



# Luento 2: Internetin ydin ja protokollapino

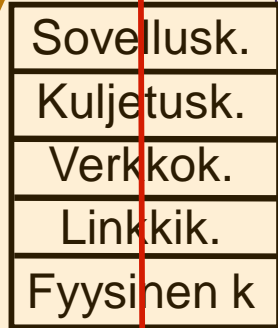
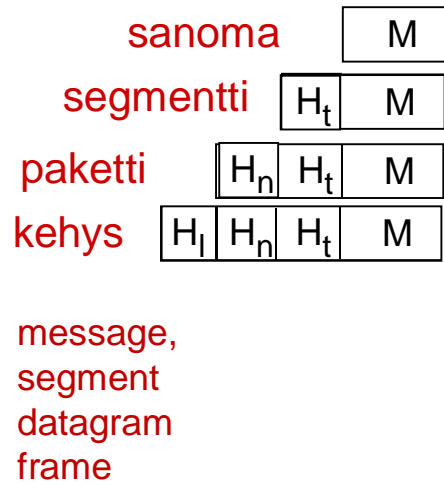
**Torstai 31.10.2013**

**Tiina Niklander**

Kurose&Ross  
Ch1

# Luennon sisältöä

Lähettäjä (sender)



kytkin

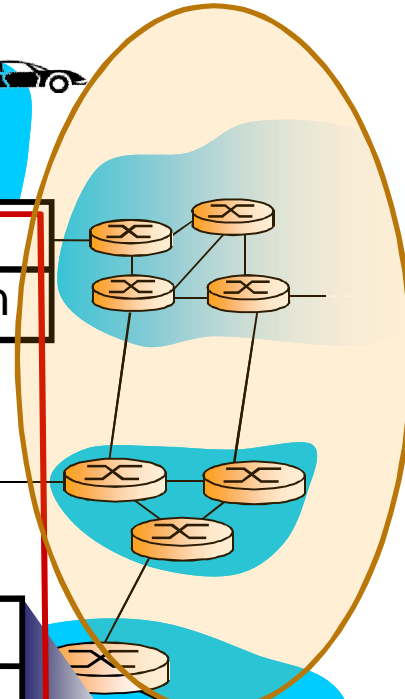
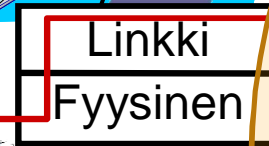
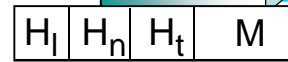
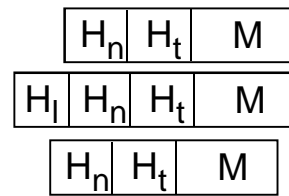
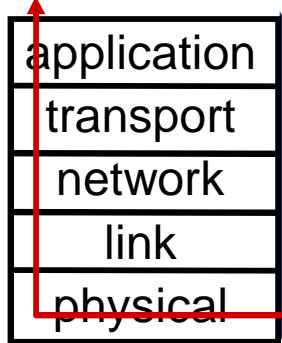
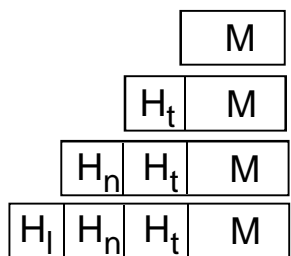


Fig 1.24 [KR12]

Vastaanottaja (recipient)



reititin



# Sisältöä

## Internet

### Verkon reunalla:

asiakkaat ja palvelimet,  
yhteydetön ja yhteydellinen palvelu

### Pääsy Internetiin, fyysinen media

### Verkon sisällä

Piirikytkentäinen, pakettikytkentäinen verkko

Datasähkeverkko, virtuaalipiiriverkko

### Viivytykset ja katoamiset siirrossa

Mitä viipeitä? Miksi dataa katoaa

### Protokolla ja protokollapino

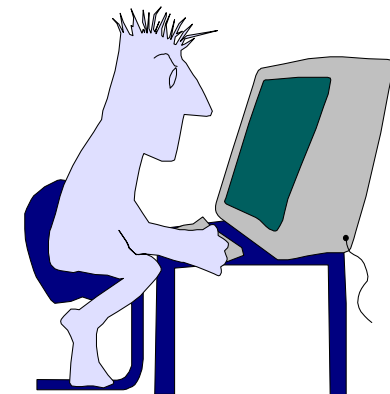
Kerrosarkkitehtuuri

Internet-protokollapino: kerrokset ja sanomat

### Internetin rakenne

### Oppimistavoitteet:

- Perusterminologia tutuksi
- Yleiskuva Internetistä
  - rakenne
  - toiminnallisuus
- Internetin protokollapino ja sen eri kerrosten tehtävät





# Tietoliikenteen perusteet

## Verkon syövereissä, reititys (network core)

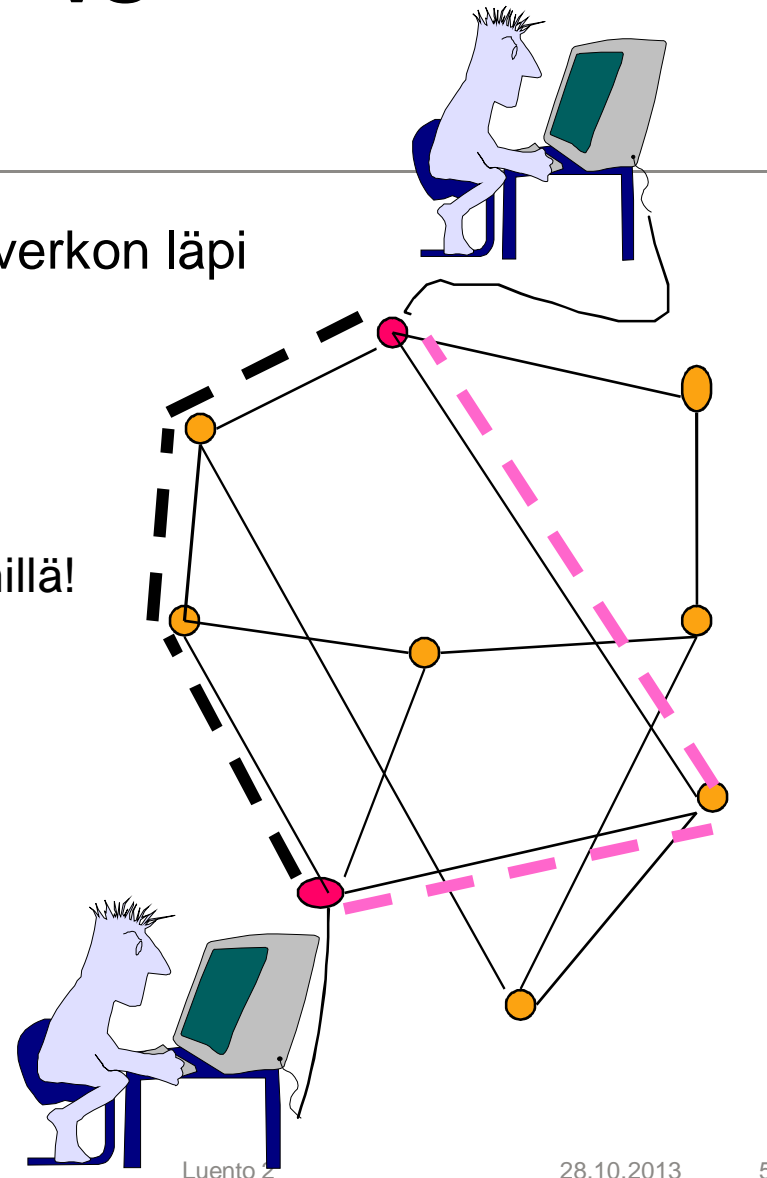


# Pakettikytkentä vs Piirikytkentä

- Miten sanoma kuljetetaan verkon läpi
  - lähettävältä koneelta vastaanottavalle koneelle?
- Verkkojen verkko,
  - verkot on yhdistetty reitittimillä!

**Piirikytkentä:** varaa ensin linkit, joita pitkin kaikki data kulkee

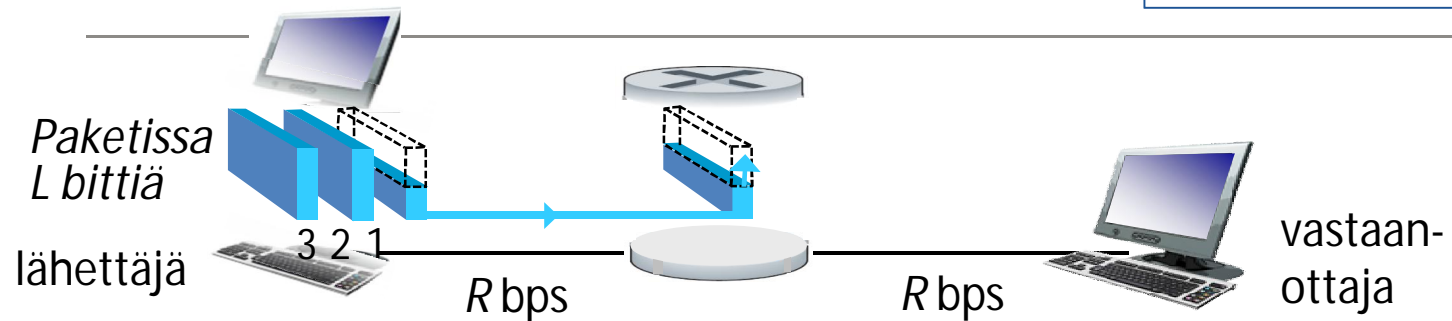
**Pakettikytkentä:** kuljeta data verkossa pieninä paketteina ja reititä kukin paketti itsenäisesti





# Pakettikytkentä: etappivälitys

Fig 1.11 [KR12]



**Etappivälitys** (store and forward)

paketti vastaanotetaan kokonaan ja vasta sitten lähetetään eteenpäin

Paketin (koko  $L$  bittiä) lähettämiseen linkin (nopeus  $R$  bps) yli kuluu  $L/R$  sekuntia

Esimerkki yhden linkin yli:

$$L = 7.5 \text{ Mbits}$$

$$R = 1.5 \text{ Mbps}$$

$$\text{siirtoaika linkin yli} = 5 \text{ sec}$$



# Siirtonopeus, siirtoaika

---

## Siirtonopeus

miten nopeasti dataa lähetetään (bittejä generoidaan)  
linjalle

Montako bittiä per aikayksikkö lähetetään

bps = bittejä sekunnissa

## Siirtoaika

kauanko datamäärän lähettäminen linkille kestää  
(s.e. viimeinenkin bitti on lähetetty linkille)

Esim. 10 MB dataa ja siirtonopeus on 1 Mbs => siirtoaika  
 $= 10 \text{ MB} * 8 \text{ b/B} / 1 \text{ Mb/s} = 80 \text{ s}$  sekuntia



# Pakettikytkentä: Kauanko kestää...

---

Kauanko kestää lähettää

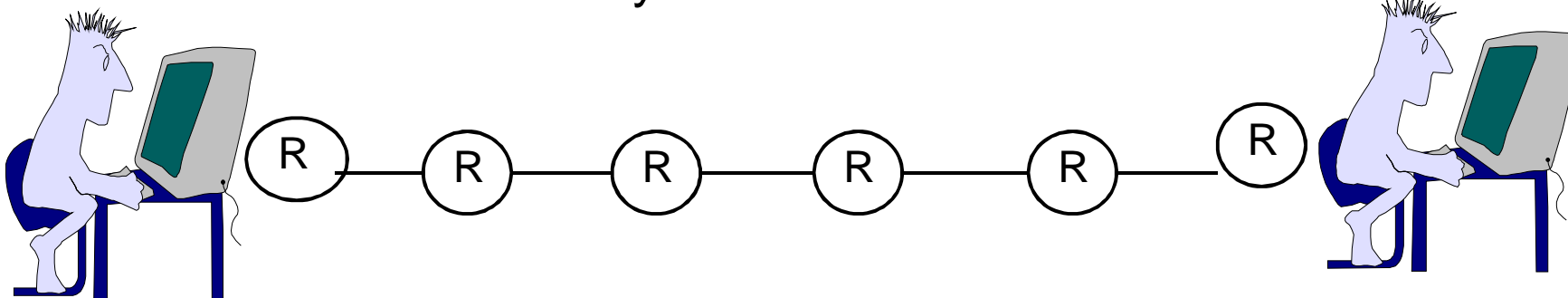
yksi 4 kb:n paketti

pakettikytkentäisessä verkossa, jossa

linkin siirtonopeus on 1 Mbps

ja paketti kulkee

5 linkin yli







# Ratkaistaan:

---

siirtoaika yhdellä linkillä on

$$4 \text{ kb}/1000 \text{ kb/s} = 0.004 \text{ s} = 4 \text{ ms}$$

joten siirto 5 linkin yli

$$5 * 4 \text{ ms} = 20 \text{ ms}$$

Jonotusviipeitä ei ole otettu huomioon



# Pakettikytkentä: Sanoma vs. paketit

Miksi ei lähetetä koko sanomaa kerralla?



- Siirtovirhe
  - Sanoma: koko virheellinen sanoma lähetettävä uudestaan
  - Paketti: Vain yksi virheellinen paketti lähetettävä uudestaan
- Yleisrasite (overhead) = otsake, jossa mm. lähettäjän ja vastaanottajan osoitteet
  - Sanoma: yksi otsake riittää
  - Paketti: jokaisessa paketissa oma otsake



# Sanoma vs. paketit (jatkuu)

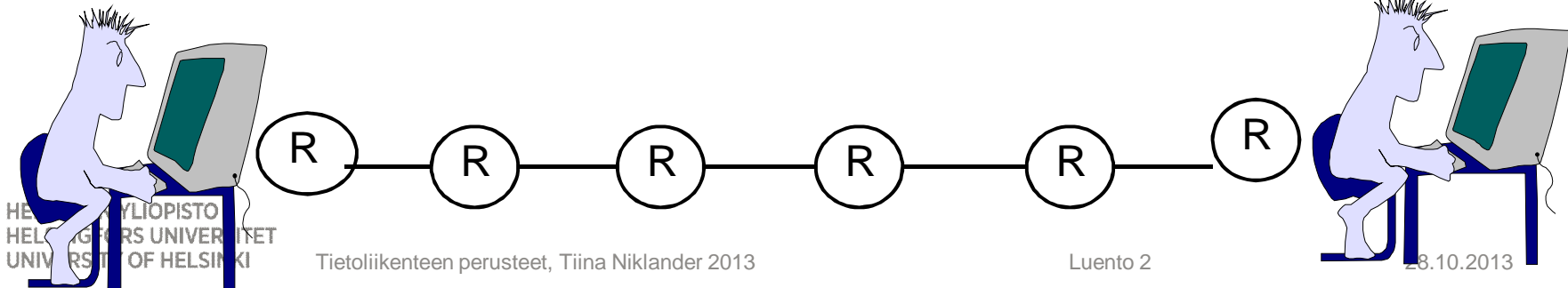
Esim. Sanoman koko 400 kb, linkin nopeus 1 Mbps

- Kun koko sanoma lähetetään 5 linkin yli, niin aikaa kuluu

$$5 * 400 \text{ kb} / 1 \text{ Mbps} = 5 * 0.4 \text{ Mbps} / 1 \text{ Mbps} = 2 \text{ s} = 2000 \text{ ms}$$

- Kun sanoma pilkotaan 4 kb:n paketeiksi, niin aikaa 100 paketin välittämiseen kuluu

$$416 \text{ ms!!} (= 100 * 4 \text{ kb} / 1 \text{ Mps} + (5-1) * 4 \text{ kb} / 1 \text{ Mps})$$





# Miksi noin?

---

Paketteja voi lähettää samanaikaisesti eri linkeillä  
etappivälitys (store-and-forward)

Koko sanoma (100 pakettia) siirretty 1. linkin yli  
 $400 \text{ Kb} / 1 \text{ Mbps} = 400 \text{ ms}$

Kun viimeinen paketti on siirretty 1. linkin yli, lähes  
kaikki edeltävät paketit ovat jo perillä.

Nyt vielä viimeinen paketti on siirrettävä 4 linkin yli  
 $4 * 4 \text{ Kb} / 1 \text{ Mbps} = 16 \text{ ms}$

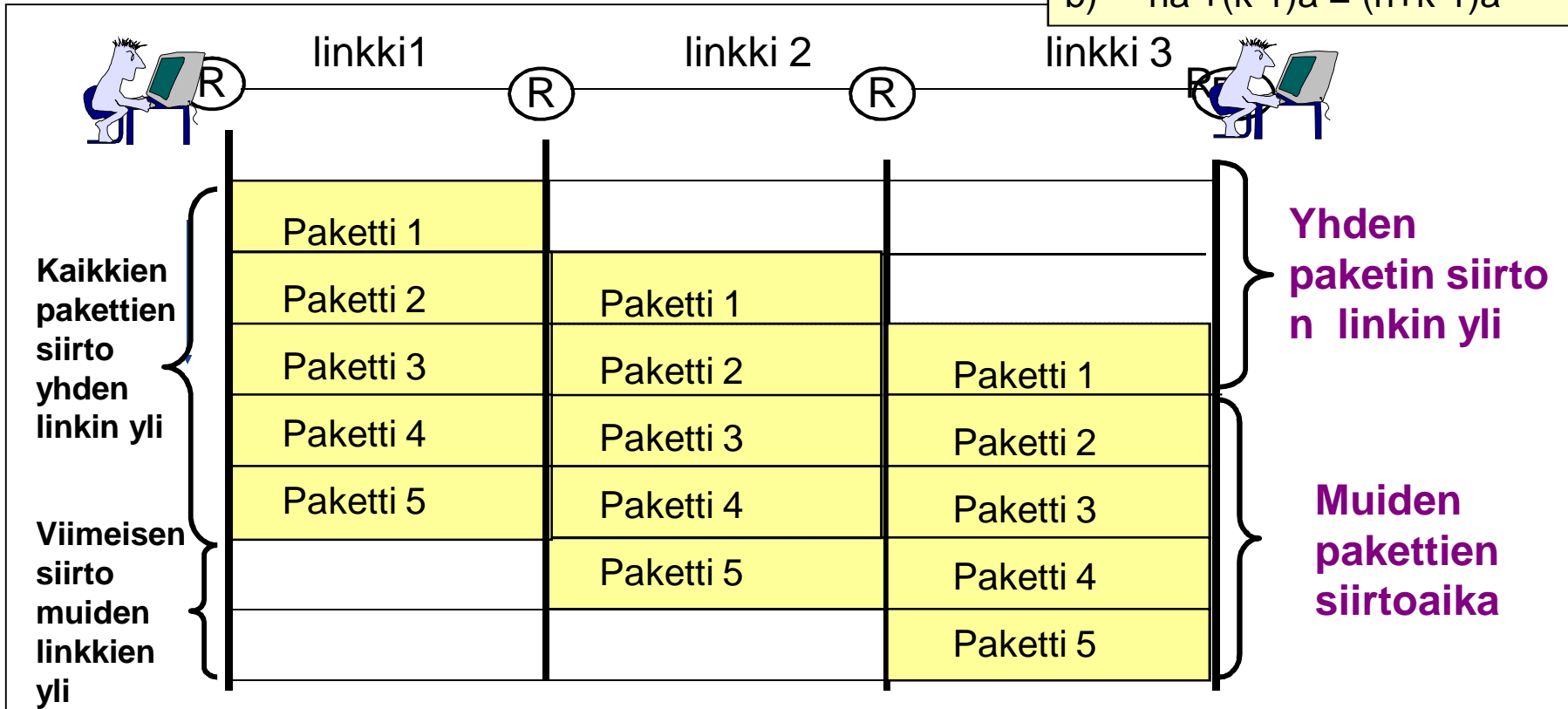
Siis:  $400 \text{ ms} + 16 \text{ ms} = 416 \text{ ms}$

# Pakettivälitys: siirtoaika

Olkoon siirtoaika a:

a)  $ka+(n-1)a = (k+n-1)a$

b)  $na+(k-1)a = (n+k-1)a$



Sanoman siirtoaika, kun sanomassa on k pakettia ja linkkejä on n kappaletta

a) k:n paketin siirto 1. linkin yli + viimeisen paketin siirto n-1 linkin yli.

b) 1. paketin siirto n:n linkin yli + muiden k-1 paketin siirto yhden linkin yli

Animaatio:

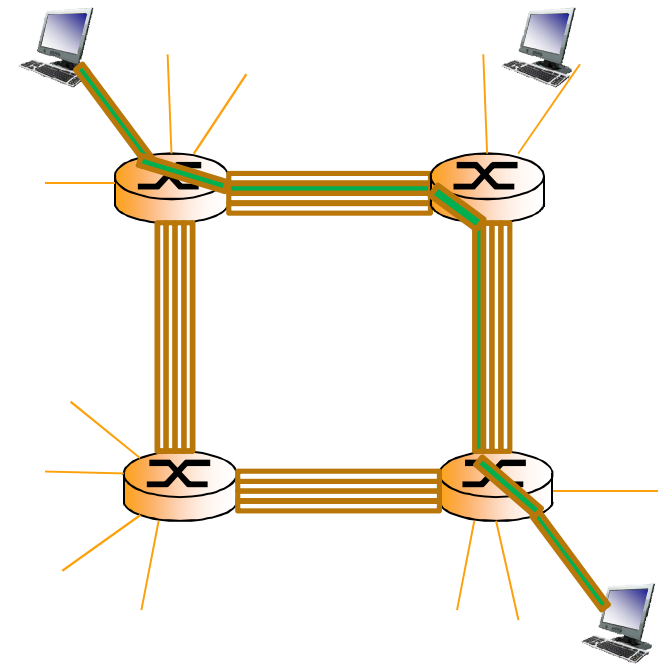
[http://wps.aw.com/aw\\_kurose\\_network\\_4/63/16303/4173752.cw/index.html](http://wps.aw.com/aw_kurose_network_4/63/16303/4173752.cw/index.html)



# Piirikytkentä (circuit switching)

Fig 1.13 [KR12]

- Varaa yhteydelle omat resurssit päästä-päähän koko yhteyden ajaksi
  - Varataan puskurit, linjakapasiteetti
  - Yhteydenmuodostus ("call")
  - Yhteydenpurku ("shutdown")
- Resurssit varattuna, vaikka niitä ei käytettäisi
- Takaa tasaisen nopeuden
  - puhelinverkko



vrt: vesipisteiden yhdistäminen letkuilla ja veden valutus



# Piirikytkentä: Kauanko kestää ...

---

Kauanko kestää lähettää

640 kbitin tiedosto

piirikytkentäistä verkkoa käyttäen, kun

linjan siirtonopeus on 1.536 Mbps

ja linjalla käytetään TDM:ää, jossa on

24 aikaviipaletta (eli 24 käyttäjää)

ja yhteyden muodostamiseen kuluu

500 ms?



# Ratkaistaan

Yhdelle yhteydelle on käytössä

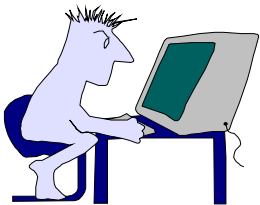
$$1.536 \text{ Mbps}/24 = 64 \text{ kbps}$$

joten siirtoon kuluu  $640 \text{ kb}/64 \text{ kbps} = 10 \text{ s}$

Kun yhteyspiirin muodostus vie  $0.5 \text{ s}$

niin aikaa kuluu yhteensä  $10.5 \text{ s}$ .

Huom! Aika ei riipu välissä olevien linkkien  
lukumäärästä! (ei käsittelyviivettä)







# Pakettikytkentä vs. piirikytkentä

*Pakettikytkentä sallii enemmän samanaikaisia käyttäjiä!*

Esimerkki: 1 Mb/s linkki

Jokainen käyttäjä:

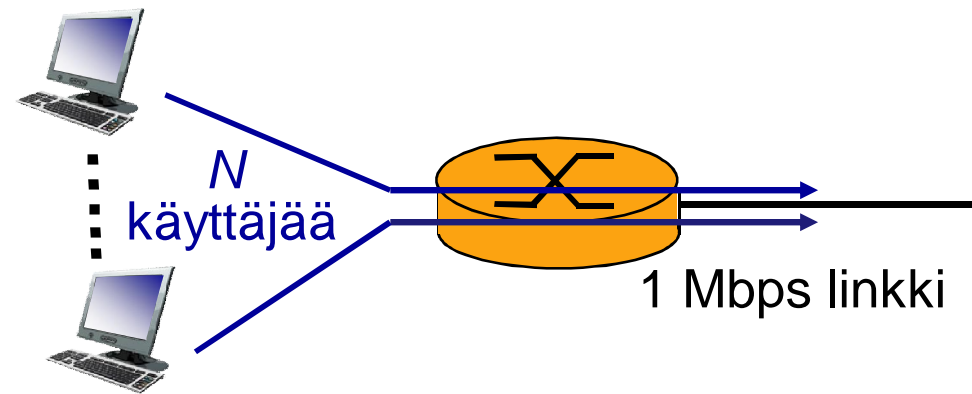
100 kb/s kun “aktiivinen”  
aktiivinen 10% ajasta

Piirikytkentä:

10 käyttäjää

Pakettikytkentä:

kun 35 käyttäjää, todennäköisyys  
että  $> 10$  aktiivista samaan aikaan  
on vähemmän kuin 0.0004



Q: Mistä tulee tuo arvo 0.0004?

$$P_n(\text{aktiivisia} > 10) = 1 - \sum_{k=0}^{10} \binom{35}{k} (0.1)^k (0.9)^{35-k}$$



# Tietoliikenteen perusteet

Pääsy Internetiin,  
fyysinen siirtomedia



# Pääsy Internetiin



## DSL

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Link): 8/1 Mbps,

ADSL2+: 24/1.4 Mbps (teoreettinen)

SHDSL (Symmetric High-Bitrate Digital Subscriber Link): 44/44 Mbps

## Kaapelimodeemi

TV, yleislähetys, down ~ 30 Mbps, up ~ 2 Mbps, 100-110 Mbps

## Lähiverkko (Local Area Network)

Ethernet: 10 Mbps / 100 Mbps / 1 Gbps / 10 Gbps / 100 Gbps

## Langaton yhteys

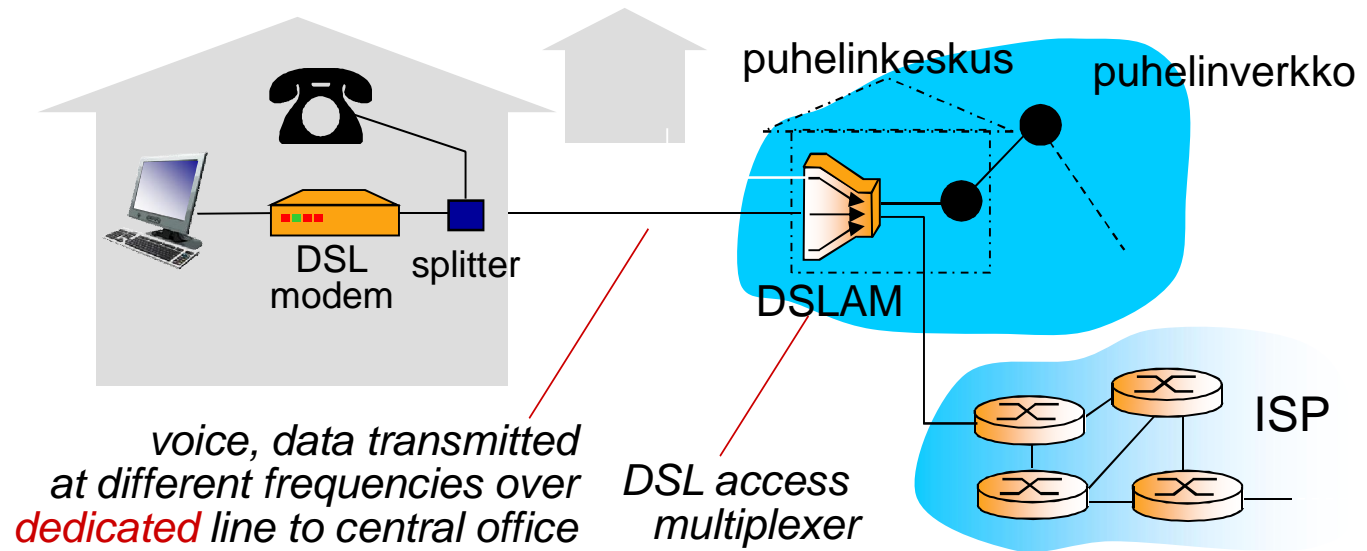
@450: 1 Mbps

WLAN (WiFi, WiMax): 11 Mbps, 54 Mbps

WAP/GPRS, 3G/UMTS: 384 kbps- ~2 Mbps, LTE 50-100Mbps



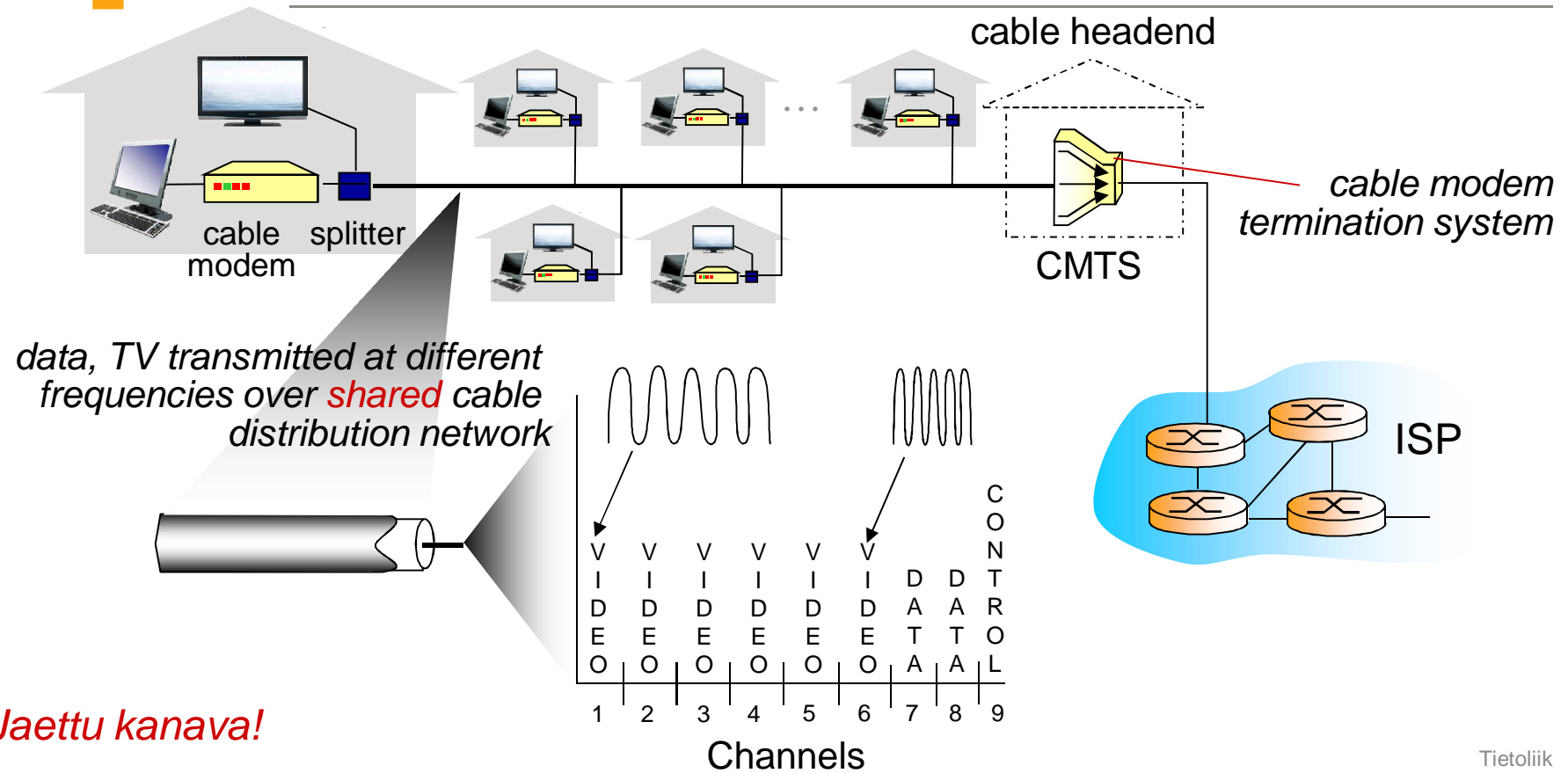
# DSL



*Oma kanava!*



# Kaapelimodeemi

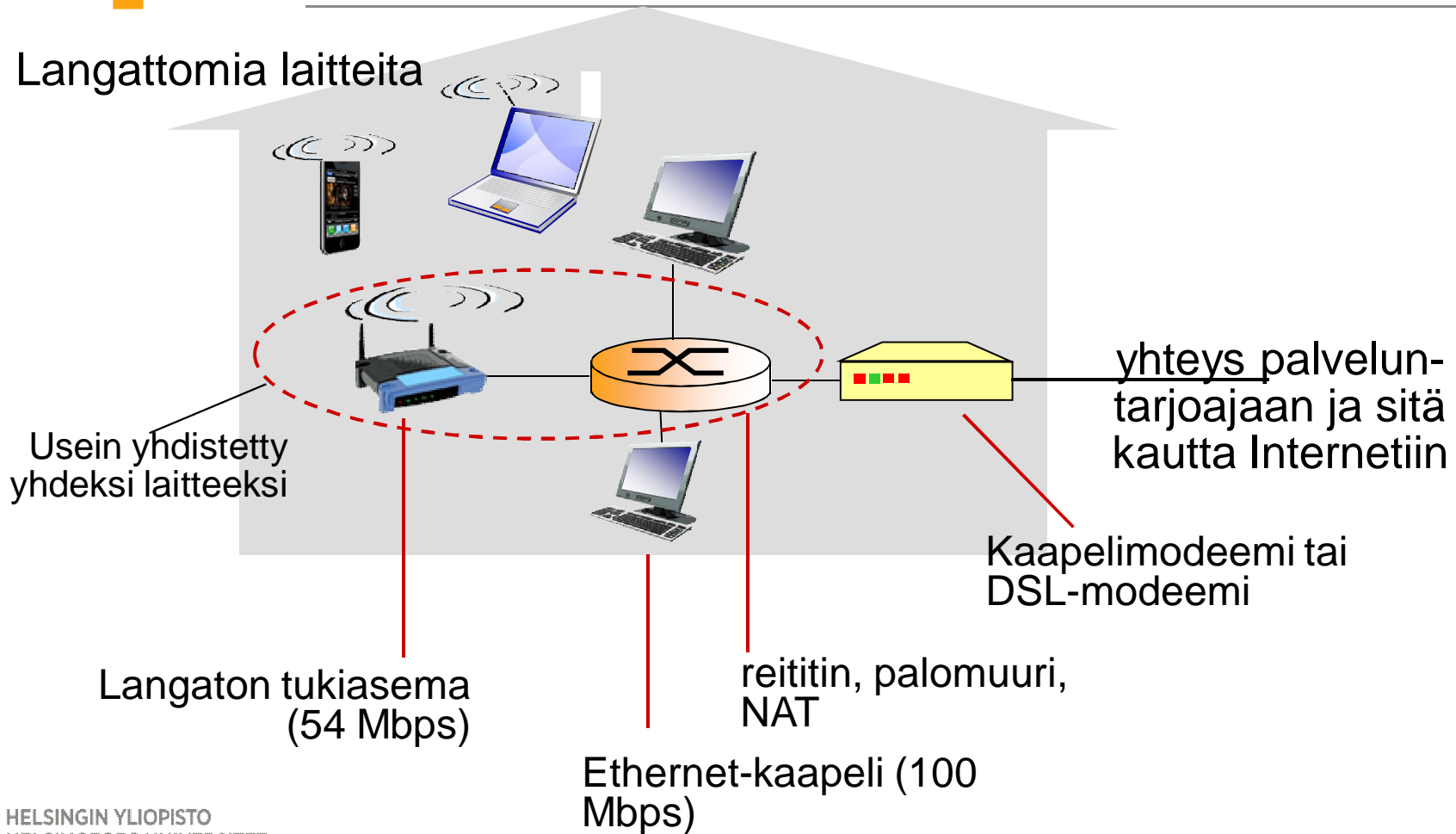




# Kotiverkko

Fig 1.9 [KR12]

Langattomia laitteita





# Fyysinen siirtomedia

---

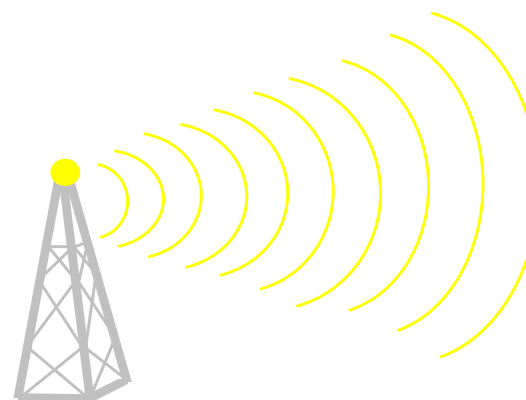
- Tehtävä siirtää bittivirtaa laitteelta toiselle
  - peräkkäissiirtoa (serial)
- Kaapeloitu (wired, guided media)
  - kuparijohto, optinen kuitu, koaksiaalikaapeli
- Langaton (wireless, unguided media)
  - radioaallot, satelliitti, matkapuhelin
- Tietovälineet?
  - magneettinen levy/nauha, flash-muisti, optinen levy
  - suuria tietomääriä kohtalaisella nopeudella ...
  - ei "always-on"



# Eri siirtomediaita



- Kierretty parijohto (twisted pair)
- Koaksiaalikaapeli
- Valokuitu (fiber optics)
- Sähkömagneettinen aaltoliike
  - Radioaallot
  - Mikroaallot
    - Satelliitit
  - Infrapuna-aallot

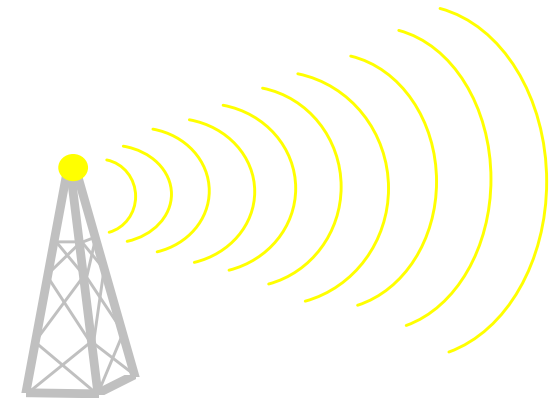






# Sähkömagneettinen aaltoliike

- Langaton tietoliikenne
  - Maanpäälliset kanavat
  - Satelliittikanavat
- Tieto koodattu aaltoliikkeeseen
  - amplitudi, taajuus, vaihe, ..
  - Koodaustekniikoita: FDM, TDM, CDM
- Käytössä laaja näkymättömän valon spektri
  - ... radioaallot, mikroaallot, infrapuna-aallot, ...
- Rajoituksia
  - generoitavuus / moduloitavuus
  - kuuluvuus /näkyvyys,
  - vaarallisuus?





# Signaalin vahvistaminen

---

- Signaali (aalto tai pulssi) vaimenee ja vääristyy
  - kulkiessaan siirtomediassa
- Vaimeneminen (attenuation)
  - eri taajuudet heikkenevät eri tavoin, suuret enemmän
- Viivevääristyminen (delay distortion)
  - Eri taajuuksien komponentit etenevät hieman eri nopeuksilla ja saapuvat vastaanottajalle hieman eri aikaan
- Erilaiset häiriöt: kohina, ylikuuluminen, heijastuminen, jne
- Vahvistimet ja toistimet
  - eri komponentteja vahvistettava eri tavoin
  - analoginen signaali vääristyy joka kerralla yhä enemmän
  - digitaalinen signaali on palautettavissa entiselleen



# Tietoliikenteen perusteet

---

Protokolla,  
protokollapino



# Protokollien kerrostaminen

---

- Protokolla = yhteyskäytäntö
  - Mitä sanomia, missä tilanteessa ja missä järjestyksessä lähetetään
  - Miten saatuihin sanomiin reagoidaan
  - Sanomien syntaksi ja semantiikka
- Protokollapino = protokollien kerrosrakenne
  - Toiminnot on jaettu kerroksiin järkevästi
  - Alemman kerroksen toiminnot ovat ylemmän käytössä
  - Palvelu ja sen toteutus erotettu
- Kukin protokolla toimii yhdellä kerroksella ja toteuttaa tämän kerroksen jonkin palvelun



# Miksi kerrosrakenne?

## Monimutkaisuuden hallinta

---

- Kerroksittainen viitemalli (reference model) helpottaa asiakokonaisuuksiin viittaamista
  - Kullakin kerroksella omat selkeät tehtävänsä
  - Kerroksissa omat 'lisä'toiminnot
- Voi käyttää olemassaolevia alemman kerroksen toimintoja
- Kerrosten rajapinnat (interface) hyvin määritellyjä
  - Kaksisuuntainen 'palveluluukku': mitä tekee, kuinka on käytettävissä
- Joustavuus
  - Pino koottavissa erilaisista protokollista
  - Kerroksen toteutusta voi muuttaa, kunhan rajapinnat ennallaan
- Jos kerroksia on paljon, se voi vaikuttaa suorituskykyyn
  - Sama työ toistamiseen, esim. virhetarkistus
  - Kutsumekanismi: kopiointia paikasta toiseen, ..



# Esimerkki: lentomatustus

Fig 1.21 [KR12]

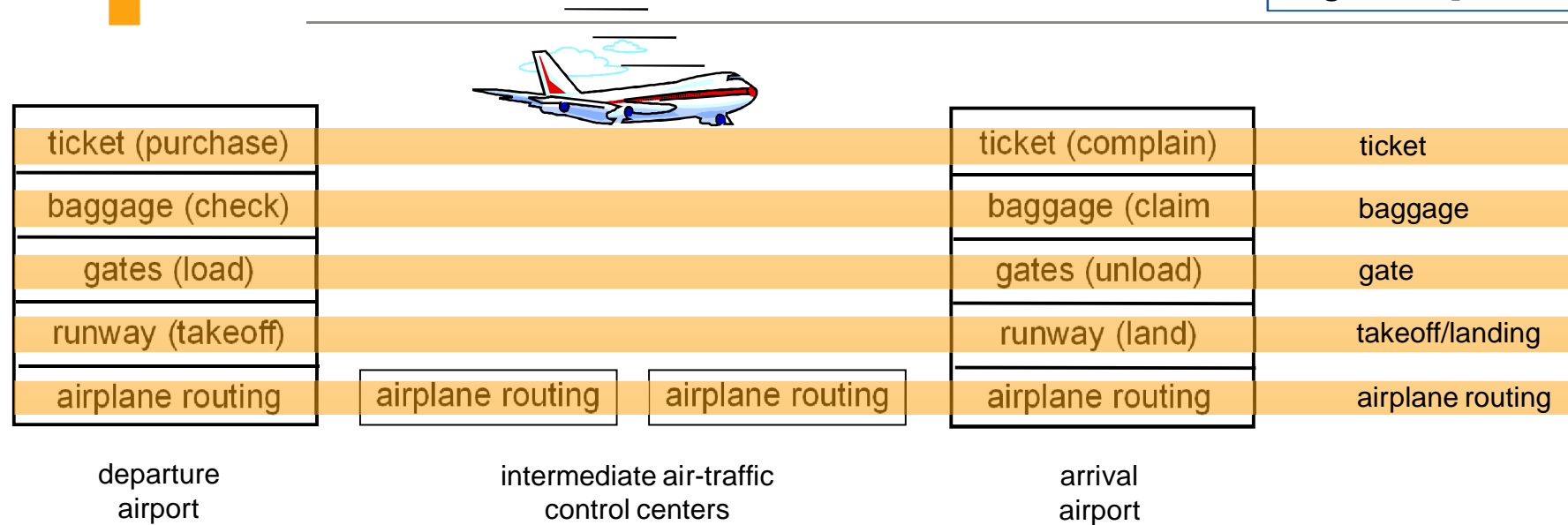


Useita vaiheita, jotka tehtävä järjestyksessä



# Esimerkki: lentoyhtiön palvelurakenne

Fig 1.22 [KR12]



**Kerrokset** (layers): kukin kerros toteuttaa jonkin palvelun

- oma palvelurajapinta ja sisäinen toiminta
- käyttää alemman kerroksen palveluja oman toteuttamiseen



# Internet-protokollapino

1969: aluksi TCP ja IP  
samassa nipussa

1980: uusittu TCP, UDP ja IP

## Lähtökohdat

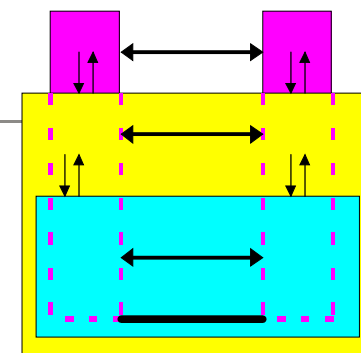
- Tarve yhdistää monia hyvin erilaisia verkkoja
- Vikasietoisuus

## De-facto-standardi

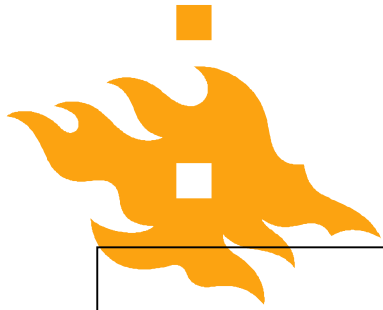
- Ensin toimiva protokollatoteutus, sitten viitemalli
- RFC-julkaisuja, standardeja

## Tulos

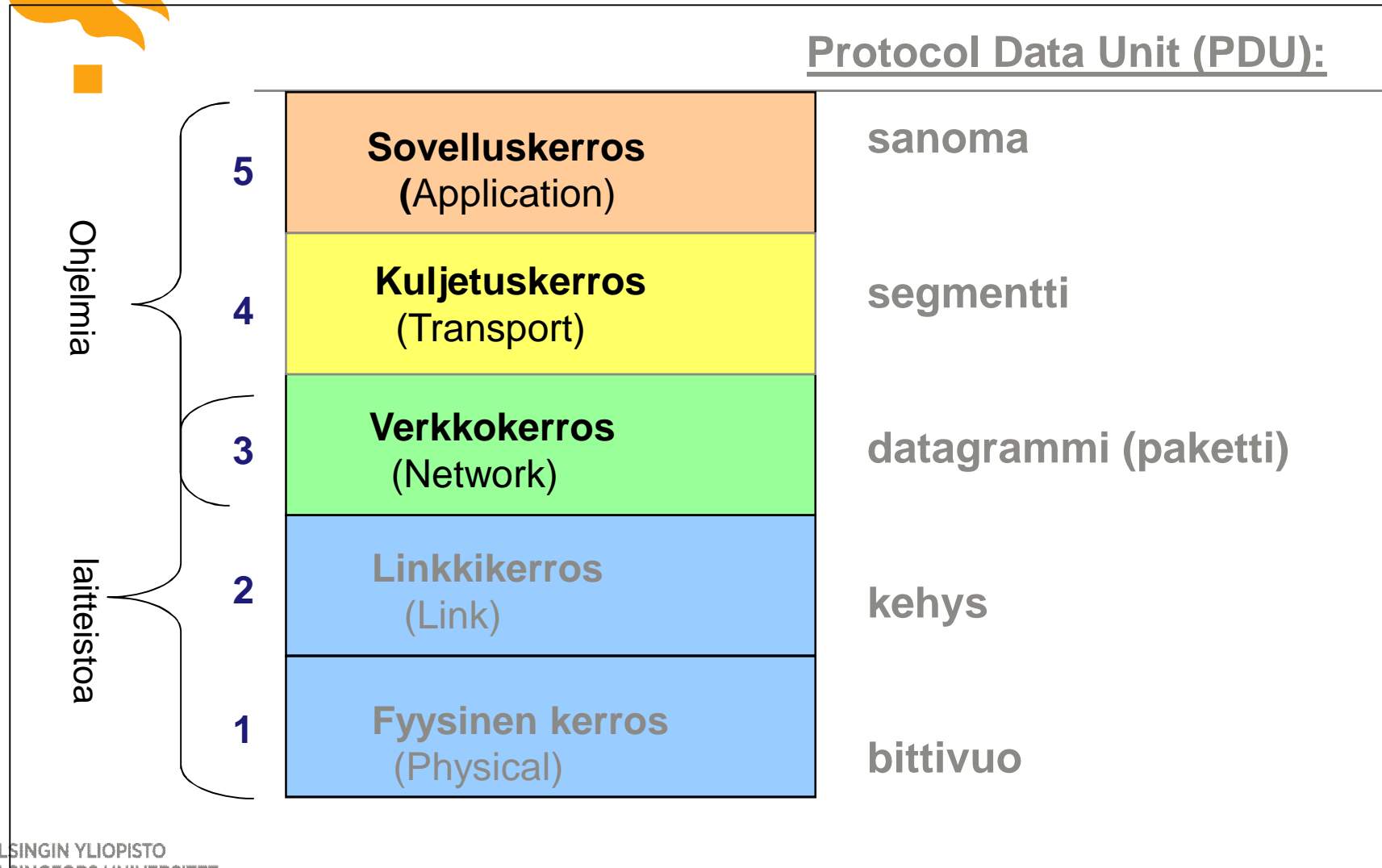
- Koneilla yksikäsitteiset IP-osoitteet
- Pakettikytkentäinen verkko: IP-pakettien välitystä
- Yhteydellinen (TCP) ja yhteydetön (UDP) palvelu.







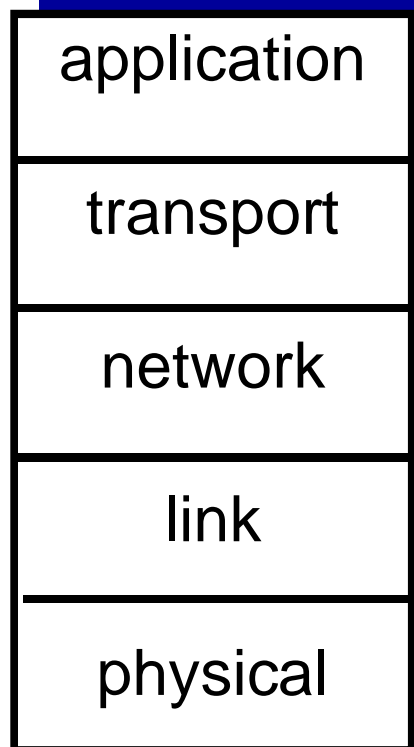
# Internet-protokollapino





# Internet-protokollapino

Fig 1.23a [KR12]



**Sovellus:** verkkosovellusten omat protokollat

HTTP, DNS, SMTP, FTP, ....

**Kuljetus:** segmenttien siirto prosessilta prosessille  
("päästä-päähän") TCP, UDP

siirtää sanomien bittivirtaa segmentin kokoisina lohkoina

**Verkko:** pakettien reititys verkossa, siirto

lähettäjäkoneelta vastaanottajan koneelle

IP, reititysprotokollat

muodostaa segmenteistä paketteja, voi pilkkoa

**Linkki:** siirtää paketit kehyksinä kahden koneen välillä

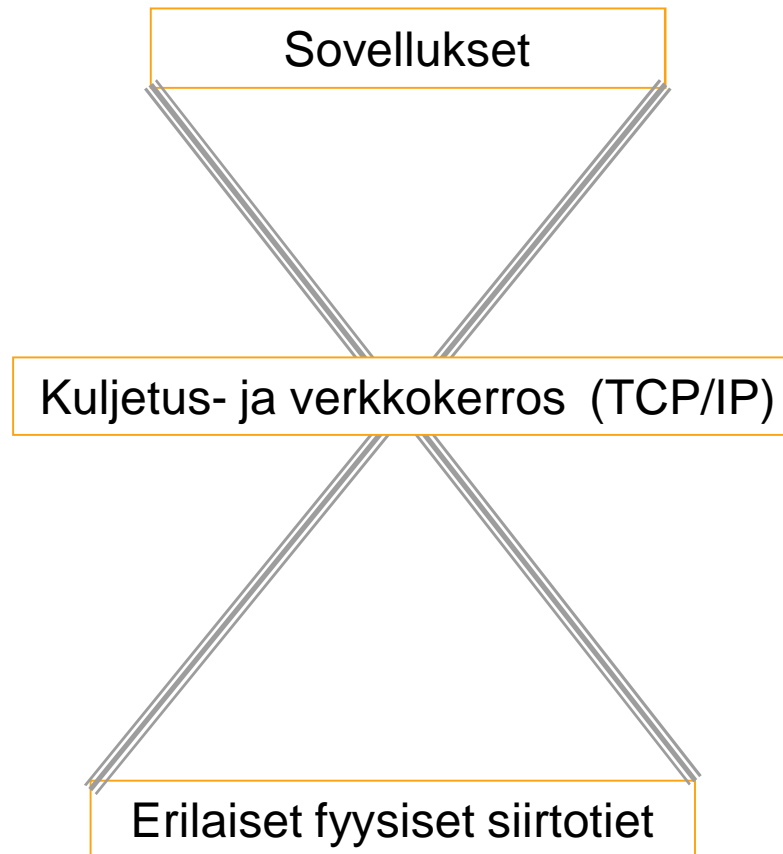
Ethernet, WiFi, PPP

**Fyysinen:** generoi, siirtää ja vastaanottaa bittejä  
koneelta toiselle

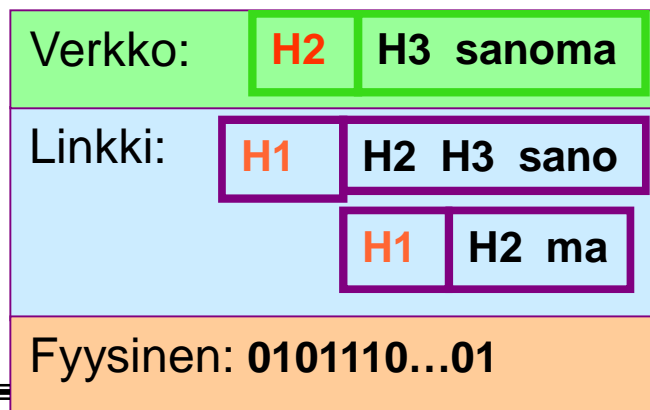
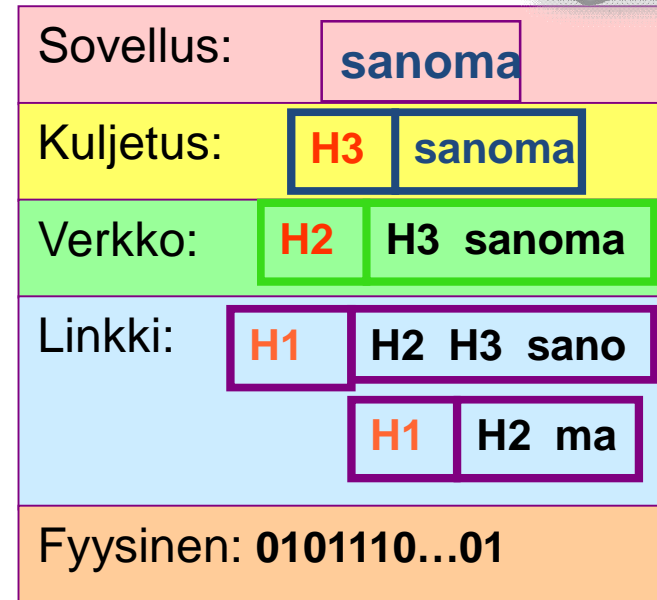
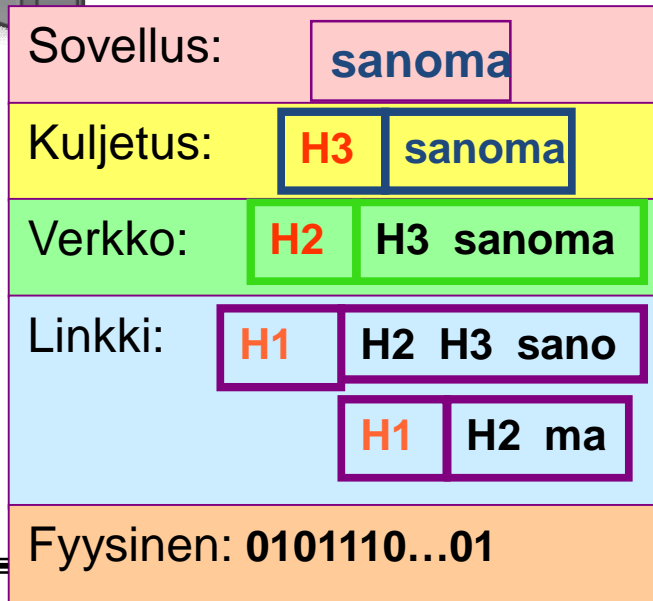


# Tiimalasi

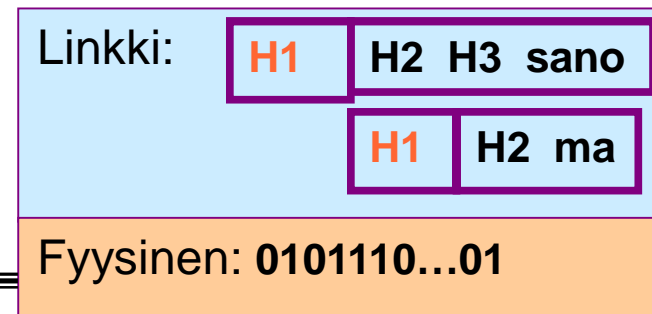
*Lähettäjä (sender)*



# Kapselointi (encapsulation)



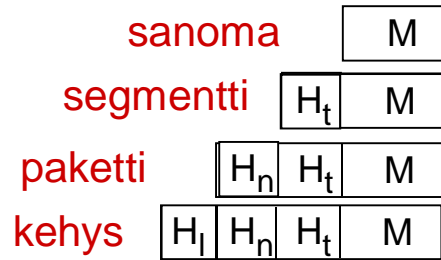
Reititin



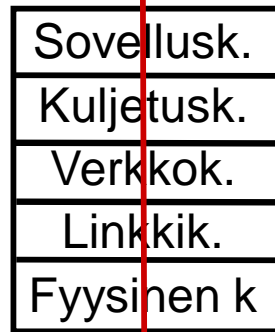
Linkkitason kytkin

# Kurssin tärkein kuva, vrt. ed. kalvo

Lähettäjä (sender)



message,  
segment  
datagram  
frame



kytkin

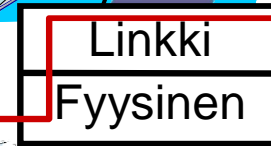
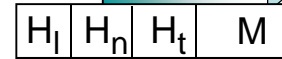
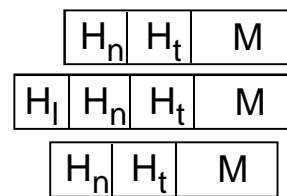
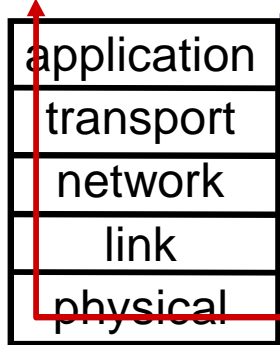
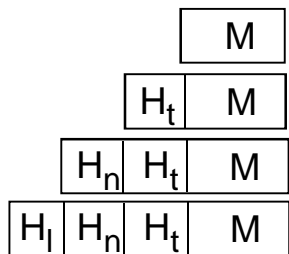
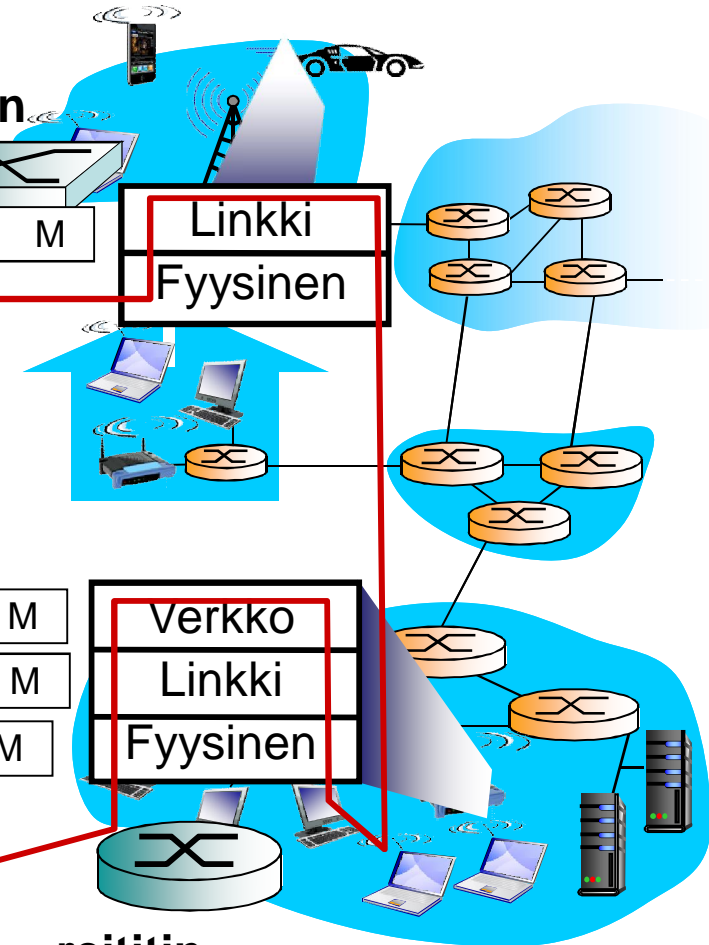


Fig 1.24 [KR12]

Vastaanottaja (recipient)



reititin





# ISO OSI-viitemalli

## 7-kerroksinen malli

ISO = International Standardization Organization

OSI = Open Systems Interconnection

yhdistää koneita, jotka 'avoimia' kommunikointiin toisten kanssa

Käsitteellisesti ehjä malli,

1978 -> 1982 viitemalli

1983 -> toiminnallisia standardeja

1995 uudistuksia

mutta ei paljoakaan käytössä

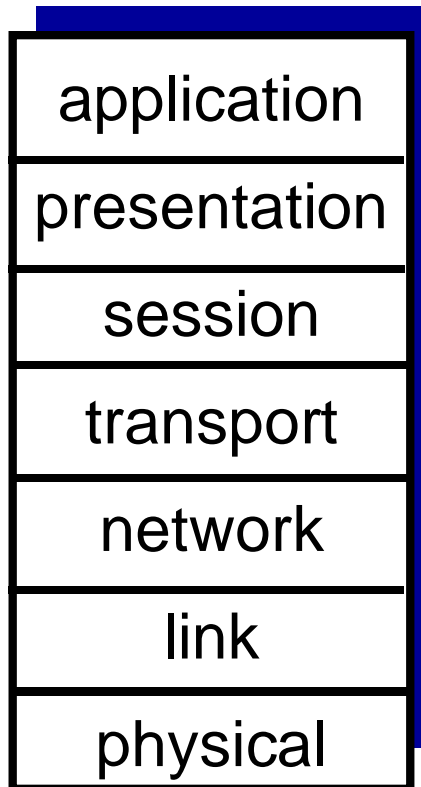
Katoavaa kansanperinnettäkö? Vai vasta tulossa?





# ISO OSI-viitemalli

Fig 1.23a [KR12]

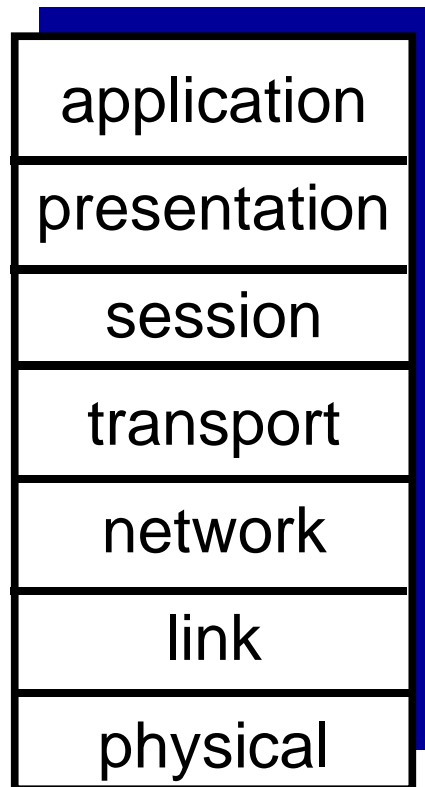


- Esitystapakerros (Presentation)
  - Huolehtii tiedon esitysmuodosta
    - Tiedon esitystapa voi olla erilainen eri koneissa
  - Käytettävästä siirtosyntaksista sopiminen
  - Muuttaa tiedon siirtosyntaksin mukaiseksi
    - abstrakti tietorakenne (esim. henkilötietue) siirtomuotoon
- Salaus ja tiivistys haluttaessa



# ISO OSI-viitemalli

Fig 1.23a [KR12]



- Istuntokerros (Session)
  - Jäsentää tietojen vaihtoa istunnossa
    - kommunikointitavasta sopiminen: kaksi- vai yksisuuntainen
    - lähetysvuoronsäätely
  - Tahdistaa kommunikointia esim. tiedostonsiirrossa
    - Tahdistuspisteet: jos yhteys katkeaa, voi jatkaa siitä mihin jäi
- Esitystapa- ja istuntokerrosten toiminnallisuus (+ paljon muuta) rakennettavissa TCP/IP-kerrosten päälle = väliohjelmistot (middleware)





# Tietoliikenteen perusteet

---

## Internetin rakenne: Verkkojen verkko



# Internetin rakenne: verkkojen verkko

---

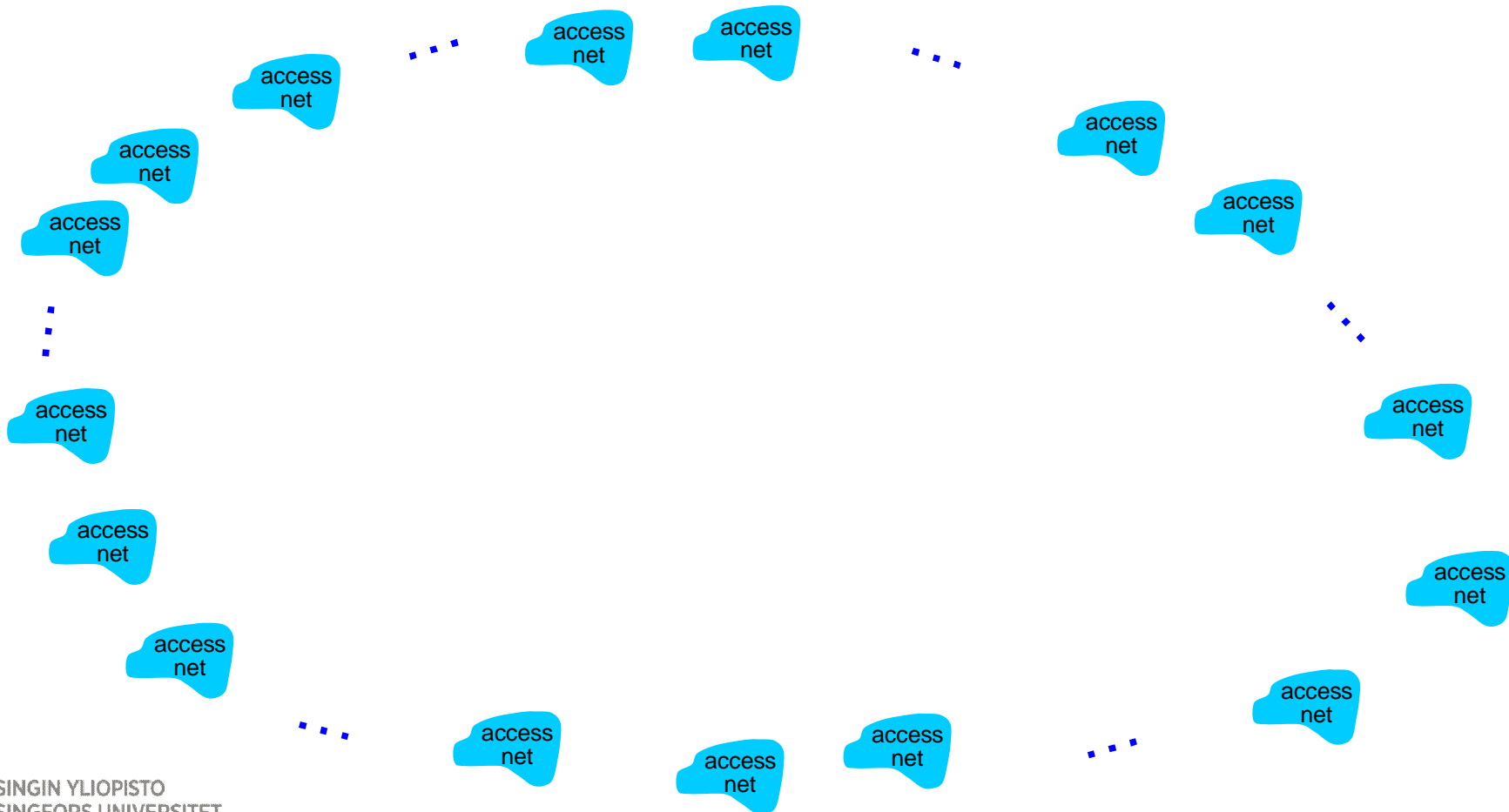
- ❖ Pääteleite on kytketty palveluntarjoajan (Internet Service Providers, ISP) verkon kautta Internetiin
- ❖ Palveluntarjoajien verkot on kytketty edelleen toisiinsa.
  - ❖ Näin kaksi Internetiin kytkettyä laitetta voi lähettää paketteja toisilleen
- ❖ Tällainen verkkojen verkko on monimutkainen
  - ❖ Taustalla sekä talous että kansalliset politiikat
- ❖ Katsotaan rakennetta askel askeleelta



# Internetin rakenne: verkkojen verkko

*Ongelma:* Miten miljoonat palveluntarjoajien verkot yhdistetään?

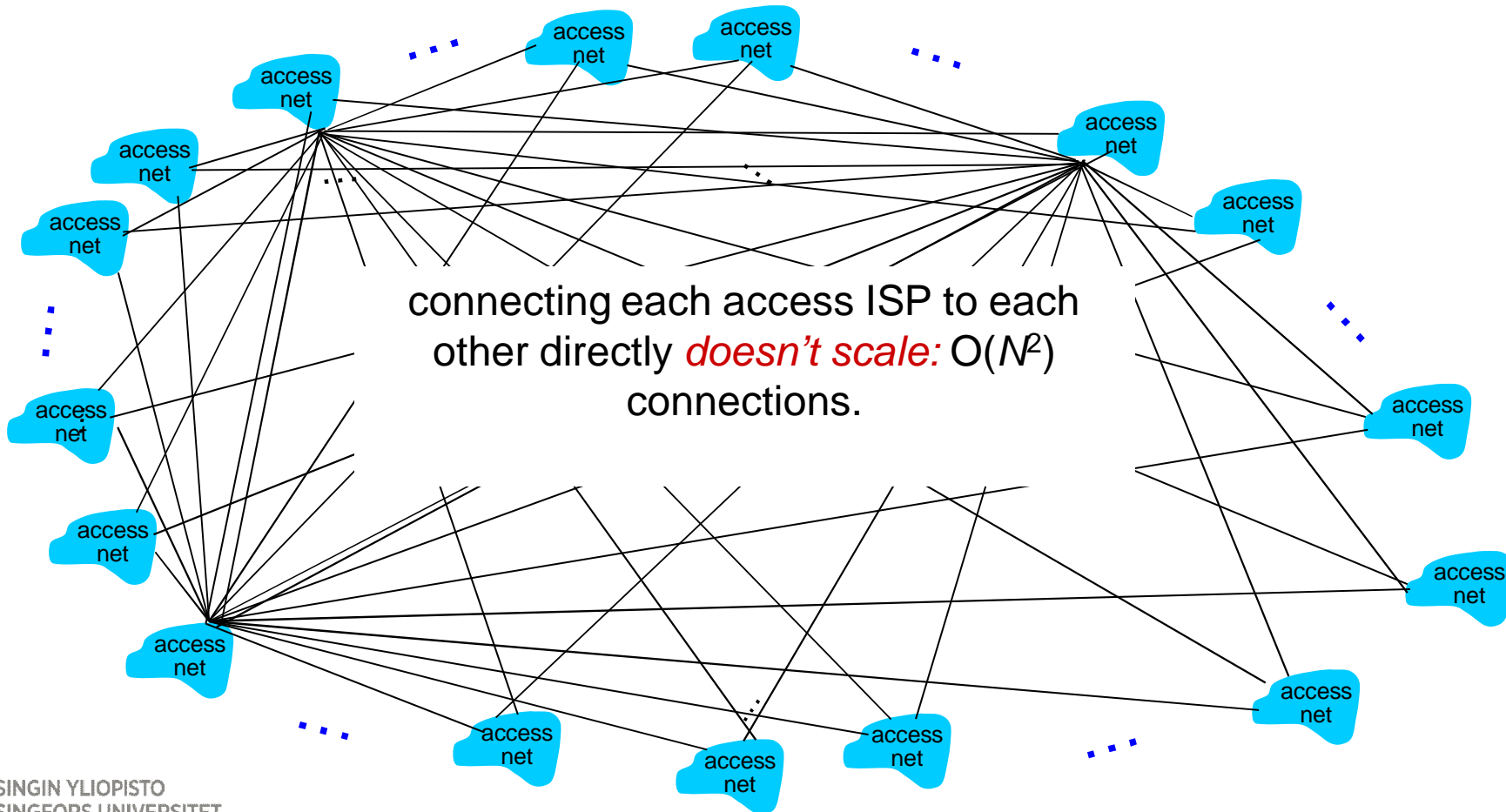
---





# Internetin rakenne: verkkojen verkko

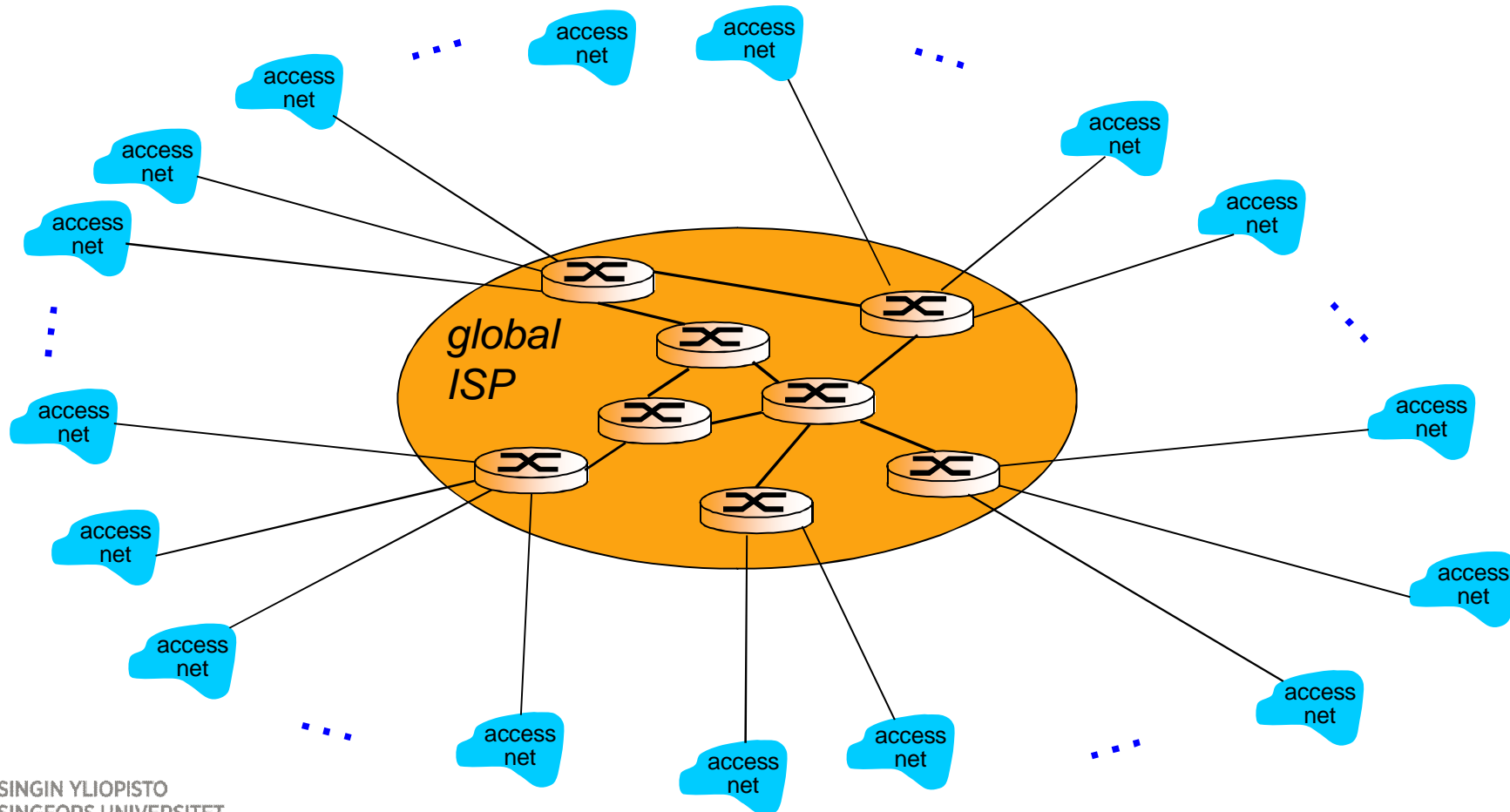
*Optio:* yhdistetään jokainen ISP suoraan kaikkiin muihin?





# Internetin rakenne: verkkojen verkko

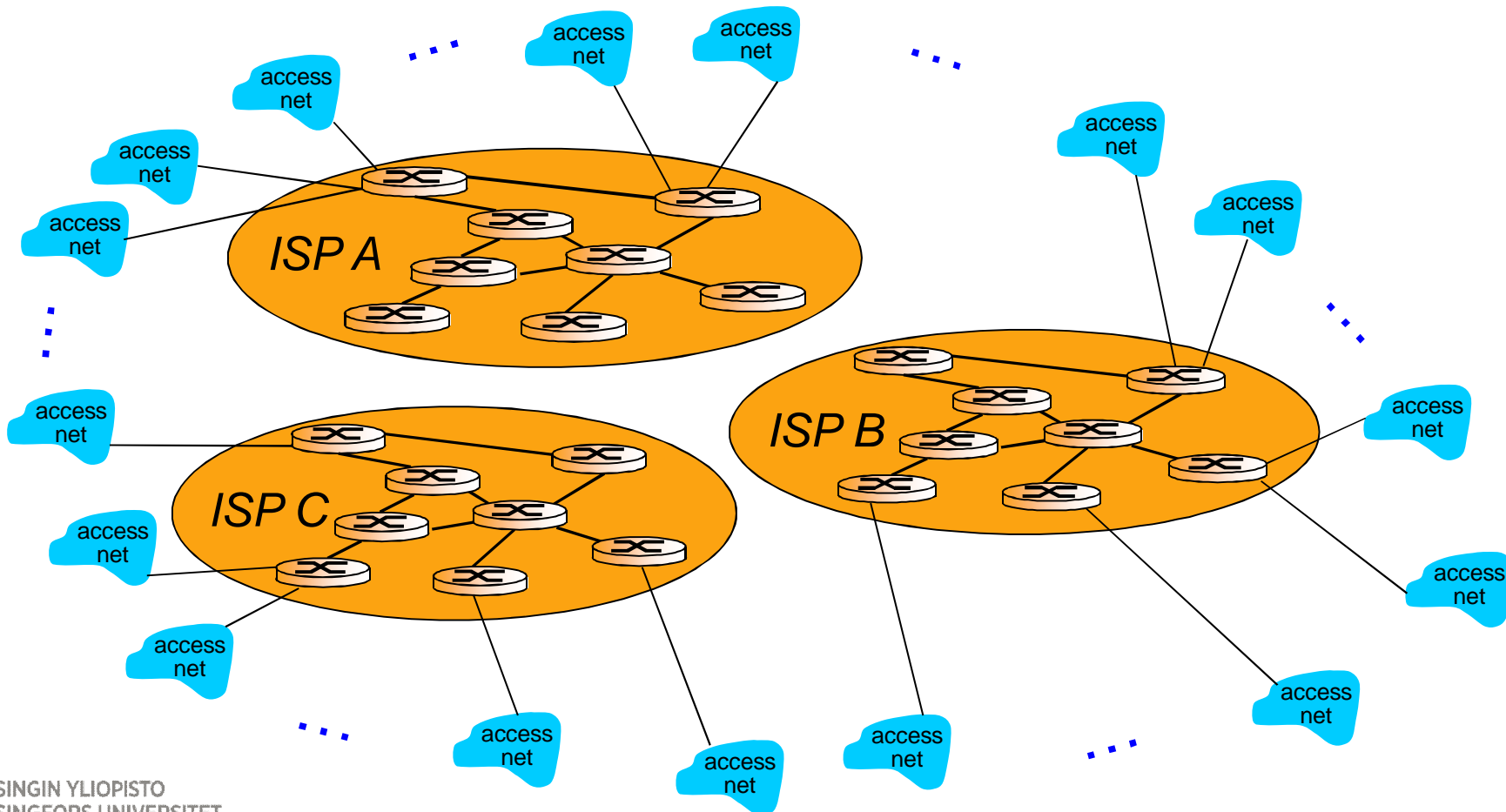
*Optio: yhdistetään kaikki yhteen keskitettyyn välitysverkkoon?*





# Internetin rakenne: verkkojen verkko

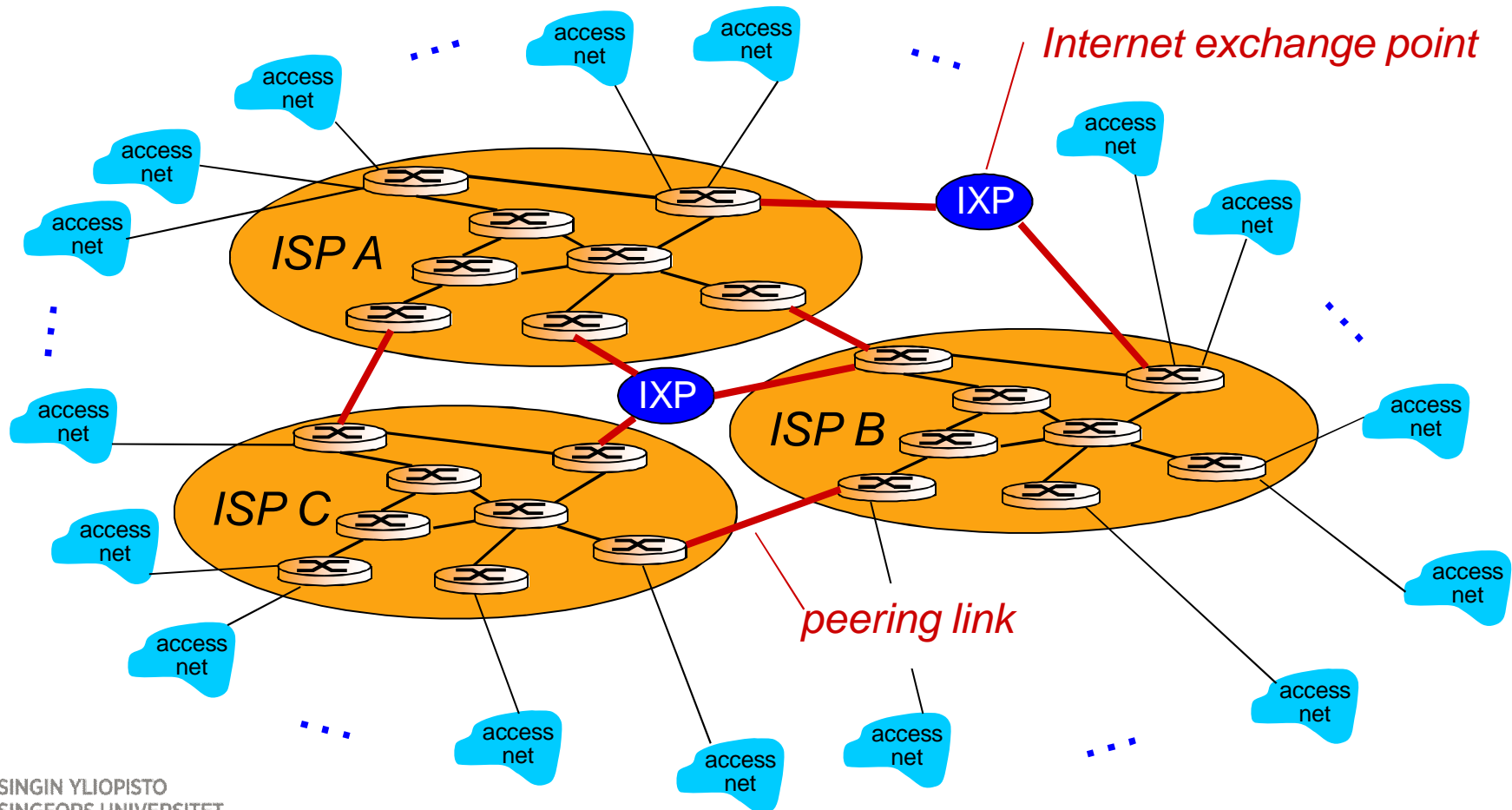
Mutta: jos välitysverkko tuottaa voittoa, tulee kilpailijoita ...





# Internetin rakenne: verkkojen verkko

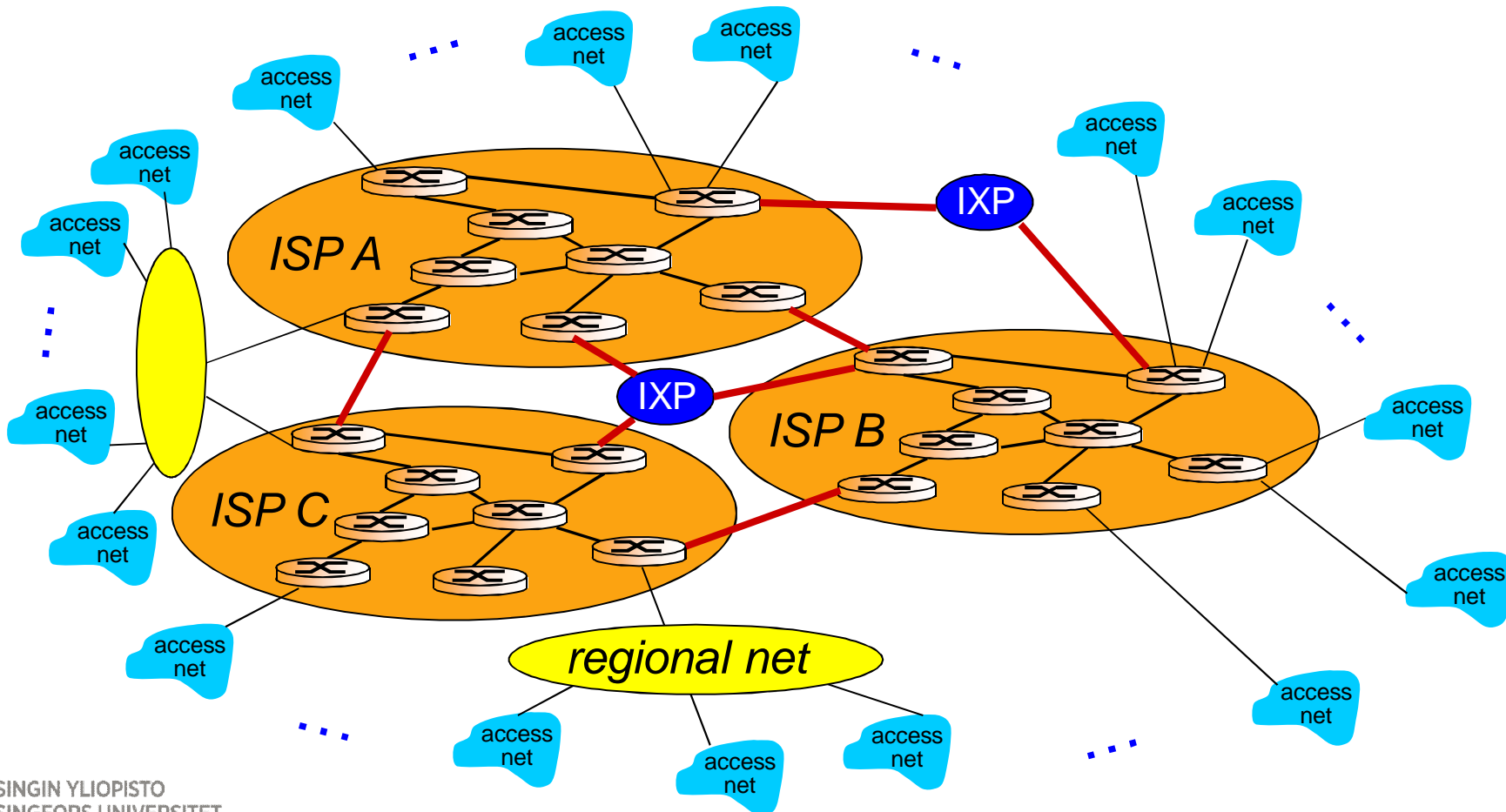
kilpailijoita... jotka pitää yhdistää toisiinsa





# Internetin rakenne: verkkojen verkko

... ja alueverkkoja, joiden kautta yhteydet palveluntarjoajiin

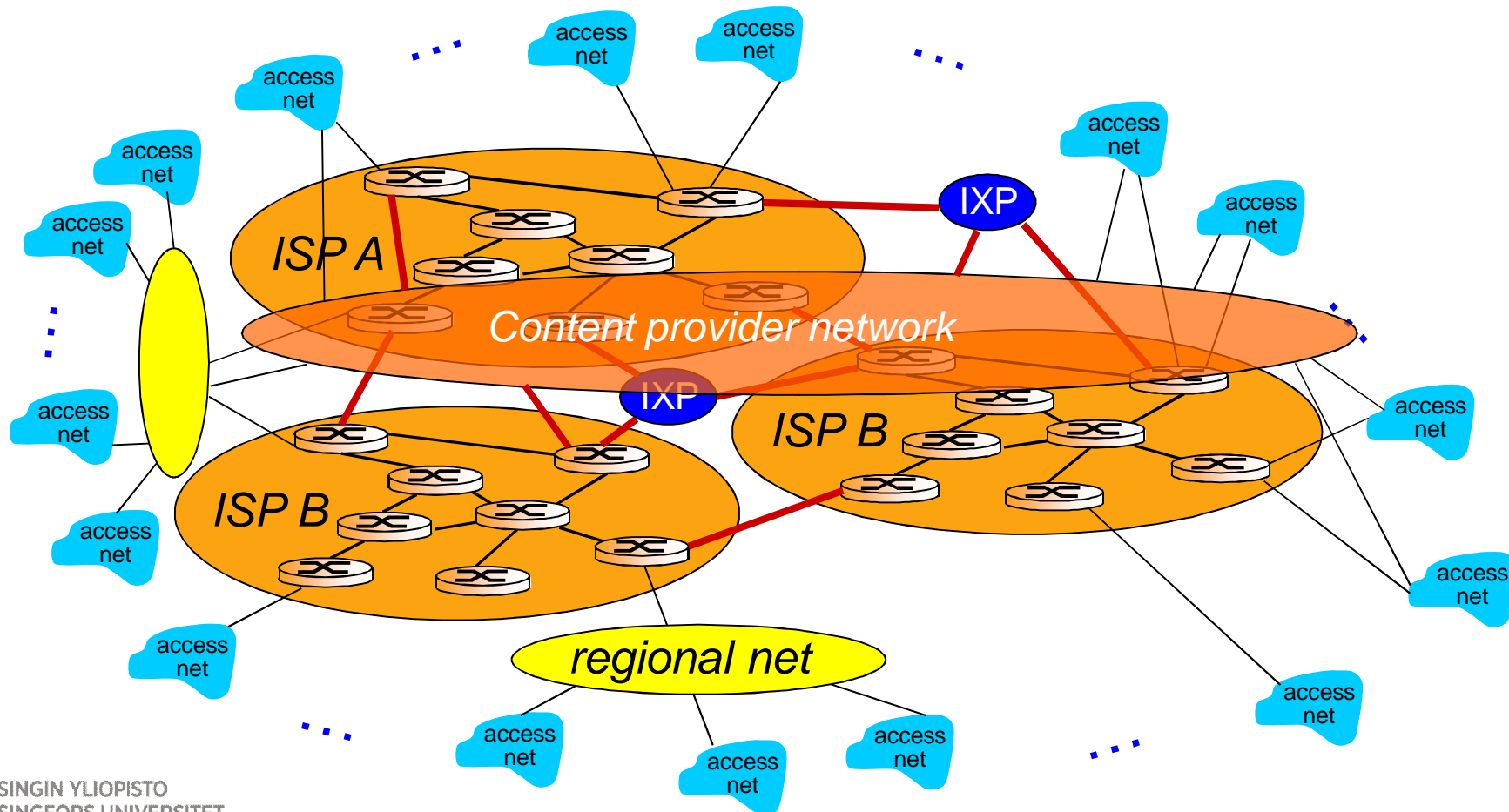






# Internetin rakenne: verkkojen verkko

... ja sisällöntuottajien (e.g., Google, Microsoft, Akamai) omia verkkoja





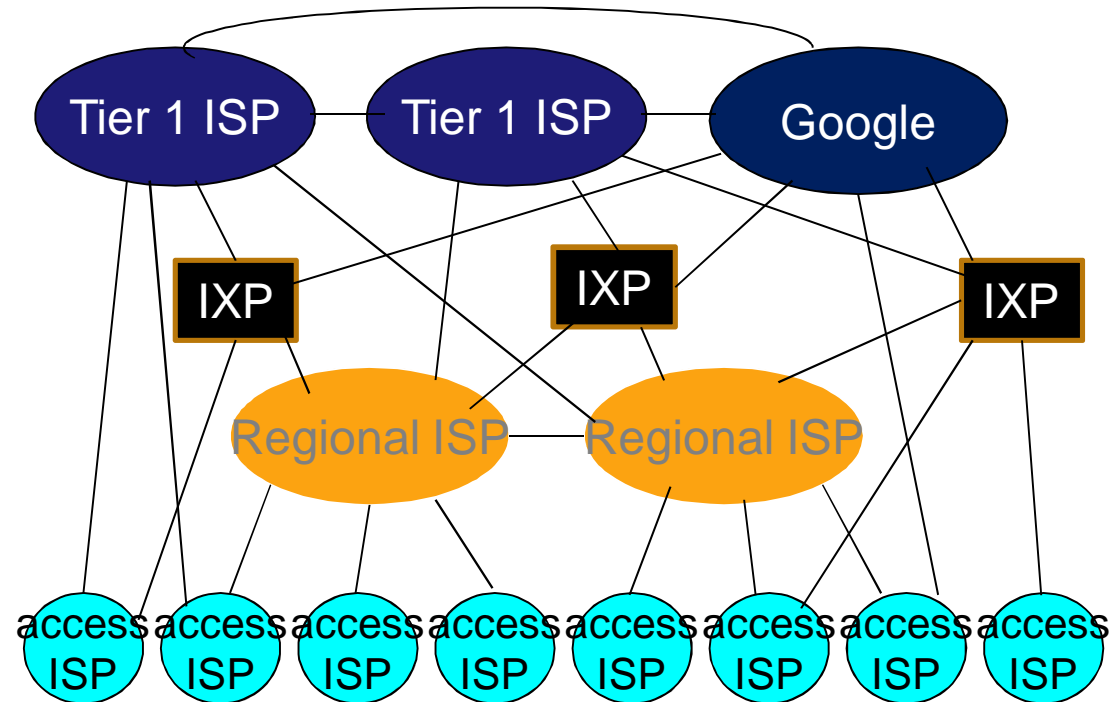
# Internetin rakenne: verkkojen verkko

Fig 1.15 [KR12]

sisimpänä: pieni joukko maailmanlaajuisesti hyvin kytkeytyneitä verkkoja

**“tier-1” kaupalliset ISPt**  
(esim. Sprint, AT&T, NTT), kansainvälisiä, hyvä kattavuus (coverage)

**Sisällöntarjoajan verkko (content provider network)**  
(esim. Google): yksityinen verkko, joka yhdistää palvelinkeskuksia Internetiin, usein ohittaa kokonaan tai osittain tier-1 ISPt





# TKT:n luokkakoneelta maailmalle

---

TKTL:n oma verkko? (osa HYn verkko)

Helsingin yliopiston verkko

<http://www.helsinki.fi/atk/yhteydet/images/>

FUNET

[http://www.csc.fi/hallinto/funet/esittely/runkoverkko/index\\_html](http://www.csc.fi/hallinto/funet/esittely/runkoverkko/index_html)

NORDUNET

[http://www.nordu.net./maps/map\\_nordunet.png](http://www.nordu.net./maps/map_nordunet.png)

<http://stats.nordu.net/stat-q/load-map/ndn-map,,traffic,peak>

(Kotimaan liikenne FUNETista FICIXin kautta eteenpäin)



# Kertauskysymyksiä

---

Isäntäkone vs. reititin?

Protokolla vs. palvelu?

Vertaisverkkomalli vs. asiakas-palvelin malli?

Fyysinen siirtomedia?

Piiri- ja pakettikytkentä? Hyödyt ja haitat?

Viipeet ja pakettien katoamiset

Internet-protokollakerrokset ja niiden tehtävät?

Miksi kerrosrakenne?

Mitä protokollakerroksia eri laitteissa tarvitaan?

**Ks . myös kurssikirja ss. 94-96.**