

- o
- o
- o

5. Verkkokerros

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

6.10.2000

1

- o
- o
- o

Verkkokerroksen palvelut

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

6.10.2000

2

- o
- o
- o

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 järjestyksessä

6.10.2000 vuonvalvonta, virhevalvonta

3

- o
- o
- o

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

- 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

6.10.2000

5

- o
- o
- o

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

6.10.2000

6

- o
- o
- o

Dijkstran algoritmi

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

6.10.2000

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

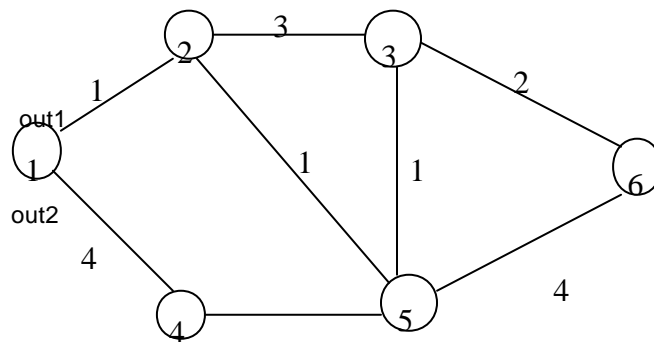
6.10.2000

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

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 reititystiedot ne laskeneelta

6.10.2000

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

6.10.2000

16

- o
- o
- o

reititystaulun ylläpito

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

6.10.2000

17

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

- o
- o
- o

Ongelma: tietojen muuttumisnopeus

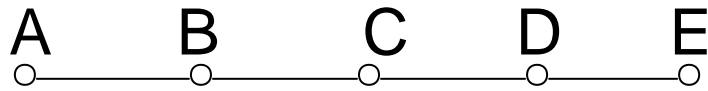
- **tietojen muuttamiseen kuluu aikaa**
- **reagoi nopeasti hyviin uutisiin**
 - uusi nopea reitti löytynyt/linkki jälleen pystyssä
 - tieto etenee joka vaihdossa yhden hypyn
- **reagoi hitaasti huonoihin uutisiin**
 - linkki nurin => etäisyys ääretön
 - joka vaihdossa ‘paras arvio’ huononee yhdellä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

6.10.2000

18

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

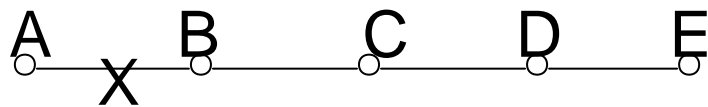
Hyvät uutiset etenevät nopeasti:



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

Linkintilareititys (Link State Routing)

• reitittimen tehtävät

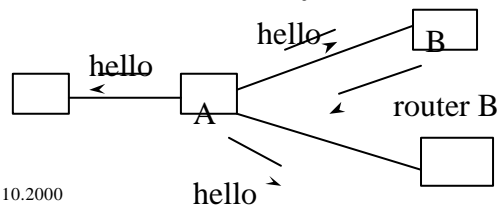
- selvitettävä naapurit ja niiden osoitteet
- mitattava etäisyys / kustannus naapureihin
- koottava tietopaketti ko. tiedoista
- lähetettävä tietopaketti kaikille reitittimille
- laskettava lyhin reitti kaikkiin muihin reitittämiin esim. Dijkstran algoritmilla

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

- 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

6.10.2000

23

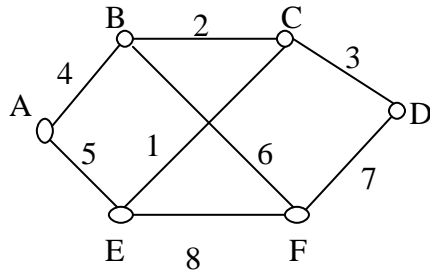
- o
- o
- o

Tietopaketin kokoaminen

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

6.10.2000

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

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
- pitkäkö 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

- o
- o
- o

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

- 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

6.10.2000

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

6.10.2000

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

6.10.2000

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

6.10.2000

33

- 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

6.10.2000

34

- 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!**

6.10.2000

37

- o
- o
- o

Verkkojen erot

- **palvelu**

- yhteydellinen / yhteydetön

- **protokolla**

- **osoittaminen**

- yksitasoinen /hierarkkinen

- **monilähetys/yleislähetys**

- on / ei

- **paketin koko**

6.10.2000

38

- o
- o
- o

lisää eroja:

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

6.10.2000

39

- o
- o
- o

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

6.10.2000

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?

6.10.2000

41

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

- 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

6.10.2000

42

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

- o
- o
- o

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

- 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

6.10.2000

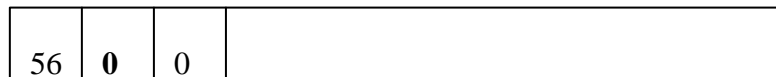
44

Pakettien kokoaminen

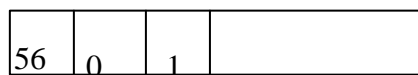
- edellyttää palojen 'numerointia'
 - on tiedettävä, mikä pakettin mikä osa on kyseessä
- kaikissa paloissa alkuperäisen pakettin tunniste + sijainti paketissa
 - sijainti: pakettiin kuuluvan ensimmäisen tavun sijainti alkuperäisessä paketissa
- lisäksi tieto, onko pala pakettin viimeinen

6.10.2000 • tai tiedettävä pakettin pituus

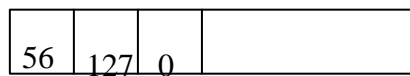
45



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 (datagram) lähteestä kohteeseen yli kaikkien tarpeellisten verkkojen

- o
- o
- o

IP-protokolla

- **IP-datasähke**

- otsake
- dataosa

- **otsake**

- pituus 20 tavun kiinteä osa
- vaihtelevan mittainen valinnainen osuus
- big endian: vasemmalta oikealle, korkein bitti ensin

- o
- o
- o

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

- o
- o
- o

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

- o
- o
- o

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

- o
- o
- o

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

- o
- o
- o

IP-otsakkeen kentät jatkuvat

- o
- o
- o

- **Fragment offset**

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

- o
- o
- o

- **lisäksi 1 käyttämätön bitti**

6.10.2000

53

- o
- o
- o

IP-otsakkeen kentät jatkuvat

- o
- o
- o

- **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

- o
- o
- o

- **Protocol**

- mille kuljetuskerrokselle kuuluu

6.10.2000 • esim. TCP- tai UDP-siirtoon kuuluva

54

- 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

6.10.2000

55



- o
- o
- o

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



- o
- o
- o

Optiot

- **Security**
 - datasihkeen luottamuksellisuus ja salassapidettävyys
- **Strict source routing**
 - datasihkeen 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