

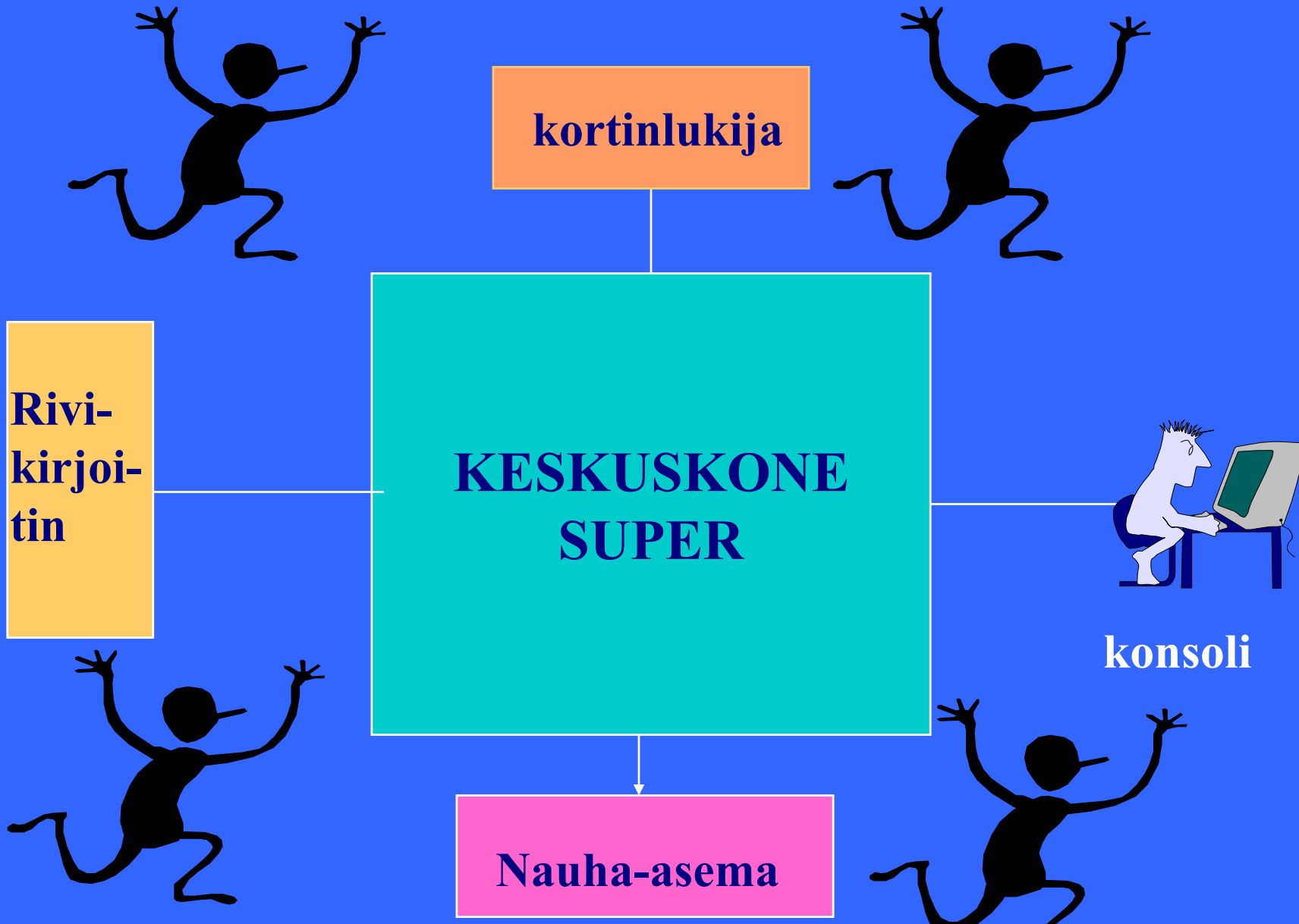
1. Tietokoneverkot ja Internet

- 1.0. Tietokoneesta tietoverkkoon
- 1.1. Tietoliikenneverkon rakenne
- 1.2. Tietoliikenneohjelmisto eli protokolla
- 1.3. Siirtomedia
- 1.4. Viitemallit: OSI-malli, TCP/IP-malli
- 1.5. Esimerkkejä verkoista
 - Internet ja sen käyttö

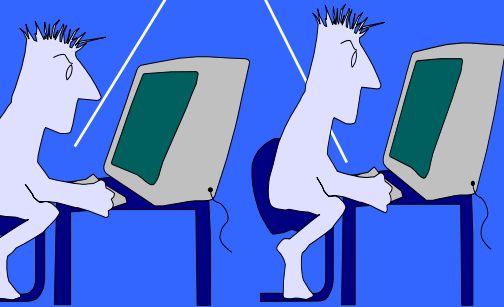
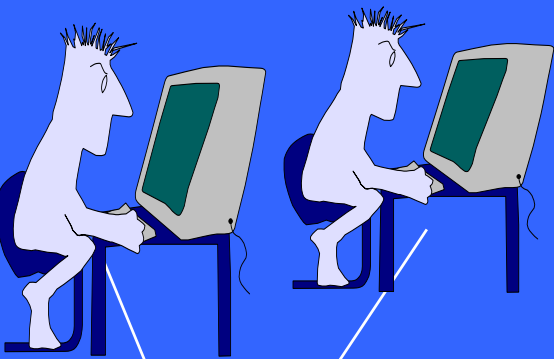
1. 0. Tietokoneesta tietokoneverkkoon

- Tietojenkäsittelyn siirtyminen tietokoneesta tietokoneverkkoon
- Yleinen käytötapa
 - Asiakas-palvelin-kommunikointi

Keskuskone ja oheislaitteet



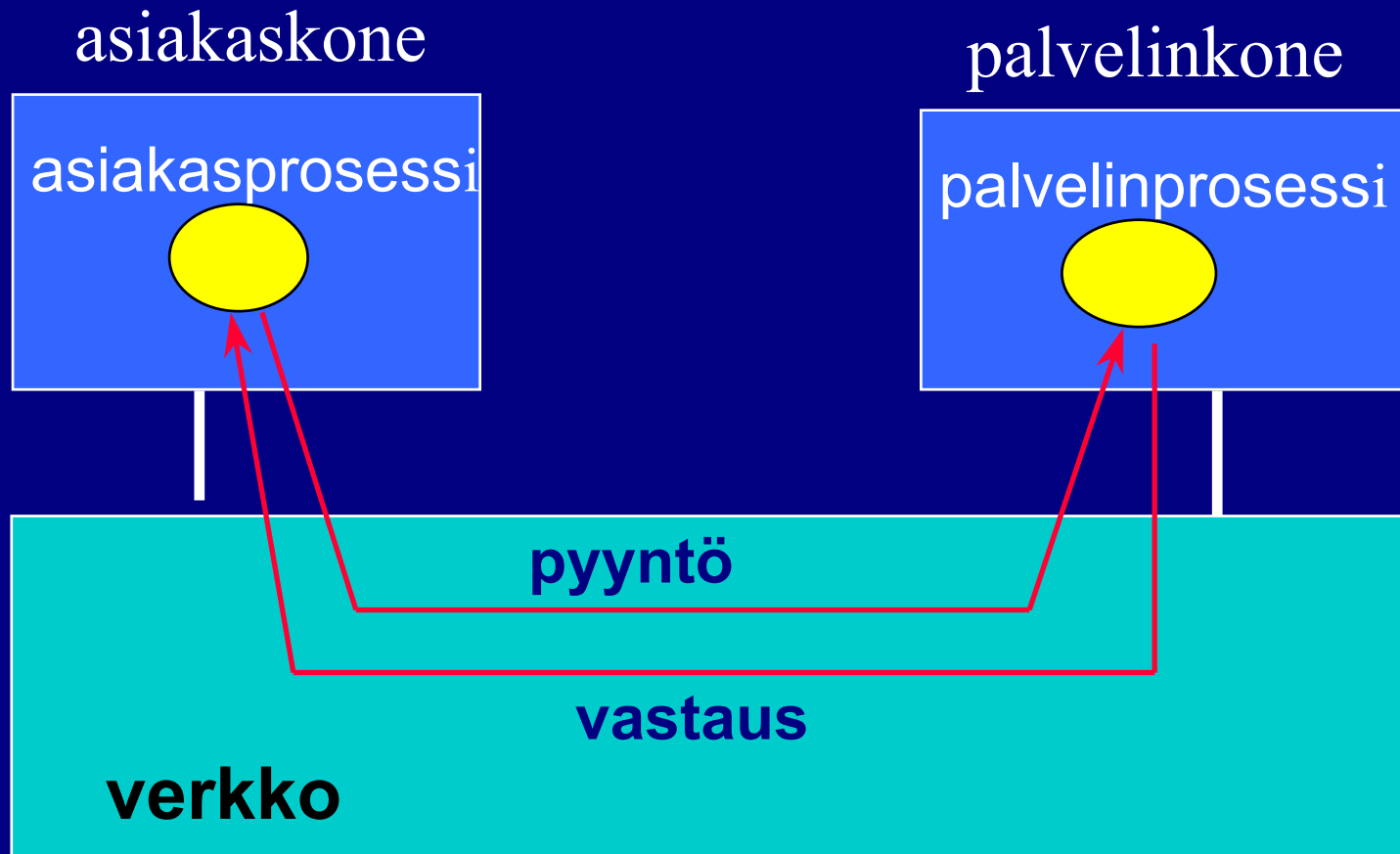
Keskuskone ja päätteet (=>-80-luvun alku)



Tietoliikenneverkko



Asiakas-palvelin-malli



Asiakas-palvelinsovellus

- Hajautettu sovellus
 - asiakasprosessi toisessa koneessa, palvelinprosessi toisessa koneessa
- useimmat Internet-sovellukset
 - sähköposti
 - tiedostonsiirto
 - uutisryhmät
 - WWW
 - sähköinen kaupankäynti

1.1 Tietoliikenneverkon rakenne

- **Isäntäkone (host)**
 - palvelin, asiakaskone
 - tietokoneiden lisäksi muita laitteita: kameroita
- **reititin (router)**
- **tietoliikennelinkit (link)**
 - langaton, langallinen
- **protokollat**
 - internet-protokollat
- **sovellusohjelmat**
 - esim. sähköposti
 - käyttävät verkon tarjoamia tietoliikennepalveluja

Yhteydellinen ja yhteydetön palvelu

- **Yhteydellinen:**

- ensin muodostetaan yhteys, jossa voidaan sopia monesta yhteyteen liittyvästä asiasta
 - kontrollipaketteja osapuolten välillä (kättely)
- sitten lähetetään sanomia, joiden järjestys säilyy
- lopuksi puretaan yhteys
- puhelin

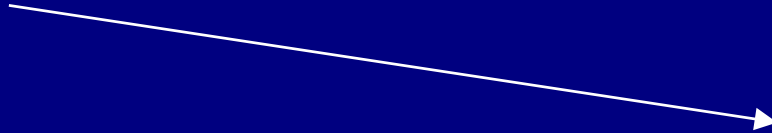
- **Yhteydetön:**

- sanomat lähetetään, mutta niiden järjestys voi muuttua
- posti

Yhteydellinen palvelu



'kättely' (HEI!)



ok! (NIIN!)



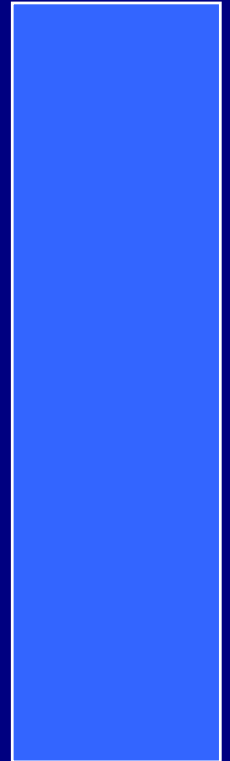
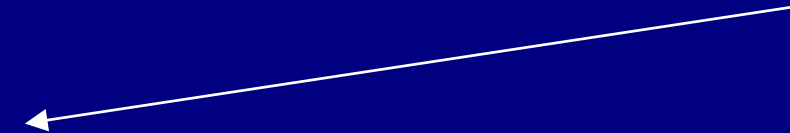
Data ("päläpäläpälä")



Disconnect! (MOI!)



ok (MOI, MOI!)



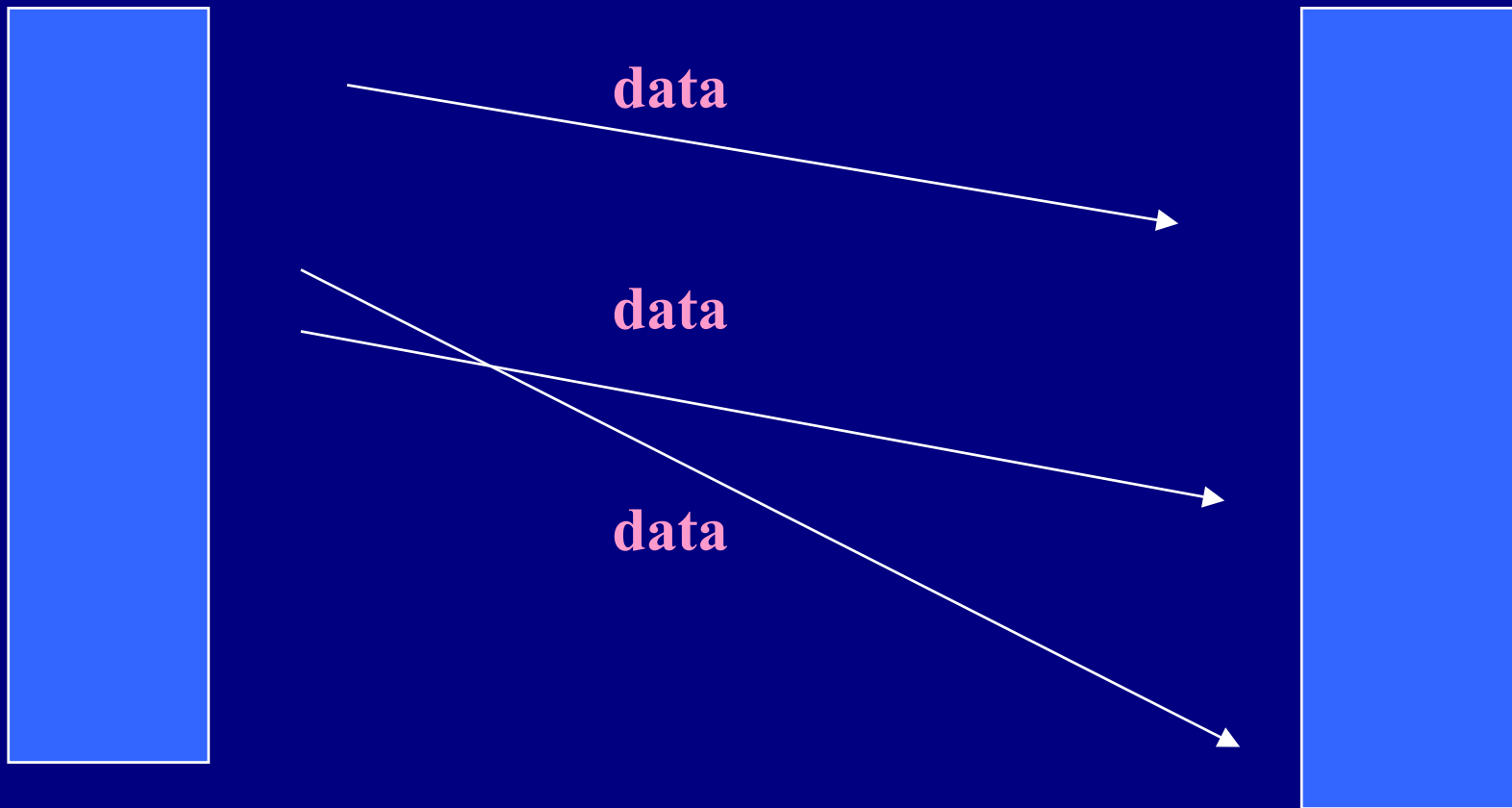
Yhteydellinen palvelu

- Yhteys olemassa, sillä **osapuolet** tietävät olevansa yhteydessä
 - **verkko ja sen reitittimet eivät välttämättä tiedä yhteydestä mitään**
- yhteyteen voidaan liittää muita palvelupiirteitä
 - luotettava tiedonsiirto
 - **kuittauksia ja uudelleenlähetyksiä**
 - vuonvalvonta
 - ruuhkanvalvonta
- TCP-kuljetuspalvelu
 - käyttävät mm. sähköposti (SMTP), HTTP

Yhteydetön palvelu

- Ei takaa tiedon perillepääsyä, ei vuonvalvontaa, ei ruuhkavalvontaa
- nopeampi, koska ei tarvita kättelyjä
 - data lähetetään heti
- UDP-kuljetuspalvelu
 - käyttävät mm. Internet-puhelin ja videokonferenssi, jotka itse ovat yhteydellisiä palveluja

Yhteydetön palvelu



INTERNET

- internet, “verkkojen verkko”
 - world-wide internetwork
 - yleisnimitys
- Internet
 - erisnimi



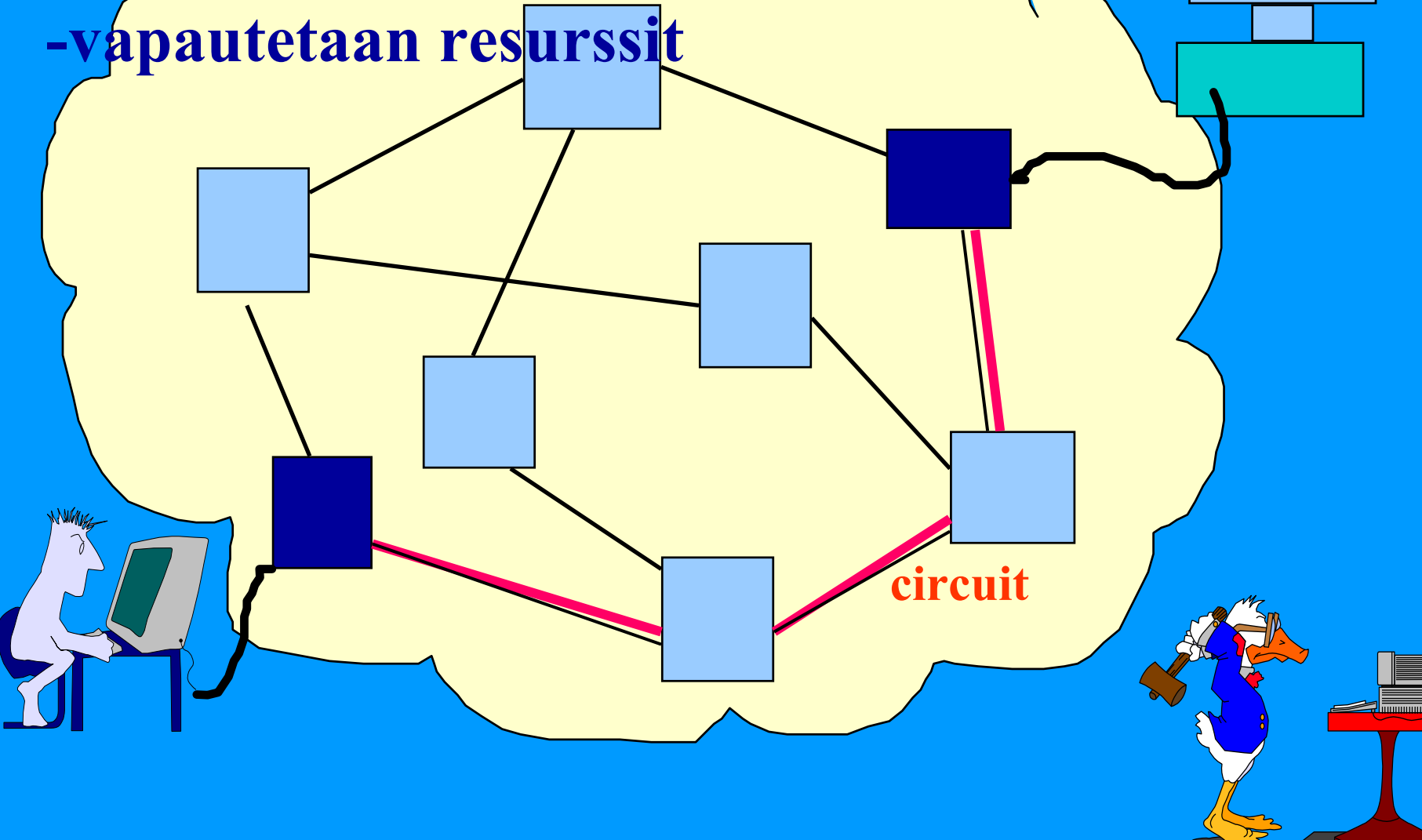
Verkkoteknologiat:

Piirikytkentäinen \Leftrightarrow pakettivälitteinen

- Kaksi erilaista verkkoteknologiaa
 - piirikytkentäinen (circuit switching)
 - verkon resurssit varataan yhteyden ajaksi
 - puskurit, linjakapasiteetti \Rightarrow kytkimet tietävä yhteydestä
 - puhelinverkko \Rightarrow takaa tasaisen lähetysnopeuden
 - pakettivälitteinen (packet switching)
 - resursseja ei varata, niitä saa käyttöönsä aina tarvittaessa
 - jos resursseja ei ole, joudutaan odottamaan
 - Internet \Rightarrow 'best effort'
 - Atm?

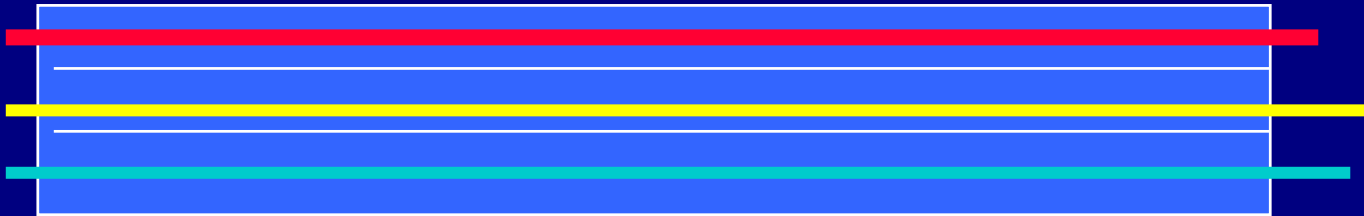
Piirikytkentäinen verkko

- ensin varataan resurssit yhteyttä varten
- sitten datan siirto yhteyttä pitkin
- vapautetaan resurssit

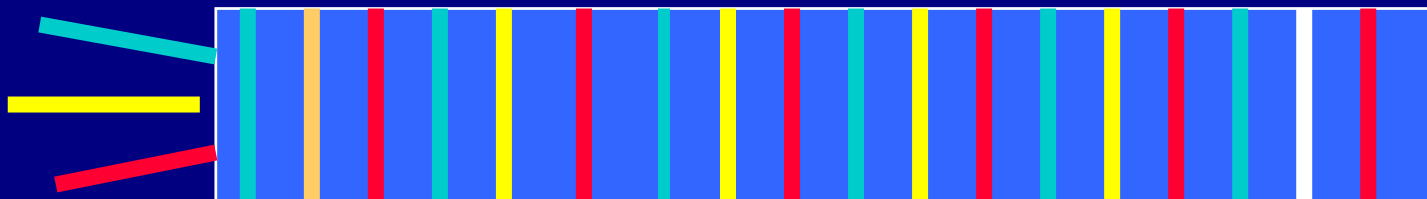


Kanavointi (multiplexing)

- Samalla linkillä usean yhteyden sanomia



FDM (frequency-division multiplexing) = linkin kaistanleveys (bandwidth) = sen käyttämät taajuudet jaetaan usealle käyttäjälle



TDM (time-division multiplexing) = jokainen saa lähettää tietyn lyhyen ajan

Lasketaan!

- Kauanko kestää lähettää 640 Kbitin tiedosto piirikytkentäistä verkkoa käyttäen, kun linjan lähetyksenopeus on 1.536 Mbps ja linjalla käytetään TDM:ää, jossa on 24 aikaviipaletta?
- Lisäksi yhteyden muodostamiseen kuluu ensin 500 ms.

Siirtonopeus, siirtoaika

- **Siirtonopeus** (data rate, transmission rate)

- miten nopeasti dataa pystytään lähettämään (siirtämään) linjalla

- **bps** = bittejä sekunnissa

- **Bps** = tavuja (bytes) sekunnissa

- **Siirtoaika**

- kauanko datamäärän siirtäminen kestää

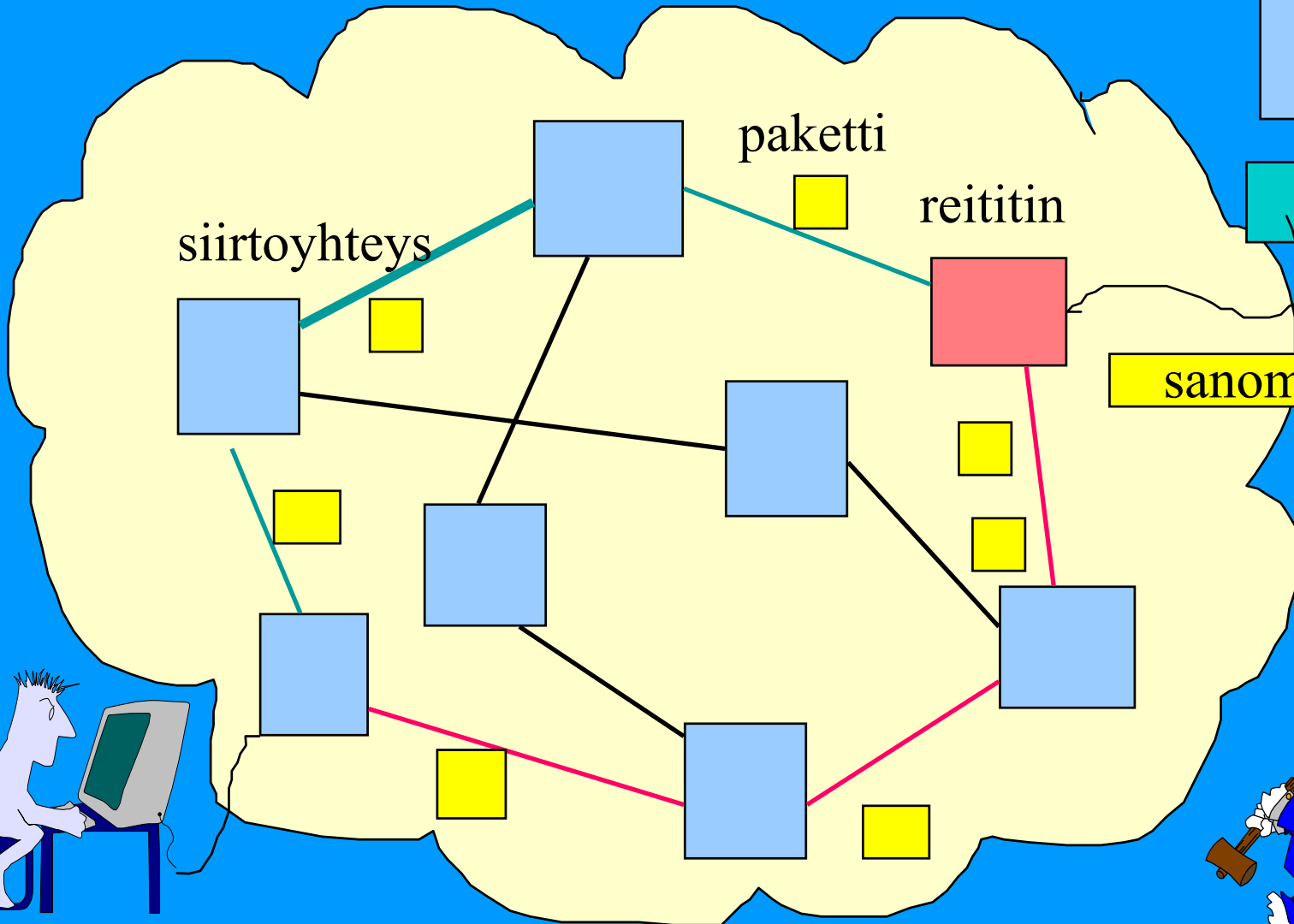
- 10 Mb dataa ja siirtonopeus on 1 Mbs => siirtoaika = 10 sekuntia

Ratkaistaan!

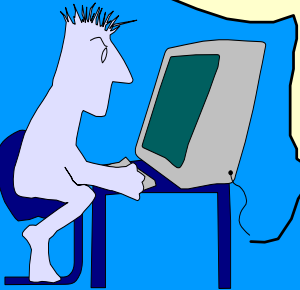
- 1.536 Mbps yhteydellä on käytössä 24 aikaviipaletta => yhdelle yhteydelle on käytössä $1.536 \text{ Mbps} / 24 = 64 \text{ kbps}$
- Siirrettävä tiedosto on 640 Kbittiä.
Siirtoon kuluu $640 \text{ Kb} / 64 \text{ Kbps} = 10 \text{ s.}$
- Lisäksi yhteyspiirin muodostukseen kuluu 0.5 s eli yhteensä 10.5 s.
 - Huom! Aika ei riipu välissä olevien linkkien lukumäärästä.

Pakettivälitteinen tiedonsiirtoverkko

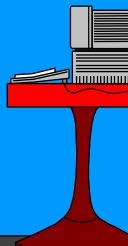
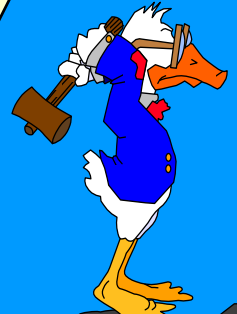
isäntäkone



sanoma



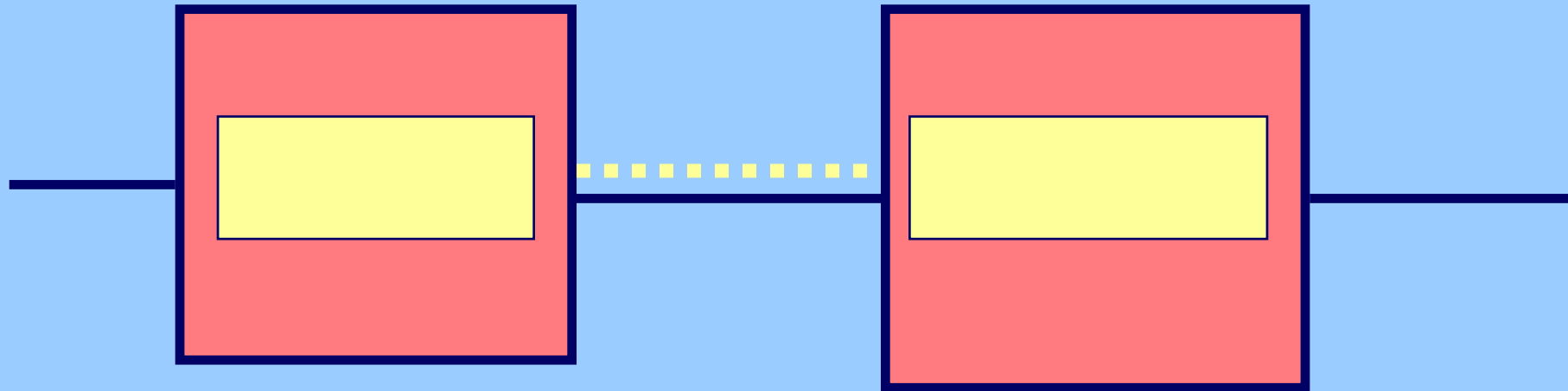
sanoma



Etappivälitteinen (store-and-forward)

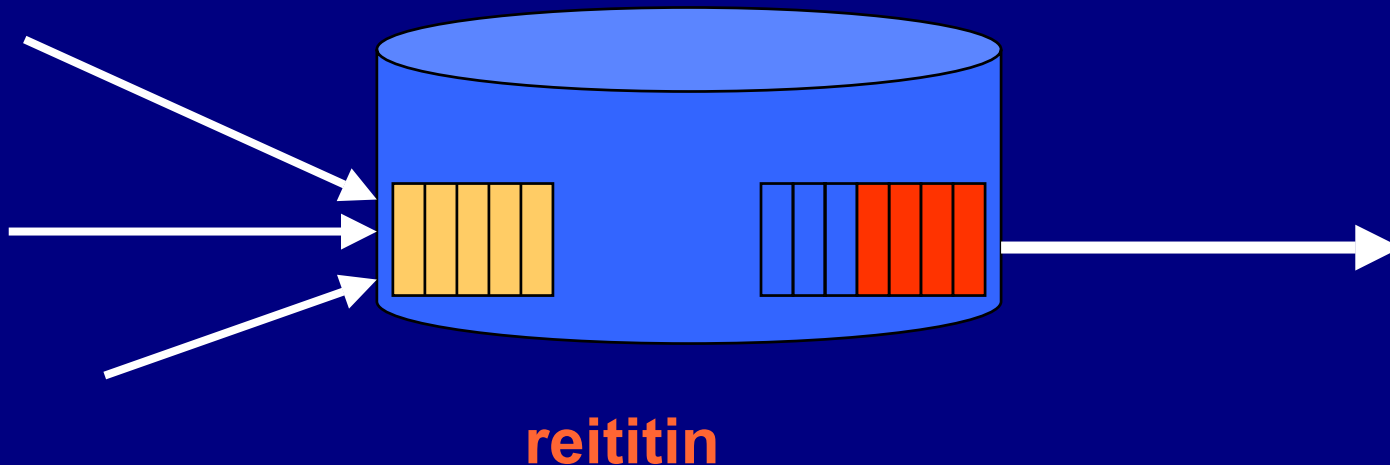
- Reititin vastaanottaa koko paketin ennenkuin lähettää sen eteenpäin
 - **siirtoaika** joka linkillä, koska paketti lähetetään aina uudestaan
 - L = paketin koko bitteinä
 - R = lähtölinkin siirtonopeus
 - **Siirtoaika** (siirtoviive) = L/R

etappivälitteinen



Jonotusviive (queuing delay)

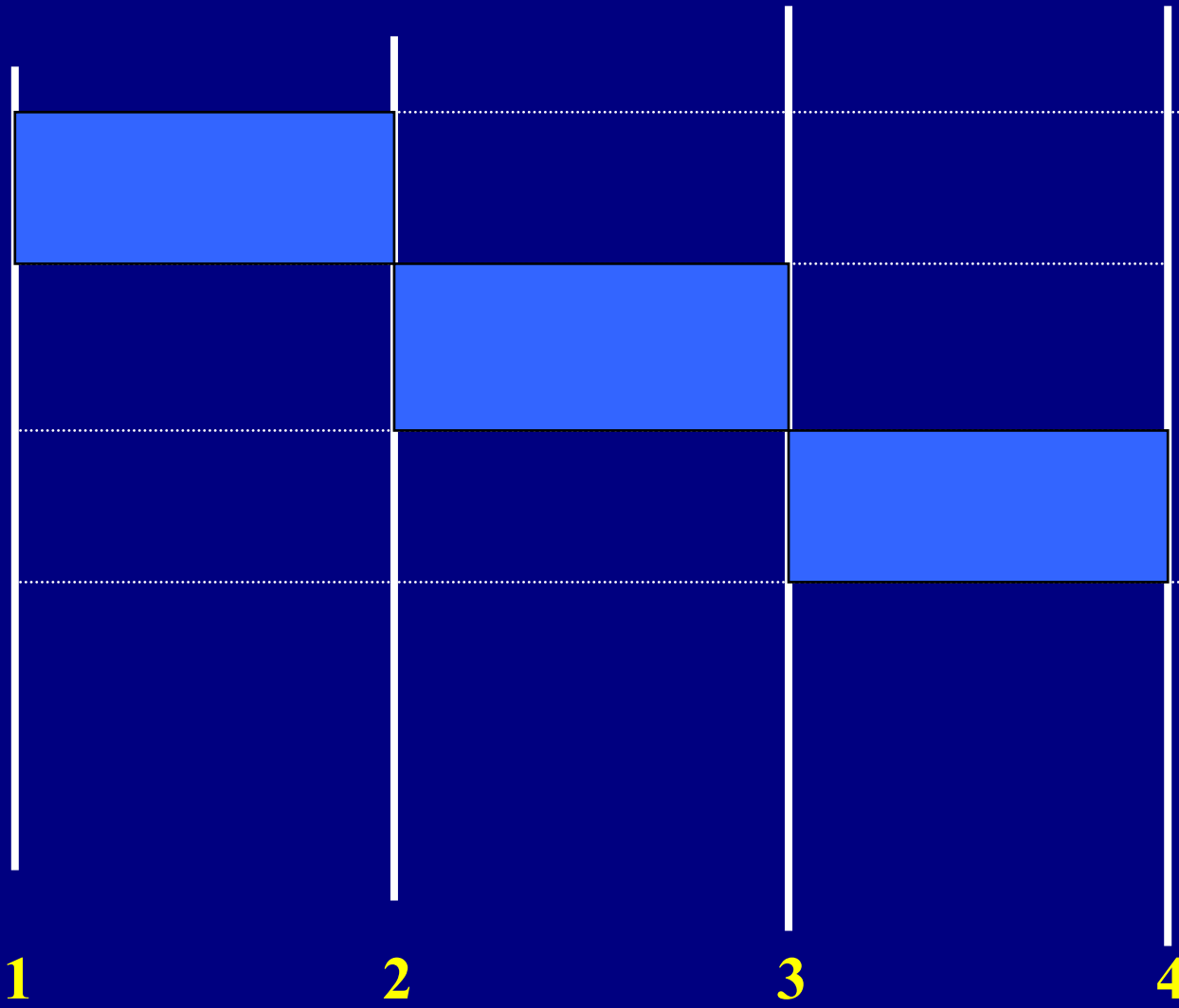
- jonotusviive reitittimessä, jos paketti joutuu odotamaan, koska reititin lähettää linkille muita paketteja



Etenemisviive (propagation delay)

- Miten nopeasti bitit (signaalit) etenevät siirtomediassa
 - mediasta riippuen noin 2/3 valonnopeudesta , joka on ~300.000 km/s
 - Tyhjiössä valonnopeus on 299.795.458 m/s.
- **riippuu etäisyydestä ja hieman siirtomediasta**
 - merkitystä etenkin satelliittilinkeillä, myös mannerten välisissä yhteyksissä
 - **Valonnopeus on kattonopeus kaikelle viestiliikenteelle**

aika



**Aika
joka
kuluu
paketin
siirtoon
kolmen
linkin yli
ilman
etenemis-
viivettä**

Reitittimet

aika



1

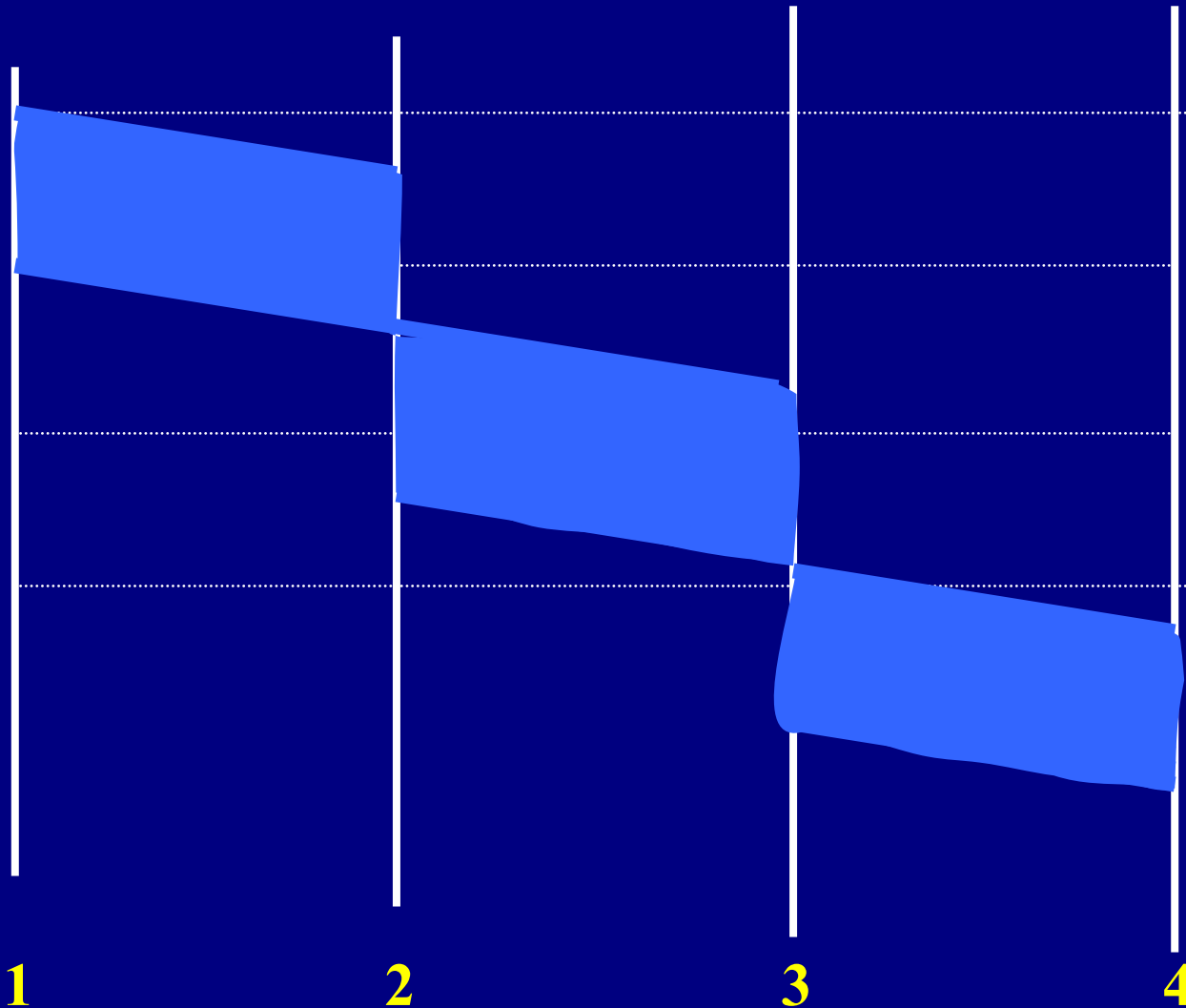
2

3

4

Reitittimet

**Aika
joka
kuluu
paketin
siirtoon
kolmen
linkin yli
etenemis-
viive
mukana**



Lasketaan!

- Paketti lähetetään pakettivälitteisessä verkossa, jossa se kulkee 5 linkin yli lähettäjältä vastaanottajalle. Paketin koko on 4 Kbittiä ja linkin siirtonopeus on 1 Mbps. Kuinka kauan kestää paketin siirtäminen lähettäjältä vastaanottajalle?

Ratkaistaan:

- Paketin koko = 4 Kb, siirtonopeus = 1 Mbps = 1000 Kbps
- siirtoaika yhdellä linkillä = $4 \text{ Kb} / 1000 \text{ Kb/s} = 0.004 \text{ s} = 4 \text{ ms}$
- 5 linkkiä ja jokaisella linkillä sama siirtoaika
 $\Rightarrow 5 * 4 \text{ ms} = 20 \text{ ms}$
- Huom. Ei otettu huomioon etenemisviivettä eikä mahdollisia jonotusviiveitä.

Miksi pakettivälitys on tehokkaampaa?

- Käyttäjät käyttävät yhdessä 1 Mbps linjaa.
- Kukin käyttäjä joko lähettää 100 Kbps tai on kokonaan lähettämättä.
- Piirikytkennässä
 - jokaiselle on varattava 100 Kbps linjakapasiteettia.
 - 1 Mbps linja riittää 10 käyttäjälle!

Pakettivälitteisessä verkossa

- Jos esim. käyttäjiä on 35 ja jokainen on lähettämässä 10 % ajasta ja joutilaana 90% ajasta, niin todennäköisyys sille, että samanaikaisesti on lähettämässä 10 tai enemmän, on pienempi kuin 0.0017!
- Jos aktiiveja lähettäjiä on vähemmän kuin 10, niin linjakapsiteetti riittää hyvin. Näin on todennäköisyydellä 0.9983!
- **Purskeinen käyttö tyypillistä Internetissä!**

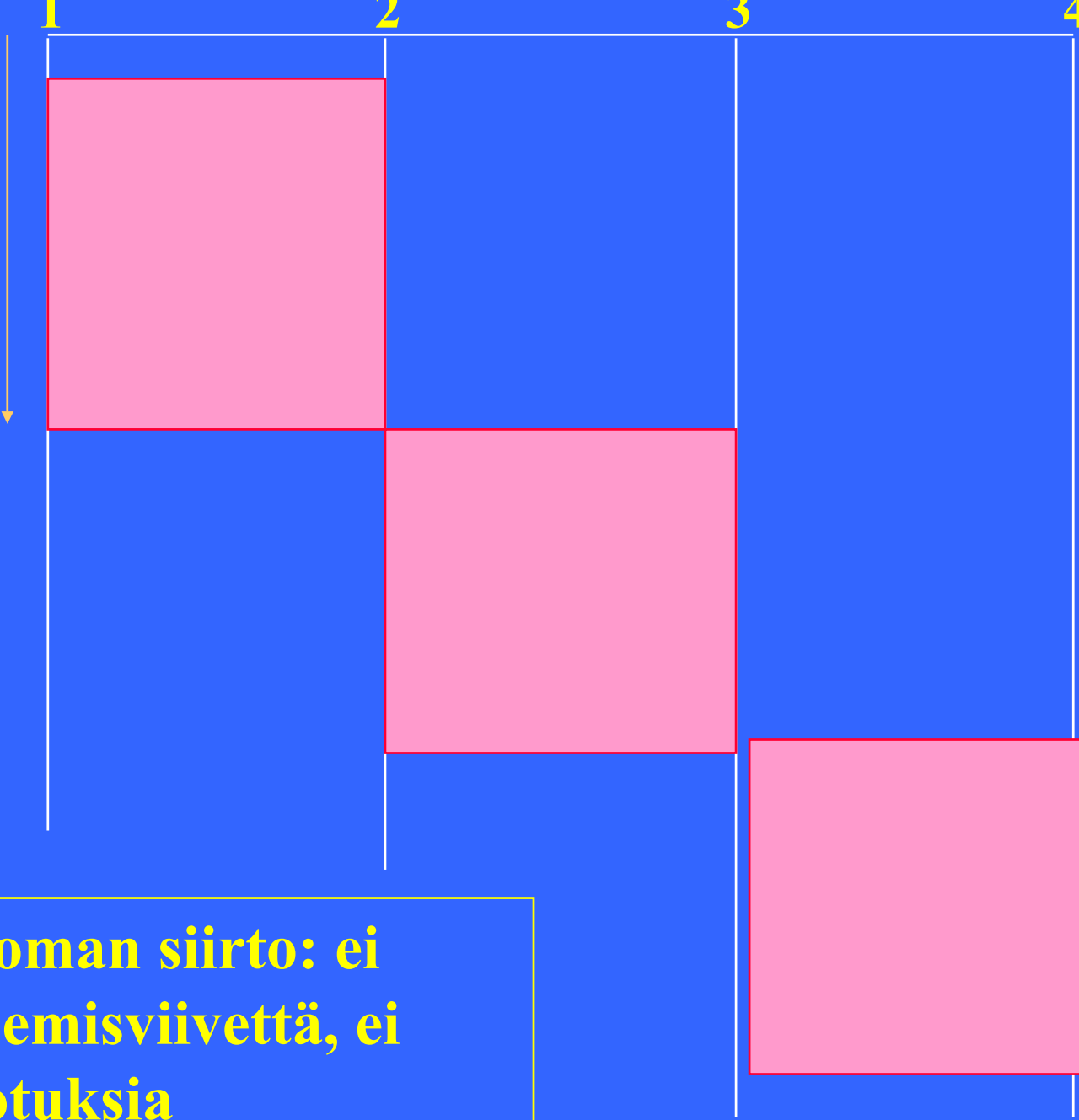
Sanoman pilkkominen paketeiksi

- Miksi ei lähetetä koko sanomaa kerralla?
- Olkoon sanoman koko 400 Kb ja linkin nopeus on 1 Mbps.
- Kun koko sanoma lähetetään 5 linkin yli, niin aikaa kuluu $5 * 400 \text{ ms} = 2000 \text{ ms}$
- Kun sanoma pilkotaan sadaksi 4 Kb:n paketiksi, niin aikaa kuluu paljon vähemmän eli vain 416 ms!

Miksi näin?

- Paketteja voidaan lähettää rinnakkain eri linkeillä,
- 400 Kb:n sanoma siirtyy 1 Mbps linkillä 400 ms:ssa.
- Tämän ajan lisäksi joudutaan odottamaan vain sen ajan kun 4 Kbtin paketti siirretään 4:n linkin yli = 16 ms

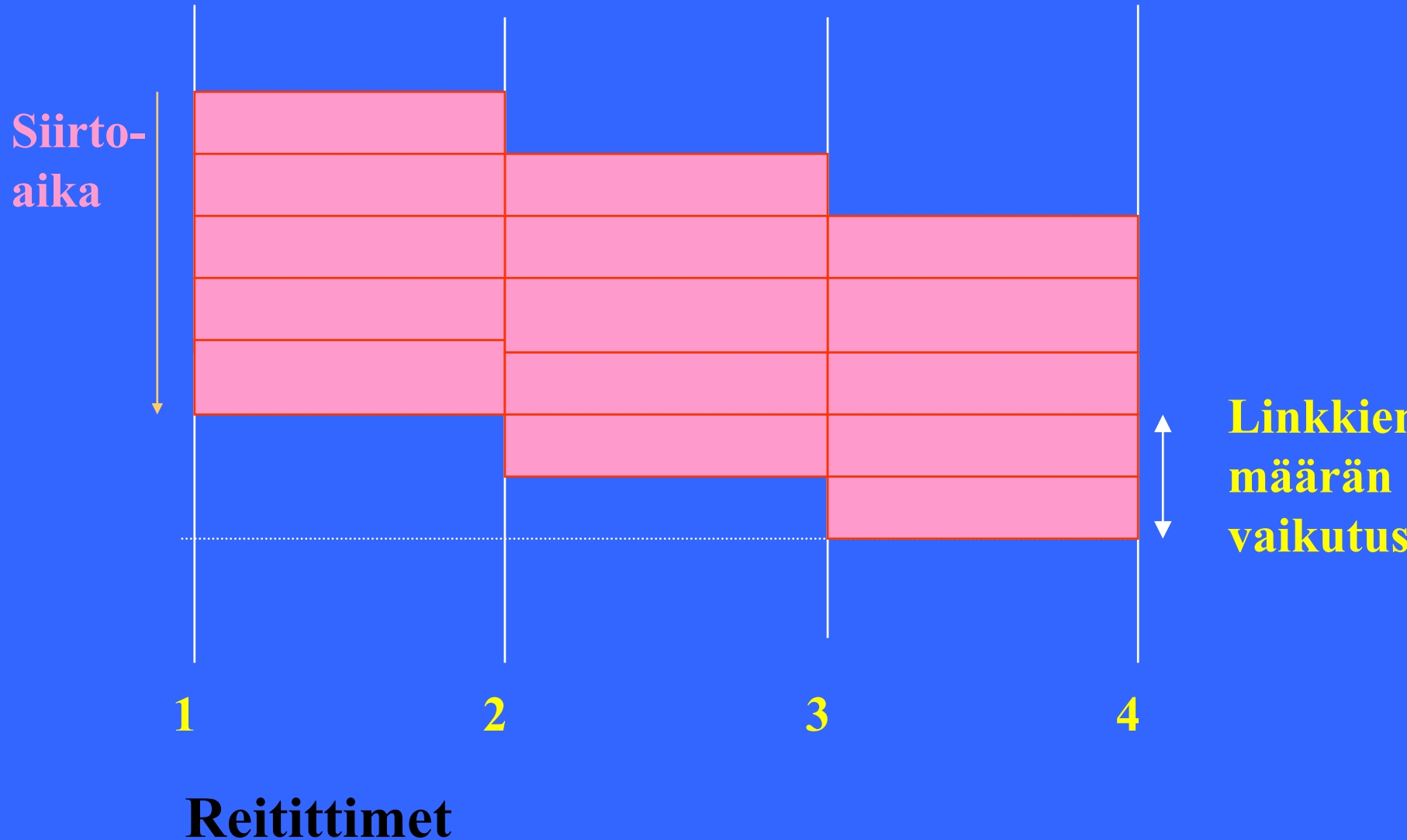
**Siirto-
aika**



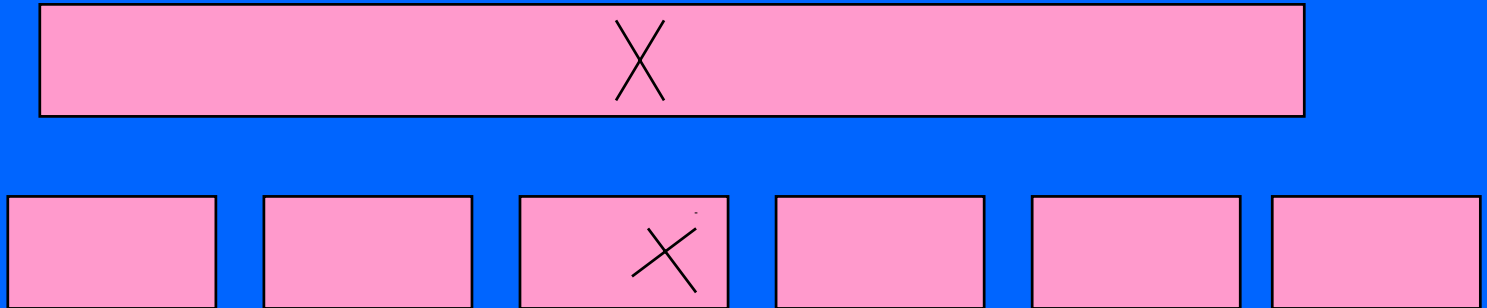
**Linkkien
määrän n
vaikutus
= siirtoajan
n-kertais-
tuminen**

**Sanoman siirto: ei
etenemisviivettä, ei
jonotuksia**

Sanoman siirto paketteina: ei etenemisviivettä, ei jonotuksia



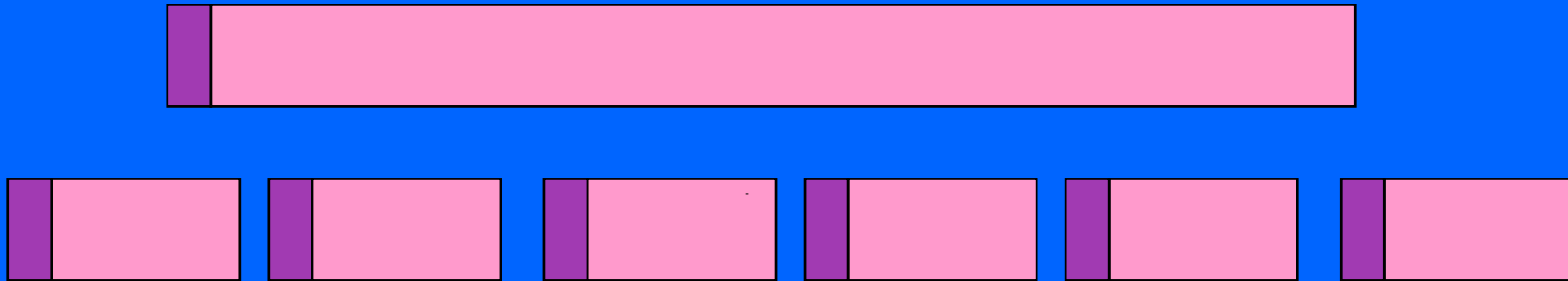
Siirtovirheen vaikutus



Koko virheellinen sanoma joudutaan lähettämään uudestaan !

Vain yksi sanoman paketti joudutaan lähettämään uudestaan!

Pakettiotsake



Sanomaan riittää yksi otsake (valvontatietoa: esim. lähettäjän ja vastaanottajan osoitteet)

Jokaisessa paketissa oma osoite! => enemmän yleisrasitetta (overhead)

Reititys

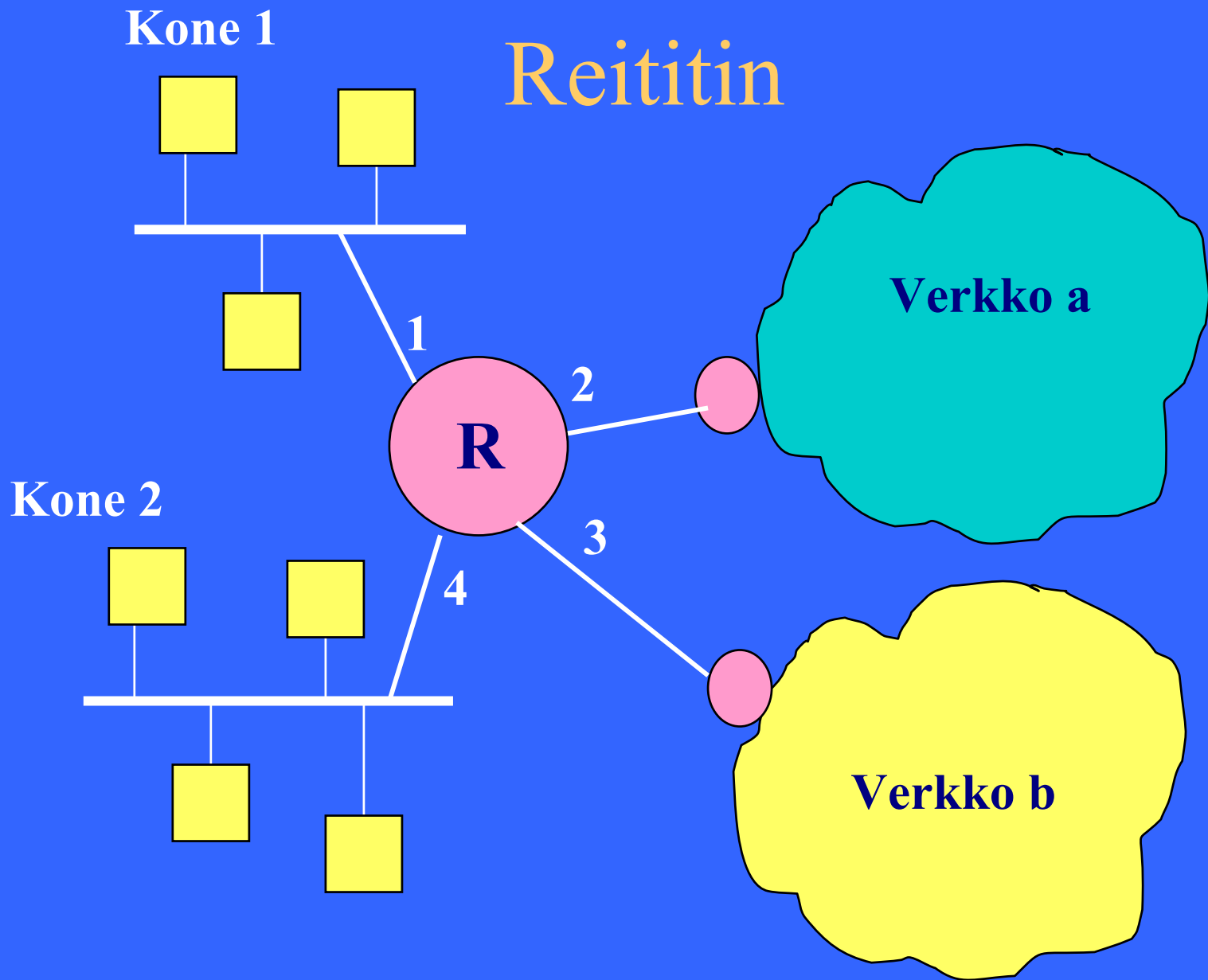
- **Datasähkeverkko**

- kukin paketti reititetään jokaisessa reitittimessä erikseen => voivat kulkea eri reittiä
- jokaisessa paketissa osoite
- reititystaulu kertoo ulosmenon
- INTERNET

- **virtuaalipiiriverkko**

- ensimmäinen paketti muodostaa **virtuaalipiirin**
- muut paketit reititetään samaa reittiä virtuaalipiirinumeron mukaan
- joka linkillä paketilla on oma virtuaalipiirinumero
- virtuaalipiirien muunnostaulukko
- ATM, kehysvälitys (frame relay)

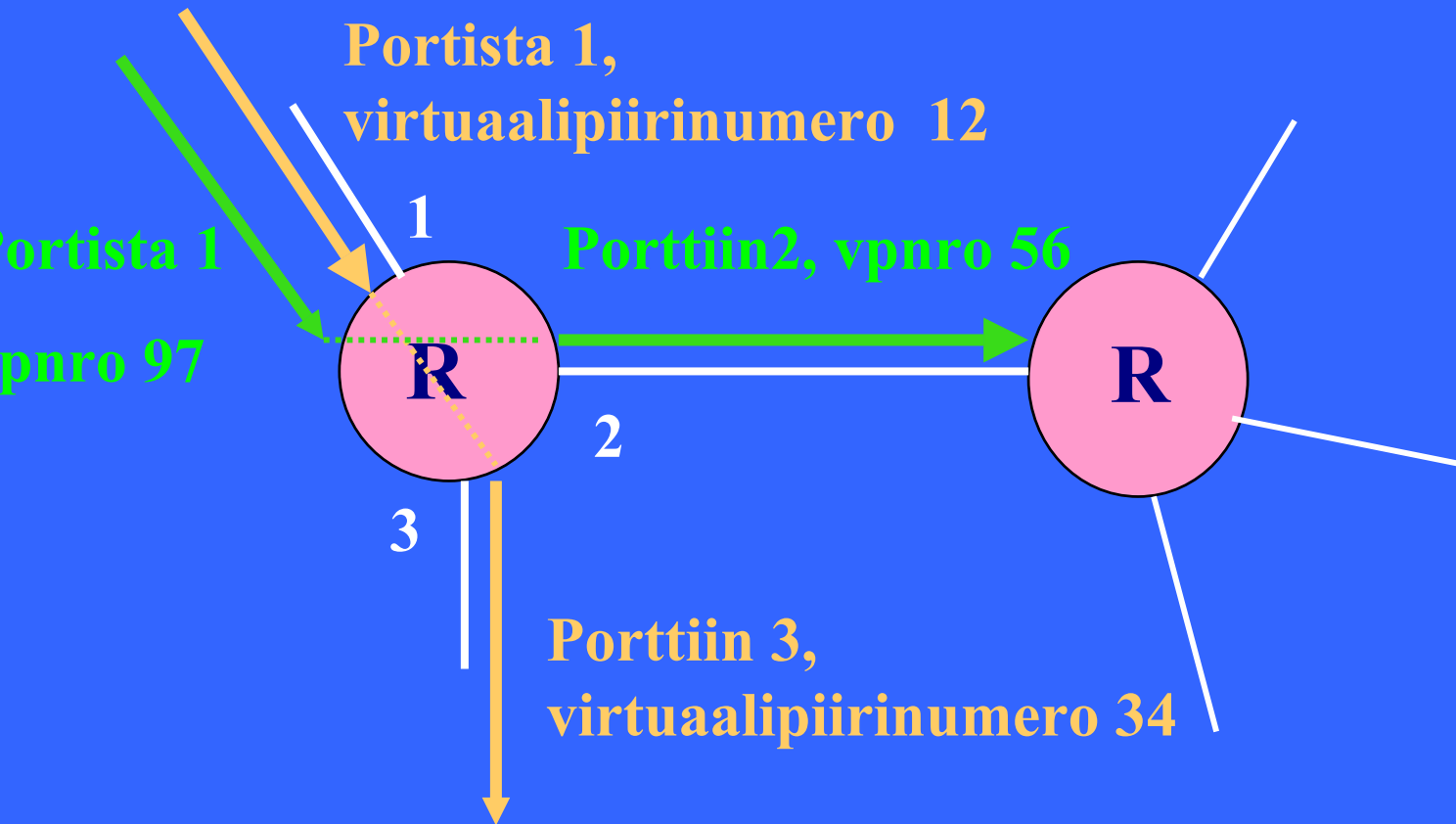
Reititin



Reititystaulukko

Osoite	ulosmenoportti
verkko a	2
verkko b	3
.....	
oma, kone1	1
oma, kone 2	4

Virtuaalipiirireititys



Virtuaalipiirin muunnostaulukko

Sisääntulo tuleva VC	lähtevä VC	ulosmeno	
1	12	34	3
1	97	56	2
2	42	101	3
2	10	78	1
3	12	65	2

Taulukkoa päivitettävä aina kun uusi yhteys on muodostettu tai vanha purettu!

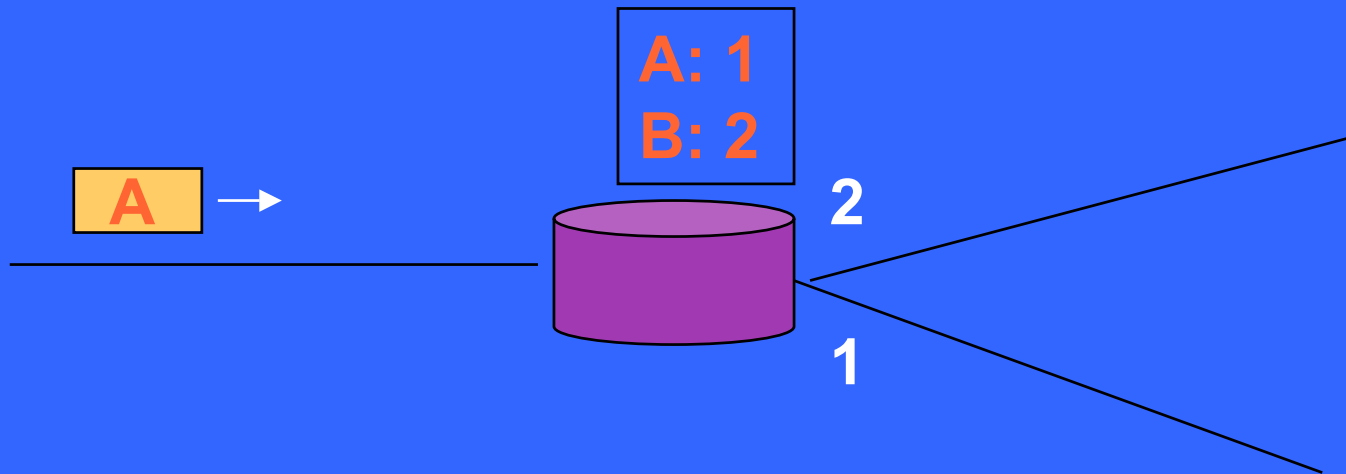
- ylläpidettävä tilatietoa yhteyksistä

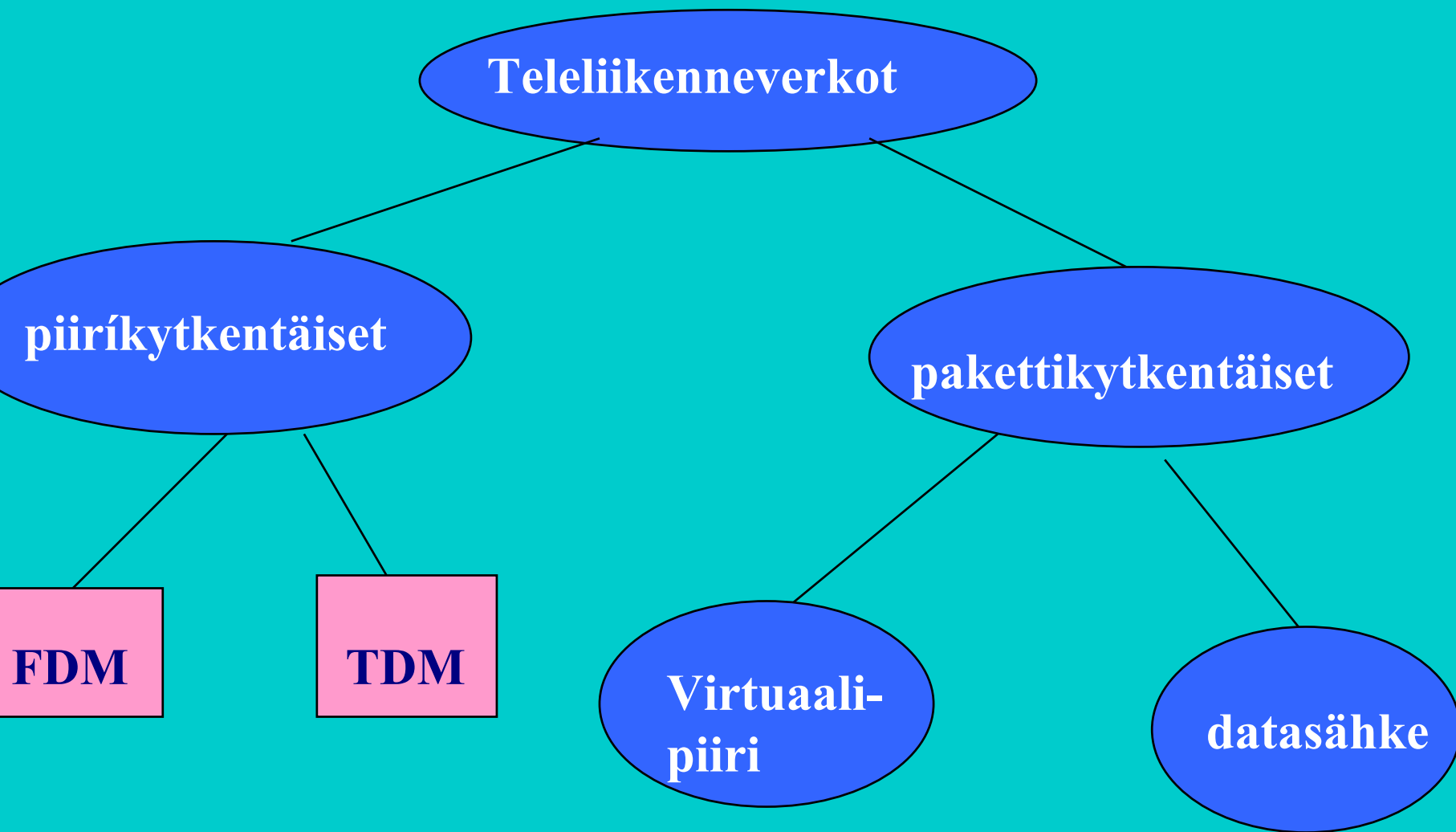
Virtuaalipiirin muunnostaulukko

- Miksi ei käytetä koko yhteydellä samaa VP-numeroa
 - ❖ riittää pienempi numeroavaruus (eri numeroiden määrä) => tarvitaan pienempi kenttä näitä numeroita varten
 - 0-255 => riittää 8 bittiä
 - 0-4095 => tarvitaan 12 bittiä
 - ❖ yhteisestä koko verkon läpikäyvästä numerosta sopiminen on isossa verkossa lähes mahdoton tehtävä

Reititys datasähkeverkossa

- Internetissä reititys hoidetaan erikseen jokaiselle paketille
 - Jokaisessa paketissa kohdeosoite
 - jokainen reititin tietää, mihin suuntaan kyseiseen verkkoon meneva paketti tulee ohjata





Eri verkko-tekniikoita

1.3. Siirtomedia

- Siirtomedian tehtävä
 - siirtää bittivirtaa koneelta toiselle
- käytettävissä erilaisia siirtovälineitä
 - johdollinen
 - kuparijohto, optinen kuitu, kaapeli
 - johdoton
 - radio, satelliitti, matkapuhelin,
 - magneettinauha, cd-levy, dvd

Magneettinen ja optinen media

- ‘talleta, kanna ja lataa’
- suuri siirtonopeus
 - hyvin suuria tietomääriä siirtyy kohtalaisella nopeudella
 - rekallinen cd-levyjä
- pitkä viive
 - ensimmäisen bitin saapuminen kestää pitkään
- edullinen



Kierretty pari (twisted pair)

- kaksi eristettyä kuparijohtoa kierretty yhteen (vähentää häiriöitä)
 - yleensä useita kaapelissa
- yleisesti käytetty
 - puhelinverkko (jo yli 100 vuotta), paikallisilmukka, rakennusten sisällä
- hintaan nähden hyvä suorituskyky
 - useita kilometrejä ilman vahvistinta
 - useita Mbps parin kilometrin matkalla
 - analoginen tai digitaalinen siirto

- Suojattu /suojaamaton
 - UTP yleisesti käytetty LAN:eissa (Unshielded twisted pair)
- eri luokkia (category)
 - luokka 3: puhelinyhteydet, LAN => 16 Mbps
 - kotiyhteydet verkkoon: ISDN (128 Kbps), ADSL (6 Mbps)
 - luokka 5: uusiin toimistoihin => 100 Mbps
 - enemmän kierteitä ja teflon-eriste

Koaksiaalikaapeli

- paremmin suojattu häiriöiltä
 - suuret nopeudet
 - 1-2 Gbps, 1-2 km -kaapelilla
 - pitkät etäisyydet
 - tarvitaan vahvistimia ja nopeus laskee
 - kaistanleveys
 - 300 (450) MHz
 - käyttö
 - TV-kaapelit, lähiverkot

Koaksiaalikaapelin käyttötavat

- **kantataajuusmoodi** (Baseband)
 - 50-ohmin kaapeli, käytössä lähiverkoissa
 - kaapelissa vain yksi bittivirta (signaali)
 - nopea tiedonsiirto ~10 Mbps,
 - digitaalinen signalointi
- **laajakaistamoodi** (Broadband)
 - 75-ohmin kaapeli, käytössä kaapeliTV:ssä
 - kaista jaetaan kanaviin, 6 MHz
 - useita signaaleja samaan aikaan
 - analoginen signallointi

Kantataajuuskaapeli

- digitaalitekniikka
 - volttipulsseja
- yksinkertainen, halpa
- halvat liittymät
- sekä kaksipiste yhteyksissä että monipiste yhteyksissä

Laajakaistakaapeli

- analoginen siirtotekniikka
 - jopa 500 km kaapeleita
 - pitkillä etäisyyksillä vahvistimia
 - ei sovi niin hyvin digitaaliseen tiedonsiirtoon
- TV-kaapelit
 - lähes joka kotiin jo valmiina
- käyttö
 - rinnan TV-kuvaa, CD-tason ääntä ja digitaalista bittivirtaa

Valokuitu

- erittäin puhdasta kvartssia
 - 1 km kuitua vaimentaa valoa vähemmän kuin 3 mm ikkunalasi
- lasersäteitä
- ei sähkömagneettisia häiriöitä
- jopa 100 Gbps 30 km kaapelilla
- suuri kaistanleveys
 - useita GHz

Valokaapelin rakenne

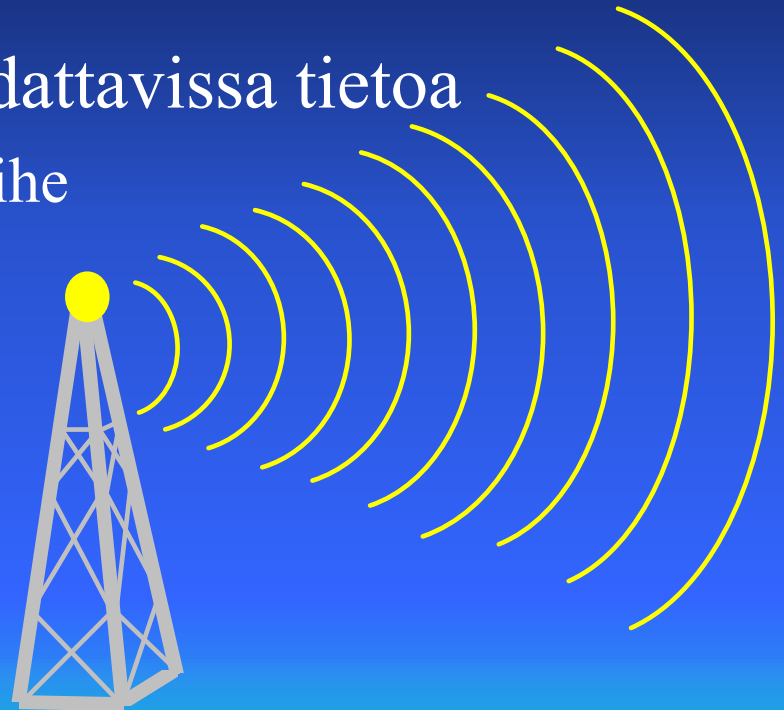
- lähetin
 - muuttaa sähköpulssit valoksi
 - LED, laserdiodi
- vastaanotto fotofiodi
 - muuttaa valopulssit sähköpulsseiksi
 - vasteaika $\sim 1 \text{ ns} \Rightarrow \sim 1 \text{ Gbps}$
 - kohina haittaa \Rightarrow riittävän voimakas säde
- valokuitu
 - ensiösuoja suojaa mekaanisilta vaurioilta
 - toisiosuoja yhdistää useita kuituja

Valokuitutyypit

- **monimuoto** (multimode)
 - valo hajaantuu (dispersion)
 - halpa, ei kovin nopea
 - paikallisverkoissa
- **yksimuotokuitu** (monomode)
 - kuidun paksuus vain muutama valon aallonpituus (8-10 mikronia, hius ~50 mikronia) => valo etenee kuidussa suoraan
 - kallein, nopein (~30 Gbps)
 - pitkän matkan puhelinlinjoissa (~30 km, jopa 100 km mahdollista)

Langaton tiedonsiirto

- sähkömagneettinen aaltoliike
 - käytössä laaja spektri
 - aaltoliikkeeseen koodattavissa tietoa
 - amplitudi, taajuus vaihe
 - rajoituksia
 - generoitavuus
 - moduloitavuus
 - kuuluvuus/näkyvyys
 - tunkeutuvuus



Radioaallot

- helppo generoida
- etenevät pitkiä matkoja
- tunkeutuvat kaikkialle
- etenevät kaikkiin suuntiin
- rajallinen resurssi
 - niukkuutta
 - käyttö säänneltyä



Mikroaallot (> 100 MHz -> 10 GHz)

- etenee suoraan
 - sietää hyvin häiriöitä
 - antenni suunnattava
- tunkeutuvuus pienempi
 - heijastuksia (kiinteät esteet, sääilmiöt)
 - vesisade
- pulaa ilmatilasta => luvanvaraista
 - NMT: 450 MHz, GSM: 900 MHz, 1800 MHz
- verkkojen perustaminen ‘halpaa’

Infrapuna & millimetriaallot

- etenee suoraan
- tunkeutuvaisuus ‘olematon’
- heijastuksia
- halpa
- käytetään
 - kauko-ohjaimet
 - langattomat lähiverkot (wireless LAN)

Satelliitit

- Satelliitti
 - LEO (Low Earth Orbit)
 - 150-1500 km korkeudessa
 - MEO (Middle Earth Orbit)
 - 1500- km korkeudessa
 - GEO (Geosynchronous Earth Orbit)
 - geostationaarinen
 - noin 36000 km korkeudessa
- maa-asema

Häiriöt siirtotiellä

- Lähetetty signaali (aalto tai pulssi) vaimenee ja vääristyy kulkiessaan siirtomediassa
 - **vaimeneminen** (attenuation)
 - eri taajuudet heikkenevät eri tavoin; suuret taajuudet vaimenevat enemmän
 - => **signaali paitsi vaimenee, myös vääristyy**
 - **viivevääristyminen** (delay distortion)
 - signaalin eri taajuuksiset komponentit etenevät hieman eri nopeuksilla ja saapuvat vastaanottajalle eri aikaan
 - => **signaali vääristyy**

Kohina (Noise)

- Signaalia häiritsee kohina
 - aina taustalla esiintyvää sähkömagneettista aaltoliikettä
 - **terminen kohina**
 - elektronien liikkeestä johtuva,
 - **ylikuuluminen**
 - johdin sieppaa viereisen johtimen signaalin
 - **impulssikohina**
 - salamot, vanhat puhelinkeskukset

- kahdenlaisia tiedonsiirtokanavia
- digitaalinen
 - bittiputki, energiapulssi
- analoginen
 - jatkuvaa aaltomuotoista signaalia
 - digitaalinen kanava toteutetaan usein analogisen avulla

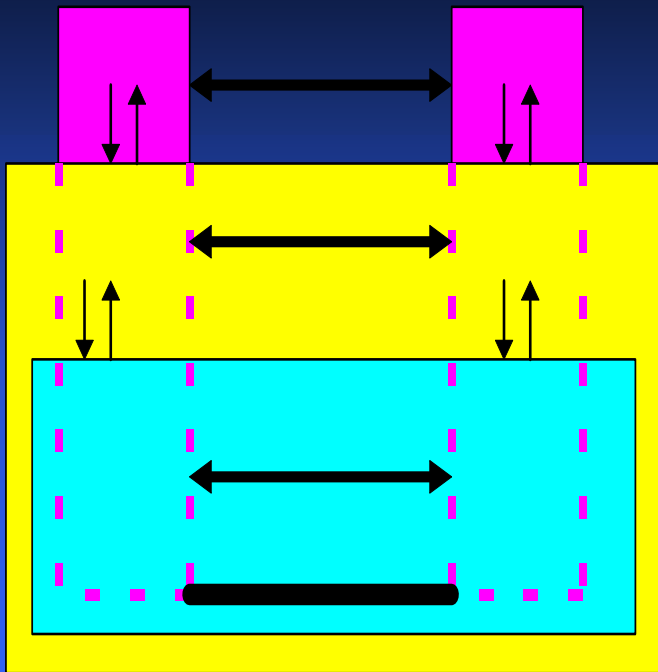
Signaalin vahvistaminen

- vahvistimet ja toistimet
 - eri komponentteja vahvistettava eri tavoin
 - puhelininsinöörien tehtäviä
- analoginen signaali
 - vääristyy joka kerralla yhä enemmän ja enemmän
- digitaalinen signaali
 - vahvistus uudistaa signaalin

1.4. Tietoliikenneohjelmistot eli protokollat

- Protokolla eli yhteyskäytäntö
 - Mitä sanomia lähetetään ja missä järjestyksessä
 - Missä tilanteessa sanoma lähetetään
 - Miten saatuihin sanomiin reagoidaan
- tietoliikenteessä on hyvin paljon erilaisia protokollia
 - Internet: TCP-, UDP- ja IP-protokolla
 - verkkosamoilu: http-protokolla

Protokollien kerrosrakenne

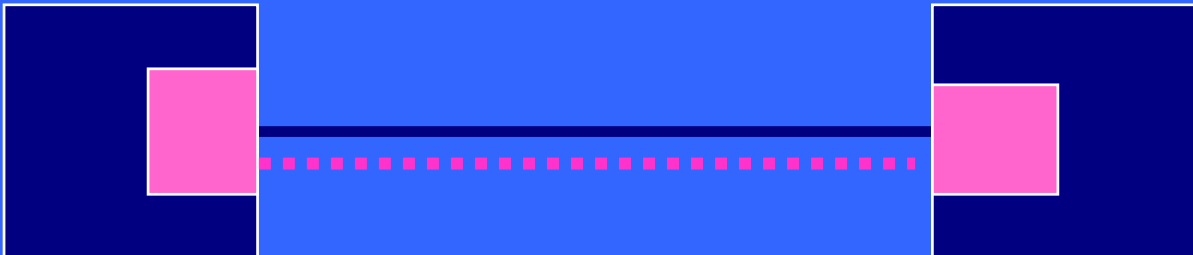


- monimutkaisuuden hallinta =>
jaetaan kerroksiin (layer)
 - kerros ~ abstrakti kone
- tietokoneverkot \Leftrightarrow verkkoprotokollat

Mitä monimutkaisuutta?

kaksipisteyhteys

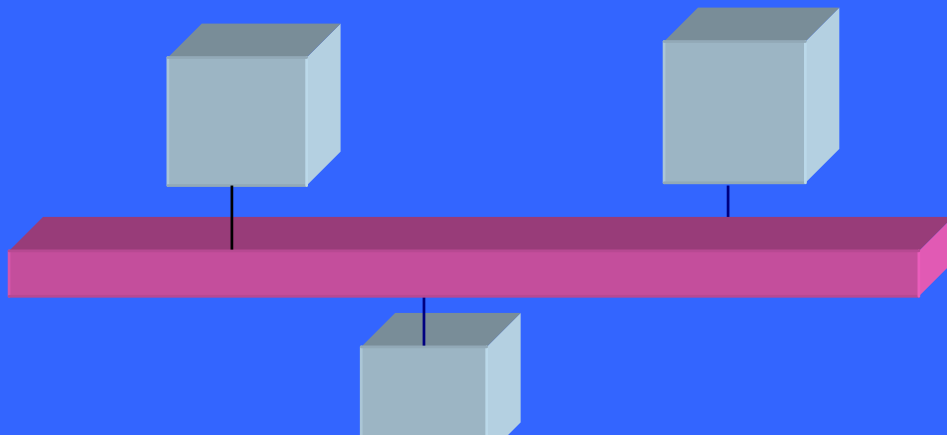
- datan koodaus sähköisiksi signaaleiksi
- siirtovirheiden havaitseminen ja korjaaminen
- lähettäjä ei saa lähettää enempää kuin vastaanottaja voi käsitellä



Mitä monimutkaisuutta?

yleislähetys

- datan koodaus sähköisiksi signaaleiksi
- **datan lähetys: lähetysvuorot**
- siirtovirheiden havaitseminen ja korjaaminen
- lähettäjä ei saa lähettää enempää kuin vastaanottaja voi käsitellä



Entä tietoliikenneverkko?

- miten pystytään sanoma/paketit kuljettamaan lähettäjältä vastaanottajalle?
 - yhden verkon sisällä
 - monen verkon kautta
- verkon ruuhkautumisongelmat?
- sanoman virheettömyys?
- liikenteen kapasiteetti ja nopeus, tehokkuus
- laitteiden määrä ja heterogeenisyys

Protokolla (yhteyskäytäntö)

- **protokolla**
 - määrää kerroksen keskustelusäännöt ja -tavan
 - protokollapino
 - verkkoarkkitehtuuri
- **palvelu (service)**
 - alemman kerroksen palvelut ylemmän käytössä
 - palvelun käyttäjä /palvelun tuottaja

Rajapinta

(interface)

- samassa koneessa, vierekkäisten kerrosten välillä
- määrittelee operaatiot, joilla ylemmän kerroksen **olio** (entity) voi käyttää alemman palveluja
- **SAP** (Service Access Point)
 - “palveluluukku”
 - yksikäsitteinen osoite
 - esim. puhelinverkossa
 - puhelinpistoke

Palvelu

- **yhteydellinen palvelu** (connection-oriented)
 - esim. puhelin
- **yhteydetön palvelu** (connectionless)
 - esim. posti
- kumpi valitaan?
 - vaadittu **palvelutaso** (QoS)
 - kustannus
- Valinta voi olla erilainen eri kerroksilla

Palvelu \Leftrightarrow protokolla

• palvelu

joukko toimintoja (primitiivejä), jotka ylemmän kerroksen käytettävissä

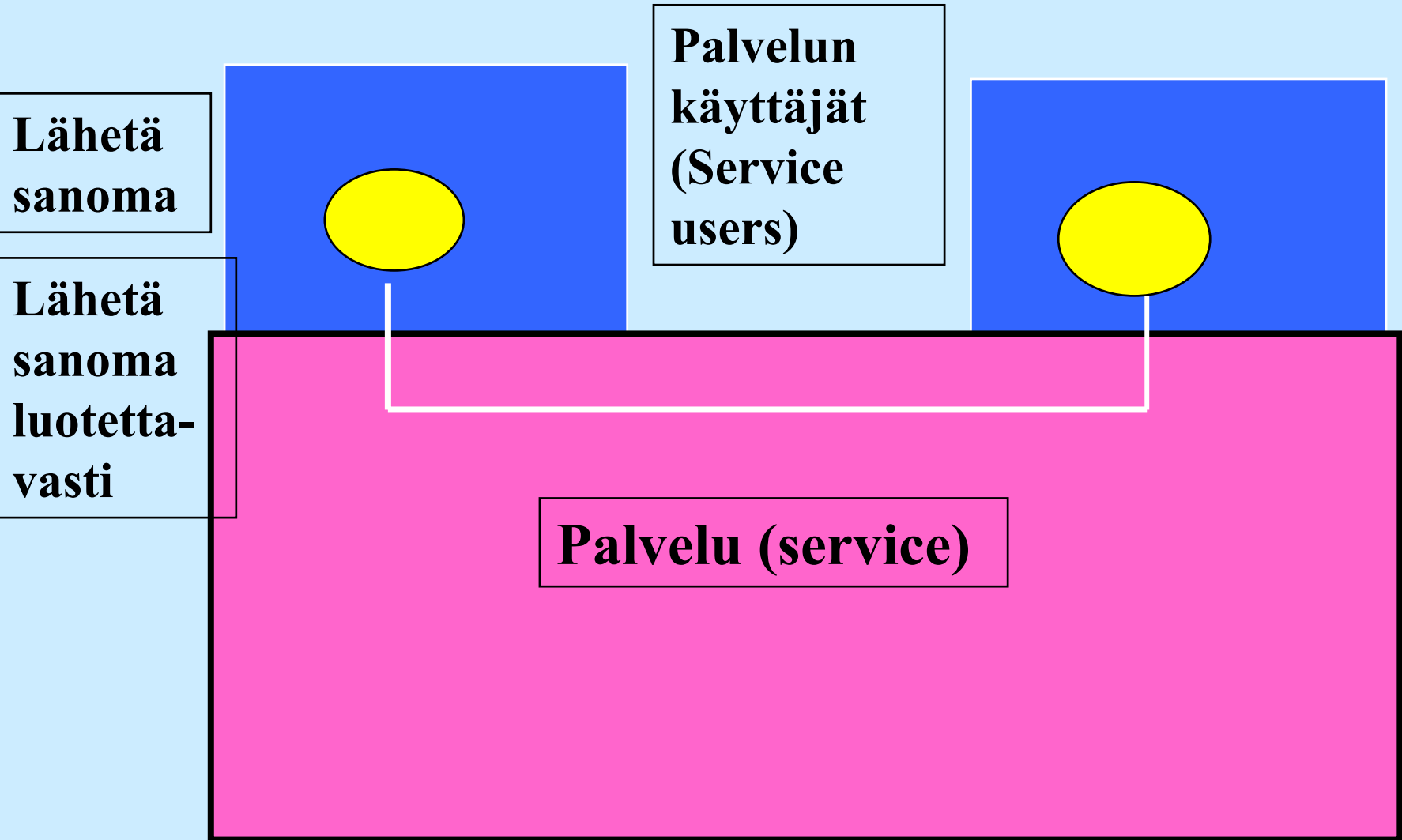
- ~ abstrakti datatyyppejä, olio

• protokolla

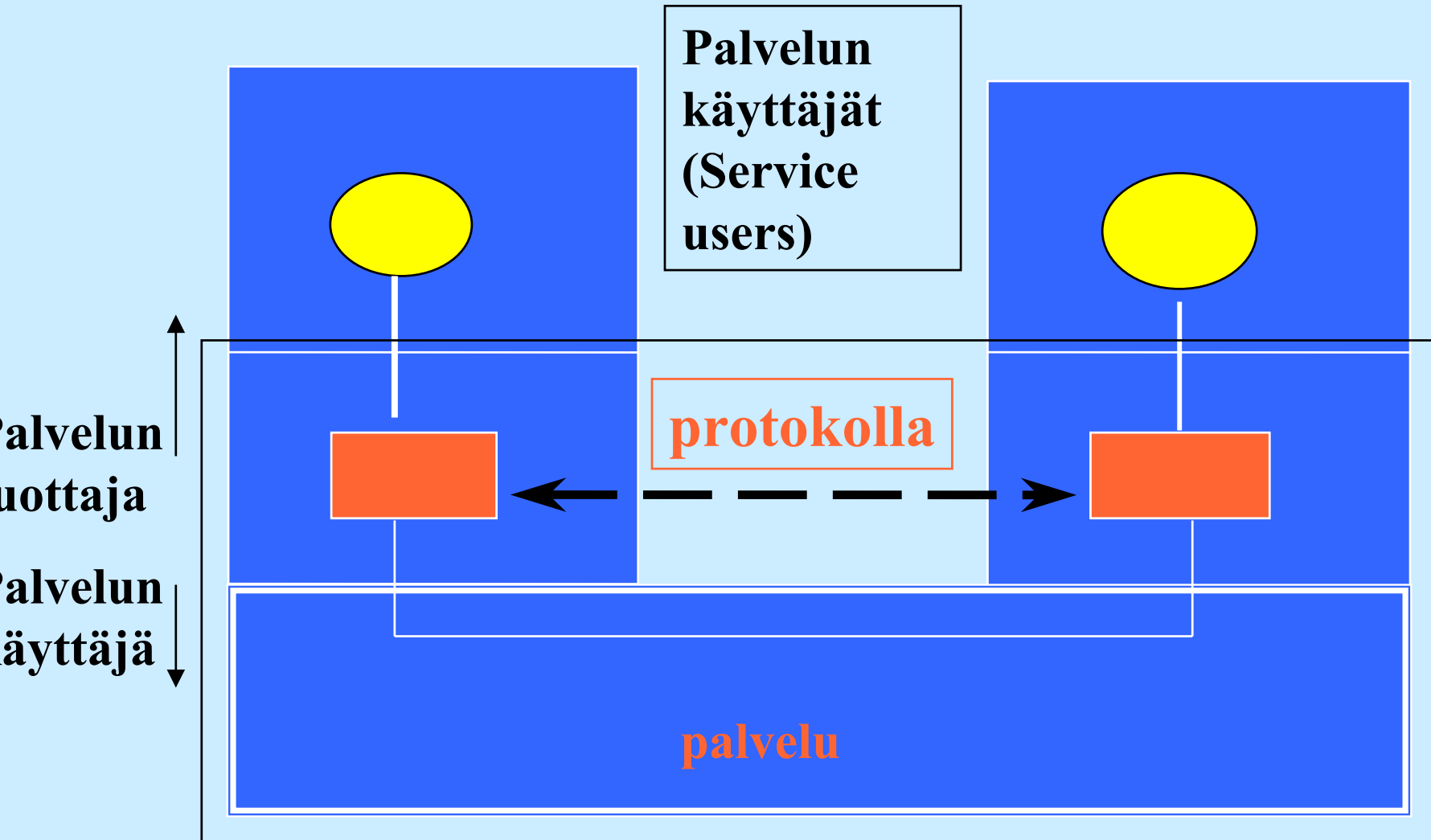
joukko sääntöjä, jotka määräävät, miten vaihdetaan sanomia (muoto, järjestys, ..)

- ~ palvelun toteutus, joka ei näy käyttäjälle

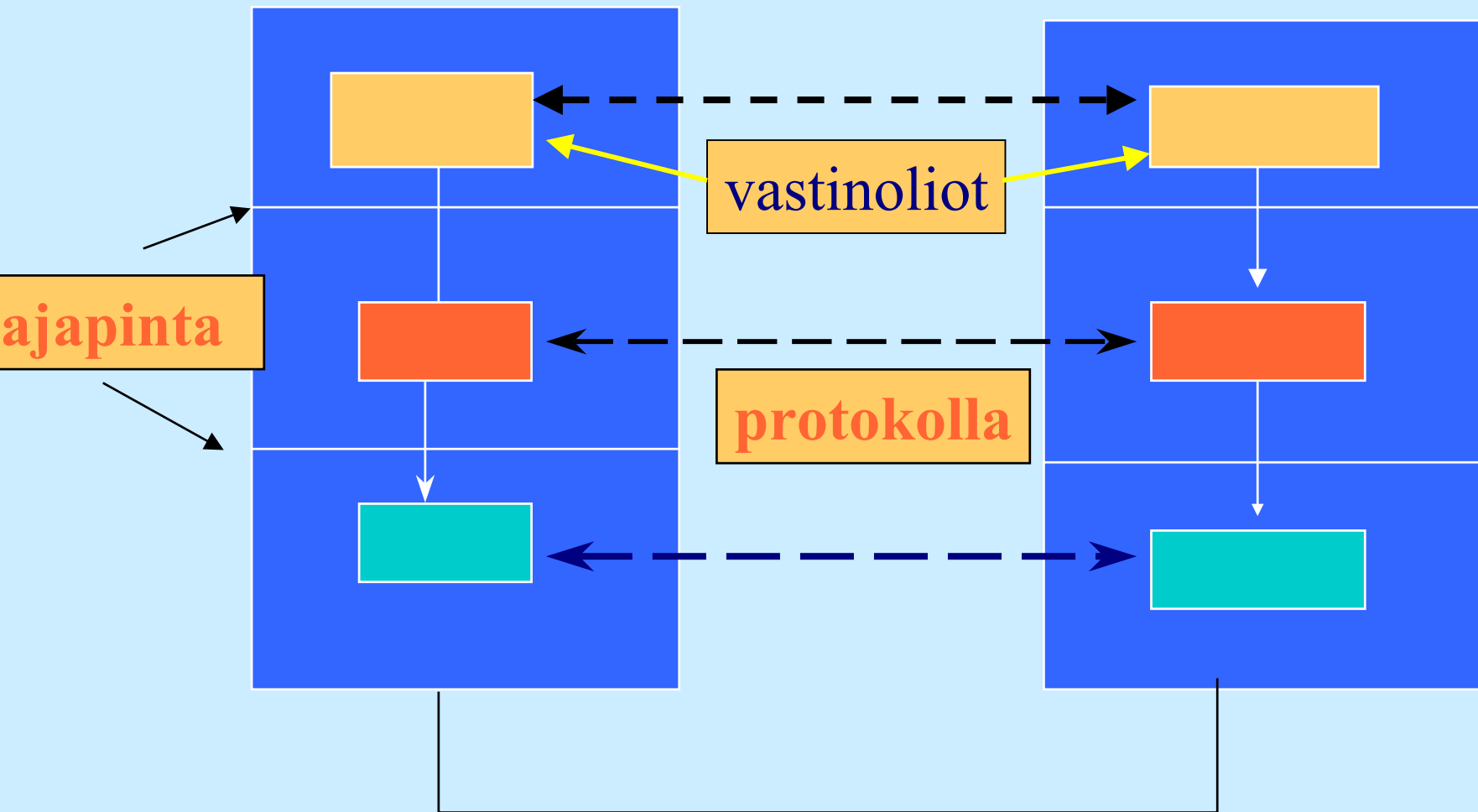
Service user /service



Service /service user/ service provider



Interface / peer entity / protocol



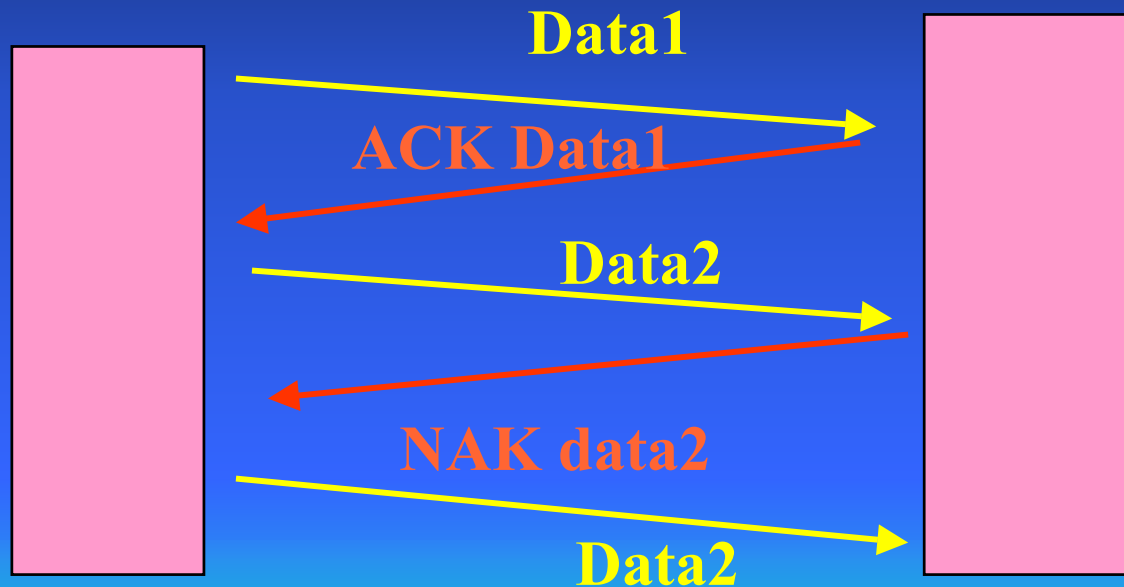
Yleisiä protokollakerroksen tehtäviä

Kukin kerros voi suorittaa yhden tai useamman seuraavista tehtävistä

- virhevalvonta
- vuonvalvonta
- sanoman paloittelu ja kokoaminen
- ruuhkanvalvonta
- kanavointi (multiplexing)
- yhteydenmuodostus

Virhevalvonta (error control)

- kaikki sanomat virheettöminä ja oikeassa järjestyksessä
 - luotettava tiedonsiirto (reliable data transfer)
 - esim. kuitataan saadut sanomat ja tarvittaessa lähetetään uudelleen



Pohdittavaa!

- Mistä vastaanottaja voi tietää onko sanoma virheellinen vai ei?
- Entä, jos sanoma tai sen kuittaus katoaa kokonaan eikä lähettäjä saa mitään vastausta lähettämäänsä sanomaan. Miten tällöin lähettäjän tulisi toimia?
- Missä tilanteissa on mahdollista, että vastaanottaja saa useaan kertaan saman sanoma (kaksoiskappale eli duplikaatti)?

Vuonvalvonta (flow control)

- Lähettäjä ei saa lähettää enemmän tai nopeammin paketteja kuin vastaanottaja ehtii niitä käsitellä.



Ruuhkanvalvonta (congestion control)

- Ruuhkatilanteessa verkkoon tulee liian paljon sanomia lähettäjiltä.
- Reitittimet eivät ehdi käsitellä sanomia riittävän nopeasti. Niiden puskurit puskurit täyttyvät, jolloin sanomia häviää.
- Lähettäjät täytyy saada hiljentämään lähettämistään.
 - Internetissä TCP huomaa ruuhkan siitä, ettei se saa kuittauksia sanomiinsa