4. Verkkokerros

- sovelluskerros
  - ‘asiakas’
- kuljetuskerros
  - ‘end-to-end’
- **verkkokerros**
  - **‘deliver packets given to it by its customers’**
- siirtoyhteyskerros
- peruskerros

4.1 Verkkokerros toimittaa

kuljetuskerroksen paketit lähettäjän koneelta vastaanottajan koneelle

- Pakettien reititys = mitä reittiä kuljetetaan
  - **Reititysalgoritmin** avulla selvitetään reitit
  - **Reitittimiä/kytkimiä**, jotka nopeasti ohjaavat paketin sisääntuloportista oikeaan ulosmenoporttiin
    - **Tarvitaan tieto siitä, minne porttiin paketti ohjataan**
- Piirikytkentäisissä ja virtuaalipiiriverkoissa yhteydenmuodostus (call setup);
  - ei Internetissä

- Yksikäsitteiset osoitteet verkon koneille
  - Verkkojen verkossa globaaliosoite
- Kuljetus hyvin heterogeenisten verkkojen läpi?
    - eri teknologiat, eri protokollat, eri omistajat
  - Internetissä yhteinen verkkoprotokolla, jota kaikkien on käytettävä

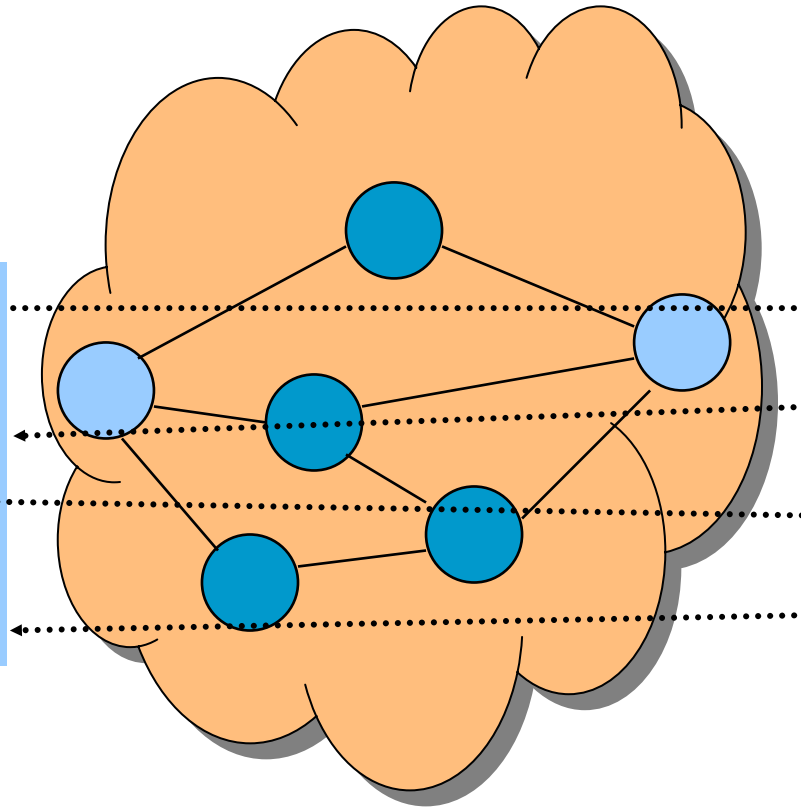
connection-oriented ⇔ connectionless

- **yhteydetön (Internet, 30 vuoden kokemus)**
  - aliverkot ovat luonnostaan epäluotettavia
    - tehtävä: bittien kuljetus
    - operaatiot: send packet, receive packet
    - virheen tarkistus, vuonvalvonta isäntäkoneille
- **yhteydellinen (puhelin 100 vuoden kokemus)**
  - muodostetaan yhteys, neuvotellaan parametrit (palvelunlaatu (QOS), kustannus)
  - kaksisuuntainen kuljetus, paketit järjestyksessa
  - vuonvalvonta, virhevalvonta

Datasähke ⇔ virtuaalipiiri

- Pakettikytkentäinen verkko voidaan toteuttaa kahdella tavalla
  - datasähkeverkkona
    - jokainen paketti käsitellään ja reititetään erikseen
    - pakettien järjestys voi muuttua
  - virtuaalipiiriverkkona ~ piirikytkentä
    - signallointiprotokolla
      - **ensin yhteyden (virtuaalipiirin) muodostus**
      - **sitten pakettien lähettäminen yhteyttä pitkin**
      - **lopuksi yhteyden purku**
    - atm, X.25

Virtuaalipiiri = yhteydellinen palvelu



1. Initiate call
4. Call connected
5. Send data
8. Call closed

2. Incoming call
3. Accept call
6. Receive data
7. Close call

4.2. Reititys

- (hajautettu) päätöksenteko reitistä
  - yhteydellinen: alussa
  - yhteydetön: jatkuvasti
- jatkuvaa muutosta verkossa
  - rikkoutuvat komponentit, muuttuva topologia, kuormitus vaihtelee
- ristiriitaisia vaatimuksia reititykselle
  - optimaalisuus /reiluus (fairness)
- reitityksen suorituskyky
  - mean packet delay, network throughput

Reititysalgoritmi

- Päättää, mikä reitti valitaan
  - Pyrkii löytämään mahdollisimman hyvän reitin (‘pienin kustannus’) lähdekoneelta kohdekoneelle eli tarkemmin **lähdereitittimeltä kohdereitittimelle**
- Globaali vai hajautettu reititysalgoritmi
  - Laskennassa käytössä täydellinen tieto koko verkosta
  - Millään solmulla ei ole tietoa koko verkon tilasta
- Dynaaminen vai staattinen reititysalgoritmi
  - Dynaaminen huomaa verkon muutokset ja muuttaa reititystä
  - Staattinen reititys muuttuu hyvin harvoin
- Kuormituksen huomioon ottava vai ei
  - **Nykyalgoritmit eivät ota kuormitusta huomioon**

Tulvitus (flooding), (Kurose-Ross: broadcast)

- saapunut paketti lähetetään kaikkiin muihin ulosmenoihin paitsi siihen mistä tuli
  - => verkko täyttyy pian paketeista
- eri tapoja tulvituksen lopettamiseen
  - käsitellään harjoituksissa
- käyttö
  - tietyissä erityistilanteissa tilanteissa hyödyllinen
    - käsitellään harjoituksissa

Internetin reititysalgoritmit

- **linkkitilareititys** (link state routing)
  - Dijkstran algoritmi
  - edellyttää täydellistä tietoa koko verkosta
- **etäisyysvektorireititys** (vector state routing)
  - Iteratiivinen, asynkroninen ja hajautettu

Dijkstran algoritmi

- ‘lyhyin’ reitti yhdestä solmusta muihin
  - A -> {muut solmut}
- kaariin liittyy kustannus
  - kapasiteetti (bps)
  - viive: hyppyjä, aikaa
  - raha
  - virhetodennäköisyys

Merkintöjä ja alustuksia

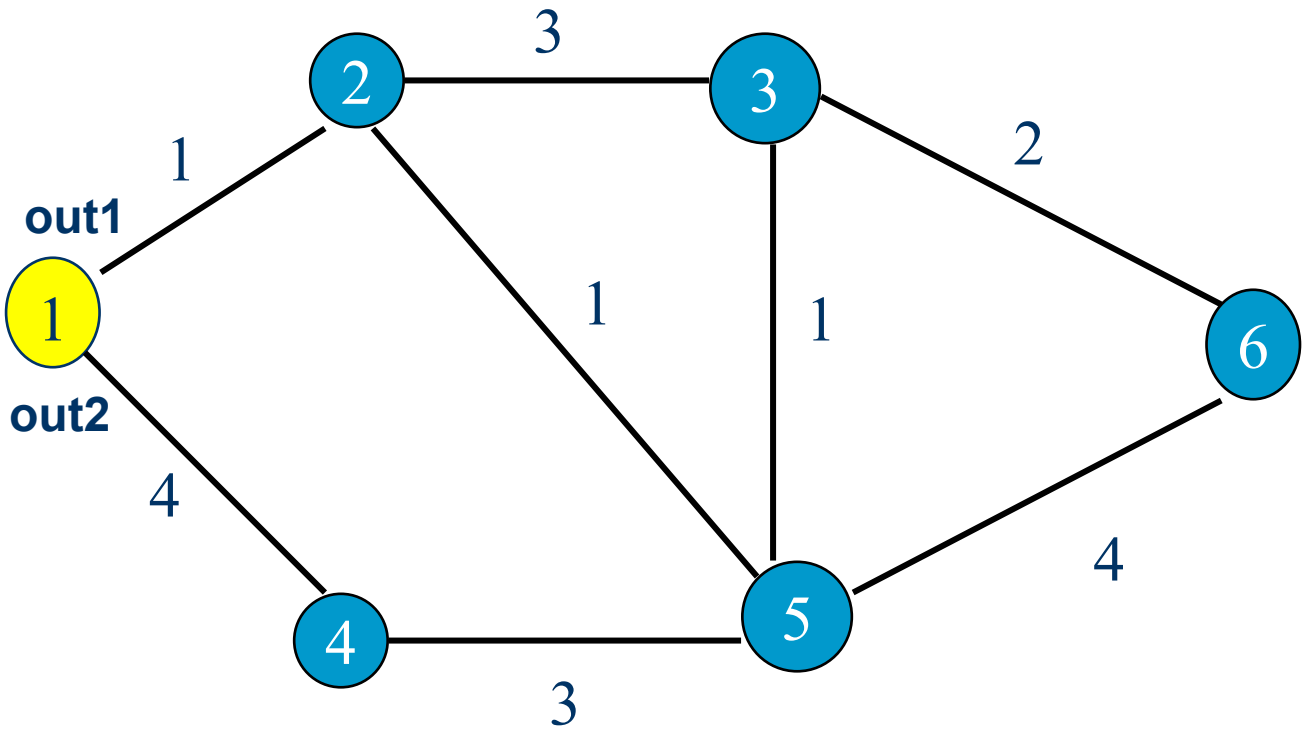
- D(v) = tähän asti tutkituista reiteistä lähtösolmusta A solmuun v halvin kustannus **eli lyhyin pituus**
- c(ij) = kaaren (i,j) kustannus (>= 0). Jos solmun I ja j välillä ei ole kaarta, c(ij) on ääretön
- Aluksi kaikille solmuille v D(v) = c(A,v)
  - A:han kaarella yhdistetyille = kaaren kustannus
  - Muille ääretön

Algoritmi: **kun lähtösolmu on solmu 1**

1. N:= {1}; D(1) := 0; D(j):=c(j1) (j<>1);
2. while vielä N:ään kuulumattomia solmuja d
3. etsi solmu w, joka ei vielä ole joukossa N ja jonka D(w) on pienin N:ään kuulumattomista solmuista
4. N:= N U { w }
5. kaikille muille N:ään kuulumattomille solmuille v D(v):= min{D(v), D(w)+ c(w,v)
6. end while
7. end

Esimerkki

- Tarkastellaan esimerkkinä verkkoa



1. N ={1}; D(1):= 0; D(2):=1;
   D(3):= ääretön, D(4):=4;
   D(5):= ääretön, D(6):= ääretön

3. pienin D(v) on solmulla 2 (=1)

4. N={1,2}

5. D(3):= 1+3=4, D(4)= 4, D(5):= 1+1=2,
   D(6) = ääretön

3. pienin D(v) on nyt solmulla 5 (=2)

4. N={1,2,5}

5. D(3):= 1+2=3, D(4):=4, D(6):=4+2=6

3. pienin D(v) solmulla 3 (=3)

4.N={1,2,3,5}

5.D(4):=4, D(6):=2+3=5;

3.Pienin D(v) solmulla 4 (=4)

4.N={1,2,3,4,5}

5. D(6):= 5

4. N={1,2,3,4,5,6}

Löydetyt reitit ja kustannukset

- 1-> 2 :1
- 1-> 2->5->3: 3
- 1-> 4: 4
- 1->2->5: 2
- 1->2->5->3->6: 5

Solmu	linkki	kustann.
2	1	1
3	1	3
4	2	4
5	1	2
6	1	5

Solmulle 1

Reititystaulu

- Kukin reititin pitää kirjaa reittitiedoista
  - minne paketti seuraavaksi lähetetään

Kohde	minne lähetetään
Abc	**reititin D, ulosmeno 2**
...	**……**
Xyz	**reititin T, ulosmeno 3**

- reitittimien tietojen hankinta ja ylläpito?
  - erityisen nopeasti muuttuvassa hyvin isossa verkossa!

Reititystietojen keruu

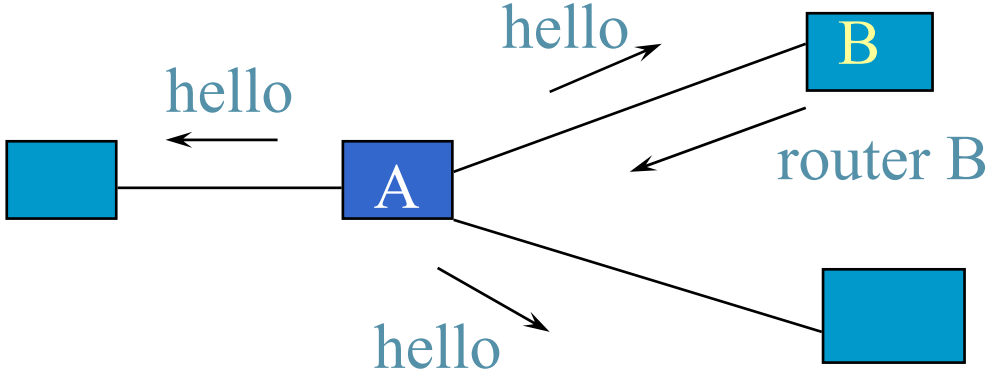
- kukin reititin kerää ‘kustannustietoja’ omasta ympäristöstään
  - esim. viiveet naapurireitittimiin
- ja vaihtaa tietoja muiden reitittimien kanssa
  - tai lähettää tiedot reitittimelle, joka keskitetysti laskee parhaat reitit
- kukin laskee esim. Dijkstran algoritmilla parhaat reitit koko verkosta
  - tai saa tarvitsemansa reititystiedot ne laskeneelta

Linkkitilareititys (Link State Routing)

- **reitittimen tehtävät**
  - selvitettävä naapurit ja niiden osoitteet
  - mitattava etäisyys / kustannus naapureihin
  - koottava tietopaketti ko. tiedoista
  - lähetttävä tietopaketti kaikille reitittimille
  - laskettava lyhin reitti kaikkiin muihin reitittimiin esim. Dijkstran algoritmilla

Naapurien löytäminen

- reititin lähettää jokaiseen kaksipisteyhteyteen HELLO-paketin
- linjan toisessa päässä oleva reititin vastaa ja lähettää nimensä
  - router ID
  - **nimien oltava yksikäsitteisiä koko verkossa**



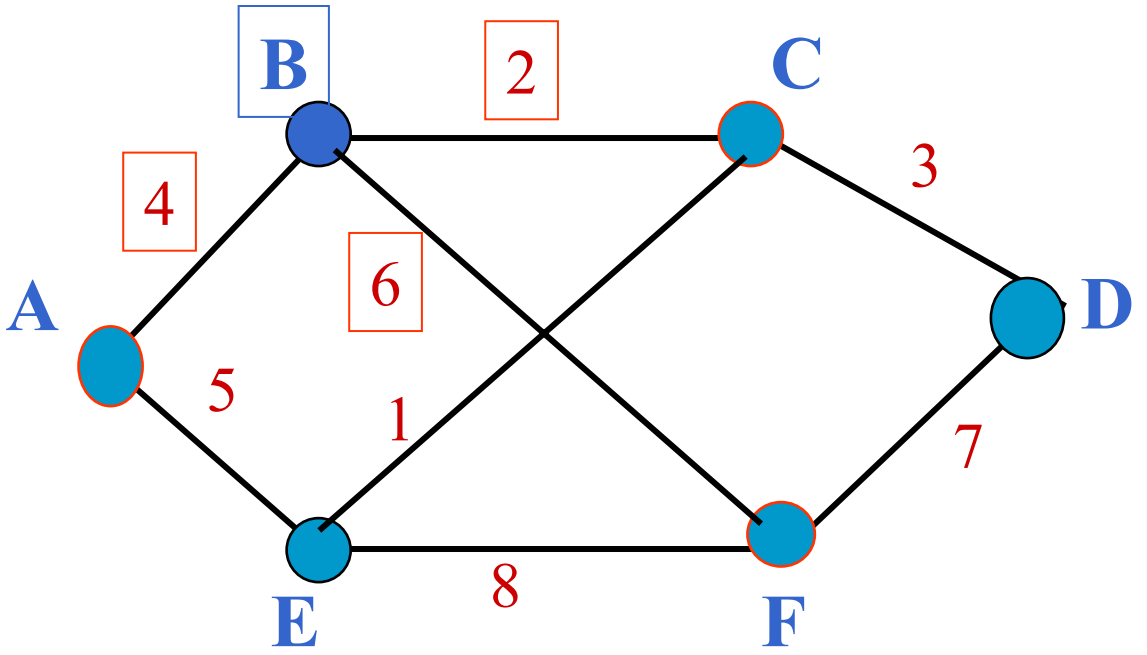
Etäisyyden mittaaminen

- kaikille naapureille ECHO-paketti
  - vastaanottajan palautettava paketti välittömästi
- => kiertoviive (round-trip-time)
  - dynaaminen etäisyysmitta

- pitäisikö ottaa kuormitus huomioon?
  - » **kello käynnistetään , kun paketti viedään jonoon**
  - » **kello käynnistetään, kun paketti lähtee**
  - kuormitus mukana kuvaa todellista tilannetta
  - jos kuormitus mukana => reititys muuttaa kuormitusta => reititys suosii huonoa reittiä

Tietopaketin kokoaminen

- muodostus
  - tietyin aikavälein
  - kun muutoksia havaittu
- sisältö
  - reitittimen tunnus
  - paketin järjestysnumero
  - paketin ikä
  - ‘etäisyydet’ kuhunkin reitittimen naapuriin
    - Erilaisia etäisyysmittoja => eri reittejä eri liikenteelle



B	
seq	
age	
A	4
C	2
F	6

B:n generoima tietopaketti

Tietopaketin jakelu

- käytetään tulvitusta **(n. 10 minuutin välein)**
  - **pidetään kirjaa jo nähdyistä paketeista**
    - **reititin A, paketti 145**

      => reititin tulvittaa paketin korkeintaan kerran
  - **paketissa elinaikalaskuri (age, time-to-live)**
    - **väärät ja vanhentuneet tiedot katoavat aikanaan, vaikka reititin itse olisikin vikaantunut**
- tietopaketit kuitataan ja tarvittaessa lähetetään uudelleen
  - linjavirheiden takia
- autentikointi paketteja vaihdettaessa

Reittitaulun laskeminen

- kukin reititin laskee omat reittitaulunsa
- kaikki tarvittava tieto on saatu tietopakettien avulla
  - kukin linkki molempiin suuntiin
- laskeminen Dijkstran algoritmilla
  - lyhyin reitti kuhunkin muuhun reitittimeen
  - isoissa verkoissa voi olla muisti- ja laskenta-aikaongelmia

ongelmia

- väärin toimiva reititin
  - kertoo vääriä tietoja
  - ei välitä tietopaketteja
  - väärentää tietopaketteja
  - laskee reitit väärin
- isossa verkossa aina joku toimii väärin
  - tavoitteena rajata ongelmat pienelle alueelle

Käyttö

- paljon käytetty nykyisissä verkoissa
  - Internetin **OSPF**-protokolla
  - ISO:n IS-IS -protokolla

Etäisyysvektorireititys (distance vector)

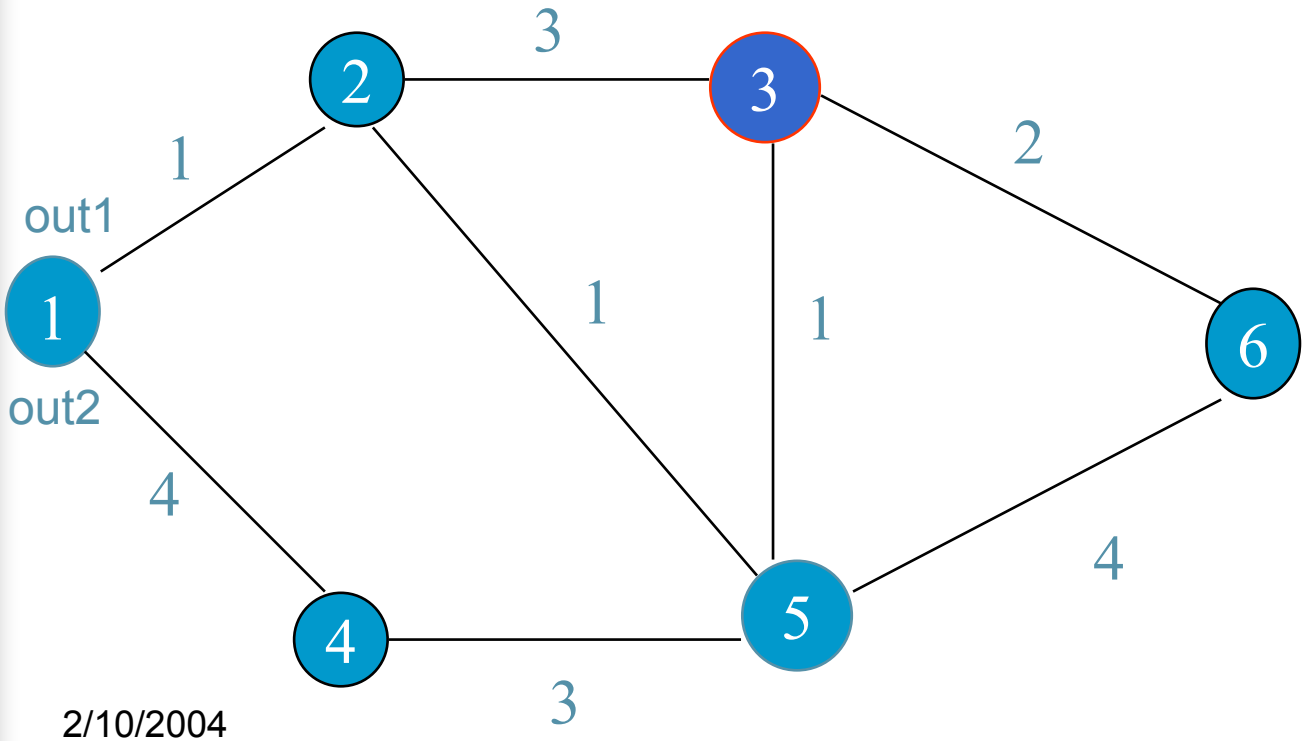
- Arpanetin alkuperäinen reititysalgoritmi
  - vieläkin käytössä Intenetissä useassa protokollassa: RIP;BGP, Novell IPX, ISO IDRP
- kullakin reitittimellä etäisyystaulu = reititystaulu
  - **kullekin verkon reitittimelle**
    - **ulosmenolinja**
    - **aika/etäisyys kohteeseen**
      - **hyppyjen lkm**
      - **arvioitu viive**
      - **jononpituus**
      - **jokin mitattavissa oleva ‘kustannus’**

reititystaulun ylläpito

- tietojen vaihto **naapurireititttimien** kanssa
  - tietyin aikavälein
  - tilan vaihtuessa
- lasketaan uudet reittitaulut (‘etäisyystaulut’)
  - ‘kustannus’ naapuriin *(tietää/arvioi itse)* + naapurin ilmoittama ‘kustannus’ kohteeseen
  - kullekin solmulle valitaan pienimmän ‘kustannuksen’ reitti

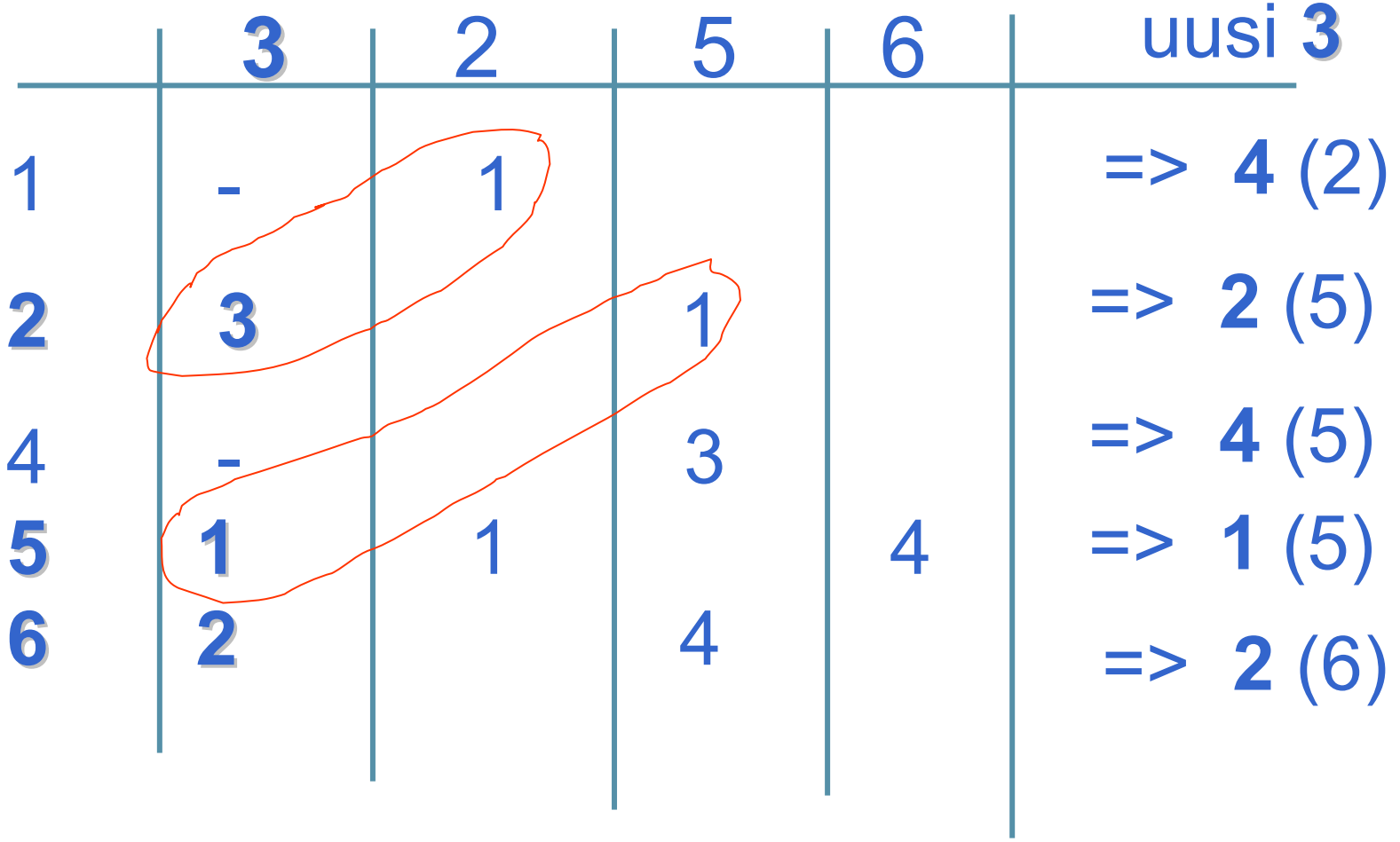
Esimerkki

- Tarkastellaan esimerkkinä verkkoa



Solmun 3 etäisyystaulun päivitys

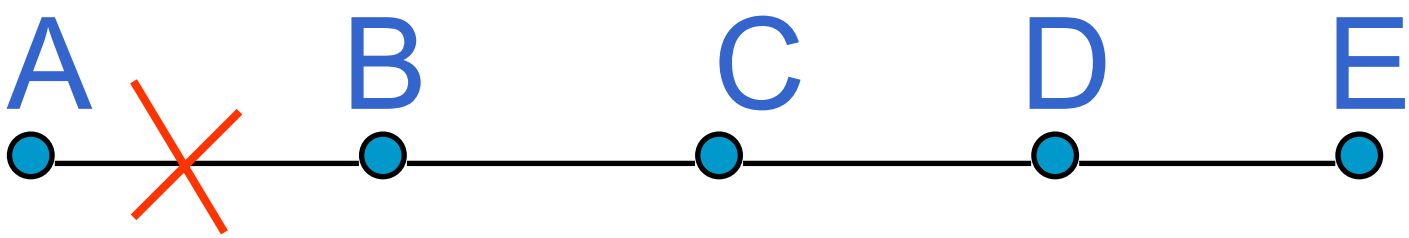
nämä tiedot naapureilta



Ongelma: tietojen muuttumisnopeus

- tietojen muuttamiseen kuluu aikaa
- reagoi melko **nopeasti hyviin uutisiin**
  - uusi nopea reitti löytynyt/linkki jälleen pystyssä
  - tieto etenee joka vaihdossa yhden hypyn
- reagoi **hitaasti huonoihin uutisiin**
  - linkki nurin => etäisyys ääretön
  - joka vaihdossa ‘paras arvio’ huononee yhdellä
  - **count - to - infinity** -ongelma

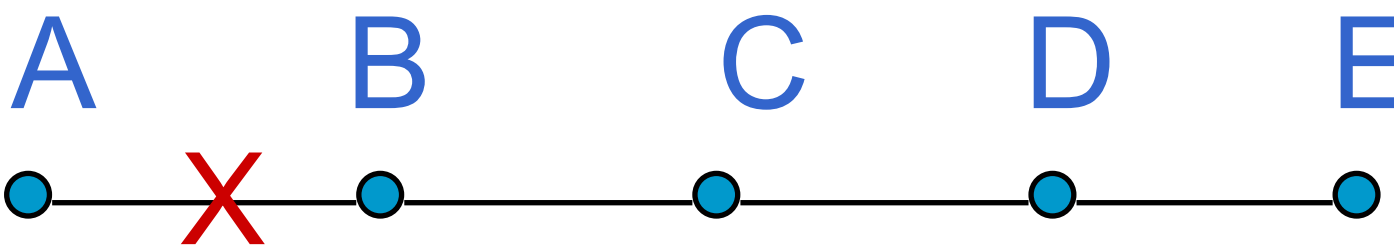
Hyvät uutiset etenevät nopeasti:



Aluksi yhteys A:han on poikki ja sitten linkki AB toimii taas:

Etäisyys A:han	B	C	D	E
	ääretön	ääretön	ääretön	ääretön
	1	ääretön	ääretön	ääretön
	1	2	ääretön	ääretön
	1	2	3	ääretön
	1	2	3	4

Huonot uutiset etenevät hitaasti:



Toimiva linkki katkeaa välillä AB:

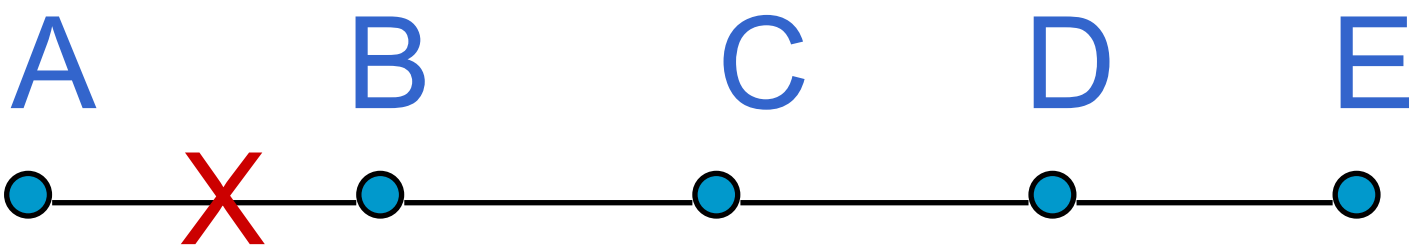
Etäisyys A:han

B	C	D	E
1	2	3	4
3	2	3	4
3	4	3	4
5	4	5	4
5	6	5	6
7	6	7	6
7	8	7	8

‘Split horizon with poisoned reverse’

- ratkaisu ‘**count -to-infinity**’-ongelmaan
  - **reititystietoja vaihdettaessa**
    - ilmoitetaan etäisyys reitittimeen X **äärettömäksi sille naapurille, jonka kautta tämä reitti kulkee**
    - muille kerrotaan oikea etäisyys
  - **tieto etenee yhden hypyn joka vaihdolla!**

Huonot uutiset etenevät hitaasti:

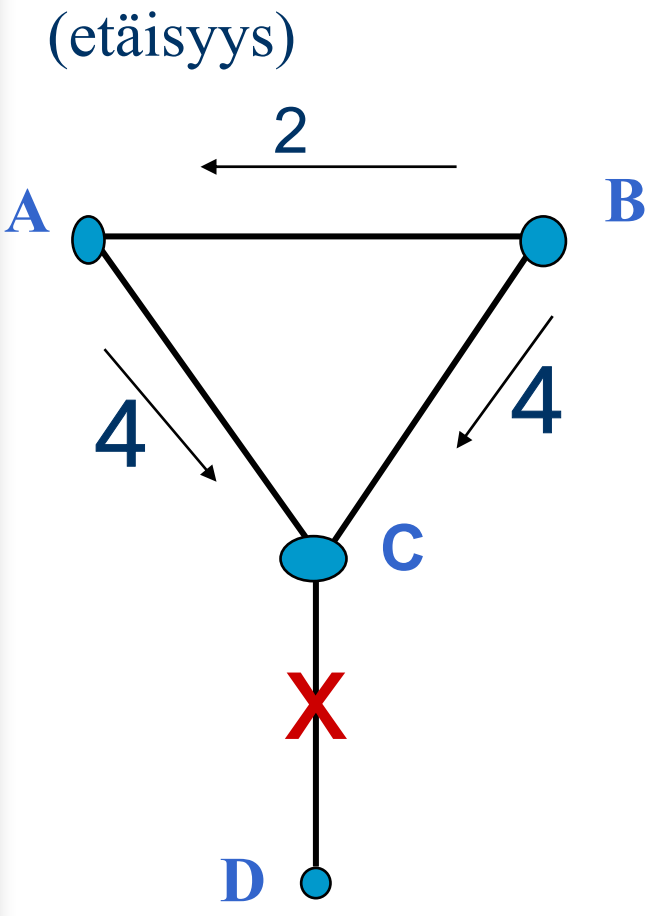


Toimiva linkki katkeaa välillä AB:

Etäisyys A:han

B	(← 4) C	(← 4) D	(← 4) E
1	2	3	4
4	4	3	4
4	4	4	4
4	4	4	4

Ratkaisu ei toimi aina!



Linkki CD katkeaa, A ja B ilmoittavat C:lle, ettei D:hen pääse (etäisyys ääretön)

C päättelee (oikein), että D:tä ei voi saavuttaa

Mutta A kuulee B:ltä, että sillä on etäisyys 2 D:hen => A:n oma etäisyys D:hen := 3 ja tämä reitti ei kulje C:n kautta! => kerrotaan C:lle.

Hierarkkinen reititys

- reitityksen skaalautuvuus
  - isossa verkossa runsaasti reitittimiä (**Internet: miljoonia)**
    - reititystaulut suuria
    - reittien laskeminen raskasta
    - tietopaketit kuluttavat linjakapasiteettia
- hallinta-autonomia => autonominen järjestestelmä AS
  - organisaatio päättää omista asioistaan
    - myös reitityksestä
      - **oma sisäinen reititystapa**

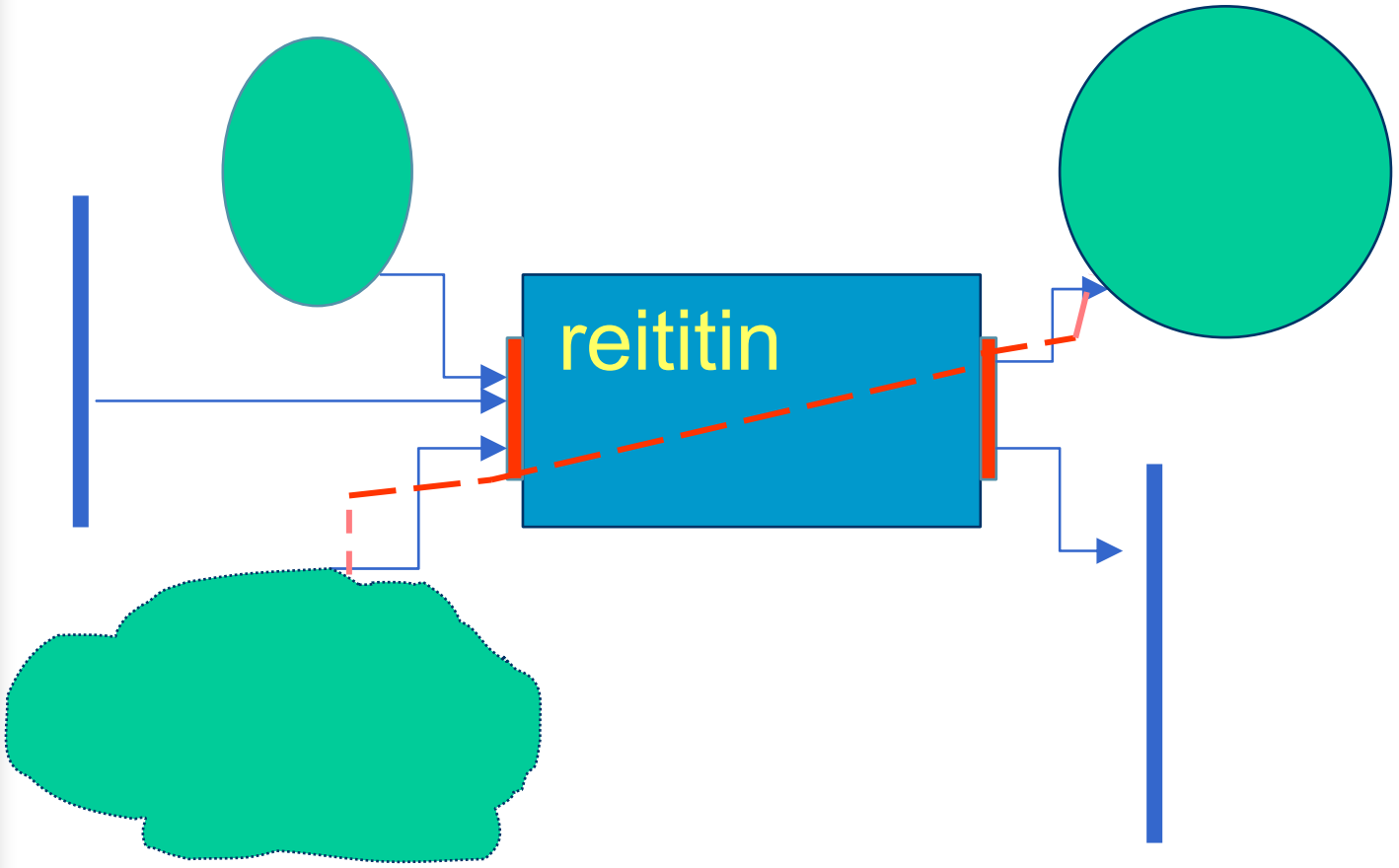
Reitityshierarkia

- Ylimmällä tasolla AS
  - sama reititys AS:n sisällä
    - tehokkuus tärkeää
  - reititys AS:ien välillä
    - ‘poliittinen asia’
- AS:n sisällä alueita
  - jaetaan reitittimet ryhmiin (alueet, regions)
  - kukin reititin tuntee kaikki alueensa sisällä
  - tietää mikä reititin hoitaa liikenteen muihin alueisiin

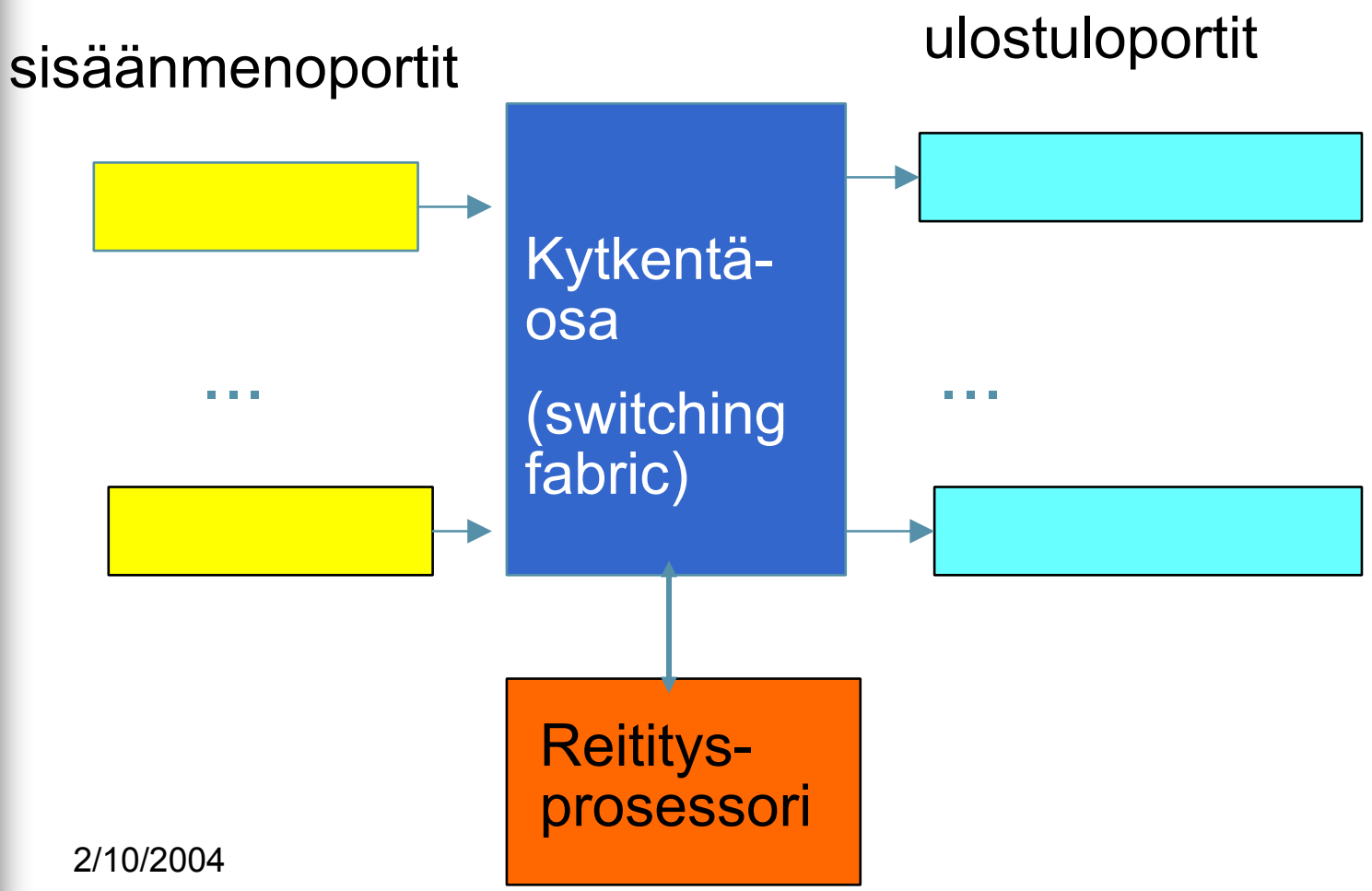
Hierarkkisen reitityksen ongelmat

- reitin pituus kasvaa
  - aina ei voida käyttää optimaalista reittiä
  - yleensä siedettävä
- hierarkiatasojen määrä
  - suorituskyky
  - hallinto

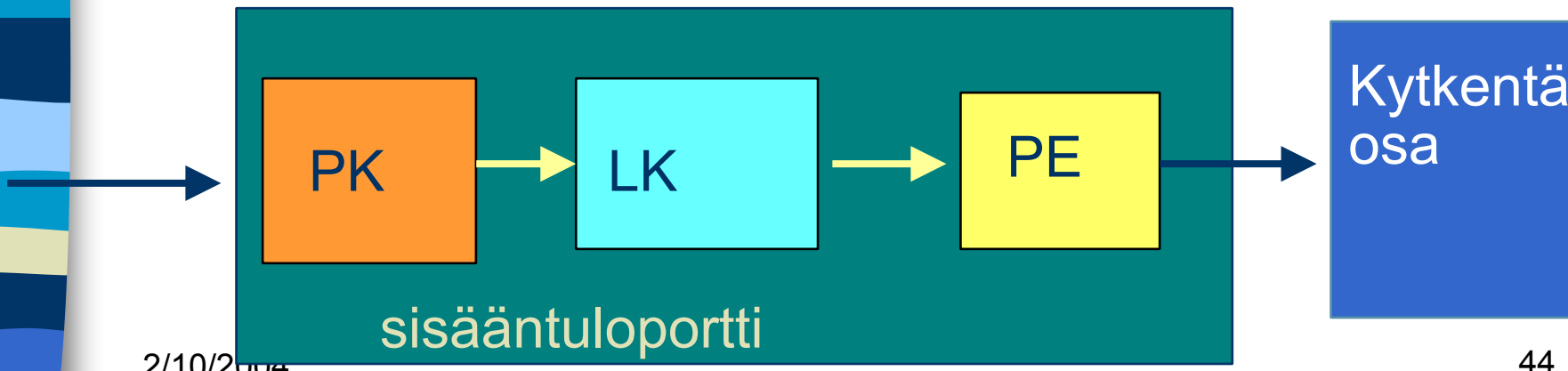
4.3. Reititin (Router)

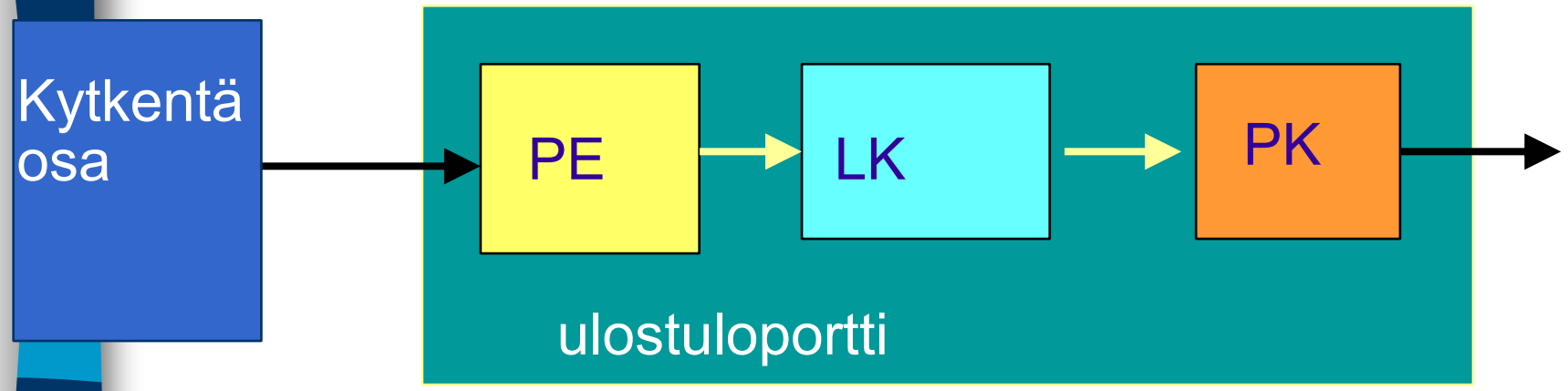


Reitittimen rakenne



- Portit
  - **peruskerroksen toiminnot (PK)**
    - fyysisen siirtoyhteyden pää
  - **linkkikerroksen toiminnot (LK)**
    - virhetarkistukset, vuonvalvonta,
  - MAC-kerroksen toiminnot
  - **pakettien edelleenohjaaminen (PE)**
    - datapaketit kytkentäverkoston kautta oikeaan ulostuloporttiin
    - valvontapakettit (RIP, OSPF) reitityksprosessorille





Vastaavasti kukin ulostuloportti tallettaa sen kautta eteenpäin lähtevät paketit ja suorittaa niille linkkikerroksen ja peruskerroksen vaatimat toimenpiteet.

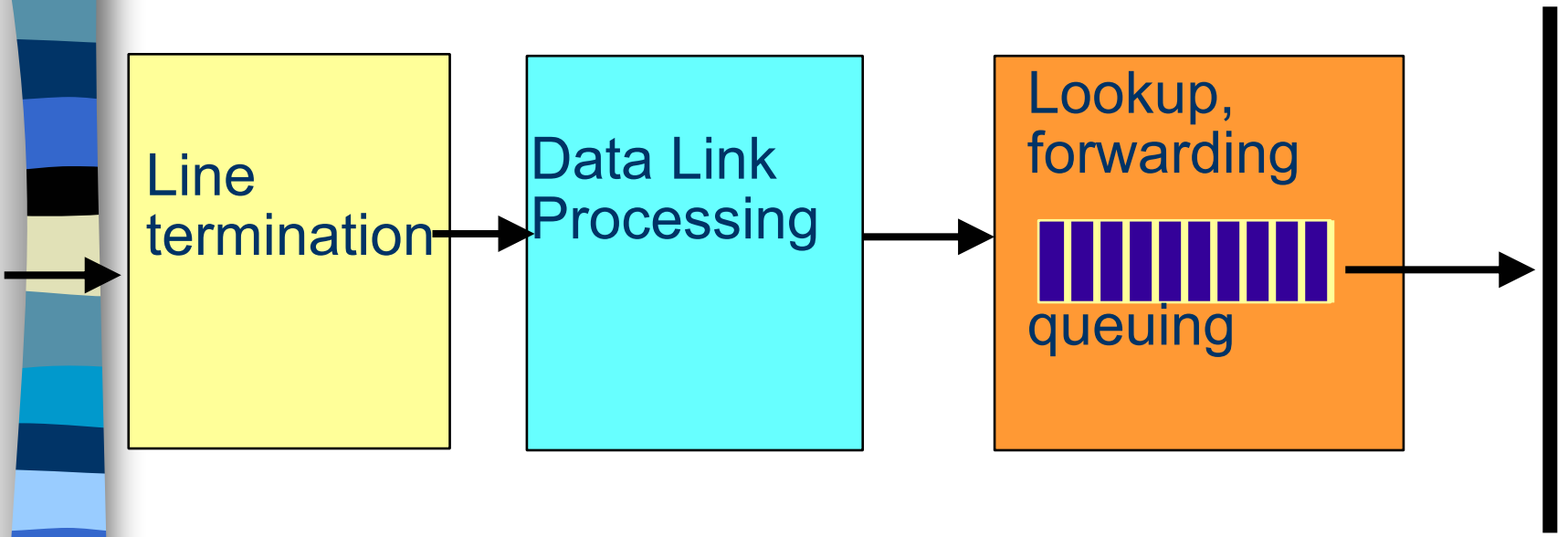
Käytännössä useita portteja on yhdistetty yhdeksi **linjakortiks**i (line card) reitittimen sisällä.

Reititysprosessori

- suorittaa reitityksprotokollaa
  - RIP, OSPF, BGP, ..
- päivittää reititystauluja
- hallinta- ja ylläpitotoimintoja

Kytkentäosa

- yhdistää paketin sisääntuloportit ulostuloportteihin
  - paketti siirtyy oikeaan verkkoon
- täysin reitittimen sisällä



Sisääntuloportin toiminta

Etsitään reititystaulusta kohdeosoitetta vastaava ulosmenoportti.

Yleensä kopio reitistystaulusta talletettu porttiin ja reititysprosessori päivittää sitä. Näin kukin portti pystyy itse etsimään oikean ulosmenoportin.

Muuten paketti ohjataan reititysprosessorille, joka etsii reititystaulusta oikean portin **(portti on pelkkä verkkokortti).**

- Runkolinjareitittimiltä vaaditaan hyvin suuria nopeuksia
  - miljoonia hakuja sekunnissa
  - pitäisi pystyä toimimaan linjan nopeudella
    - OC48-linkki => 2.5 Gbps
    - jos paketin koko 256 tavua => noin miljoona hakua sekunnissa
- erilaisia tekniikoita
    - talletetaan reittitaulun alkiot puurakenteina

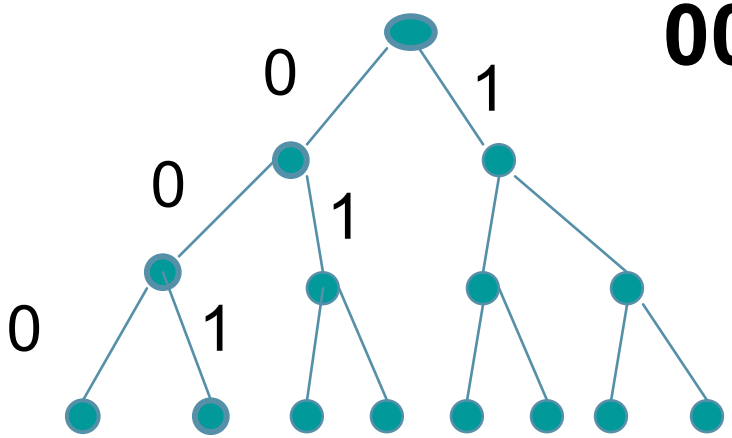
Osoitteen

1. bitti

2. bitti

3. bitti

jne



001…..

Kun n = 32 ei ole tarpeeksi nopea nykyisiin runkoreitittimiin!

- content addressable memory (CAM)
- välimuistin käyttö

Kytkentäosa

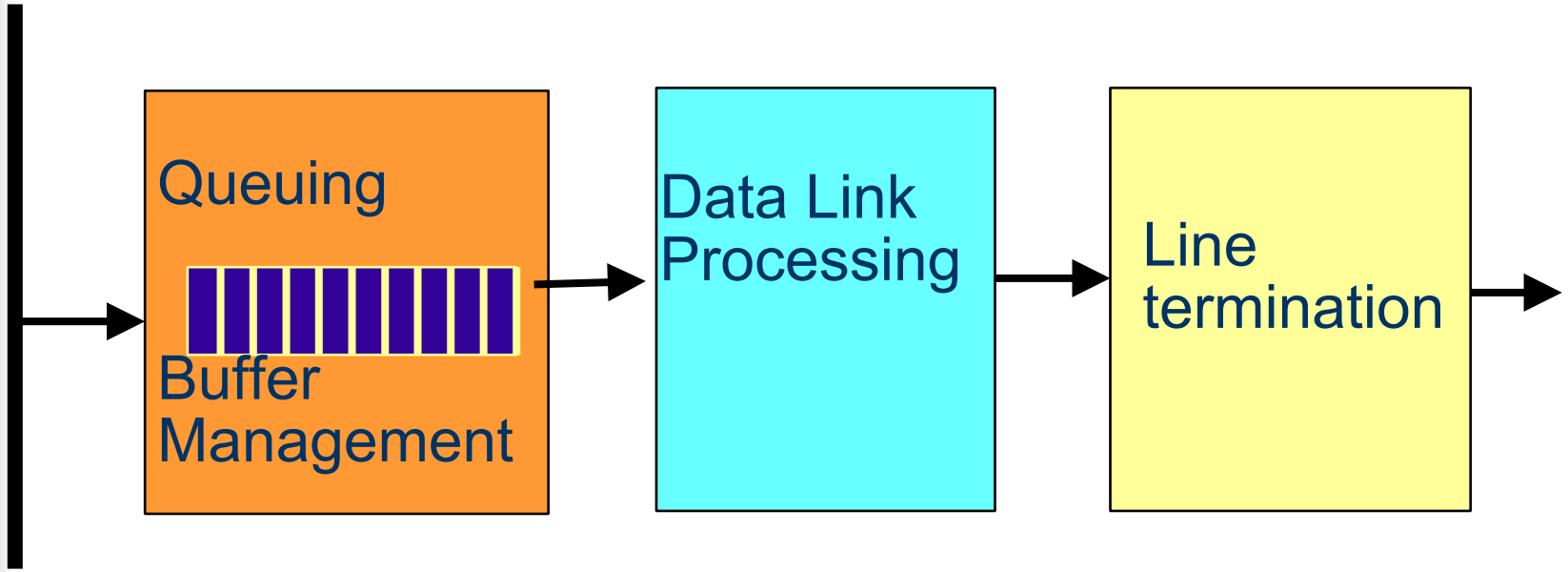
- Kytkentä muistin kautta
  - portit tavallisia käyttöjärjestelmän I/O-laitteita
  - keskeytys ilmoittaa paketin saapumisesta
  - CPU kopioi paketin sisääntuloportista muistiin
  - CPU tutkii osoitteen ja reitistystaulusta etsii vastaavan ulosmenoportin
  - CPU kopioi paketin muistista tähän ulosmenoporttiin
  - muistin saantinopeus rajoittaa toimintaa
- nykyiset reitittimet
  - käyttävät linjakortin omia prosessoreita
    - Memory shared multiprocessors

- Kytkentä väylän kautta
  - sisääntuloportit siirtävät paketin väylän kautta suoraan oikeaan ulosmenoporttiin
  - vain yksi paketti kerrallan voi kulkea väylässä
  - jos väylä on varattu, paketti joutuu odottamaan
  - väylän nopeus rajoittaa kytkentänopeutta
    - Gbps nopeudet riittävät LANeille ja yritysverkoilla

- Kytkentä kytkentäverkon kautta
  - ristikkäinkytkin (crossbar switch)
  - 2N väylää, jotka yhdistävät N sisääntuloporttia N:ään ulosmenoporttiin
  - voivat tukkeutua => odotusta sisäänmenoportissa
    - Cisco 12000: 64 Gbps

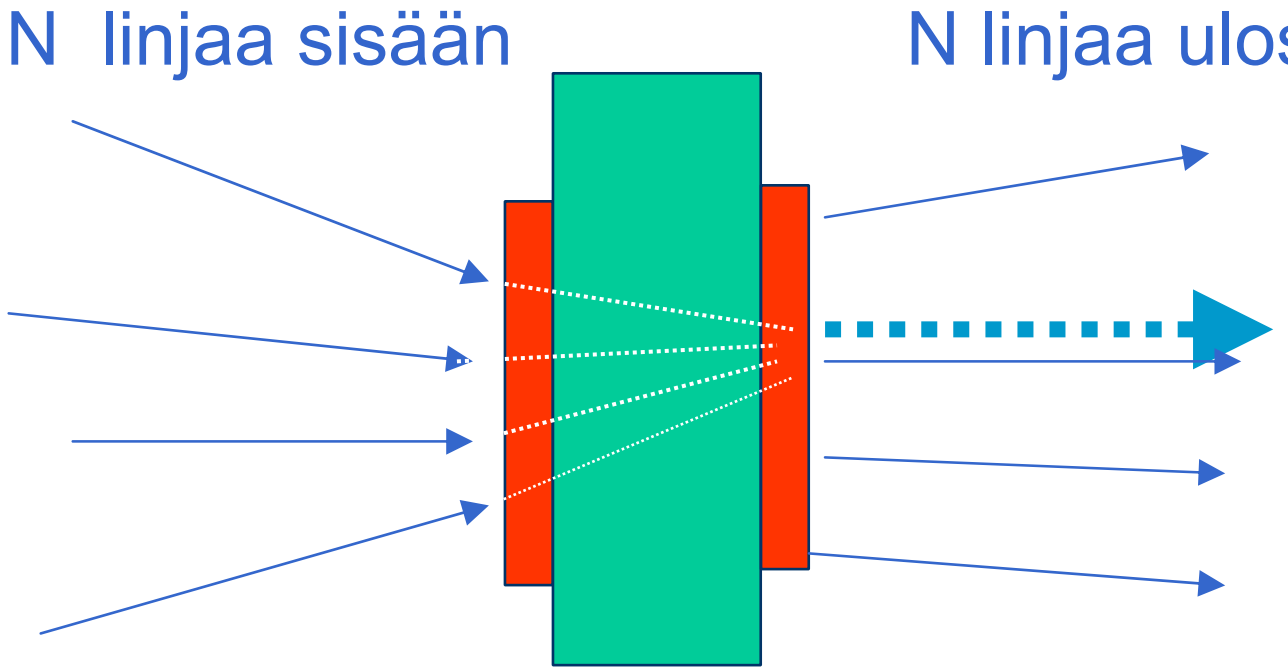
Ulosmenoportit

Ulosmenoportti lähettää paketin taas seuraavaan verkkoon



Jonotus reitittimessä

- Sekä sisäänmeno- että ulostuloporttiin voi syntyä jonoa
  - näissä jonoissa reititin voi kadottaa paketteja, kun puskuritila ei enää riitä
  - se kummassa jonossa paketit katoavat, riippuu kytkimen ja linjan nopeuden suhteista
  - jonoa voi syntyä myös, koska useasta lähteestä pyritään samaan kohteeseen

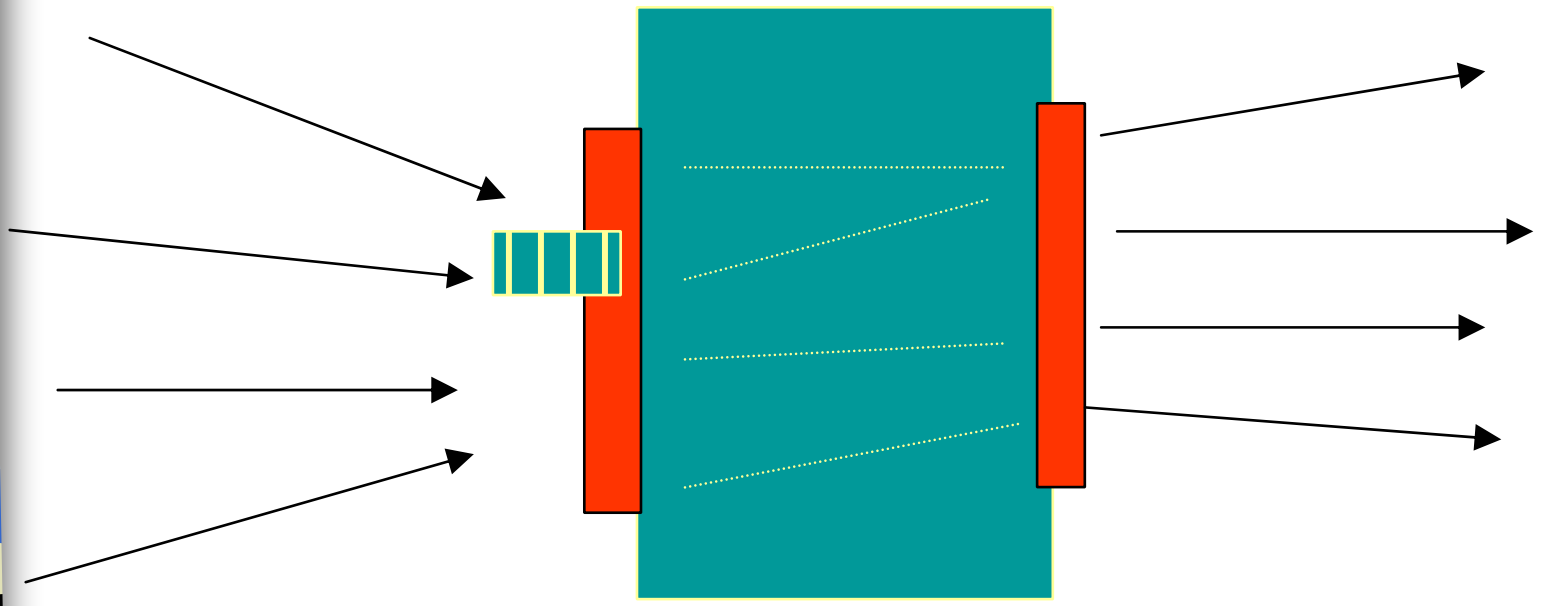


Kytkin toimii riittävällä nopeudella, joten sisääntulossa ei tarvitse jonottaa.

Yhdelle linjalle liian paljon liikennettä => ulosmenoportin puskuritila täyttyy ja paketteja katoaa!

N linjaa sisään

N linjaa ulos



Jos kytkin ei toimi tarpeeksi nopeasti, sisääntuloportteihin syntyy jonoja.

Esim. Ristikkäinkytkimessä paketti joutuu odottamaan, jos samaan kohteeseen on menossa useita paketteja. Jonottava paketti voi tukkia tien myös muilta saman portin paketeilta, jotka muuten voisivat edetä kytkimessä.

(head-of-the-line-blocking)

4.4. Internetworking

- verkot erilaisia: nyt (ja aina?)
  - palvelu: yhteydellinen / yhteydetön
  - osoittaminen: yksitasoinen /hierarkkinen
  - monilähetys/yleislähetys
  - paketin koko
  - toiminnot :
    - palvelulaatu (qos) , virheiden käsittely, vuonvalvonta, ruuhkanvalvonta, turvaus ja laskutus
  - protokolla

- ongelmana on erilaisten toiminnallisuuksien yhteensopivuus
  - luotettavuus
  - ruuhkan valvonta
  - kuittaukset
  - toimitusaikatakuut

Yhteydettömien verkkojen yhdistäminen

- verkkokerroksen protokollien oltava (lähes) samoja
- osoittaminen
  - IP: 32-bittinen osoite
  - OSI: puhelinnumeron kaltainen osoite
  - osoitteiden yhteensovittaminen?
  - globaaliosoiteavaruus? standardi?

Pakettien paloittelu (fragmentation)

- kaikissa verkoissa paketilla jokin maksimikoko
  - laitteisto (TDM-viipaleen pituus)
  - käyttöjärjestelmä (käytetty puskurinkoko)
  - protokolla (pituuskentän bittien lukumäärä)
  - standardinmukaisuus
  - virheistä johtuvan uudelleenlähetyksen vähentäminen
  - tasapuolisuuden tavoite
- 48 tavua (atm) => 65515 tavua (IP)

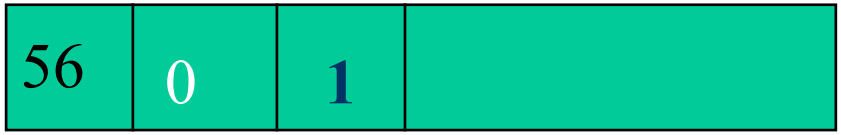
Liian iso paketti verkkoon

- liian iso paketti paloitellaan yhdyskäytävässä
- missä paketti kootaan?
  - samassa verkossa, missä paloiteltiin
    - kaikki paketit ohjattava samaan yhdyskäytävään
    - jatkuvaa pilkkomista ja kokoamista!
  - vasta määränpäässä
    - pieni pakettikoko => lisää yleisrasitetta
    - kaikkien solmujen kyettävä kokoamaan paketteja

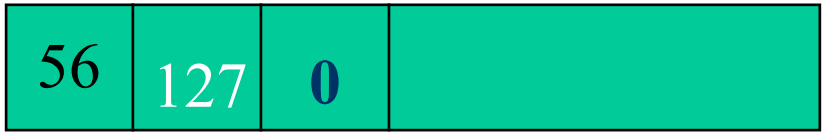
Pakettien kokoaminen

- edellyttää palojen ‘numerointia’
  - on tiedettävä, minkä paketin mikä osa on kyseessä
- kaikissa paloissa alkuperäisen paketin tunniste + sijainti paketissa
  - sijainti: pakettiin kuuluvan ensimmäisen tavun sijainti alkuperäisessä paketissa
- lisäksi tieto, onko pala paketin viimeinen
  - tai tiedettävä paketin pituus

alkuperäinen paketti



paketin alkuosa



paketin loppuosa

paketin tunnus

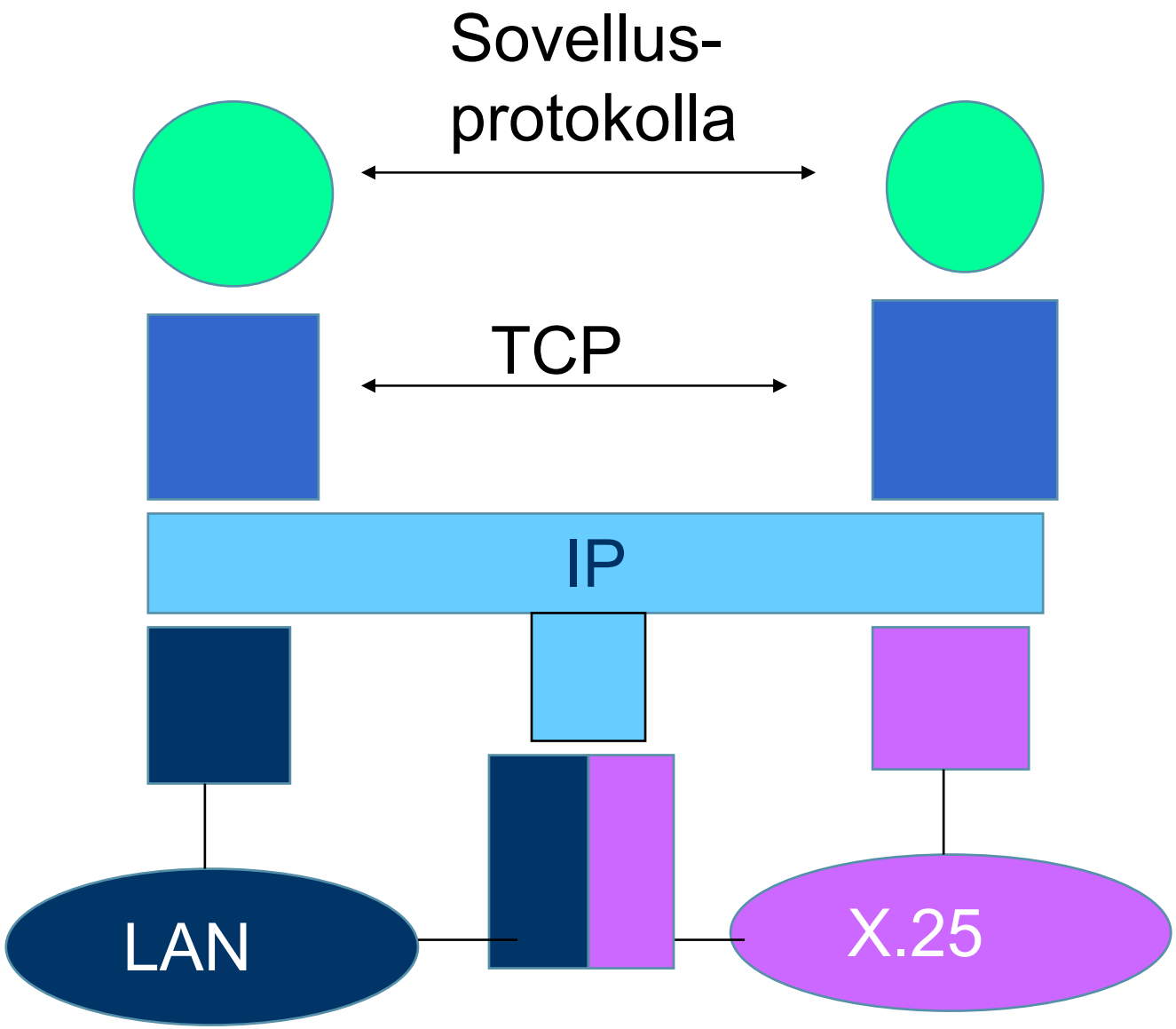
sijainti-kohta eli osan numero

Onko vielä lisää paketin osia?

paketin data

4.5. Internetin verkkokerros

- Internet
  - on kokoelma ‘itsenäisiä’ aliverkkoja eli autonomisia järjestelmiä (AS, Autonomous Subsystem)
  - joita yhdistää runkolinjat
- **IP-protokolla**
  - verkkotason protokolla, joka pitää Internetin koossa
  - tavoite: kuljettaa paketti (datasähke, **datagram**) lähteestä kohteeseen yli kaikkien välissä olevien erilaisten verkkojen

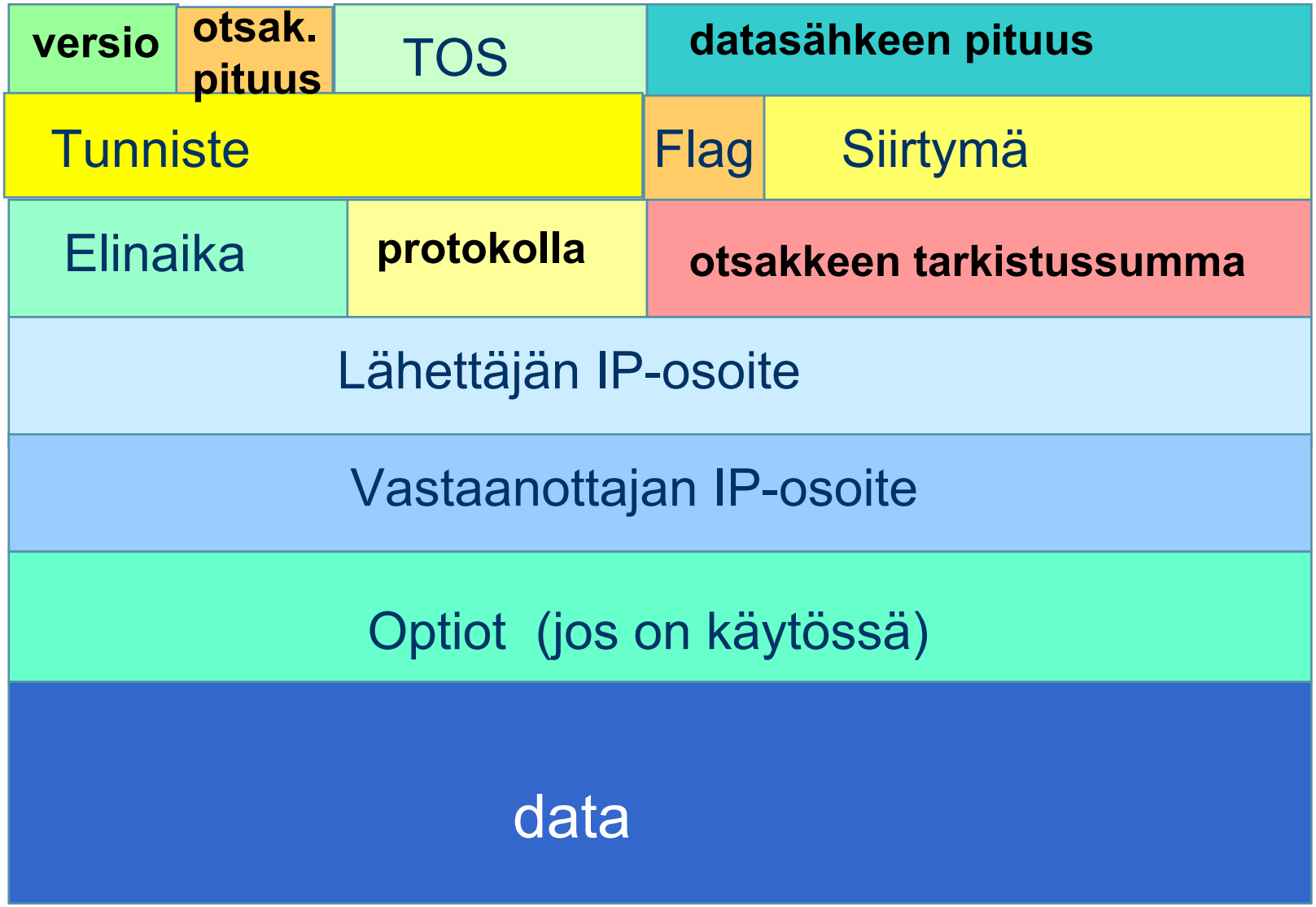

Sovellus-
protokolla
TCP
IP
LAN
X.25

IP kuljettaa lähdekoneelta kohdekoneelle

- Tässä tehtävässä tarpeen:
  - Osoitteet (lähettäjä, vastaanottaja)
  - Tieto kuljetuskerroksen protokollasta
  - Liian ison datasähkeen paloittelu
  - ‘Eksyneiden’ pakettien hävittäminen (time-to-live)
  - Tarkistukset (checksum)
- Hyviä (?) lisäominaisuuksia
  - kuljetuspalvelun eriyttäminen (type of service) erityyppisille sovelluksille
  - lisäpiirteitä: lähdereititys (= lähettäjä määrää reitin), tieto kuljetusta reitistä,

IP-protokolla

- **IP-datasähke**
  - **otsake**
  - **dataosa**
- **otsake**
  - 20 tavun kiinteä osa
    - **tunnistetiedot, pituustiedot, tarkistusbitit (-summa)**
    - **osoitteet, minkä kuljetusprotokollan sanoma**
    - **liian pitkän paketin paloittelu ja kokoaminen**
    - **erilaisen palvelun tarjoaminen eri sovelluksille**
  - vaihtelevan mittainen valinnainen osuus
    - **lisäoptioita**



IPv4 - datasähke

IP-otsakkeen kentät

- Versio IPv4 (IPv6)
- IHL
  - otsakkeen pituus vähintään viisi 32 bitin sanaa (20-60 tavua)
- type of service (8 bittiä)
  - kertoo halutun palvelun
    - nopeus, luotettavuus, kapasiteetti
    - ääni <-> tiedostonsiirto
  - yleensä ei käytössä **(käytössä uusissa Cisco-reitittimissä)**

Type of service -bitit:

- **presedence-kenttä** (3 bittiä)
  - sanoman **prioriteetti** 0-7
    0 normaali
    7 verkon valvontapaketti
- **D-bitti, T-bitti, R-bitti**
  - mikä on tärkeää yhteydessä
    D: viive (Delay),
    T: läpimeno (Throughput)
    R: luotettavuus (Reliability)
- lisäksi vielä **2 käyttämätöntä bittiä**

IP-otsakkeen kentät jatkuvat

- Datagram length
  - koko datasähkeen pituus
  - maksimi 65535 tavua
    - maksimipituus vielä riittävä, mutta tulevaisuuden nopeille verkoille jo ongelma
  - **yleensä koko 576 -1500 tavua**
- Identification
  - datasähkeen numero
  - kaikissa saman datasähkeen osissa sama tunnus

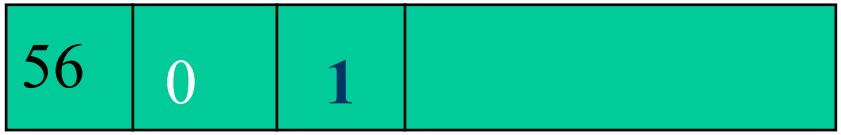
IP-otsakkeen kentät jatkuvat: liput

- DF- bitti (Don't fragment)
  - kieltää paloittelun
  - esim. jos vastaanottaja ei kykene kokoamaan datasähkettä
- MF-bitti (More fragments)
  - ilmoittaa, onko datasähkeen viimeinen osio vai tuleeko vielä lisää
- **Lisäksi yksi käyttämätön bitti**

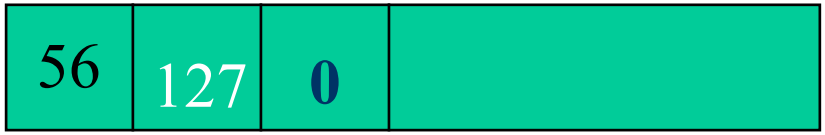
IP-otsakkeen kentät jatkuvat

- Fragment offset
  - osion paikka datasähkeessä
  - osioiden oltava 8 tavun monikertoja (paitsi viimeisen)
  - 13 bittiä => korkeintaan 8192 osiota yhdessä datasähkeessä

alkuperäinen paketti



paketin alkuosa



paketin loppuosa

paketin tunnus

sijainti-kohta eli osan numero

Onko vielä lisää paketin osia?

paketin data

IP-otsakkeen kentät jatkuvat

- Time to live
  - rajoittaa paketin elinaikaa
  - maksimi 255 sekuntia
  - vähenee
    - joka hypyllä reitittimestä toiseen
    - myös odottaessaan reitittimessä (ei yleensä)
    - paketti hävitetään, kun laskuri menee nollille
- Protocol
  - mille kuljetuskerrokselle kuuluu
    - esim. TCP- tai UDP-siirtoon kuuluva

IP-otsakkeen kentät jatkuvat

- Header checksum
  - tarkistussumma lasketaan vain otsakkeelle
  - 16-bitin sanat lasketaan yhteen yhden komplementin aritmetiikalla
  - laskettava uudestaan joka reitittimessä
- Source address, Destination address
  - kohteen ja lähettäjän osoitteet muodossa
    - verkon numero ja isäntäkoneen numero = IP-osoite

IP-otsakkeen kentät jatkuvat

- Options
  - vaihtelevan mittaisia
    - 1. tavu kertoo option koodin
    - voi seurata pituuskenttä
    - datakenttiä
    - täytettä jotta 4 tavun monikertoja
  - käytössä 5 optiota
    - mutta reitittimet eivät välttämättä näitä ymmärrä

Optiot

- **Security**
  - datasähkeen luottamuksellisuus ja salassapidettävyys
- **Strict source routing**
  - datasähkeen kuljettava tarkalleen annettua reittiä
- **Loose source routing**
  - kuljettava ainakin annettujen reitittimien kautta
- **Record route**
  - reitin varrella olevat reitittimet liittävät tunnuksensa
- **Timestamp**
  - tunnuksen lisäksi liitettävä myös aikaleima

4.5. IP-osoitteet

- jokaisella verkon isäntäkoneella ja reitittimellä on oma yksikäsitteinen osoite muotoa
  - verkon numero
  - isäntäkoneen (liitäntäkortin) numero
- osoite on 32-bittinen
  - osoitteen luokasta riippuen bitit jaetaan verkon numeroon ja isäntäkoneen numeroon eri tavoin
- osoitteet palvelun tarjoajille jakaa ICANN (The Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)
    - nämä puolestaan jakavat muille

- osoitteet merkitään yleensä desimaalimuodossa
  - kukin osoitteen neljästä tavusta kirjoitetaan desimaalilukuna (0-255)
  - luvut erotetaan pisteellä
  - esim.
    - heksadesimaaliosoite C0 29 06 14 on 192.41.6.20

      eli C0 => 192, 29 => 41, 06 => 6, 14 => 20
  - pienin osoite on 0.0.0.0 ja suurin 255.255.255.255

IP-osoitteiden muodot

(alkuperäinen luokallinen osoitus)

IP-osoitteiden luokat

- A-luokka hyvin isoille verkoille
  - 7 bittiä verkko-osoitteeseen, 24 bittiä isäntäkoneille
  - **126 verkkoa, 16 miljoonaa konetta/verkko**
- B-luokka keskikokoisille verkoille
  - 14 bittiä verkoille, 16 bittiä koneille
  - **16382 verkkoa, 65528 konetta/verkko**C-luokka
- C-luokka pienille verkoille
  - 21 bittiä verkoille, 8 bittiä verkon koneille
  - **noin 2 miljoonaa verkkoa**, **254 konetta/verkko**

Osoiteluokkien ongelmia

- verkon kasvu => ongelmia
  - C-luokan verkossa max 256 osoitetta
    - liian vähän useimmille yrityksille => tarvitsevat B -luokan osoitteen tai monta C-luokan verkko-osoitetta
  - B-luokan verkkoja liian vähän (max 16382) ja niissä liian paljon osoitteita (max 65536)
    - 100000 verkkoa jo 1996!
    - useassa B-verkossa alle 50 konetta
- => B-luokan osoitteita tuhlaantuu ja osoitteista pulaa

- reititystaulujen koon kasvaminen
  - reitittimien tunnettava kaikki verkot
  - => laskennan monimutkaisuus,
  - => tietojenvaihto vie paljon resursseja

CIDR (Classless InterDomain Routing)

– verkko-osa voi olla minkä tahansa kokoinen (ei vain 8,16,24 bittiä)

- a.b.c.d/**x**, jossa x ilmoittaa verkko-osan bittien lukumäärän
- esim. yritykselle, jolla 2000 konetta varataan 2048 = 2**11 koneosoitetta, jolloin verkko-osaa varten jää 21 bittiä
  - » **C-luokan verkkoja**
- yritys voi itse vielä jakaa koneosoitteen 11 bittiä aliverkko-osoitteeksi ja koneosoitteeksi

CIDR-idea jatkuu

- jaetaan osoitteet neljään osaan, kukin osa varataan yhdelle maanosalle

  (Eurooppa, Pohjois-Amerikka, Etelä-Amerikka, Aasia+Pasific)

  - kullekin noin 32 miljoonaa osoitetta
  - 320 miljoona jää vielä varastoon
- reititetään myös maanosien mukaan
  - osoitteet: 194.0.0.0 - 195.255.255.255 Eurooppaan

- => pienemmät reititystaulut

Muita Internet-verkkokerroksen protokollia

- Näitä käsitellään Tietoliikenne II –kurssilla:

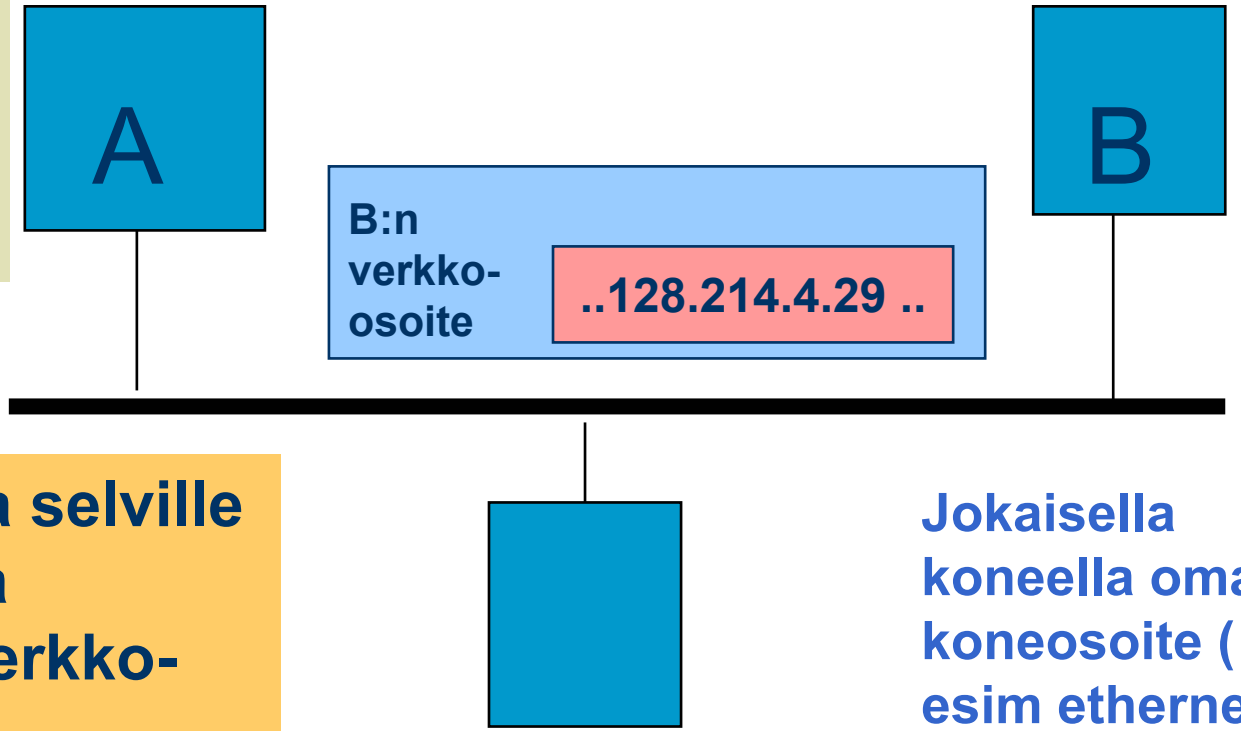
  ICMP **(Internet Control Message Protocol)**
  - **reitittimien ja isäntäkoneiden kommunikointiin esim. virhetilanteissa**

  Reititysprotokollat:
  - **RIP (Routing Information Protocol): etäisyysvektorireititys**
  - **OSPF (Open Shortest Path First): linkkitilareititys**
  - **BGP (Border Gateway Protocoll): eri AS:ien välinen reititysprotokolla**

  IPv6
  - **uudempi versio IP-protokollasta**
- DHCP **(Dynamic Host Configuration Protocol)**
  - **Automaattinen IP (mm)-osoitteiden allokointi koneille + muuta konfigurointia**

..128.214.4.29 ..

IP-paketissa on vain vastaan-ottajan IP-osoite



Pitää saada selville IP-osoitetta vastaava verkko-osoite.

Yleislähetyksenä kysely: ‘Kenen IP-osoite?”

Jokaisella koneella oma koneosoite (esim ethernet-osoite, 48 bittiä), jota käytetään MAC-kehyksessä

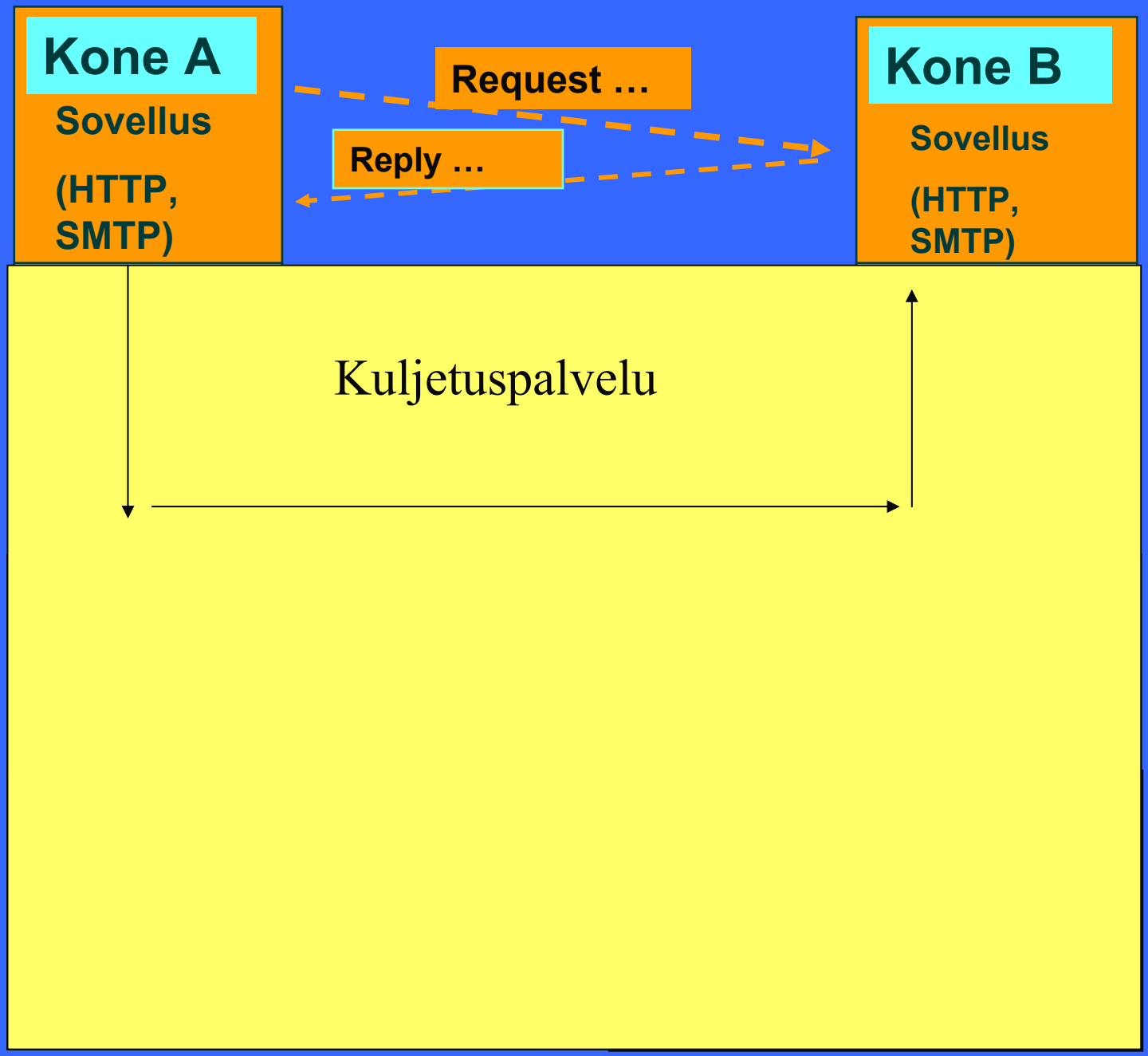
ARP

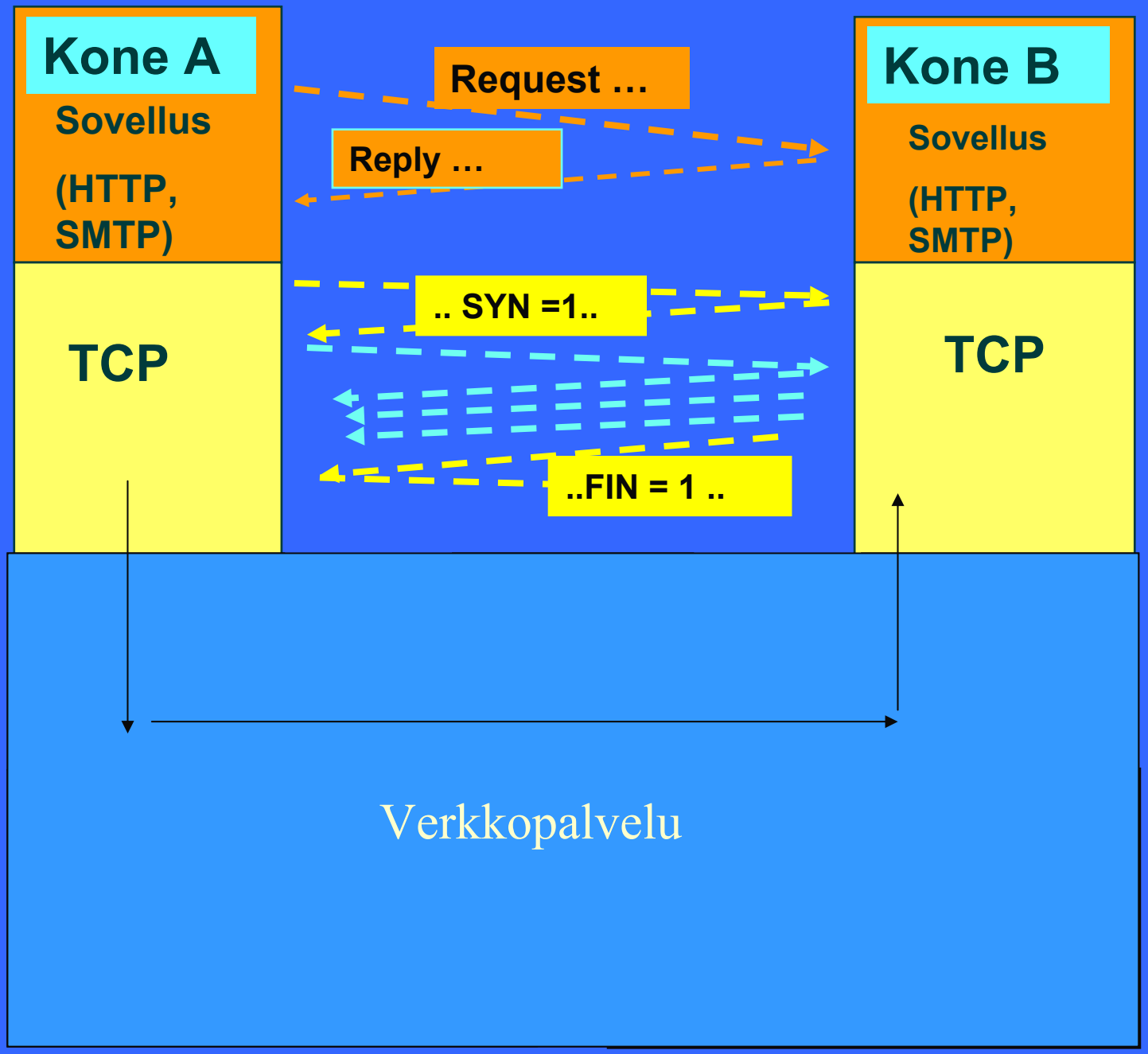
DHCP

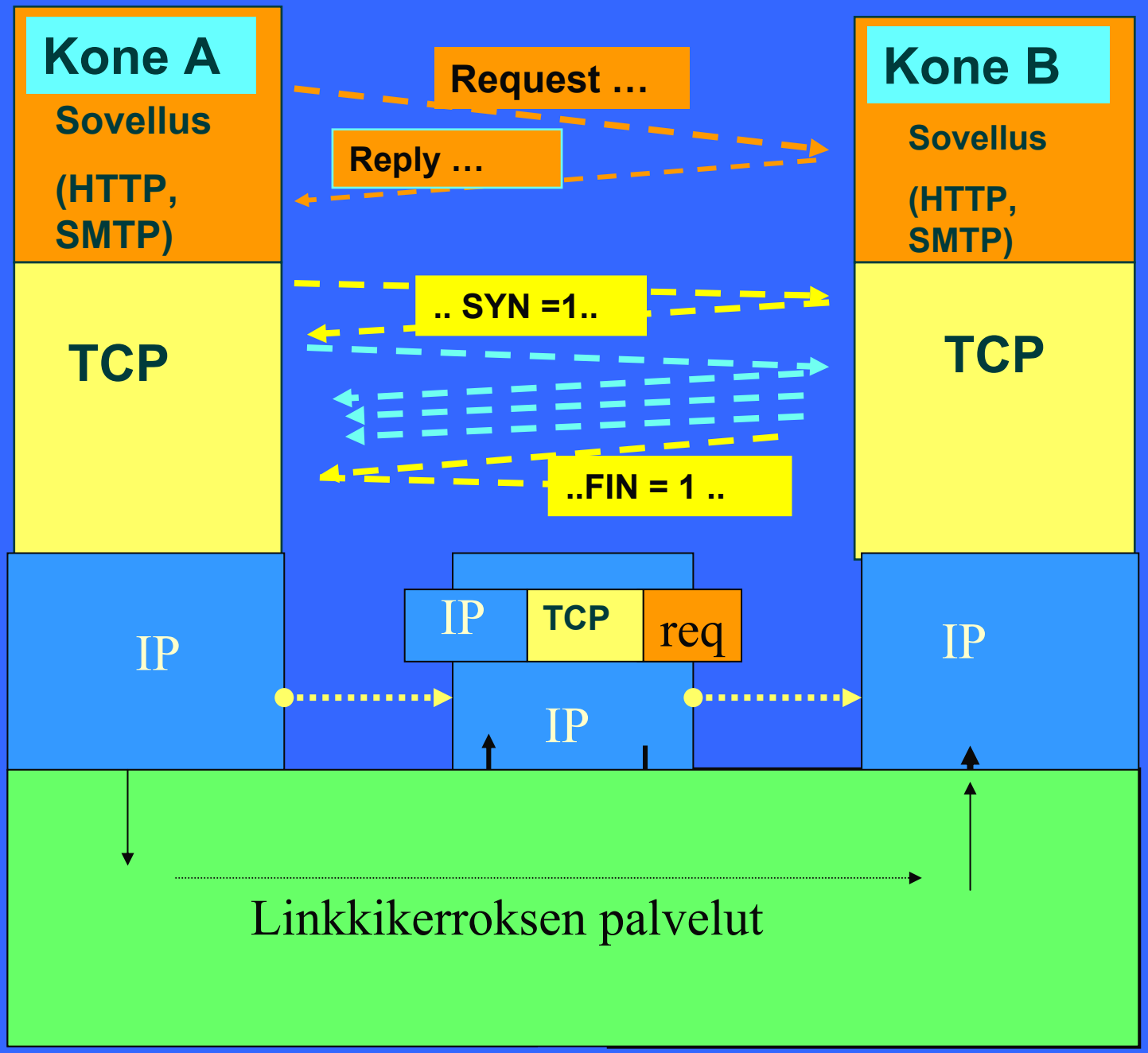
- mm. dynaaminen IP-osoitteiden jakelu niitä tarvitseville koneille
  - kone lähettää yleislähetyksenä kyselyn DHCP DISCOVER
  - DHCP-välittäjäagentti lähettää paketin DHCP-palvelimelle, jonka IP osoitteen tietää
  - Osoite voi olla voimassa vain rajallisen ajan, jonka jälkeen uudistetttava

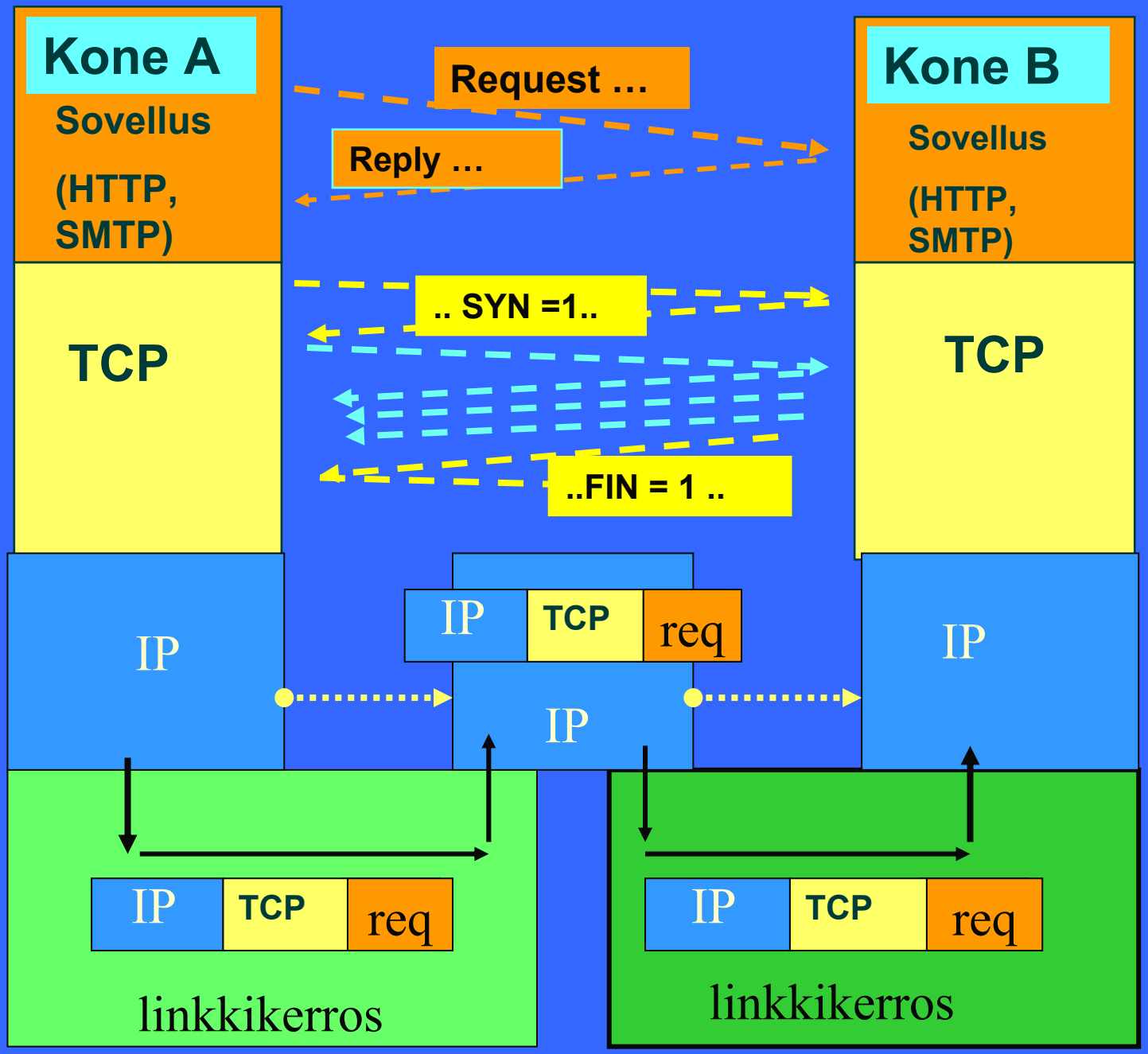
Verkkokerros

- reititys
  - staattinen/dynaaminen, tulvitus
  - reititystaulu; Dijkstra
  - etäisyysvektorireititys, linkkitilareititys, hierarkinen reititys
  - reititin
- IPv4
  - IP-kehys (datagrammi)
    - **Paloittelu, elinaika, protokollakenttä**
  - IP-osoite


Kone A
Sovellus
(HTTP, SMTP)
Request …
Reply …
Kone B
Sovellus
(HTTP, SMTP)
Kuljetuspalvelu


Kone A
Sovellus
(HTTP, SMTP)
TCP
Request …
Reply …
.. SYN =1..
..FIN = 1 ..
Kone B
Sovellus
(HTTP, SMTP)
TCP
Verkkopalvelu


Kone A
Sovellus
(HTTP, SMTP)
TCP
IP
Request …
Reply …
.. SYN =1..
..FIN = 1 ..
IP
TCP
req
IP
Kone B
Sovellus
(HTTP, SMTP)
TCP
IP
Linkkikerroksen palvelut


Kone A
Sovellus
(HTTP, SMTP)
TCP
IP
linkkikerros
Request …
Reply …
.. SYN =1..
..FIN = 1 ..
IP
TCP
req
IP
IP
TCP
req
Kone B
Sovellus
(HTTP, SMTP)
TCP
IP
linkkikerros