

## 5. Verkkokerros

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

6.10.2000

1

## Verkkokerroksen palvelut

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

6.10.2000

2

## 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 parametreit ( palvelunlaatu (QOS), kustannus)
  - kaksisuuntainen kuljetus, paketit järjestyksessä

6.10.2000 vuonvalvonta, virhevalvonta

3

## Verkkokerroksen tärkein tehtävä: reititys

- **(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

6.10.2000

4

## Reititysalgoritmi

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

6.10.2000

5

## Tulvitus

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

6.10.2000

6

## Dijkstran algoritmi

- 'lyhyin' reitti yhdestä solmusta muihin

- A -> {muut solmut}

- kaariin liittyy kustannus

- kapasiteetti (bps)
  - viive: hyppyjä, aikaa
  - raha
  - virhetodennäköisyys

6.10.2000

7

## 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

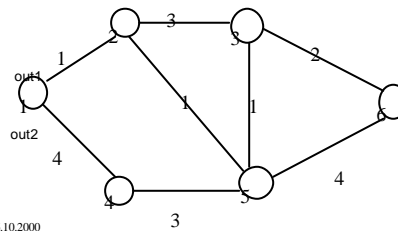
6.10.2000

8

1.  $P := \{1\}$ ;  $D_1 := 0$ ;  $D_j := \infty$  ( $j > 1$ );
2. while  $P \neq V$  do
3. etsi solmu  $i$ , joka ei vielä ole joukossa  $P$  ja jolle  $D_i = \min_{j \notin P} D_j$  P:hen 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



6.10.2000

10

1.  $P = \{1\}$ ;  $D_1 := 0$ ;  $D_2 := 1$ ;  $D_3 := \infty$ ;  $D_4 := 4$ ;  $D_5 := \infty$ ;  $D_6 := \infty$

3. pienin  $D_i$  on solmulla 2 (=1)

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

5.  $D_3 := 1 + 3 = 4$ ,  $D_4 = 4$ ,  $D_5 := 1 + 1 = 2$ ,  $D_6 = \infty$

3. pienin  $D_i$  nyt solmulla 5 (=2)

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

5.  $D_3 := 1 + 2 = 3$ ,  $D_4 := 4$ ,  $D_6 := 4 + 2 = 6$

3. pienin  $D_i$  solmulla 3 (=3)

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

5.  $D_4 := 4$ ,  $D_6 := 2 + 3 = 5$ ;

3. Pienin  $D_i$  solmulla 4 (=4)

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

5.  $D_6 = 5$

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

6.10.2000

13

## Reititystaulu

- **Kukin reititin pitää kirjata reititiedoista**
  - 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

6.10.2000

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 reititiedot ne laskeneelta

6.10.2000

15

## Etäisyysvektoreititys (distance vector)

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

6.10.2000

16

## reititystaulun ylläpito

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

6.10.2000

17

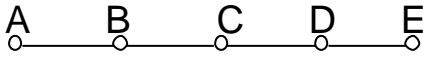
## Ongelma: tietojen muuttumisnopeus

- **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

6.10.2000

18

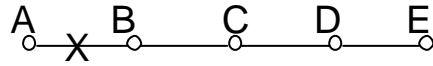
### Hyvät uutiset etenevät nopeasti:



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

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:

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

## Linkintilareititys (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

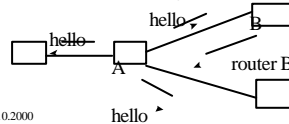
6.10.2000

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



6.10.2000

22

## Etäisyyden mittaaminen

### • kaikille naapureille ECHO-paketti

- vastaanottajan palautettava paketti välittömästi

### • => kiertoviive (round-trip-time)

- dynaaminen etäisyyssmitta

### • 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

6.10.2000

23

## Tietopaketin kokoaminen

### • muodostus

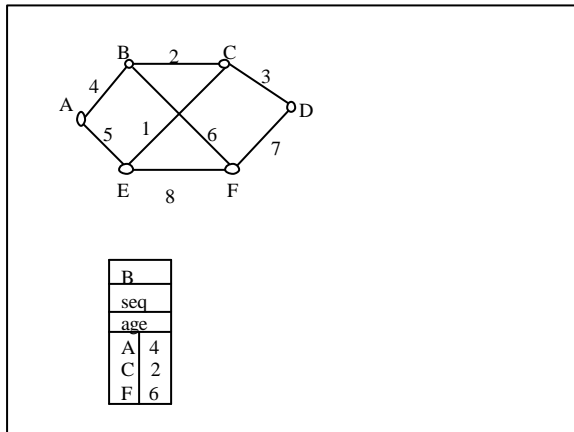
- tietyin aikavälein
- kun muutoksia havaittu

### • sisältö

- reitittimen tunnus
- paketin järjestysnumero
- paketin ikä
- etäisyydet kuhunkin reitittimen naapuriin

6.10.2000

24



### Tietopaketin 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

6.10.2000 26

### Miksi elinaikalaskuri on tarpeen?

- **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

6.10.2000 27

### elinaikalaskuri (TTL-laskuri)

- **laskuri vähenee ajan kuluessa**
  - vähenee yhdellä sekunnin välein
- **paketti tuhotaan, kun laskuri = 0**
  - vanhentunut (virheellinen) tieto poistetaan
  - pitkäikäinen elinaika >> päivitysten väli
    - tuhotaan vain jos reititin kaatunut
    - usea (6) paketti on jäänyt saapumatta reitittimeltä
- **käytössä myös tulvituksessa**
  - kukin reititin vähentää yhdellä

6.10.2000 28

### Lisäparannuksia

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

6.10.2000 29

### 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

6.10.2000 30

## 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

6.10.2000

31

## Käyttö

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

6.10.2000

32

## Hierarkkinen reititys

- **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

6.10.2000

33

## 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

6.10.2000

34

## Hierarkkisen reitityksen ongelmat

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

6.10.2000

35

## 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. yhdyskäyt.: sovelluksen tietoyksiköitä

6.10.2000

36

- **silta**
  - tunnettava kehysotsikot
  - ei tarpeen tietää hyötykuorman takana olevaa protokollaa
- **reititin**
  - tunnettava verkkoprotokolla
  - alakerran toimintatavoista ei väliä
- **käytännössä termejä käytetään vapaammin!**

6.10.2000 37

## Verkkojen erot

- **palvelu**
  - yhteydellinen / yhteydetön
- **protokolla**
- **osoittaminen**
  - yksitasoinen / hierarkkinen
- **monilähetys/yleislähetys**
  - on / ei
- **paketin koko**

6.10.2000 38

lisää eroja:

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

6.10.2000 39

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

6.10.2000 40

## Yhteydettömien verkkojen yhdistäminen

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

6.10.2000 41

## 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

6.10.2000 42

## Pakettien pirstominen (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)**

6.10.2000

43

## Liian iso paketti verkkoon

- **liian iso paketti paloitellaan yhdyskäytävään**
- **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

6.10.2000

44

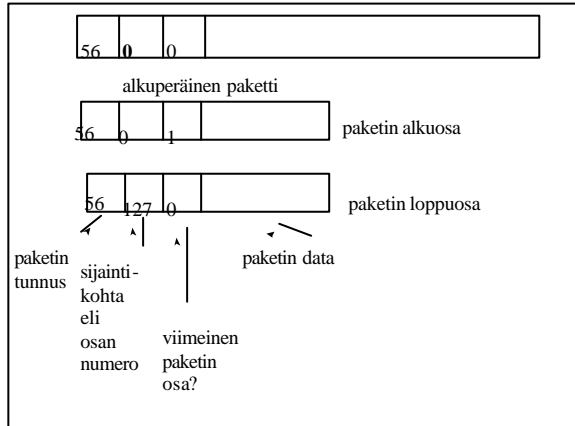
## Pakettien kokoaminen

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

6.10.2000

• tai tiedettävä paketin pituus

45



## 5.5 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 (datagram) lähteestä kohteeseen yli kaikkien tarpeellisten verkkojen

6.10.2000

47

## IP-protokolla

- **IP-datasähke**
  - otsake
  - dataosa
- **otsake**
  - pituus 20 tavun kiinteä osa
  - vaihtelevan mittainen valinnainen osuus
  - big endian: vasemmalta oikealle, korkein bitti ensin

6.10.2000

48



## IP-otsakkeen kentät

- **versio**
- **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

6.10.2000

49

## 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

6.10.2000

50

## IP-otsakkeen kentät jatkuvat

- **Total length**
  - koko datäsähkeen pituus
  - maksimi 65535 tavua
    - maksimipituus vielä riittävä, mutta tulevaisuuden nopeille verkoille jo ongelma
- **Identification**
  - tietosähkeen numero
  - kaikissa saman tietosähkeen osissa sama tunnus

6.10.2000

51

## IP-otsakkeen kentät jatkuvat

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

6.10.2000

52

## IP-otsakkeen kentät jatkuvat

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

6.10.2000

53

## 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 nolllille
- **Protocol**
  - mille kuljetuserrokselle kuuluu
    - esim. TCP- tai UDP-siirtoon kuuluva

6.10.2000

54



## 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

6.10.2000

55



## 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 ymmärrä

6.10.2000

56



## 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

6.10.2000

57