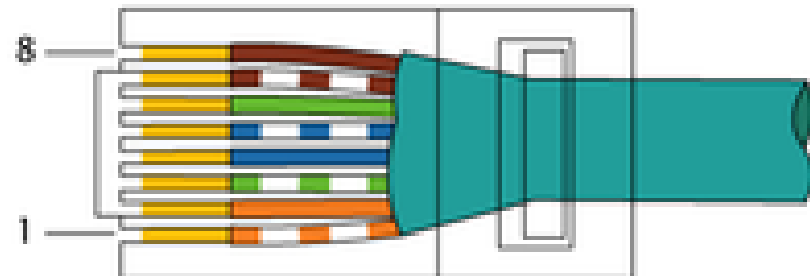
Otsikud

EIA/TIA-568A



EIA/TIA-568A

EIA/TIA-568B



EIA/TIA-568B

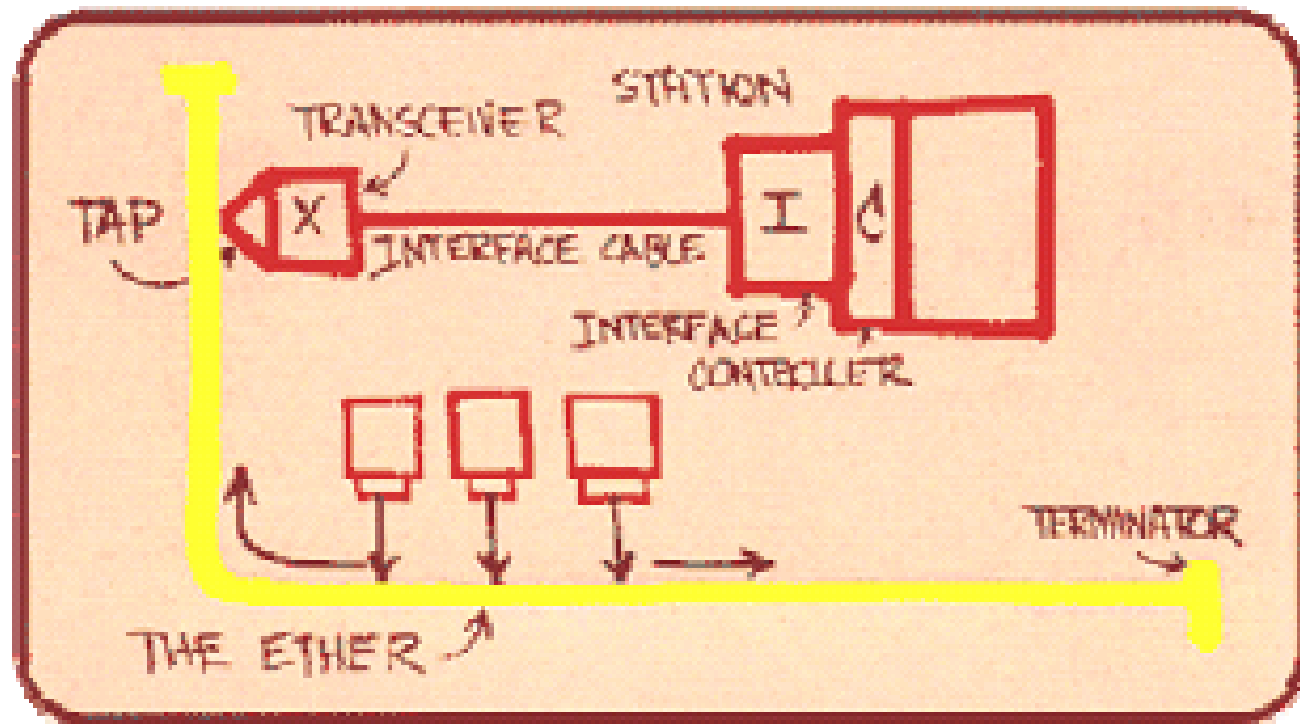
Ristkaabel

vaata

https://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet_crossover_cable

Ethernet

© 1976 Robert M. Metcalfe



Transiiver

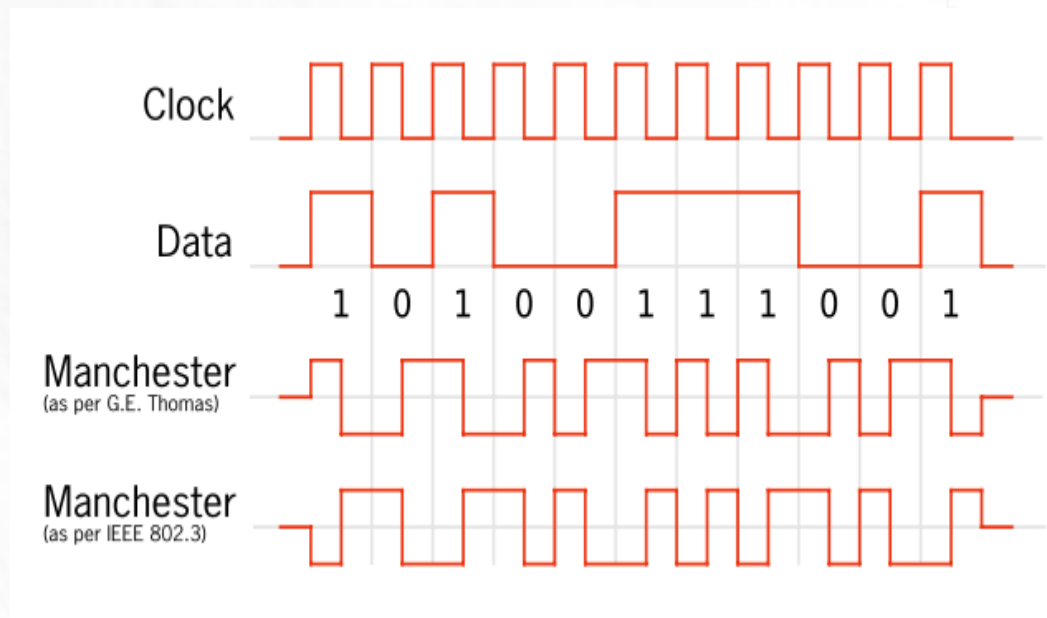
- Saatmisel muundab digitaalsignaali meediumile sobivaks analoogsignaals
- Vastuvõtmisel muundab meediumist saadud signaali digitaalsignaals
- eraldiseisev (seade või moodul)
- võrgukaardi sisse ehitatud

Manchester kodeering

MPE – *Manchester Phase Encoding*

ieee802.3

- 0 – signaali 1-nivoo läheb üle 0-nivooks
- 1 – signaali 0-nivoo läheb üle 1-nivooks
- üleminekud toimuvad igale bitile vastava ajavahemiku **keskel**
- ülemine (1)nivoo +0,85V
- alumine (0)nivoo -0,85V



Ethernet

- 10BASE-5, 10BASE-2, 10BASE-T
- Bitte edastatakse Manchesteri kodeeringus
- Kaadri algusest teatatakse spetsiaalse 8 baidise preambulaga (*preamble*)

10101010101010101...01011

Ethernet

- Kasutab jagatud meediumit –
 - kõigil on võrdsed võimalused andmeid saata
 - kõigil on võrdsed võimalused andmeid kätte saada
 - korraga saab infot saata vaid üks seade, kui juhtub, et mitu seadet saadavad andmeid üheaegselt, siis tekib meediumis liitsignaali, mis on **müra**. Sellist juhtu nimetatakse **põrkeks** (*collision*).

CSMA/CD

Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection

CS – *Carrier Sense* - kandjatuvastus ehk liiklusetuvastus

MA – *Multiple Access* - mitmikpöördus

CD – *Collision Detection* - põrketuvastus

Ethernet CSMA/CD

Saatmine

- vaikus kaablis?
- kaadri väljasaatmine ja samaaegne “kuulamine” kontrolliks
- Saatmise ajal ja pärast saatmist ei teki pörkesignaali
 - ok
- tekkis pörkesignaali
 - paus, kordus

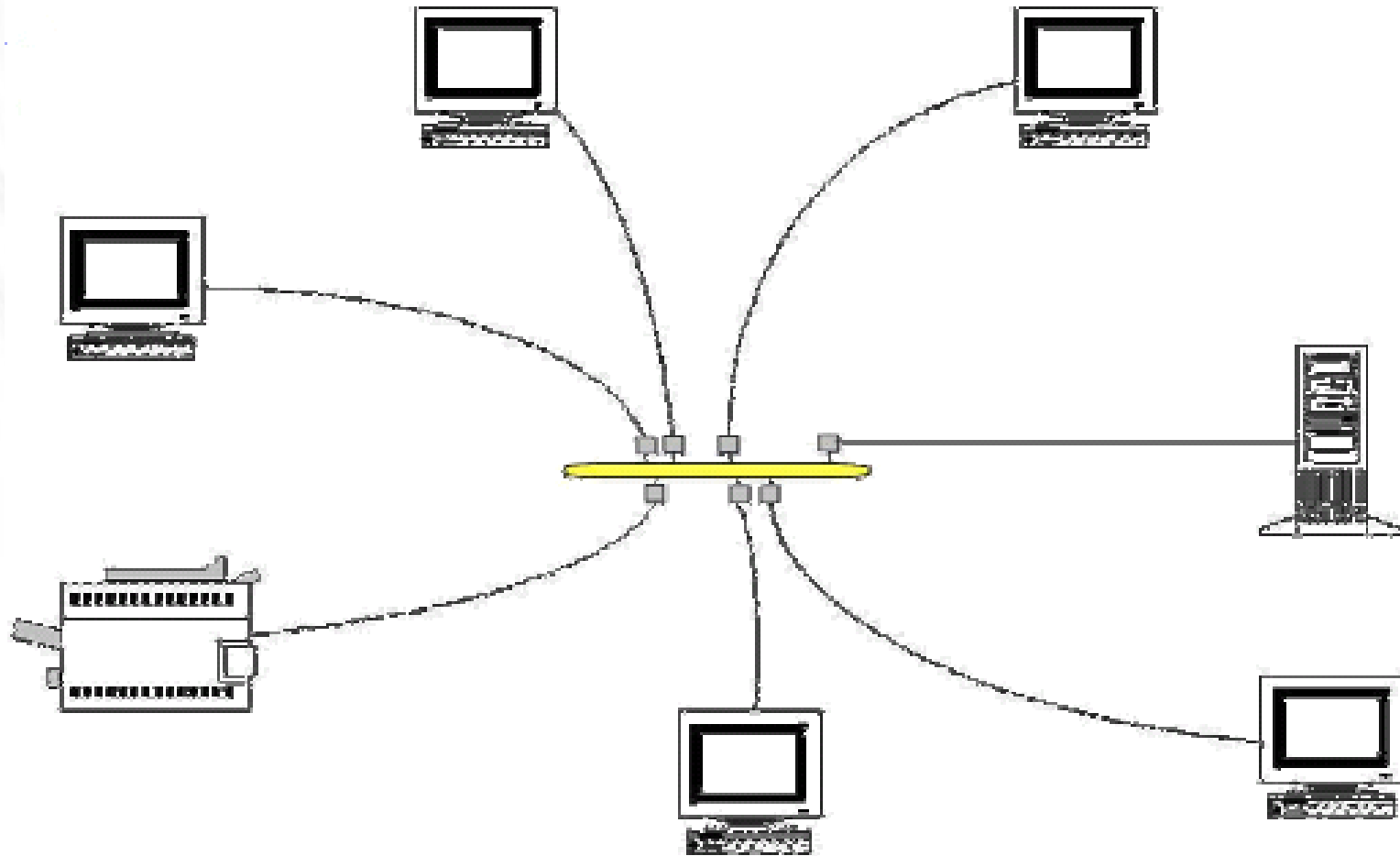
Vastuvõtmine

- ≥ 64 baiti kaader?
- ≤ 1518 baiti kaader?
- sobilik sihtaadress?
- kontrollsumma korrektne?
- kui kõik “jah”, siis töötleme kaadri sisu
- vastasel korral unustame kaadri

Põrkeala (*collision domain*)

- Põrge levib kogu meediumi ulatuses ja jõuab kõigi seadmeteni
- Meedium koos selles suhtlevate seadmetega moodustab põrkeala

Ethernet 10BASE-T



Ethernet 10BASE-T

pooldupleks (HD) režiim

4 traadipaari

- 2 paari – saatmine/vastuvõtt ja pörkesignaamid
- 2 paari - “muud nõrkvoolusignaamid”



Repiiter (repeater)

- Kasutatakse füüsilisel tasemel segmentide ühendamiseks
- Võimendab signaali (ka taasformeerib)
- MAC aadressid ja kaadri sisu on ebaoluline
- Ühendatud segmendid peavad olema sama kiirusega ja kasutama sama tüüpi meediumipöördust
- Ühendatud segmendid moodustavad ühe pörkeala

Vaskkaabli pikkused

10Base-T (kuni 100m)
100Base-TX (kuni 100m)

1000Base-CX (kuni 25m)
1000Base-T (kuni 100m)

10GBase-CX (kuni 15m)
10GBase-T (kuni 100m)

40GBASE-CR4 (kuni 10m)

100GBASE-CR10 (kuni 10m)

Fast Ethernet (IEEE 802.3u)

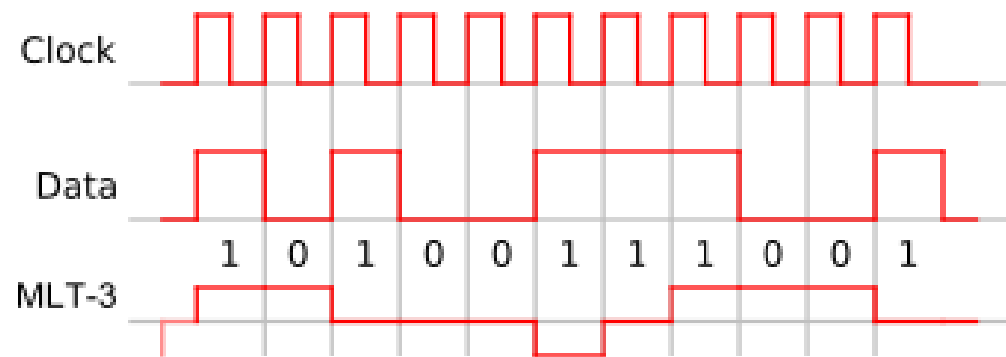
- 100BASE-TX – vask, 2 paari, Cat5
- (100BASE-T4 – vask, 4 paari Cat3)
- (100BASE-T2 – vask, 2 paari Cat3)
- 100BASE-FX – fiiber, 1 paar, 400m, 1300nm
- 100BASE-SX – fiiber, 1 paar MM, 550m, 850nm
- 100BASE-BX – fiiber, 1 kiud SM, 40km, 1310/1550nm
- 100BASE-LX10 – fiiber, 1 paar SM, 10km, 1013nm

100BASE-TX

- Andmed kodeeritakse 4B/5B kodeeringuga
- Kasutatakse MLT-3 füüsilist signaliseerimist

MLT-3 (Multi-Level Transmit)

- Kasutatakse kolme pingetaset
- Pingetase muutub kui saadetakse 1
- Pingetase jääb samaks kui saadetakse 0



4B/5B kodeerimine

- 4 bitti andmeid kodeeritakse 5-ks bitiks
 - et vältida rohkem kui 3 nulli järjestikust esinemist
 - plokk-kodeering
- efektiivsus 80%...

4B/5B kodeerimine

Nimi	4b	5b	Tähendus
0	0000	11110	hex data 0
1	0001	01001	hex data 1
2	0010	10100	hex data 2
3	0011	10101	hex data 3
4	0100	01010	hex data 4
5	0101	01011	hex data 5
6	0110	01110	hex data 6
7	0111	01111	hex data 7
8	1000	10010	hex data 8
9	1001	10011	hex data 9
A	1010	10110	hex data A
B	1011	10111	hex data B

Nimi	4b	5b	Tähendus
C	1100	11010	hex data C
D	1101	11011	hex data D
E	1110	11100	hex data E
F	1111	11101	hex data F
Q	-NONE-	00000	Quiet (signal lost)
I	-NONE-	11111	Idle
J	-NONE-	11000	Start #1
K	-NONE-	10001	Start #2
T	-NONE-	01101	End
R	-NONE-	00111	Reset
S	-NONE-	11001	Set
H	-NONE-	00100	Halt

100BASE-TX

- taktsagedus 125MHz
- biti kestuseks 8 ns
- üks traadipaar saatmiseks, teine vastuvõtuks (*full-duplex*, aga võimalik ka *half-duplex* režiim)
- max sagedus kaablis $125/4=31,25\text{MHz}$
- tekitab vähem el.-mag häireid kui Manchesteri kodeering

1000BASE-T

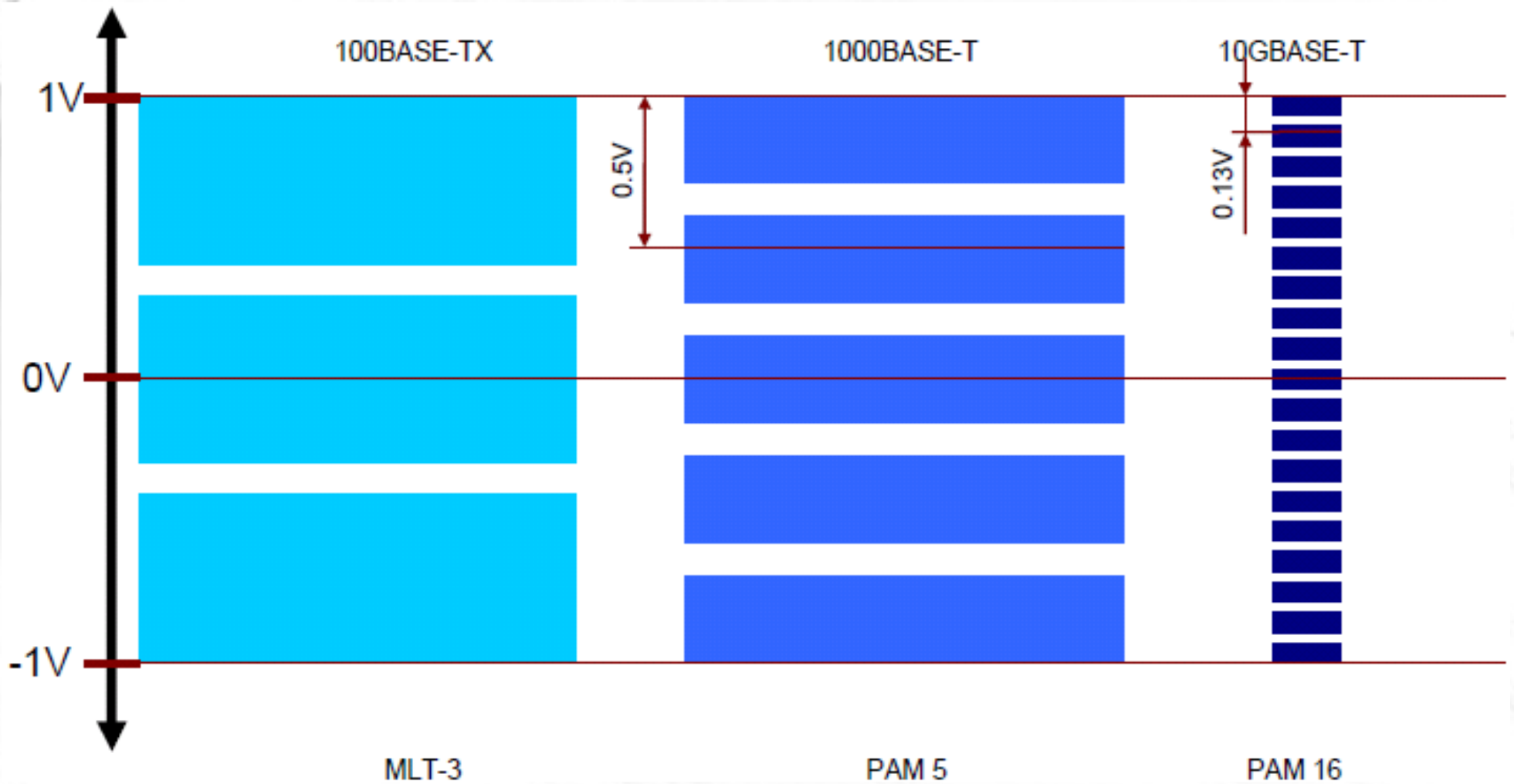
IEEE 802.3ab

- kasutatakse kõik 4 paari traate, igas korraga nii saatmine kui vastuvõtt
- kasutatakse 4D-PAM5 kodeerimist
 - konvolutsioonikodeerija – Viterby dekodeer
- taktsagedus 125MHz
- kasutatakse 5 pingetaset (PAM-5)

PAM-5

Sümbol	Liini signaali tase
100(ESC)	+2
001	+1
000	0
010	-1
011	-2

Pingetasemed (saatmised)



Järjestikku yhendatud seadmed

10Mb/s Etherneti pörkeala piires võib kahe lõppseadme vahel asuda

- kuni 5 kaablisegmenti
- kuni 4 repiiterit
- lõppseadmeid võib asuda vaid kolmel kaablisegmendil ning ülejäänud segmendid tohivad olla vaid ühenduseks

100Mb/s Etherneti pörkeala piires võib kahe lõppseadme vahel asuda

- kuni 2 kaablisegmenti ja üks *Class I* repiiter või
- kuni 3 kaablisegmenti ja kaks *Class II* repiiterit
 - pörkeala ulatus maksimaalselt 205 m

1000Mb/s Etherneti pörkeala piires võib kahe lõppseadme vahel asuda

- kuni 2 kaablisegmenti ja üks *Class I* repiiter

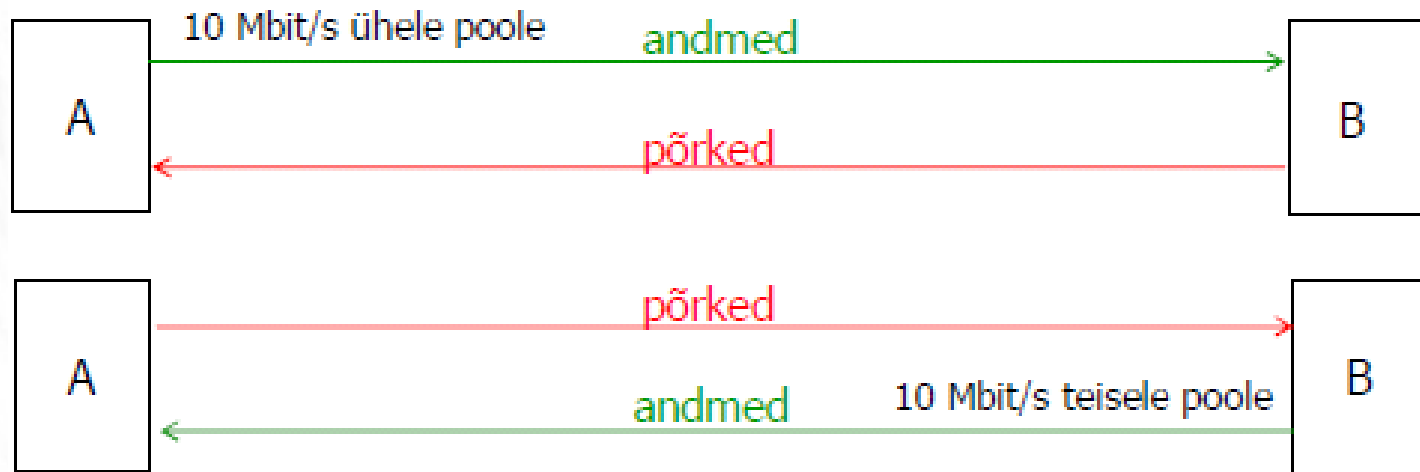
Järjestikku ühendatud seadmed

- *Worst-Case Path*
- *Round-Trip Time (RTT)*
- *Interframe Gap (IFG)*

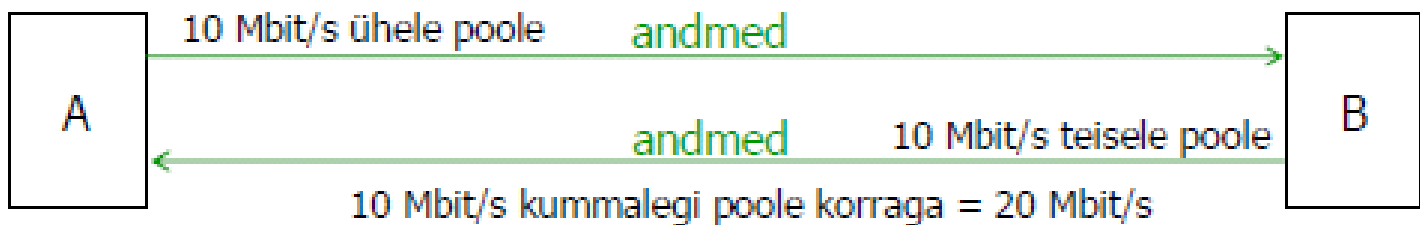
- Charles Spurgeon's Ethernet (IEEE 802.3) Site
 - Chapter 13 Multi-Segment Configuration Guidelines
 - <http://www.ethermanage.com/ethernet/ch13-ora/ch13.html>

Pool- ja täisdupleks

Half duplex



Full duplex

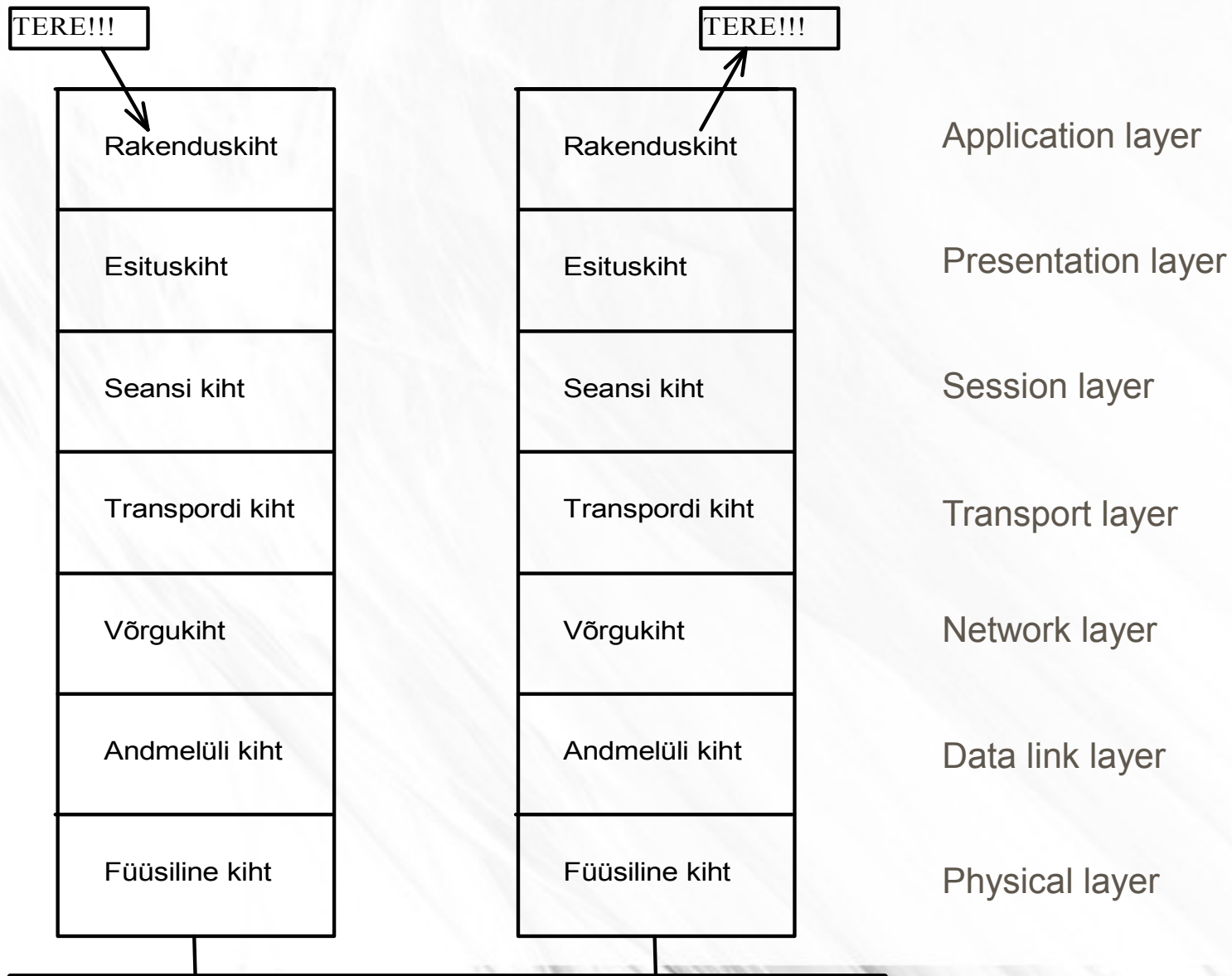


Pool- ja täisdupleks

- keerupaaringi mõlema otsa seadmed peavad kasutama sama kiirust ning sama dupleks-seadistust
 - lepitakse tavaliselt kokku automaatselt
 - võimalik seadistada ka käsitsi
- kui dupleks-seadistus pole sama, link ei tööta korralikult...

OSI kanaliht

OSI mudel



OSI kanalikiht

- *data link layer*
 - mõnel pool ka *andmelükiht*
- füüsiline adresseerimine
- füüsilises kihis tekkinud vigade avastamine
- voo reguleerimine
- kaadrite formeerimine ja saatmine/vastuvõtt

Etherneti kaader

Ethernet

Field length,
in bytes

7	1	6	6	2	46-1500	4
Preamble	S O F	Destination address	Source address	Type	Data	FCS

IEEE 802.3

Field length,
in bytes

7	1	6	6	2	46-1500	4
Preamble	S O F	Destination address	Source address	Length	802.2 header and data	FCS

SOF = Start-of-frame delimiter
FCS = Frame check sequence

Etherneti kaader

- Preambula = 8 baiti
 - 1010101010....10101011
- Päis (*header*) = 14 baiti
 - 6 baiti DA (*Destination Address*, sihtaadress)
 - 6 baiti SA (*Source Address*, lähteadress)
 - 2 baiti tüüp/pikkus
 - 0-1500 – pikkus
 - >1536 – tüüp (protokoll)
 - 0x0806 – ARP
 - 0x0800 – IPv4
 - 0x86DD - IPv6

Etherneti kaader

- andmed (payload) = 46-1500 baiti
- kontrollsumma = 4 baiti
 - FCS – *frame check sequence*
 - CRC-32 - *cyclic redundancy check (32-bit)*
 - *kaitseb sihtaadressist andmete lõpuni*
- kaadrite vahe = 12 baiti

MAC aadress

- MAC = *Media Access Control*
- Individuaalne ja unikaalne Etherneti seadme tunnusnumber
- Pikkus 6 baiti
 - 3 baiti tootja kood
 - 3 baiti seadme järjenumbr (max $2^{24}=16\ 777\ 216$)
- OUI (Organisationally Unique Identifier) – tootja koodid
 - <https://standards.ieee.org/products-services/regauth/index.html>

MAC address

- Esitatakse kuuteistkümnendsüsteemi arvudena
 - 00-1B-77-8F-47-04 (Windows)
 - 001B778F4704 (Novell Netware)
 - 00:1b:77:8f:47:04 (UNIX, Linux)
 - 001b.778f.4704 (Cisco)
 - 001B77-8F4704 (HP)

MAC address

Aadressi tüübid:

- üksikseadme/üksikedastuse aadress (*unicast*)
 - aadressi esimene bait lõpeb 0-bitiga
- multiedastuse aadress (*multicast*)
 - aadressi esimene bait lõpeb 1-bitiga
- leviedastuse aadress (*broadcast*)
 - ff:ff:ff:ff:ff:ff
 - ehk kahendkoodis “kõik ühed”

MAC address

- Leviedastuse address
 - ei ole kasutatav võrgukaardi aadressina
 - kõik seadmed võtavad kaadri vastu ja töötlevad

Kanalikihi võrguseadmed

- Arvuti võrgukaart (*NIC – network interface card*)
- Sild (*bridge*)
- Kommutaator (*switch*)

Sild

- “kuulab” liiklust mitmes segmendis
- jälgib kaadrites saatjate MAC-adresse ning peab segmentide (portide) kaupa nende aadresside tabelleid
- funktsioneerib kahes osas
 - õppimine (aadressitabelite täitmine)
 - edastamine (kaadrite filtreerimine)
- kaadrid, mille saaja ei asu samas segmendis saatjaga, edastatakse sihtsegmenti
- kui saatja asub samas segmendis saajaga, kaader unustatakse
- kõik ülejäänud kaadrid edastatakse kõikidesse segmentidesse va lähtesegment

Kommutaator

- on nagu “mitme segmendiga sild”
- realiseeritud riistvaraliselt, töötab kiiremini ja optimaalsemalt
- MAC aadresside hoidmiseks võib kasutada CAM-mälu (*content-addressable memory*)
- toetab nii täis- kui pooldupleksühendusi
- ühendatud segmendid moodustavad erinevad pörkealad

Kommutaator

- Silla/kommutaatori õppimise funktsioon on dünaamiline:
 - seadme sisselülitamisel
 - on kõik tabelid tühjad
 - kõikide seadmesse saabuvate kaadrite saajate asukoht on teadmata
 - filtreerimine ei toimi, kaadrid edastatakse kõikidele liidestele (va lähteliides)
- Kõigi MAC-kirjete juures on aegumistähtaeg
- Liidese deaktiveerimisel kustutatakse sellega seotud MAC-kirjed

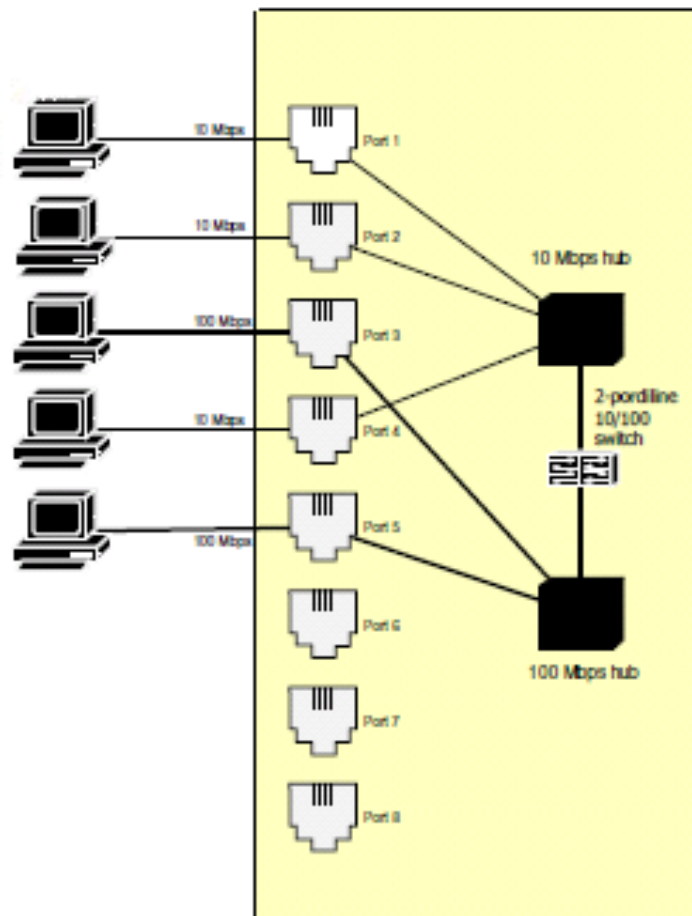
Kommutaator

- vahehoidega edastus (*store-and-forward*)
 - võetakse vastu kogu kaader ja siis edastatakse
- vooledastus (*cut-through*)
 - võetakse vastu saaja aadress ja kohe hakatakse edastama
- fragmenditu (*fragment-free*)
 - võetakse vastu esimesed 64 baiti, kui sinnamaani on OK, hakatakse edastama

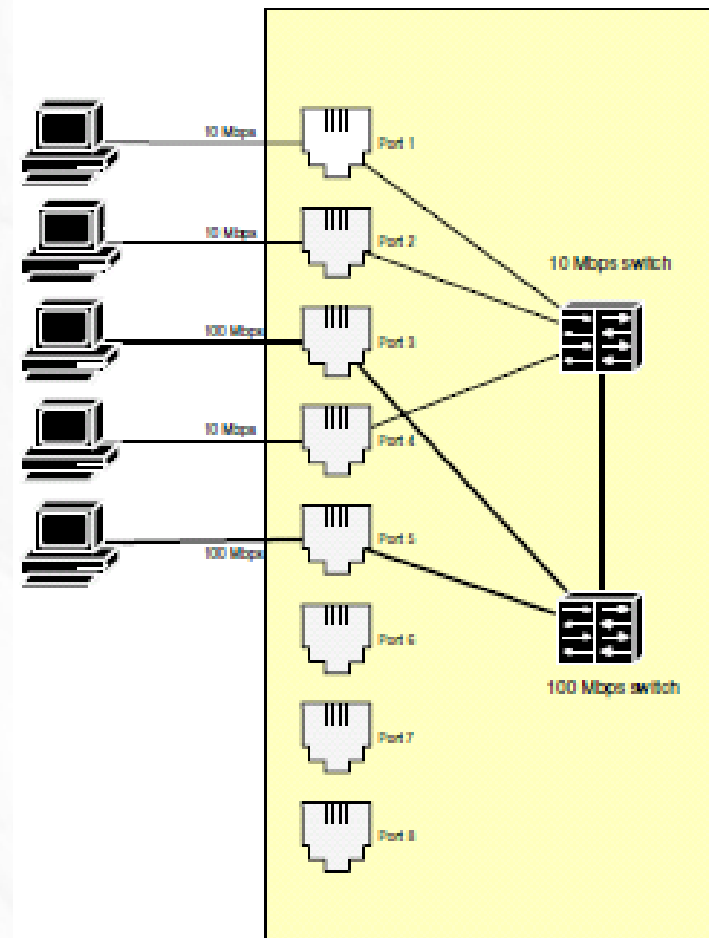
Kommutaator

- Paljud Gigabit-etherneti seadmed toetavad *Jumbo frames*
 - max 1500 baiti andmeid → max 9000 baiti andmeid
- Mitmekiiruselised liidesed
 - automaatne kiiruse valik
 - käsitsi kiiruse häälestamise võimalus

Switching hub/multi-speed hub



switching hub



switch

Järjestikku yhendatud seadmed

- Kommutaatorite järjestikku ühendamisel ei ole standardiga paika pandud piiri
- Kommutaatorites tekib kaadrite töötlemisel hilistus