

## Aliverkkomaskin käyttö

- maskin avulla osoitteesta poistetaan koneosoite
  - AND-operaatio
- etsitään verkko-osoite reititystaulusta
- esim.

paketin kohdeosoite: **130.50.15.6**

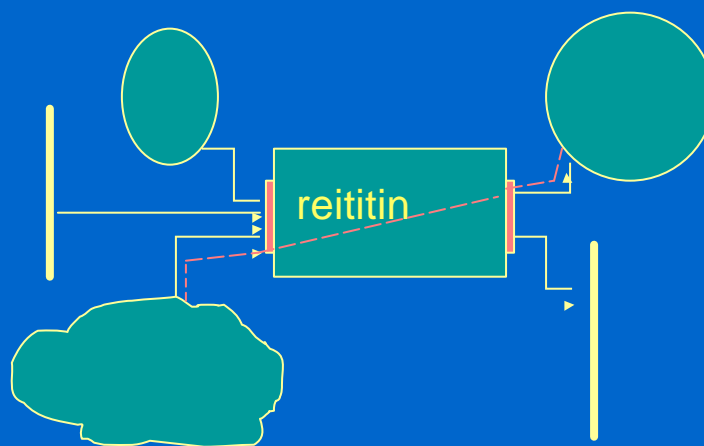
maski: **11 ...1 11111100 00000000**

osoite: **00001111 00000110**

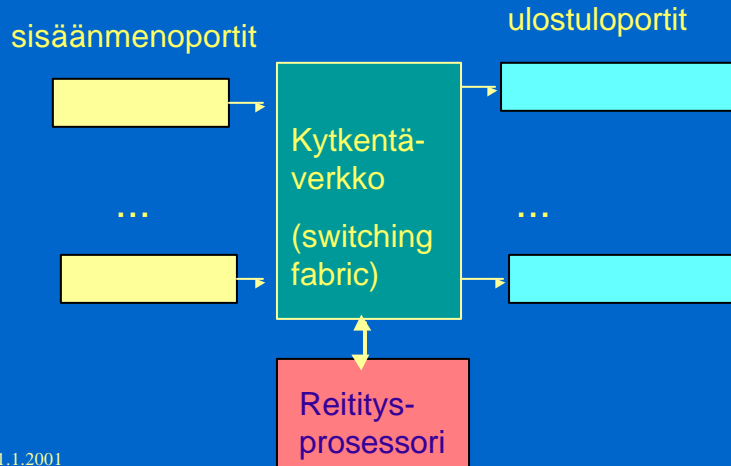
AND: **00001100 00000000**

tuloksena verkko-osoite: **130.50.12.0**

## Reititin (Router)



## Reitittimen rakenne



### • Portit

#### – peruskerroksen toiminnot (PK)

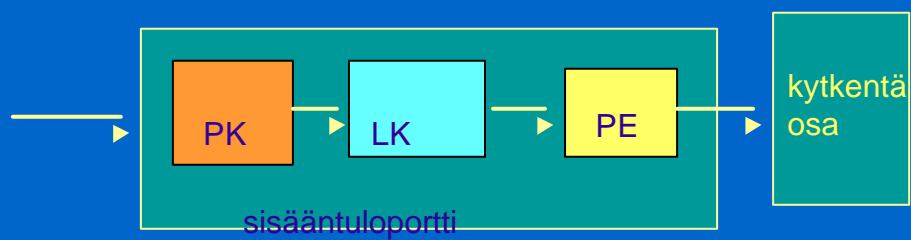
- fyysisen siirtoyhteyden pää

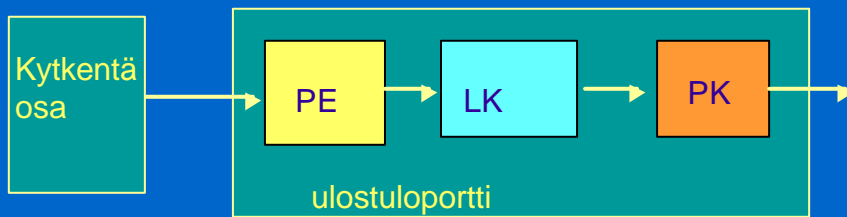
#### – linkkikerroksen toiminnot (LK)

- virhetarkistukset, vuonvalvonta,
- MAC-kerroksen toiminnot

#### – pakettien edelleenohjaaminen (PE)

- datapaketit kytkentäverkoston kautta oikeaan ulostuloportiin
- valvontapaketit (RIP, OSPF, BGP) reititysprosessorille





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

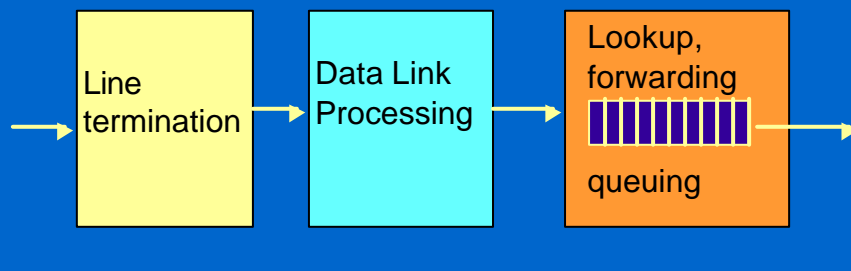
Käytännössä useita portteja on yhdistetty yhdeksi linjakortiksi (line card) reitittimen sisällä.

## • Reititysprosessori

- suorittaa reititysprotokollaa
  - 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 reititystaulusta 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).

- **Etsitään reititystaulusta**

- valitaan pisin sopiva verkko-osa

- **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 reititaulun alkioit puurakenteina

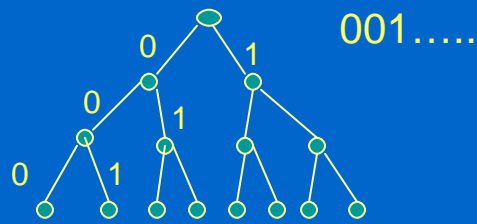
Osoitteen

1. bitti

2. bitti

3. bitti

jne



Kun  $n = 32$  ei ole tarpeeksi nopea nykyisiin runkoreitittimiin!

- content addressable memory (CAM)
- välimuistin käyttö

## Kytkenäosa

### • Kytkenä 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 saant nopeus rajoittaa toimintaa

### • nykyiset reitittimet

- käyttävät linjakortin omia prosessoreita

- **Kytkeä väylän kautta**

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

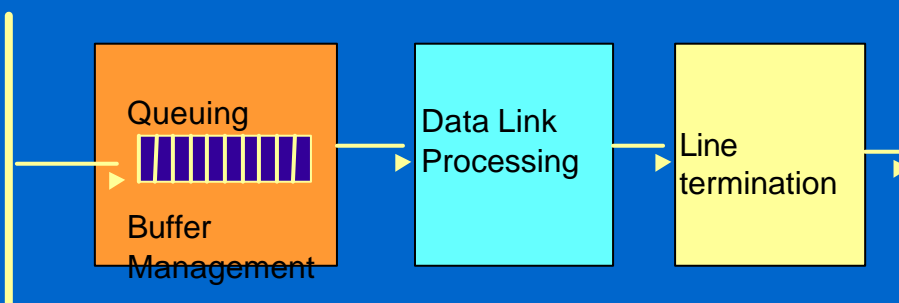
- **Kytkeä kytkentäverkon kautta**

- ristikkäinkytkin (crossbar switch)
- $N \times N$  eli  $2N$  väylää, jotka yhdistävät  $N$  sisääntuloporttia  $N$ :ään ulosmenoporttiin
- voivat tukkeutua => odotusta sisäänmenoportissa
  - Cisco 12000: 64 Gbps

⋮

## Ulosmenoportit

Ulosmenoportti lähettää paketin taas seuraavaan verkkoon

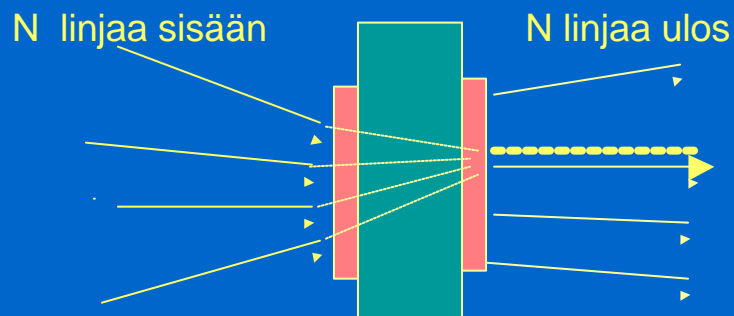


## Jonotus reitittimessä

- **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

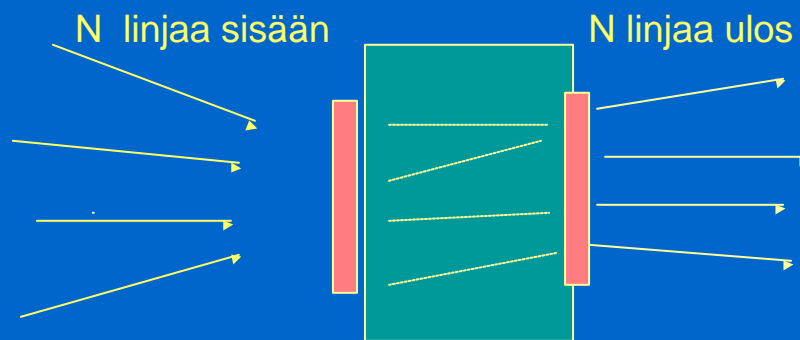
31.1.2001

62



Kytкин toimii riittävällä nopeudella, joten sisääntulossa ei tarvitse jonottaa.

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



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)

## Yleislähetysreititys (Broadcast routing)

- **paketti monelle vastaanottajalle**

- useita kaksipistelähetystyksiä: kaikille oma paketti
- tulvitus
- multidestination routing: kohteet lueteltu paketissa, reititin kopioi kaikkiin tarpeellisiin ulosmenoihin
- virittävä puu (spanning tree)
  - ei silmukoita
  - yhteinen tai jokaiselle oma puu
- reverse path forwarding-algoritmi

31.1.2001 • estimoi virittävää puuta

65



## Reverse path forwarding -algoritmi

- **idea**

- tuliko paketti portista, josta normaalisti lähetetään paketin aloittaneelle solmulle?
  - jos tuli, paketti kopioidaan kaikkiin muihin portteihin
  - jos ei tullut paketti tuhotaan kaksoiskappaleena

- **edut**

- tehokas ja helppo toteuttaa
- ei tarvitse tuntea virittävää puuta
- ei ylim. yleisrasitetta (kohdelista, lisäbittejä)
- tulvitus päättyy itsestään

31.1.2001

66

## Monilähetysreititys (multicast routing)

- **Monilähetysryhmä**

- ryhmäosoite (Luokan D osoite)
- vastaanottajaryhmän hallinta
  - ryhmien muodostus, poistaminen
  - vastaanottajien lisääminen, poistaminen

- **reitittimet tietävät ketkä kuuluvat mihinkin ryhmään**

- **reititin laskee virittävän puun**

- puusta poistetaan linjat, jotka eivät johda ryhmään kuuluviin solmuihin

31.1.2001

67

- skaalautuu huonosti

## Koko ryhmälle yksi puu

- **Vain yksi reitityspuu koko monilähetysryhmälle**
  - pienimmän kustannuksen puun löytäminen NP-täydellinen ongelma (Steiner tree problem)
    - suht.koht. hyviä heuristisia ratkaisuja on
    - ei ole käytössä Internetissä
      - tiedettävä kaikki kaikki linkkikustannukset
      - kustannusten muuttuessa laskettava uudelleen
  - ryhmän keskuksena jokin solmu, johon muut myöhemmin liittyvät

31.1.2001

68

## Jokaiselle lähettäjälle oma puu

- **Tavallisessa reitityksessä jo yleensä lasketaan pienimmän kustannuksen puu lähettäjältä muihin solmuihin**
  - Dijkstra => reititystaulu
- **Reverse path forwarding**
  - “Älä turhaan lähetä tänne” (pruning)
- **paljon puita**
  - N lähettäjä => N puuta
  - reitityksessä käytetty puu valitaan lähettäjän mukaan

31.1.2001

69

## Liikkuvien isäntäkoneiden reititys

- **liikkuva kone (mobile host)**
  - kotiosoite (home address, home location)
  - kotiagentti (home agent)
    - tietää, missä omat liikkuvat ovat
- **kun ilmaantuu vieraalle alueelle, se rekisteröityy**
  - vierasagentti (foreign agent)
    - hoitaa alueelle tulleet vieraat liikkuvat

31.1.2001

70

- vierasagentti ilmoittelee itsestään
  - yleislähetyksiä: ‘minä täällä’
- tai vieras liikkuva kyselee
  - ‘onko täällä vierasagenttia’
- vieras liikkuva ilmoittaa vierasagentille
  - kotiosoitteensa
  - siirtoyhteyserroksen osoitteensa (current data link address)
  - todentamistietoja (authentication information)
- vierasagentti ottaa yhteyden liikkuvan kotiagenttiin
  - ‘liikkuva xyz on nyt täällä’
  - vierasagentin verkko-osoite
  - todentamistietoja

- kotiagentti tarkistaa tiedot
  - mm aikaleima
- ja jos kaikki kunnossa, tallettaa sijaintipaikan
- kun vierasagentti saa kuittauksen kotiagentilta, se merkitsee liikkuvan xyz vieraakseen ja ilmoittaa liikkuvalla rekisteröinnin onnistuneen
  
- Kun paketti lähetetään liikkuvalla, se ohjautuu osoitteen perusteella kotialueelle
- kotiagentti tietää nykyisen sijainnin ja ohjaa paketin sinne
- uusi osoite lähettäjälle?
  - lähettäjä lähettää paketit suoraan ko. vierasagentille välitettäväksi xyz:lle

## IP-protokolla

- **IP-datasähke**

- otsake
- dataosa

- **otsake**

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

## 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

31.1.2001

74

## 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

31.1.2001

75

## IP-otsakkeen kentät jatkuvat

- **Total length**

- koko datasähkeen pituus
- maksimi 65535 tavua
  - maksimipituus vielä riittävä, mutta tulevaisuuden nopeille verkoille jo ongelma

- **Identification**

- tietosähkeen numero
- kaikissa saman tietosähkeen osissa sama tunnus

## IP-otsakkeen kentät jatkuvat

- **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

## 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**

31.1.2001

78

## 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

31.1.2001

- esim. TCP- tai UDP-siirtoon kuuluva

79

## 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-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



## 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

31.1.2001

82

## IPv6

- **CIDR on 'kikkailua', ei ratkaise IP:n perusongelmia**
- **tavoitteita:**
  - biljoonia osoitteita
  - pienempiä reititystauluja
  - yksinkertaisempia protokollia
  - turvallisuutta
  - mukaan palvelutyypin (tosiaikainen), monilähetys
  - liikkuvien koneiden osoitteet
  - jatkokehitys ja nykyisten protokollien toimivuus

31.1.2001

83

## IPv6

- **16 tavun osoitteet**
  - => 'rajaton' määrä osoitteita
- **yksinkertaisempi otsake-kenttä**
  - kiinteä kehys, jossa vain 7 kenttää
- **valinnaisten piirteiden käsittely**
  - monet ennen pakolliset nyt valinnaisia
  - opitioiden uusi esitystapa => nopeampi käsittely
- **turvaus**
  - todentaminen
  - yksityisyys

- **palvelutyyppi otettu paremmin huomioon**
  - multimedia
- **yhteensopiva Internetin protokollien kanssa**
  - osoitteiden koko
  - ei ole yhteensopiva IPv4:n kanssa

## IPv6-otsake

- V = version, P = Priority

V	P	Flow label	
Payload length		Next header	Hop limit
Source address (16 tavua)			
Destination address (16 tavua)			

## Otsakekentät

- **version**
  - aina 6 IPv6:lle ja 4 IPv4:lle
- **priority**
  - 0-7 ruuhkatilanteessa voi hidastaa
  - 8-15 tosiaikapaketteja (video/audio)
  - isompi numero, tärkeämpi paketti
- **flow label**
  - pseudoyhteys, jolla tietyt ominaisuudet ja vaatimukset (esim. viive, viipeen vaihtelu jne)
  - vuot muodostetaan etukäteen ja niille annetaan tunnus: lähde- ja kohdeosoite ja vuonumero

- **payload length**
  - paketin koko (ilman otsaketta)
- **next header**
  - otsikon laajentaminen
  - 6 otsikon laajennusosaa
  - viimeisessä kertoo kuljetusprotokollan (TCP, UDP)
- **hop limit**
  - hyppylaskuri, vähenee joka hypyllä
- **source address, destination address**
  - 16 tavun osoitteita

## IPv6: osoiteavaruus

- **jaettu osiin**
  - osa IPv4-osoitteille
- **palveluntuottajapohjainen osa**
  - Internet-palvelujen tuottajille oma osuus osoitteista
  - noin 16 miljoonaa tuottajaa
- **maantieteellinen osa**
  - vastaa nykyistä Internetiä

- 
- 
- 

## • monilähetysosoitteet

- lippukentän bitti: pysyvä vai tilapäinen ryhmä
- scope-kenttä rajoittaa monilähetysten
  - linkkiin
  - solmuun
  - yritykseen
  - planeettaan

## • anycast

- osoitteena ryhmä,
- riittää lähettää jollekin ryhmän jäsenelle

31.1.2001

90

- 
- 
- 

## Osoitteen esitysmuoto

### • kahdeksan neljän heksaluvun ryhmää:

**8000:0000:0000:0000:0123:4567:89AB:CDEF**

- alkunollan voi jättää pois
- 16 nollan ryhmät voi korvata kaksoispisteellä

=>

**8000::123:4567:89AB:CDEF**

31.1.2001

91

- 
- 
- 

## • osoitteita on PALJON!

$$2^{128} \Rightarrow \sim 3 \cdot 10^{38}$$

- tasaisesti jaettuna noin  $7 \cdot 10^{23}$  IP-osoitetta jokaista maapallon pinnan neliometriä kohden
- vaikka jako olisi epätasaisempi, ainakin yli 1000 IP-osoitetta neliometriä kohden

- 
- 
- 

## IPv4:n kentistä puuttuvat

- **paketin paloitteluun liittyvät kentät**

- kaikki kykenevät käsittelemään ainakin 576 tavun paketteja
- lähettäjä huolehtii, että paketti on riittävän pieni
  - reititin ilmoittaa virheestä, jos se havaitsee liian suuren paketin => ohjeet pilkkoa paketti pienemmäksi

- **tarkistussumma**

- ei lasketa verkkokerroksella
  - luotettavimmat verkot

## laajennusotsikot (extension header)

- **kiinteän otsikon perässä**

- **hop-by-hop options**: tietoja reitittimille
- **routing**: vaadittu reitti tai reitin osa
- **fragmentation**: paloittelu IPv4:n mukaisesti
- **authentication**: lähettäjän identiteetin varmistaminen
- **encrypted security payload**: salakirjoittuja paketteja varten

31.1.2001 **destination options**: lisätietoja vastaanottajalle<sub>94</sub>

## perusrakenne:

- **type**

- mikä optio
- mitä reititin tekee, jos ei osaa käsitellä
  - skip option
  - discard packet
  - inform sender

- **length**

- valueosan pituus 0-255 tavua

- **value**

31.1.2001

95