4. Verkkokerros

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

Verkkokerroksen palvelut

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

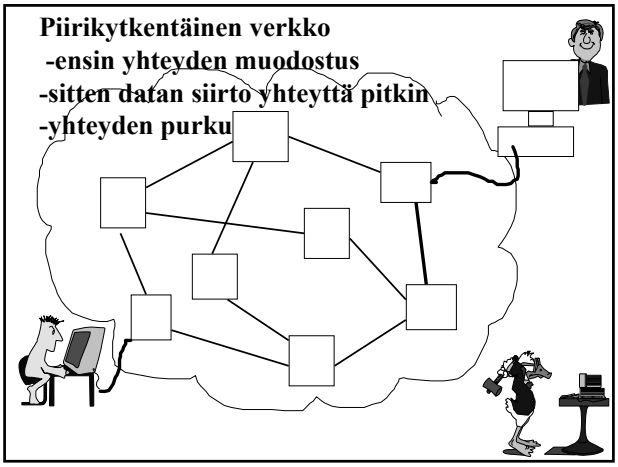
connection-oriented ~ connectionless

- **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

Virtuaalipiiri (virtual circuit)

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

Piirikytkentäinen verkko
-ensin yhteyden muodostus
-sitten datan siirto yhteyttä pitkin
-yhteyden purku



4.1.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

Reititysalgoritmi

- **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 algoritmilla lasketut lyhyimmät reitit

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**

Dijkstran algoritmi

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

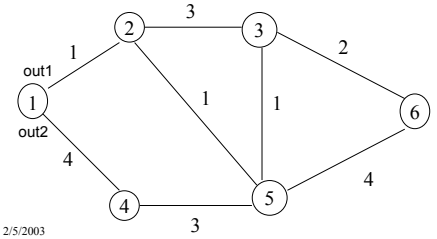
Algoritmi

- **merkitään D(v) on tähän asti tutkituista reiteistä lähtösolmusta A solmuun v halvin kustannus eli lyhyin pituus**
- **verkko G = (V, E), V on solmujen joukko, E kaarten joukko**
- **olkoon c(ij) on kaaren (i,j) kustannus (>= 0). Jos kaarta ei ole, d(ij) on ääretön**
  - algoritmissa oletetaan, että kaikki kustannukset ovat ei-negatiivisiä

1. N:= {1}; D(1) := 0; D(j):=d(j1) (j<>1);
2. while N <> V do
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

Etäisyysvektorireititys (distance vector)

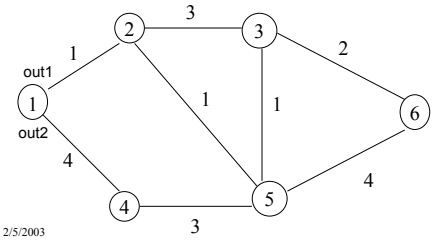
- **Arpanetin alkuperäinen reititys**
  - vieläkin RIP jonkin verran käytössä Intenetissä
- **kullakin reitittimellä reititystaulu**
  - kullekin verkon reitittimelle
    - ulosmenolinja
    - aika/etäisyys kohteeseen
      - hyppyjen lkm
      - arvioitu viive
      - jononpituus
      - jokin mitattavissa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

reititystaulun ylläpito

- **tietojen vaihto naapurireitittimien kanssa**
  - tietyin aikavälein
  - tilan vaihtuessa
- **lasketaan uudet reittitaulut ('etäisyystaulut')**
  - 'kustannus' naapuriin + naapurin ilmoittama 'kustannus' kohteeseen
  - kullekin solmulle valitaan pienimmän 'kustannuksen' reitti

Esimerkki

- **Tarkastellaan esimerkkinä verkkoa**



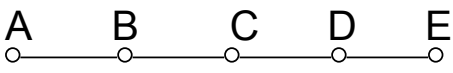
Solmun 3 reititystaulu

	3	2	5	6	
1	-	1(2)			=> 4 (2)
2	3		1(5)		=> 2 (5)
4	-		3(5)		=> 4 (5)
5	**1**	1(2)		4(6)	=> 1(5)
6	**2**		4(5)		=> 2 (6)

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

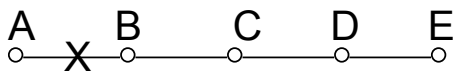
Hyvät uutiset etenevät nopeasti:



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

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:



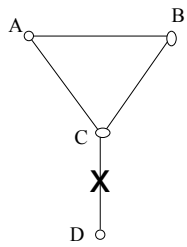
Toimiva linkki katkeaa välillä AB:

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

Poisoned reverse (Split horizon)

- **raitkaisu '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!**

- **ratkaisu ei toimi aina**



Linkki CD katkeaa, A ja B ilmoittavat C:lle ettei D:hen pääse

C päättelee, että D:tä ei voi saavuttaa

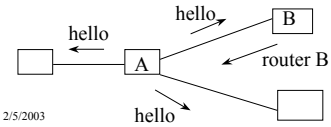
Kuitenkin A kuulee B:ltä, että sillä on etäisyys 2 D:hen => oma etäisyys 3

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**

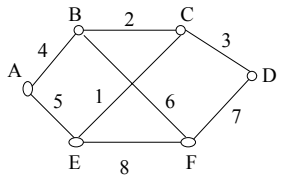


Etäisyyden mittaaminen

- **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

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
- **autentikointi paketteja vaihdettaessa**

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

elinaikalaskuri (TTL-laskuri)

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

Lisäparannuksia

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

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

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

4.2. Reititin (Router)