

- o
- o
- o

5. Verkkokerros

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

11.10.2000

1

- o
- o
- o

Verkkokerroksen palvelut

- **tavoitteet**
 - palvelut riippumattomia aliverkkojen tekniikasta
 - kuljetuskerros eristettävä aliverkkojen ominaisuuksista
 - lukumäärä
 - tyypit
 - topologia
 - kuljetuskerroksen käyttämät verkko-osoitteet globaaleja

11.10.2000

2

- o
- o
- o

connection-oriented ~ connectionless

- o
- o
- o

- **yhteydetön (Internet, 30 vuoden kokemus)**

- aliverkot ovat luonnostaan epäluotettavia

- tehtävä: bittien kuljetus
- operaatiot: send packet, receive packet
- virheen tarkistus, vuonvalvonta isäntäkoneille

- o
- o
- o

- **yhteydellinen (puhelin 100 vuoden kokemus)**

- muodostetaan yhteys, neuvotellaan parametrit (palvelunlaatu (QOS), kustannus)

- kaksisuuntainen kuljetus, paketit järjestyksessä

11.10.2000 vuonvalvonta, virhevalvonta

3

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

- o
- o
- o

Verkkokerroksen tärkein tehtävä: reititys

- o
- o
- o

- **(hajautettu) päätöksenteko reitistä**

- yhteydellinen: alussa

- yhteydetön: jatkuvasti

- **jatkuvaa muutosta verkossa**

- rikkoutuvat komponentit, muuttuva topologia

- **ristiriitaisia vaatimuksia reititykselle**

- optimaalisuus /reiluus (fairness)

- **reitityksen suorituskyky**

- mean packet delay, network throughput

11.10.2000

4

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

Reititys algoritmi

- **Päättää, mikä reitti valitaan**
 - mihin paketti ohjataan seuraavaksi
- **dynaaminen verkkoympäristö => dynaaminen reititys**
 - jatkuvaan verkon tarkkailuun perustuva
 - Internetin reititys
 - muuttumaton ympäristö => käytetään kerran laskettuja reittejä tai sovittua lähetystapaa
 - tulvitus (flooding)
 - Dijkstran algoritmeilla lasketut lyhyimmät reitit

11.10.2000

5

Tulvitus

- jokainen saapunut paketti lähetetään kaikille muille ulosmenoille
 - => **verkko täyttyy pian paketeista**
- eri tapoja tulvituksen lopettamiseen
 - käsitellään harjoituksissa
- käyttö
 - **tietyissä erityistilanteissa tilanteissa hyödyllinen**
 - käsitellään harjoituksissa

11.10.2000

6

- o
- o
- o

Dijkstran algoritmi

- **'lyhyin' reitti yhdestä solmusta muihin**
 - $A \rightarrow \{\text{muut solmut}\}$
- **kaariin liittyy kustannus**
 - kapasiteetti (bps)
 - viive: hyppyjä, aikaa
 - raha
 - virhetodennäköisyys

11.10.2000

7

- o
- o
- o

• Algoritmi

- merkitään D_i on solmun i tähän asti tutkituista reiteistä solmuun A halvin kustannus eli lyhyin pituus
- verkko $G = (V, E)$, V on solmujen joukko, E kaarten joukko
- olkoon d_{ij} on kaaren (i,j) kustannus (> 0). Jos kaarta ei ole, d_{ij} on ääretön
 - algoritmissa oletetaan, että kaikki kustannukset ovat ei-negatiivisiä

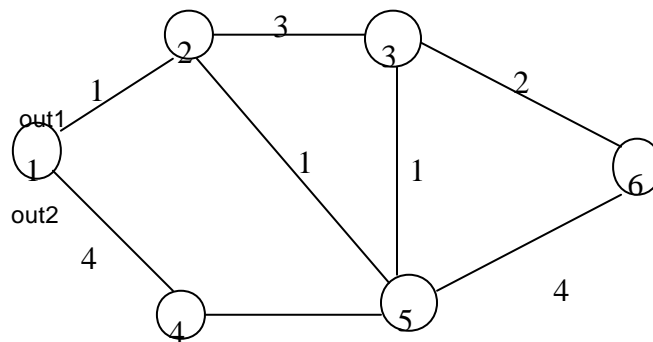
11.10.2000

8

1. $P := \{1\}; D_1 := 0; D_j := d_{j1} \ (j \neq 1);$
2. while $P \neq V$ do
3. etsi solmu i , joka ei vielä ole
joukossa P ja jolle $D_i = \min_{j \in P} \{d_{ij} + D_j\}$
kuulumattomista solmuista
4. $P := P \cup \{i\}$
5. kaikille muille P :hen kuulumattomille
solmuille $j \ D_j := \min\{D_j, d_{ij} + D_i\}$
6. end while
7. end

Esimerkki

- Tarkastellaan esimerkkinä verkkoa



1. $P = \{1\}$; $D1 := 0$; $D2 := 1$; $D3 := \text{ääretön}$,
 $D4 := 4$; $D5 := \text{ääretön}$, $D6 := \text{ääretön}$

3. pienin D_i on solmulla 2 (=1)

4. $P = \{1, 2\}$

5. $D3 := 1 + 3 = 4$, $D4 = 4$, $D5 := 1 + 1 = 2$,
 $D6 = \text{ääretön}$

3. pienin D_i nyt solmulla 5 (=2)

4. $P = \{1, 2, 5\}$

5. $D3 := 1 + 2 = 3$, $D4 := 4$, $D6 := 4 + 2 = 6$

3. pienin D_i solmulla 3 (=3)

4. $P = \{1, 2, 3, 5\}$

5. $D4 := 4$, $D6 := 2 + 3 = 5$;

3. Pienin D_i solmulla 4 (=4)

4. $P = \{1, 2, 3, 4, 5\}$

5. $D6 = 5$

4. $P = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$

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	2	1
3	2	3
4	1	4
5	2	2
6	2	5

Solmulle 1

11.10.2000

13

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

11.10.2000

14

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

11.10.2000

15

Etäisyysvektoreititys (distance vector)

- **Arpanetin alkuperäinen reititys**
 - vieläkin jonkin verran käytössä Internetissä
- **kullakin reitittimellä reititystaulu**
 - kullekin verkon reitittimelle
 - ulosmenolinja
 - aika/etäisyys kohteeseen
 - hyppyjen lkm
 - arvioitu viive
 - jononpituus
 - jokin mitattavissa oleva

11.10.2000

16

reititystaulun ylläpito

- **tietojen vaihto naapurireitittimien kanssa**
 - tietyin aikaväleihin
 - tilan vaihtuessa
- **lasketaan uudet reittitaulut**
 - ‘kustannus’ naapuriin +
 - naapurin ilmoittama ‘kustannus’ kohteeseen
 - kullekin solmulle valitaan pienimmän ‘kustannuksen’ reitti

11.10.2000

17

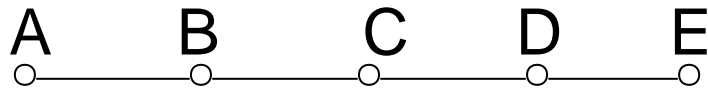
Ongelma: tietojen muuttumisnopeus

- **tietojen muuttamiseen kuluu aikaa**
- **reagoi 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

11.10.2000

18

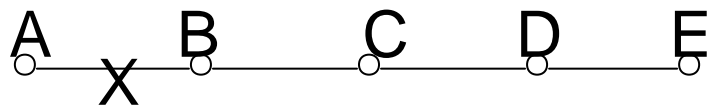
Hyvät uutiset etenevät nopeasti:



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

	B	C	D	E
	ääretön	ääretön	ääretön	ääretön
1	1	ääretön	ääretön	ääretön
1	1	2	ääretön	ääretön
1	1	2	3	ääretön
1	1	2	3	4

Huonot uutiset etenevät hitaasti:



Toimiva linkki katkeaa välillä AB:

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

Linkkitilareititys (Link State Routing)

• reitittimen tehtävät

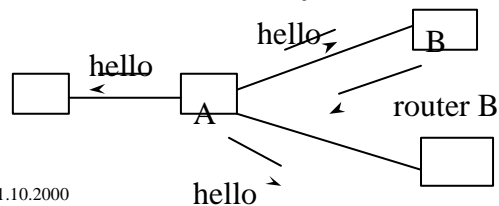
- selvitettävä naapurit ja niiden osoitteet
- mitattava etäisyys / kustannus naapureihin
- koottava tietopaketti ko. tiedoista
- lähetettävä tietopaketti kaikille reitittimille
- laskettava lyhin reitti kaikkiin muihin reitittämiin esim. Dijkstran algoritmilla

11.10.2000

21

Naapurien löytäminen

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



11.10.2000

22

- o
- o
- o

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

11.10.2000

23

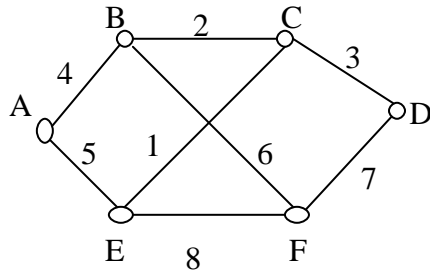
- o
- o
- o

Tietopaketin kokoaminen

- **muodostus**
 - tietyin aikavälein
 - kun muutoksia havaittu
- **sisältö**
 - reitittimen tunnus
 - paketin järjestysnumero
 - paketin ikä
 - etäisyydet kuhunkin reitittimen naapuriin

11.10.2000

24



B	
seq	
age	
A	4
C	2
F	6

Tietopakettien jakelu

- **käytetään tulvitusta (n. 10 minuutin välein)**
 - **pidetään kirjaa jo nähdyistä paketeista**
 - reititin A, paketti 145
 - => paketti lähetetään korkeintaan kerran
 - **paketissa elinaikalaskuri (age, time-to-live)**
 - väärät ja vanhentuneet tiedot katoavat aikanaan, vaikka reititin itse olisikin vikaantunut
- **tietopaketit kuitataan**
 - linjavirheiden takia

- o
- o
- o

Miksi elinaikalaskuri on tarpeen?

- o
- o
- o

- **virheellinen järjestysnumero**

- kaatunut reititin aloittaa väärästä numerosta
 - edennyt jo pakettiin 204 ja aloittaa uudestaan paketista 0 => kaikki seuraavat paketit hylätään duplikaatteina pakettiin 205 saakka
- virhe tietopaketin seq-kentässä
 - 4 muuttuu virheellisesti 65540:ksi => seuraavat paketit hylätään pakettiin 65541 saakka

11.10.2000

27

- o
- o
- o

elinaikalaskuri (TTL-laskuri)

- o
- o
- o

- **laskuri vähenee ajan kuluessa**

- vähenee yhdellä sekunnin välein

- **paketti tuhotaan, kun laskuri = 0**

- vanhentunut (virheellinen) tieto poistetaan
- pitkäkö elinaika >> päivitysten väli
 - tuhotaan vain jos reititin kaatunut
 - usea (6) paketti on jäänyt saapumatta reitittimeltä

- **käytössä myös tulvituksessa**

- kukin reititin vähentää yhdellä

11.10.2000

28

- o
- o
- o

Lisäparannuksia

- **paketteja ei lähetetä välittömästi eteenpäin**
 - ne jätetään odottamaan
 - jos samalta reitittimeltä tulee muita paketteja, niistä valitaan vain yksi, tuorein edelleenlähetettäväksi

11.10.2000

29

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

- o
- o
- o

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

11.10.2000

30

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

- o
- o
- o

ongelmia

- **väärin toimiva reititin**

- kertoo väärää tietoa
- ei välitä tietopaketteja
- väärentää tietopaketteja
- laskee reitit väärin

- **isossa verkossa aina joku toimii väärin**

- tavoitteena rajata ongelmat pienelle alueelle

11.10.2000

31

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

- o
- o
- o

Käyttö

- **paljon käytetty nykyisissä verkoissa**

- Internetin OSPF-protokolla
- ISO:n IS-IS -protokolla

11.10.2000

32

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

- o
- o
- o

Hierarkkinen reititys

- o
- o
- o

- **reitityksen skaalautuvuus**

- isossa verkossa runsaasti reitittimiä (Internet: miljoonia)

- reititystaulut suuria
- reittien laskeminen raskasta
- tietopaketit kuluttavat linjakapasiteettia

- **hallinta-autonomia => autonominen järjestelmä AS**

- organisaatio päättää omista asioistaan

- myös reitityksestä
 - oma sisäinen reititystapa

11.10.2000

33

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

- o
- o
- o

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

11.10.2000

34

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

- o
- o
- o

Hierarkkisen reitityksen ongelmat

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

- o
- o
- o

5.4 Internetworking

- **verkot erilaisia**
 - nyt ja aina
- **verkkoja yhdistävät**
 - **toistin**: bittien kopiointia
 - **silta**: kehys, store-and-forward
 - **reititin**: paketti, store-and-forward, erilliset verkot
 - kulj.kerr. yhdyskäyt.: tavuvirta kuljetuskerroksessa
 - sovelluskerr. yhdysk.: sovelluksen tietoyksiköitä

- o
- o
- o

- **silta**

- tunnettava kehysotsikot
- ei tarpeen tietää hyötykuorman takana olevaa protokollaa

- **reititin**

- tunnettava verkkoprotokolla
- alakerran toimintatavoista ei väliä

- **käytännössä termejä käytetään vapaammin!**

11.10.2000

37

- o
- o
- o

Verkkojen erot

- **palvelu**

- yhteydellinen / yhteydetön

- **protokolla**

- **osoittaminen**

- yksitasoinen /hierarkkinen

- **monilähetys/yleislähetys**

- on / ei

- **paketin koko**

11.10.2000

38

- o
- o
- o

lisää eroja:

- **palvelulaatu**
- **virheiden käsittely**
- **vuon valvonta**
- **ruuhkan valvonta**
- **turvaus**
- **parametrit**
- **laskutus**

11.10.2000

39

- o
- o
- o

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

11.10.2000

40

- o
- o
- o

Yhteydettömien verkkojen yhdistäminen

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

11.10.2000

41

- o
- o
- o

Yhdistetyn verkon reititys

- kahden tason reititysalgoritmi
 - kunkin verkon sisällä (intranet routing)
 - interior gateway protocol
 - verkkojen välillä (internet routing)
 - exterior gateway protocol
 - gateway tässä vanhempi termi reitittimelle!
- eroja
 - EGP eri maiden välillä
 - EGP: erilaiset verkkokustannukset, erilainen QoS

11.10.2000

42

- o
- o
- o

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)**

11.10.2000

43

- o
- o
- o

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

11.10.2000

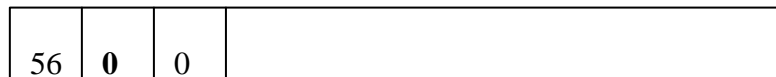
44

Pakettien kokoaminen

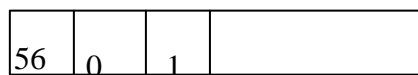
- edellyttää palojen 'numerointia'
 - on tiedettävä, mikä pakettin mikä osa on kyseessä
- kaikissa paloissa alkuperäisen pakettin tunniste + sijainti paketissa
 - sijainti: pakettiin kuuluvan ensimmäisen tavun sijainti alkuperäisessä paketissa
- lisäksi tieto, onko pala pakettin viimeinen

11.10.2000 • tai tiedettävä pakettin pituus

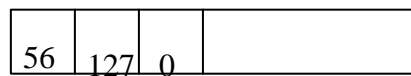
45



alkuperäinen paketti



paketin alkuosa



paketin loppuosa

paketin
tunnus

↑
sijainti-
kohta

eli
osan
numero

↑
viimeinen
paketin
osa?

↘
paketin data

- o
- o
- o

5.5 Internetin verkkokerros

- o
- o
- o

- **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

11.10.2000

47

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

- o
- o
- o

5.5.1 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

11.10.2000

- lisäoptioita

48

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

Versio	IHL	TOS	Datasähkeen pituus (tavuja)	
Tunniste			Flag	Siirtymä
Elinaika	Protokolla	otsakkeen tarkistussumma		
Lähettäjän IP-osoite				
Vastaanottajan IP-osoite				
Optiot (jos on käytössä)				
data				

IPv4 - datasähke

IP-otsakkeen kentät

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

Type of service -bitit:

- **precedence-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

11.10.2000

51

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 taavua
- **Identification**
 - datasähkeen numero
 - kaikissa saman datasähkeen osissa sama tunnus

11.10.2000

52

- o
- o
- o

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 tulee vielä lisää

- o
- o
- o

IP-otsakkeen kentät jatkuvat

- **Fragment offset**
 - osion paikka datasähkeessä
 - osioiden oltava 8 tavun monikertoja (paitsi viimeisen)
 - 13 bittiä => korkeintaan 8192 osiota yhdessä datasähkeessä
- **lisäksi 1 käyttämätön bitti**

- o
- o
- o

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 nolille

- **Protocol**

- mille kuljetuskerrokselle kuuluu
- esim. TCP- tai UDP-siirtoon kuuluva

11.10.2000

55



- o
- o
- o

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

11.10.2000

= IP-osoite

56



- o
- o
- o

IP-otsakkeen kentät jatkuvat

- o
- o
- o

• Options

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

11.10.2000

57

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

- o
- o
- o

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 liittävä tunnuksensa
- **Timestamp**
 - tunnuksen lisäksi liitettävä myös aikaleima

11.10.2000

58

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

o
o
o

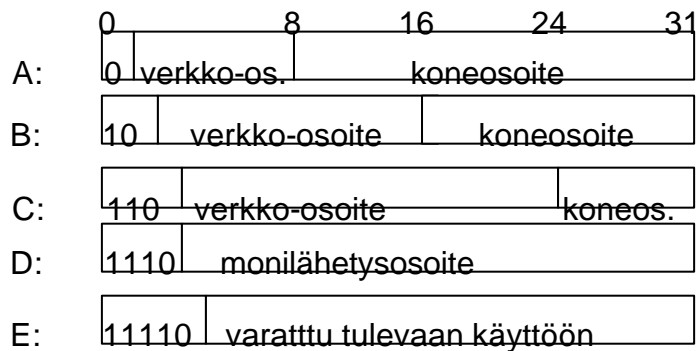
5.5.2 IP-osoitteet

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

11.10.2000

59

o o o o o o o o



IP-osoitteiden muodot

(alkuperäinen luokallinen osoitus)

- o
- o
- o

IP-osoitteiden luokat

- **A-luokka**

- hyvin isoille verkoille, joissa paljon koneita:

- 1 bitti tunnukseen
- 7 bittiä verkko-osoitteeseen, 24 bittiä isäntäkoneille
- **126 verkkoa, 16 miljoonaa konetta/verkko**

- **B-luokka**

- keskikokoisille verkoille

- 2 bittiä tunnukseen, 14 bittiä verkoille, 16 bittiä koneille
- **16382 verkkoa, 65528 konetta/verkko**

11.10.2000

61

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

- **C-luokka**

- esim. LANeille

- 3 bittiä tunnisteeseen, 21 bittiä verkoille, 8 bittiä verkon koneille
- **noin 2 miljoonaa verkkoa, kussakin korkeintaan 254 konetta**

- **D-luokka**

- monilähetysosoite

- tunnus: 1110

- **E-luokka**

- varattu tulevaan käyttöön

- tunnus: 11110

- o
- o
- o

• osoitteet merkitään usein 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

11.10.2000

63

- o
- o
- o

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**

11.10.2000

64

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 $2^{24} = 2^{11} * 2^{13}$ koneosoitetta, jolloin verkko-osaa varten jää 21 bittiä
 - C-luokan verkkoja
- yritys voi itse vielä jakaa koneosoitteen 11 bittiä aliverkko-osoitteeksi ja koneosoitteeksi

11.10.2000

65

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 miljoonaa jää vielä varastoon
- **reititetään myös maanosien mukaan**
 - osoitteet: 194.0.0.0 - 195.255.255.255 Eurooppaan
- **=> pienemmät reititystaulut**

11.10.2000

66

- o
- o
- o

Muita Internet-protokollia

- **ICMP (Internet Control Message Protocol)**
- **ARP (Address Resolution Protocol)**
- **OSPF (Open Shortest Path First)**
- **BGP (Border Gateway Protocol)**

- **IPv6**
 - käsitellään Tietoliikenne II -kurssilla

11.10.2000

67

- o
- o
- o

5.5.4 ICMP (Internet Control Message Protocol)

- **reitittimet ilmoittavat verkon ongelmista toisilleen**
- **käytetään yleensä testaukseen**
- **ICMP-sanomat kapseloidaan IP-paketteihin**
- **12 erilaista sanomaa määritelty**
 - Destination unreachable, Time exceeded, Parameter problem
 - Source quench, Redirect
 - Echo request, Echo reply (ping)
 - Timestamp request, Timestamp reply

11.10.2000

68

- o
- o
- o

5.5.5. OSPF (Open Shortest Path First)

- **linkkitilaprotokolla reitittämään yhden AS:n sisällä**
 - linkkikustannukset naapureihin
 - tiedot muille tulvittamalla
 - kukin laskee parhaat reitit Dijkstran algoritmilla
- **parannuksia**
 - turvallisuus: reitittimien autentikointi
 - useita yhtä hyviä reittejä
 - eri kustannusmittoja eri tyyppiselle liikenteelle
 - hierarkkinen reititys

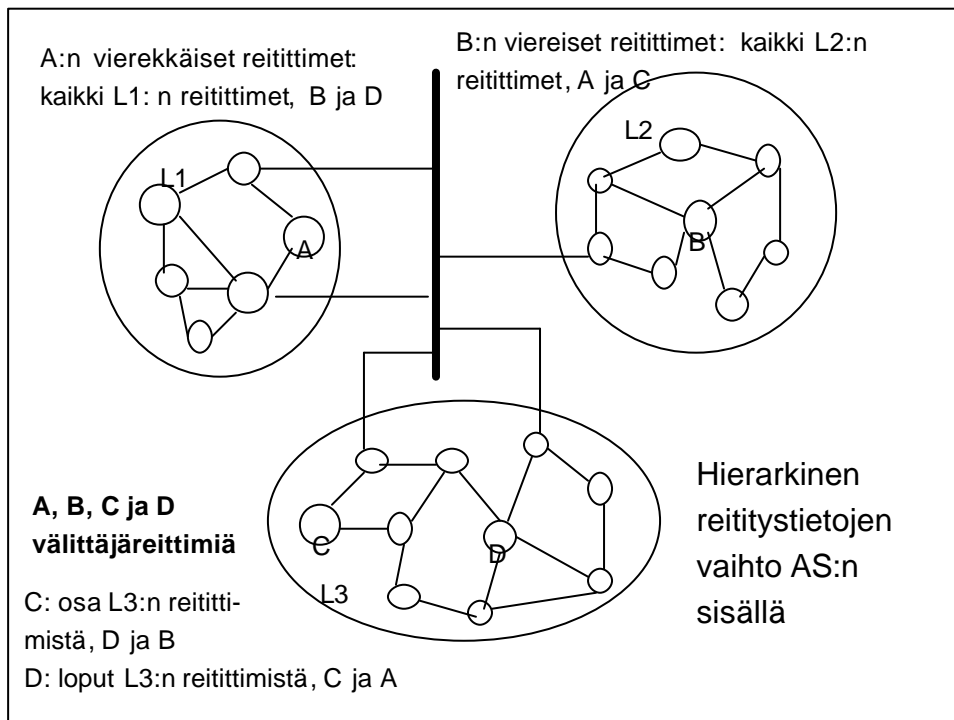
11.10.2000 – AS jaettu alueiksi (area)

69

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

- **AS (autonomous system)**
 - näistä muodostuu Internet
 - yritysten ja organisaatioiden omat verkot
- **AS:t ovat usein hyvin laajoja**
 - => voidaan jakaa alueiksi
 - verkko tai verkkojoukko
 - alueen ulkopuolella sen topologia ei näy
- **jokaisessa AS:ssä runkolinja-alue**
 - alue 0
 - kaikki alueet kiinni runkolinjassa

- **alueen sisällä kaikilla reitittimillä**
 - sama linkkitietokanta
 - sama lyhimmän polun algoritmi
- reititin laskee lyhimmän polun kaikkiin muihin alueen reitittäjiin
- **alueiden välillä oleva reititin**
 - tuntee molempien alueiden tietokannat ja lyhimmän polun algoritmit
- **reititysinformaation vaihtoa ei kaikkien alueen reitittimien kesken, vaan 'vierekkäisten' (= vaihtavat tietoja keskenään)**

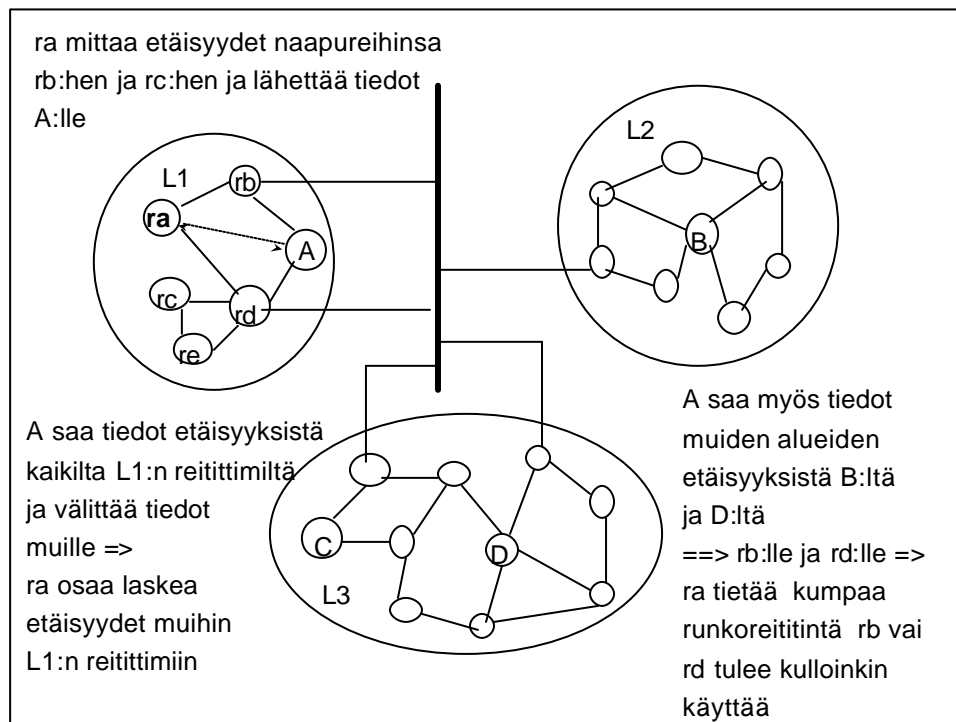


- **kullekin eri etäisyysmitalle lasketaan omat kustannukset**
 - eri reitit optimoitaessa viivettä, läpimenoa ja luotettavuutta
- **toiminnassa tarvitaan kolmenlaisia reittejä**
 - alueen sisäisiä
 - reititin itse tietää lyhyimmän reitin
 - alueiden välisiä
 - alueiden väliset reitit kulkevat **aina runkolinjaa pitkin**
 - reititin tietää lyhyimmän reitin runkolinjaan
 - AS:ien välisiä
 - hoidetaan BGP-protokollalla

OSPF-sanomat

- **hello**
 - naapurien selvillesaaminen
- **link state update**
 - omien linkkikustannusten lähettäminen
- **link state ack**
 - vastaanotettujen linkkikustannusten kuittaus
- **database description**
 - tietokannan ajantasaisuuden selvittäminen
- **link state request**

11.10.2000 • toisen linkkikustannusten kysyminen



- eri reitit voivat olla 'yhtä pitkiä'
 - => liikenne voidaan reitittää usean reitin yli
 - => kuormituksen tasapainoitus
 - eikä välttämättä kaikkia paketteja lähetetä samaa reittiä
 - osa parasta reittiä
 - osa toiseksi parasta
- lopputulos voi olla parempi**
- 11.10.2000 76

- o
- o
- o

5.5.6. BGP (Border Gateway Protocol)

- o
- o
- o

- **AS:ien välillä**

- otettava huomioon eri AS:ien politiikat
 - AS:ien sisällä tärkeintä **tehokkuus**
 - AS:ien välillä kieltoja reitittää tiettyjen AS:ien kautta
- politiikat manuaalisesti BGR-reitittimiin
 - hyvin erilaisia sääntöjä

- o
- o
- o

BGP (jatkuu)

- **pohjimmiltaan etäisyysvektoriprotokolla**
 - **tallettaa kunkin reitin koko polun**
 - kertoo naapureilleen käyttämänsä reitin
 - hylkää itsensä kautta kulkevat reitit
- **‘reittikustannuksen’ laskeminen**
 - eri tapoja laskea arviot
 - ‘kielleyille’ reiteille etäisyys on ääretön

o
o
o

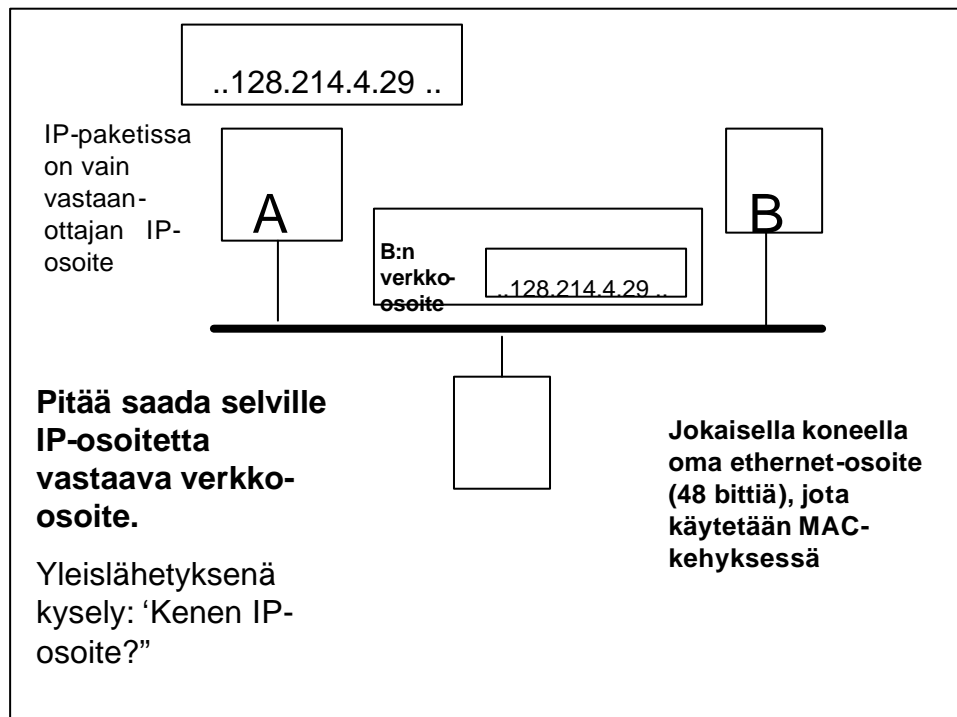
ARP (Address Resolution Protocol) (5.5.4.)

- **muuttaa IP-osoitteen siirtoyhteyskerroksen osoitteeksi**
 - lähiverkkoon liitetyt laitteet ymmärtävät vain LAN-osoitteita
 - esim. ethernetin 48-bittisiä osoitteita
- **yleislähetys lähiverkkoon**
 - “Kenellä on IP-osoite vv.xx.yy.zz ?”
 - vastauksena osoitteen omistavan laitteen lähiverkko-osoite

11.10.2000

79

o o o o o o o o o



- o
- o
- o

- **optimointia:**

- kyselyn tulos välimuistiin
 - talletetaan muutaman minuutin ajan
- kyselijä liittää omat osoitteensa kyselyyn
- alustettaessa jokainen laite ilmoittaa osoitteensa muille
 - kysyy omaa osoitettaan
 - jos tulee vastaus, niin konfigurointivirhe

11.10.2000

81

- o
- o
- o

Yhteenveto

- **Reititystä**

- reititysalgoritmeja
 - etäisyysvektorireititys
 - linkkilareititys
 - Dijkstran algoritmi

- **Verkkojen yhdistäminen**

- pakettiverkot
 - pakettien paloittelu / kokoaminen

11.10.2000

82

- o
- o
- o

- **Internetin verkkokerroksen protokollia**

- IPv4 -protokolla, IP-osoite
- ICMP
- reititysprotokollia
 - OSPF
 - BGP
 - ARP