



Luento 4: Sovelluskerros nimipalvelu (DNS), tiedostonsiirto sähköposti, vertaisverkot (P2P)

8.11.2012

Tiina Niklander

Kurose&Ross
Ch2

Pääasiallisesti kuvien
© J.F Kurose and K.W. Ross,
All Rights Reserved

Luennon sisältöä

Lähettäjä (sender)

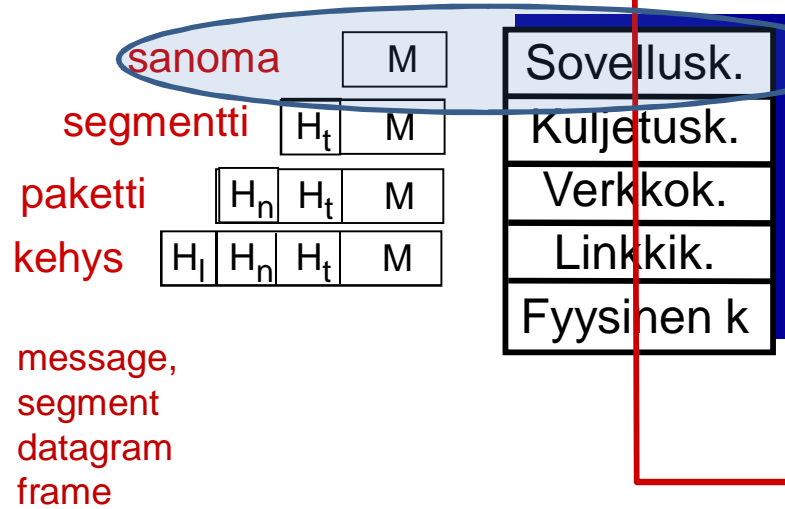
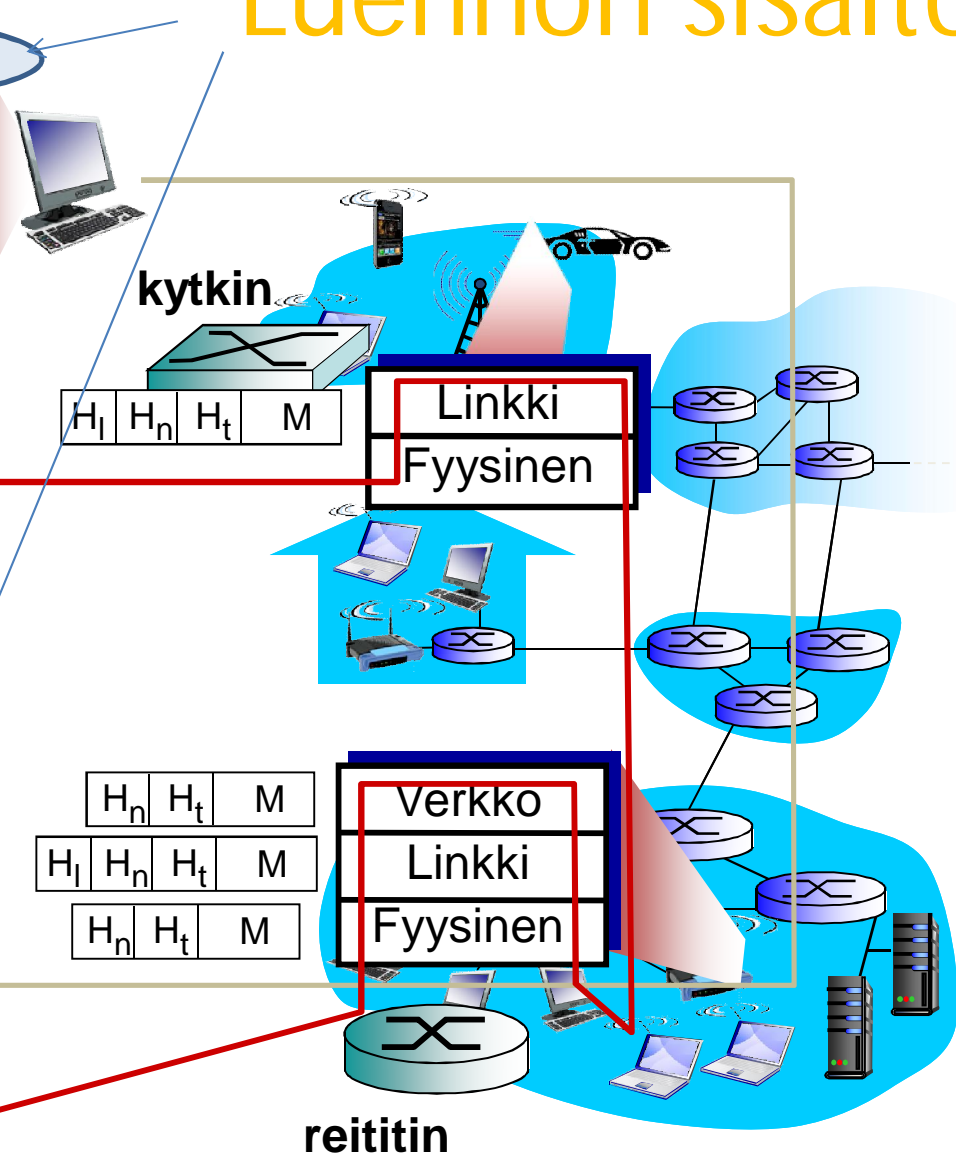
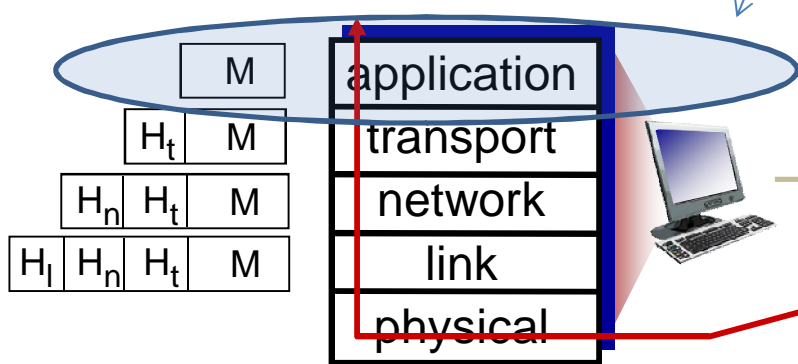


Fig 1.24 [KR12]

Vastaanottaja (recipient)





Verkkosovelluksia, sovellusprotokollia

Internetin nimipalvelu DNS



Domain Name System (DNS)

Hakemistopalvelu ja sovelluskerroksen protokolla

- Isäntäkoneet ja nimipalvelimet käyttävät
- Käyttää UDP-kuljetuspalvelua DNS-sanomien kuljettamiseen

Hajautettu, hierarkinen tietokanta (hakemisto)

- Toteutettu useiden replikoitujen nimipalvelimien yhteistyönä
- skaalautuvuus, kuormantasaus, ylläpito, vikasietoisuus, ..
- Jos oma nimipalvelija ei tunne, se kysyy muilta.

Nimien muuttaminen IP-osoitteiksi (ja päinvastoin)

- POSIX: gethostbyname

```
gethostbyname (hydra.cs.helsinki.fi)  
218.214.4.29
```

- Kone = hydra =29, verkko= cs.helsinki.fi = **218.214.4.0**

Sallii aliasnimet, palvelijan replikoinnin/toisintamisen

- Esim. WWW.cs.helsinki.fi ja cs.helsinki.fi ovat aliasnimiä
- Esim. www-palvelijaan voi liittyä useita IP-osoitteita, rotaatio



DNS historiaa

Ennen 1983

Jokaisessa verkon koneessa HOSTS.TXT tiedosto, jossa verkkotunniste ja sitä vastaava IP-osoite

Tiedot haettiin SRI-yrityksen yhdeltä koneelta

HOSTS.TXT edelleen käytössä (staattisia asetuksia)

1983

DNS käyttöönotto

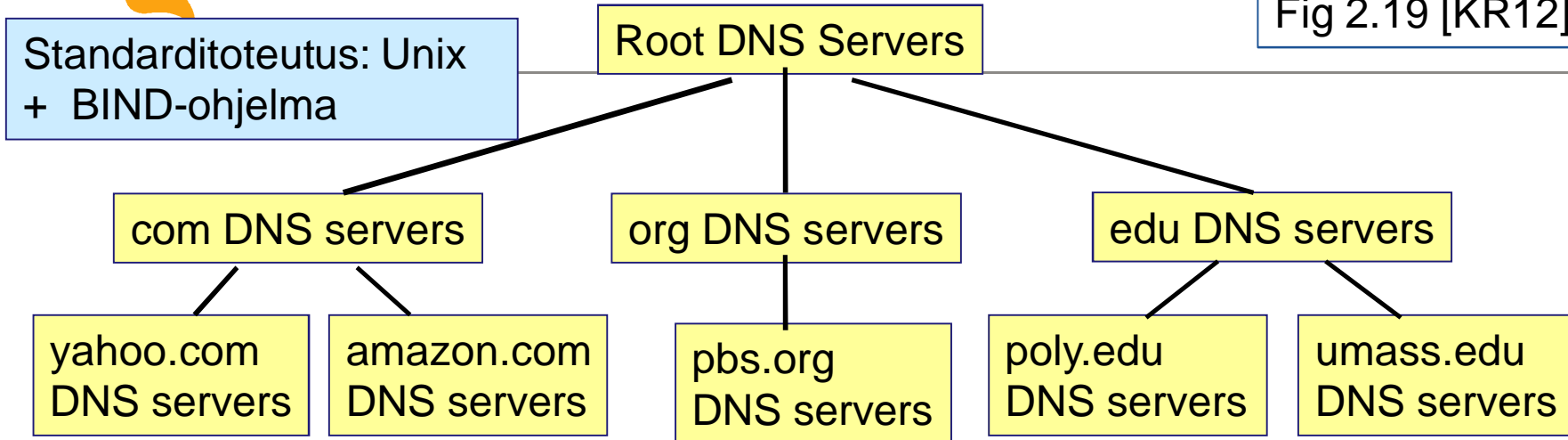
Berkeley BIND toteutus

Myöhempiä laajennuksia: päivitys, replikointi, kansainväliset merkistöt, tietoturva



Hajautettu, hierarkinen tietokanta

Fig 2.19 [KR12]



13 juuritason nimipalvelijaa: Replikoituja, kaikilla samat tiedot

- Internet Assigned Numbers Authority (IANA)
- Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN)

Ylätason palvelimet maa- ja yleistunnuksille (n. 265 kpl)

- ..., fi, fr, uk, ... edu, net, com, org, ... (Viestintävirasto myöntää fi)

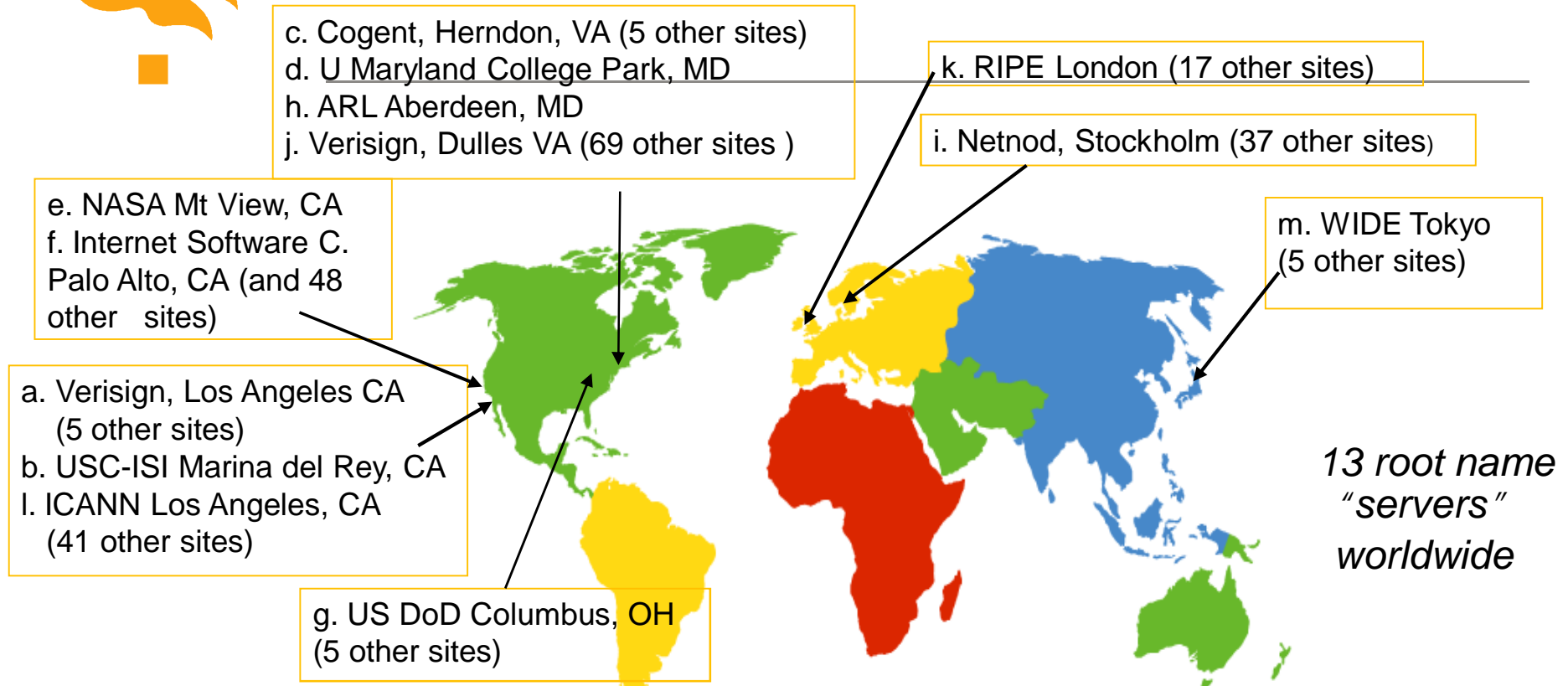
Autorisoidut aluepalvelimet (domain) (2-taso)

- Isoilla yliopistoilla ja firmoilla omansa, pienet käyttävät jonkun muun ylläpitämää aluepalvelinta



Juuripalvelimet (2012)

Fig 2.20 [KR12]



13 root name "servers" worldwide

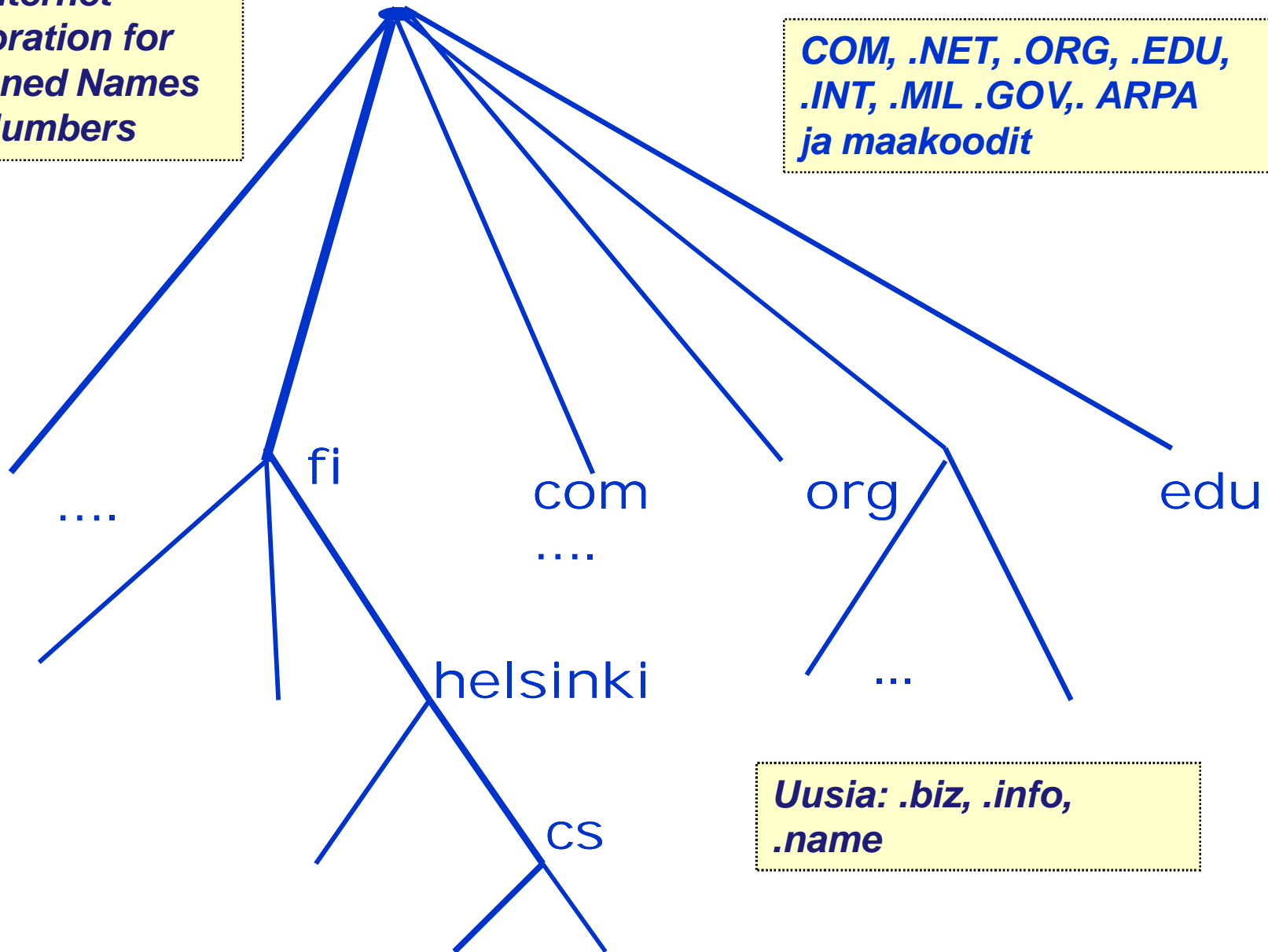
Juuripalvelimet tietävät, mikä ylätasoin palvelin on vastuussa maa- ja yleistunnuksesta.
Ylätasoin palvelimet tuntevat omat aluepalvelimensa.
Aluepalvelimet tuntevat juuripalvelijan.
Koneen oma palvelija on merkitty koneen asetustietoihin.

ICANN

The Internet Corporation for Assigned Names and Numbers

Domain -nimiavaruus

COM, .NET, .ORG, .EDU, .INT, .MIL .GOV, .ARPA ja maakoodit



Uusia: .biz, .info, .name



DNS-nimiavaruuden vyöhykejako

DNS-nimiavaruus jaettu vyöhykkeisiin (zone)

kukin vyöhyke kattaa osan nimipuusta

vyöhykkeellä on yksi siitä vastaava nimipalvelija (primary)
ja yksi tai useita apunimipalvelijoita (secondary)

Vyöhykejako on hallinnollinen

tarpeen mukaan nimipalvelijoita vastaamaan omasta
alueestaan



IP-nimen selvittäminen

- **Sovellusohjelma** kutsuu kirjastorutiinia parametrina nimi merkkijonona
 - esim Unix:ssa `gethostbyname()`
- **Kirjastorutiini** lähettää UDP-datasähkeen paikalliselle DNS-palvelimelle
- **Paikallinen nimipalvelin** etsii nimeä vastaavan IP-osoitteen ja palauttaa sen kirjastorutiinille
 - etsinnässä tarvitaan usein monien palvelimien yhteistyötä
 - Iteratiivinen kysely / rekursiivinen kysely
 - Välimuistin käyttö



Iteratiivinen kysely: "kerro keneltä pitää kysyä?"

Fig 2.21 [KR12]

Mikä on `gaia.cs.umass.edu`:n IP-numero?

Isäntäkone

Kysy omalta aluepalvelijalta

Aluepalvelija (**poly**) (1)

Ratkaise isäntäkoneen puolesta

Juuripalvelin (3)

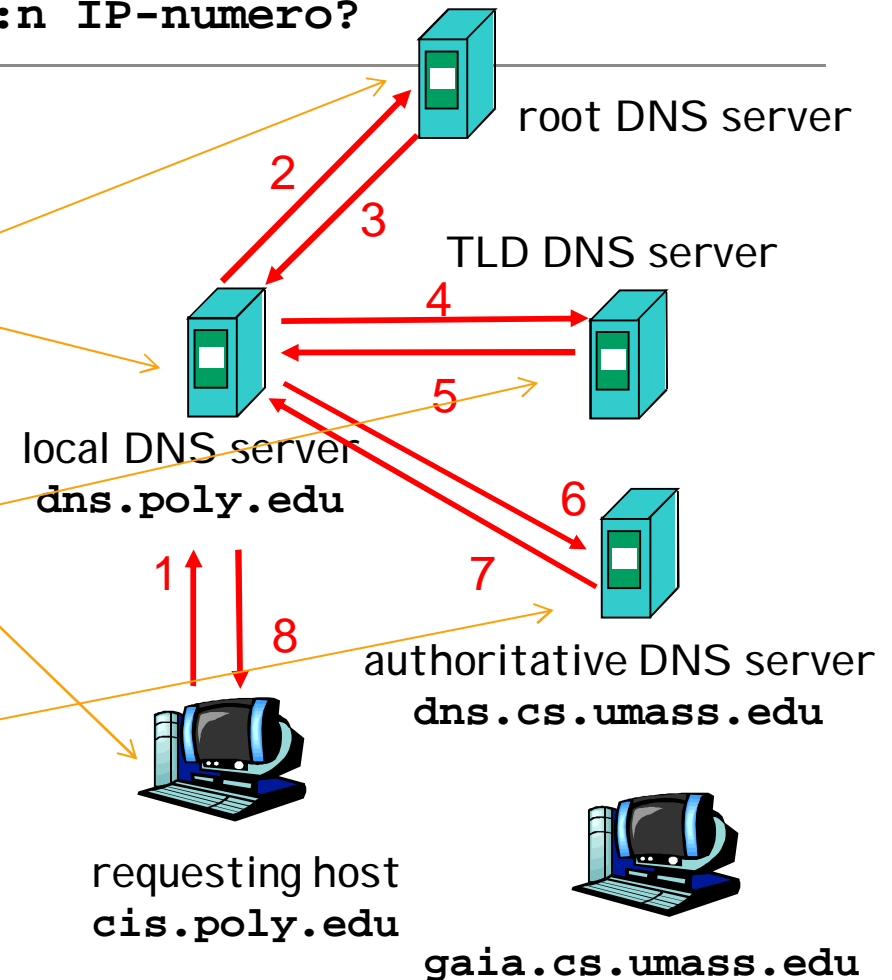
Kerro, mistä löytyy ylätason palvelin **edu**-tunnuksille

Ylätason palvelin (**edu**) (4, 5)

Kerro, mistä löytyy aluepalvelija **umass.edu**-tunnuksille

Aluepalvelija (6,7)

Tuntee **cs**-verkon koneet.
Kerro koneen IP-osoite





Rekursiivinen kysely: "kysy muilta, jos et itse tiedä"

Mikä on `gaia.cs.umass.edu:n` IP-numero?

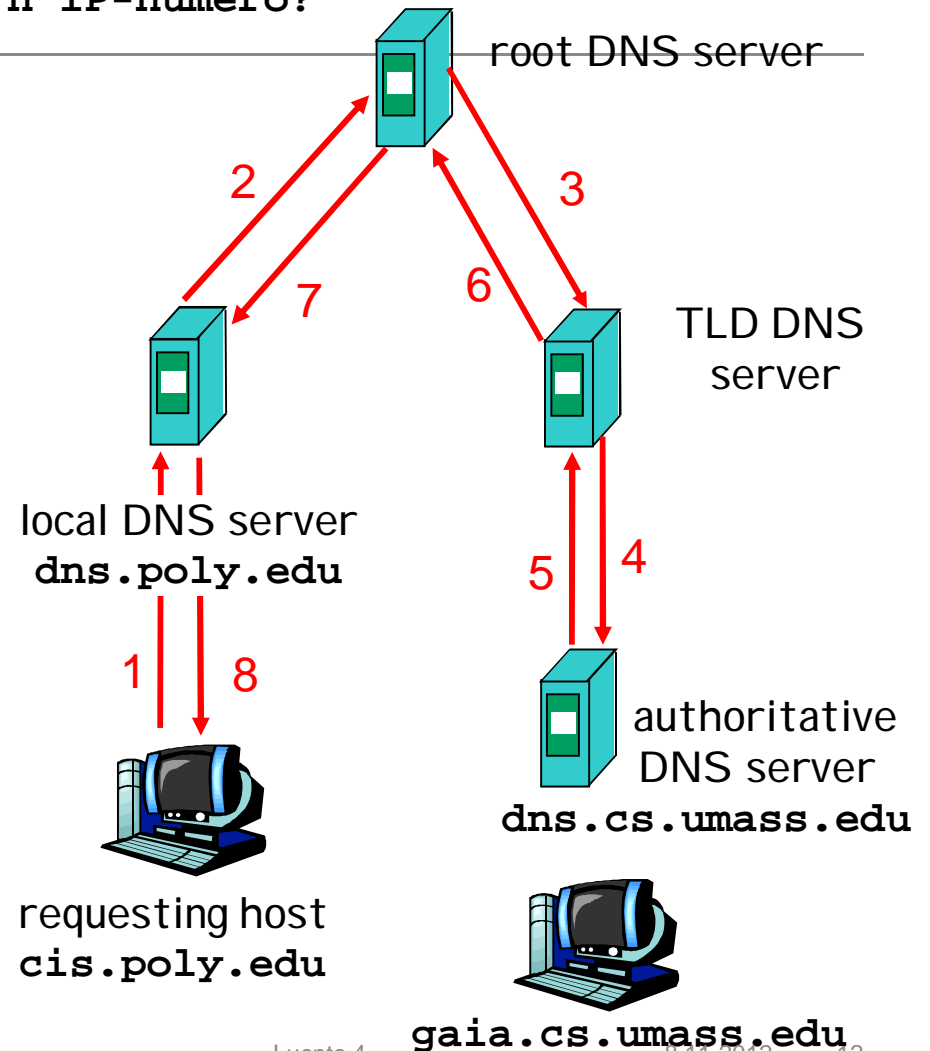
Ratkaise kysyjän puolesta koko ongelma

- vastaa jos tiedät
- kysy edelleen jos et tiedä

Juuripalvelimen suorituskyky, kun paljon kyselyitä?

Iteratiivinen on tavallisempi malli, mutta kumpikin tapa sallittu

Fig 2.22 [KR12]





DNS-välimuisti (DNS caching)

- Suorituskyvyn parantamiseksi nimipalvelijat varastoivat välimuistiinsa näkemiään DNS-resurssitietueita.
- Ei tarvitse aina hakea uudestaan
 - Kuormittaa vähemmän ylemmän tason nimipalvelimia
 - Nopeuttaa tavallisimpia kyselyjä: löytyy läheltä
- Tiedon oikeellisuus
 - Tietueelle määrätty elinaika (TTL, time to live) kertoo voimassaoloajan (yleensä muutama päivä)
 - Kun umpeutuu, tieto poistetaan.
 - Yleensä muutokset paikallisia:
 - koneen lisäys, koneen poisto, joskus uusi verkko



DNS- resurssitietue (resource records, RR)

Resurssitietueen kentät ovat **(nimi, arvo, tyyppi, elinaika)**

Tyyppi määrää nimen ja arvon merkityksen:

Tyyppi = A (host address)

nimi = koneen nimi, arvo = IP-osoite

esim: (relay1.bar.foo.com, 145.37.3.126, A, TTL)

Tyyppi = NS (name server)

nimi = aluenimi (domain), arvo = autorisoidun palvelimen nimi

esim: (foo.com, ds.foo.com, NS, TTL)

Tyyppi = CNAME (canonical name)

nimi = koneen aliasnimi, arvo= kanoninen, oikea konenimi

esim: (foo.com, relay1.bar.foo.com, CNAME, TTL)

Tyyppi = MX (mail exchange)

nimi = koneen aliasnimi, arvo = postipalvelimen kanoninen nimi

esim: (foo.com, mail.bar.com, MX, TTL)



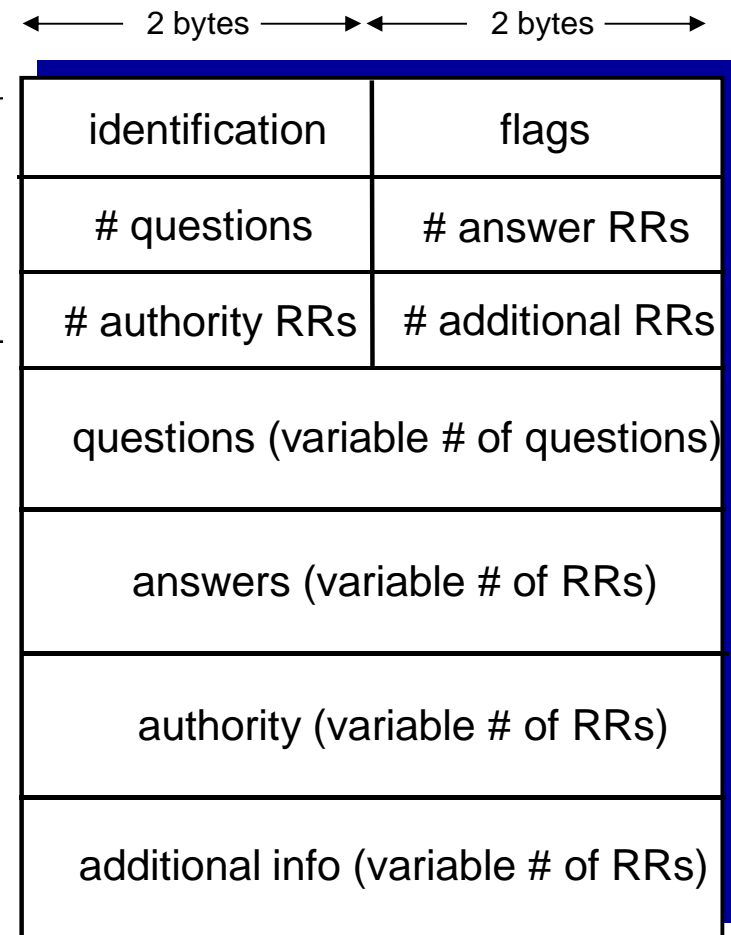
DNS-sanoma

Fig 2.23 [KR12]

Kysely ja vastaus käyttävät samaa formaattia

Sanoman otsake (header)

- Identification-kenttä
 - Kyselyn tunniste (16-bittinen numero), vastauksessa sama numero => kysely ja vastaus helposti yhdistettävissä toisiinsa.
- Lipukkeet (flags)
 - Pyyntö vai vastaus
 - Käytä rekursiivista kyselyä
 - Rekursiivinen kysely mahdollista
 - Vastaus tulee suoraan autorisoidulta palvelijalta





DNS-sanoma

Fig 2.23 [KR12]

Kyselystä voi generoitua vastaus, jossa on useita resurssitietueita

- Esim. Palvelijafarmien kuormantasaaminen:

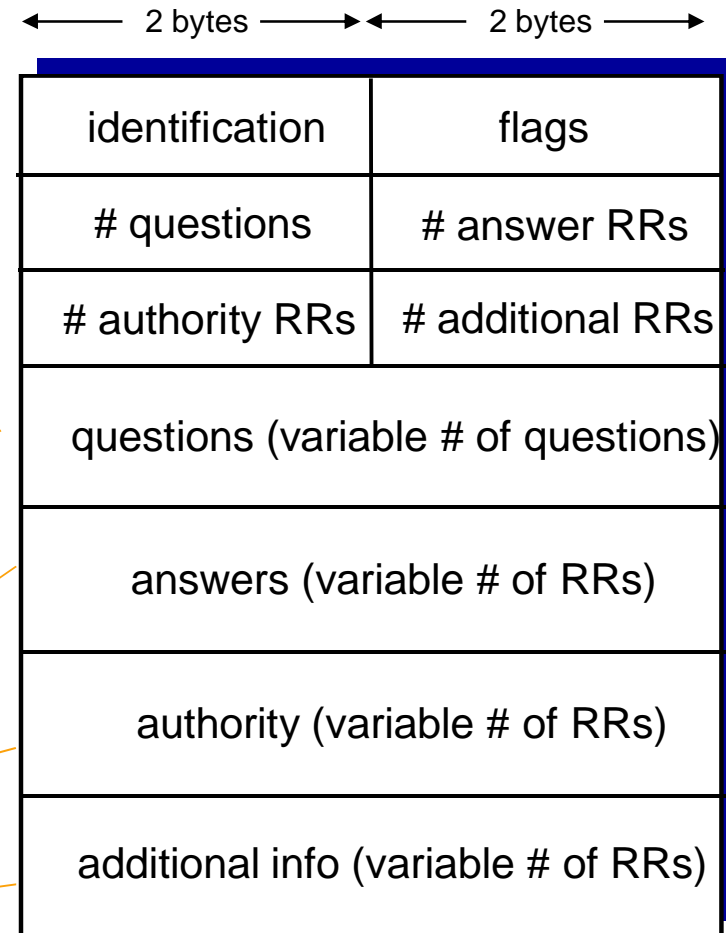
vastauksessa on useita IP-osoitteita (rotaatio)

Kyselyalueella etsittävän nimi ja tyyppi

Vastausalueella (useita) resurssitietueita, jotka liittyvät kysytyyn nimeen

Tietuita muihin autorisoiuihin palvelijoihin

Ylim. hyödyllisiä resurssitietuita





Hyökkäyksiä nimipalvelua vastaan tai käyttäen

DDoS-hyökkäys (Distributed Denial of Service)

osoitekyselyjä juuripalvelimille

- Ei onnistu enää. (v. 2002 yritys ICMP-datagrammeilla)
- Paikalliset DNS-välimuistit tallettavat ylätasoon palvelimien osoitteet, eikä kyselyjä lähetetä enää juuripalvelimelle

Hyökkäys ylätasoon (TLD) nimipalvelijoita vastaan voisi olla vaarallisempi

Uudelleenohjaus (Redirect)

Man-in-middle

Ohjaa kyselyt toisaalle

DNS myrkytys (poisoning)

Syötä väärää tietoa DNS-palvelimen välimuistiin

DNS:n käyttö DDoS-hyökkäyksessä tiettyä palvelintä vastaan

Houkuttele DNS-palvelimet kysymään tietoa ko. palvelimelta

Järkevä vain jos oma viesti DNS-palvelimelle pienempi kuin palvelimen viesti kohteelle (ns. Amplification)

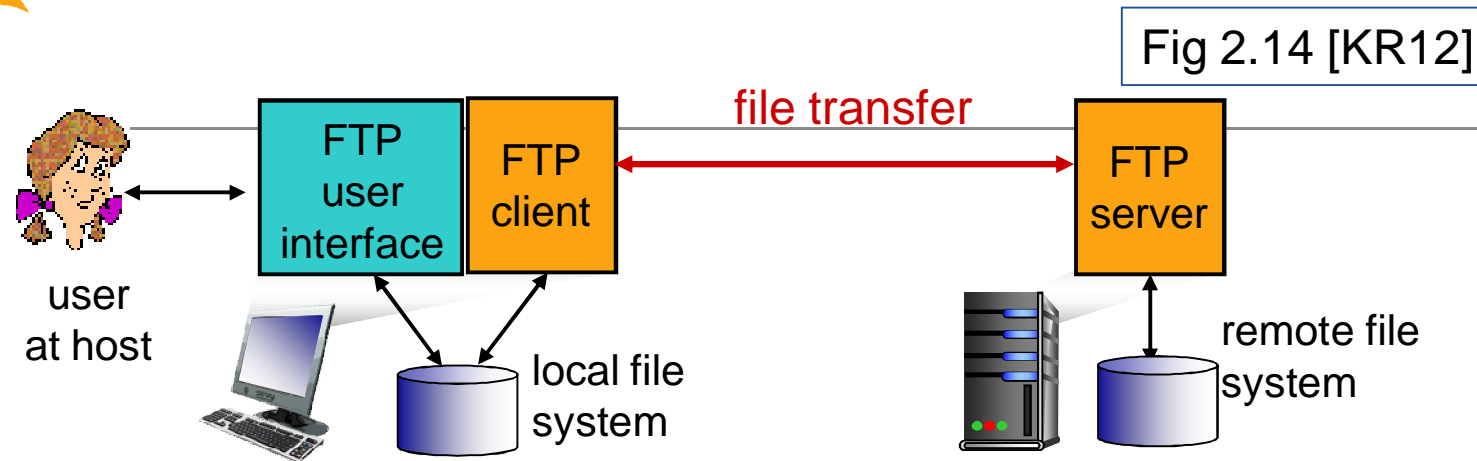


Verkkosovelluksia, sovellusprotokollia

Tiedostonsiirto FTP



FTP file transfer protocol (RFC 959)



Tiedostojen kopioiminen koneelta koneelle

- Asiakas voi selata etäkoneen hakemistoissa FTP-sanomilla, voi noutaa tai tallettaa haluamansa tiedoston (download/upload)

Aktiivimoodi: Asiakas vastaanottaa palvelimen pyynnön

- Ei toimi palomuurien ja NAT laitteiden kanssa

Passiivimoodi (PASV-komento): Asiakas ottaa yhteyttä palvelimelta juuri pyytämäänsä IP-osoitteeseen ja porttiin, palvelin lähettää tai vastaanottaa tiedoston



FTP: eri yhteydet hallinnalle ja tiedostojen siirrolle

Katso fig 2.15 [KR12]

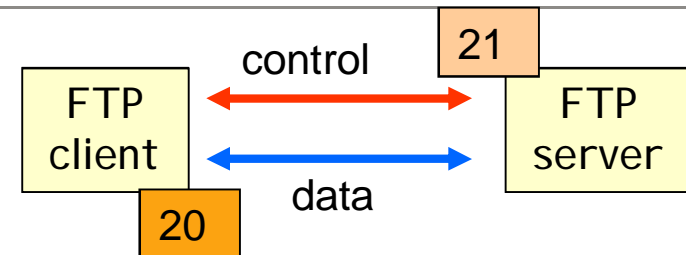
FTP-palvelin kuuntelee porttia 21
yhteys kontrollitiedon välitystä varten

Asiakas kuuntelee porttia 20
palvelija avaa tiedoston siirtoa varten

FTP-palvelin **ylläpitää tilatietoa**
mm. työhakemiston polku, autentikointi

FTP asiakas ottaa yhteyttä palvelimen porttiin 21

käyttöoikeuksien tarkistus
hakemistojen selailu ja kaikki muutkin
asiakkaan pyynnöt tällä yhteydellä



2 TCP-yhteyttä

Aktiivimoodissa:

Kun palvelin saa tiedostonlatauspyynnön, se avaa toisen rinnakkaisen yhteyden asiakkaaseen tiedoston siirtoa varten.

Siirron jälkeen palvelin sulkee yhteyden. Uudelle tiedostolle avataan taas uusi yhteys.



FTP-pyyntöjä ja -vastauksia

Kaikki sanomat ASCII-muodossa, binääritila tiedostoille

Asiakkaan pyyntöjä:

USER *username*
PASS *password*
LIST tiedostoluettelo
RETR *filename*
nouda tiedosto
STOR *filename* stores
talleta tiedosto

Palvelimen vastauksia:

331 Username OK,
password required
125 data
connection already
open; transfer
starting
425 Can't open
data connection
452 Error writing
file



Verkkosovelluksia, sovellusprotokollia

Sähköposti SMTP, IMAP, POP3



Sähköpostin komponentit

Postiohjelma (user agent)

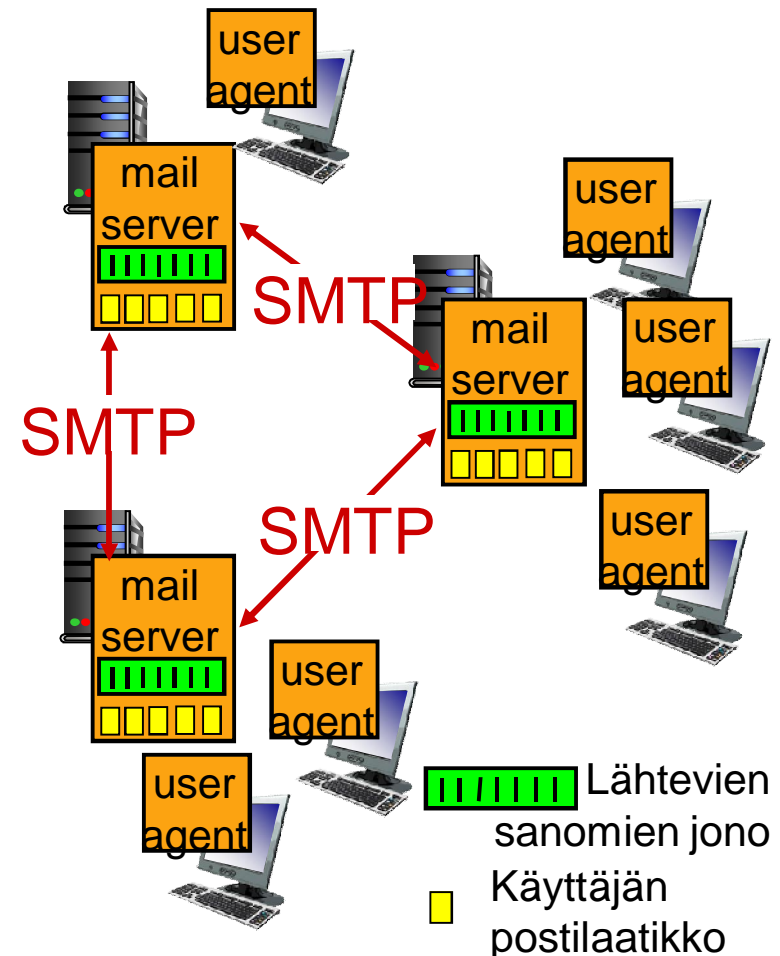
- Postin lukeminen ja lähettäminen
- Eudora, Outlook, elm, pine, Messenger, Pegasus, Kmail, ...
- Posti talletettuna omalle postipalvelimelle

Postipalvelin (mail server)

- Kullakin käyttäjällä on oma saapuvien postien laatikko
- Yhteinen lähtevien postien laatikko

Postiprotokolla SMTP

- Protokolla, jolla postipalvelin välittää postin suoraan vastaanottajan postipalvelimelle

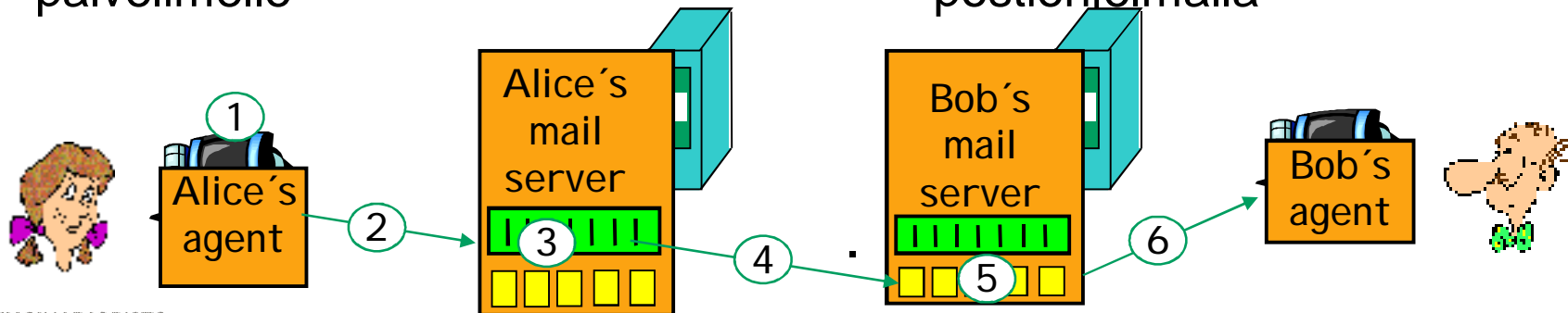




Esimerkki: Alice Bobille

Fig 2.17 [KR12]

1. Alice kirjoittaa viestin postiohjelmalla: "to:"
`bob@some school.edu`
2. Alicen postiohjelma lähettää viestin omalle postipalvelimelle
3. Alicen postipalvelin avaa TCP-yhteyden Bobin postipalvelimelle
4. Alicen postipalvelin siirtää viestin SMTP-protokollalla Bobin postipalvelimelle käyttäen TCP-yhteyttä
5. Bobin postipalvelin laittaa viestin Bobin postilaatikkoon
6. Bob lukee viestin omalla postiohjelmalla





SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) (RFC 821)

Postipalvelimet kuuntelevat porttia 25

Asiakas muodostaa säilyvän TCP-yhteyden palvelimeen

- luotettava
- yksi yhteys: lähetetään kaikki samalle palvelimelle menevät viestit

Lähetyksessä: Kättely, Viestien välitys, Lopetus

Pyyntö-vastaus-protokolla

- Pyyntö: ASCII-tekstiä
- Vastaus: status-koodi ja fraasi tekstinä



Push-protokolla: työntää tietoa vastapäähän

vrt. HTTP on ns. pull-protokolla

SMTP esimerkki

S: 220 helsinki.fi
■ C: HELO princeton.edu
S: 250 Hello princeton.edu

SMTP:n
kättely

C: MAIL FROM: <Bob@princeton.edu>
S: 250 <Bob@princeton.edu> OK
C: RCPT TO: <pekka.puupaa@cs.helsinki.fi>
S: 250 <pekka.puupaa@cs.helsinki.fi> OK
C: DATA
S: 354 Enter mail, end with "." on a line by itself
C: dataa ... dataa
C: dataa ... dataa
C: .
S: 250 Message accepted for delivery

Viesti(t)

C: QUIT
S: 221 princeton.edu closing connection

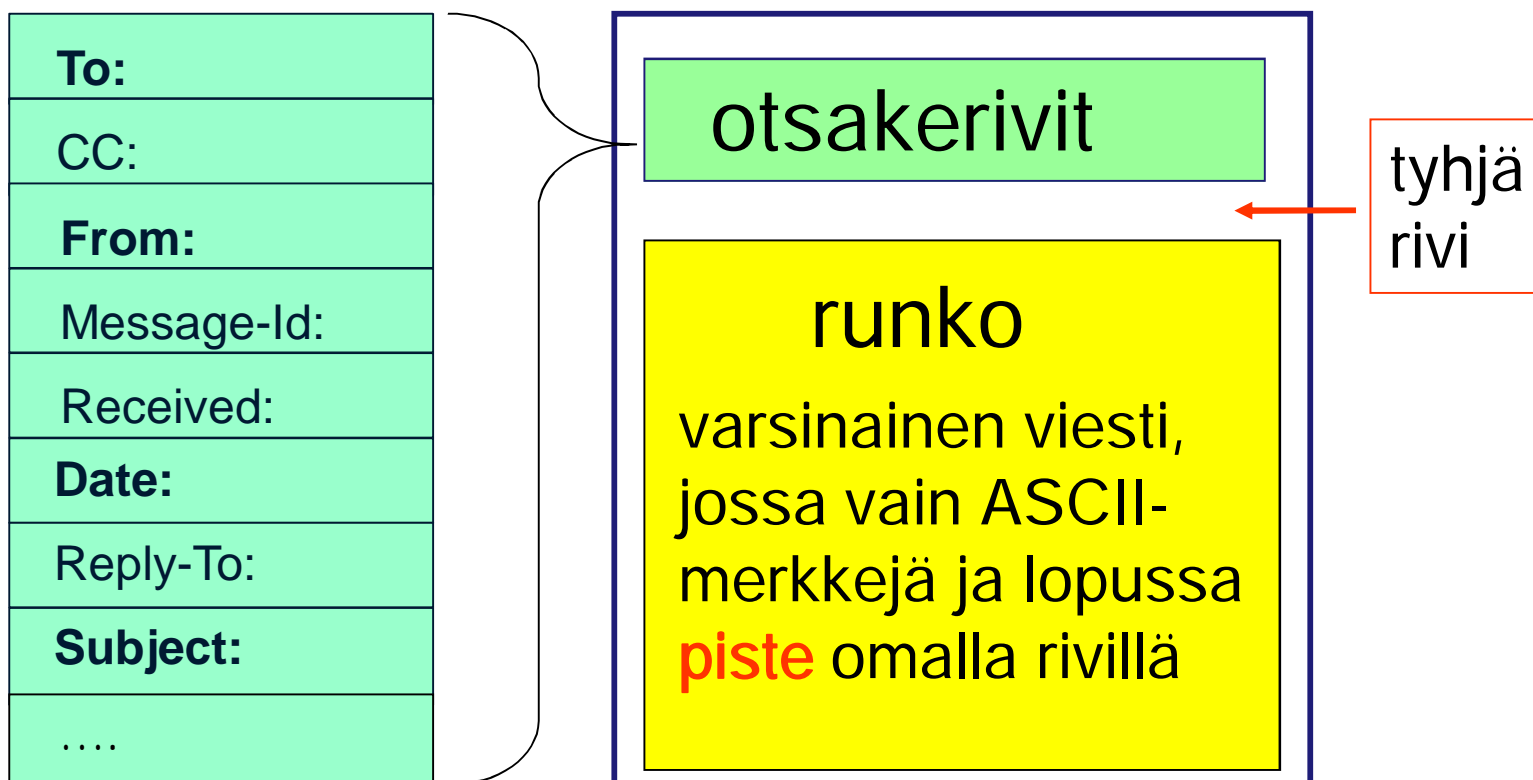
SMTP:n
lopetus



Sähköpostiviestin rakenne

Eri asia kuin SMTP: eri standardit (RFC 822)

Esim.





SMTP:n rajoitteita

Kaikki esitettävä 7-bittisenä ASCII:na

= IRA, International Reference Alphabet

Myös binääridata, esim. kuvat ja ääni

Yksittäinen viesti loppuu omalla rivillä olevaan pisteeseen

eli lopussa ASCII-merkit: **CRLF.CRLF**

CR = carriage return

LF = line feed

Vanha protokolla!

Binääridata on koodattava s.e. siinä ei esiinny **CRLF.CRLF**

MIME-laajennus

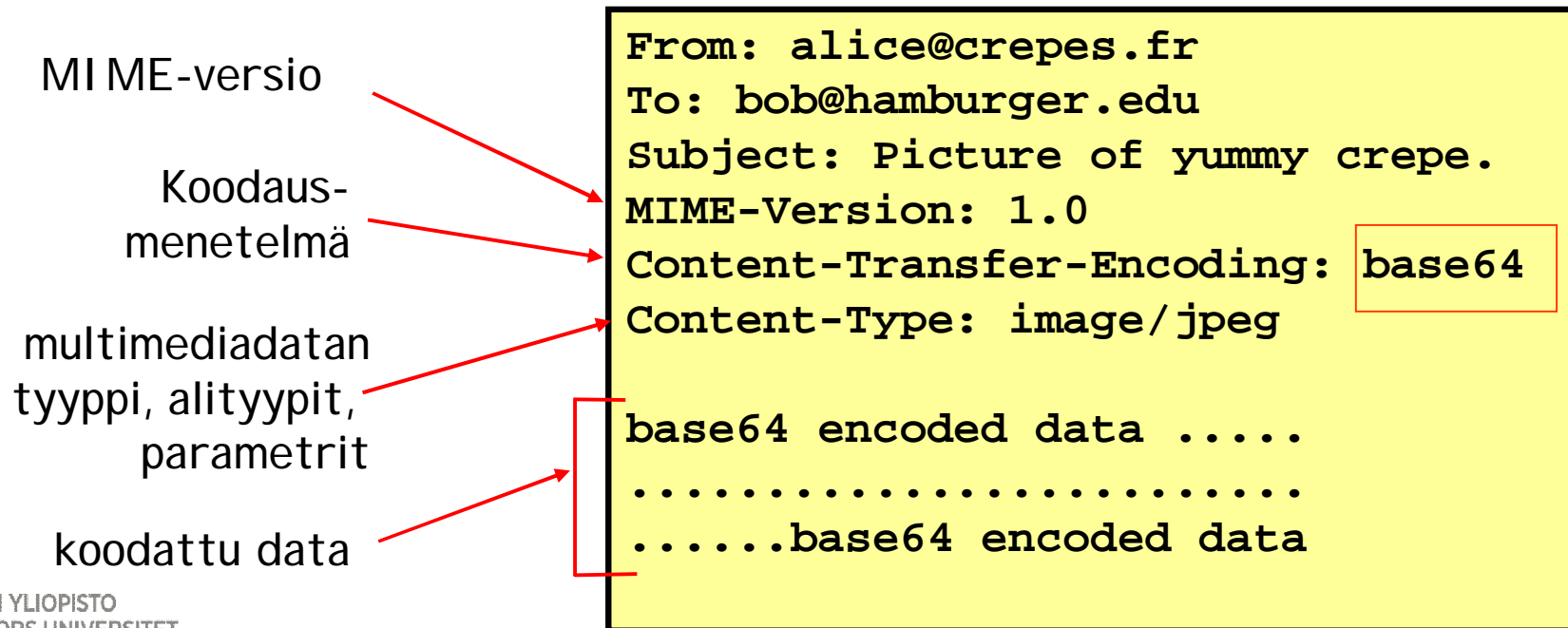
Multipurpose Internet Mail Extensions



MIME (Multipurpose Internet Mail Extension) (RFC 2045, 2056)

Kaikki on koodattava 7-bittiseksi ASCII-koodiksi

Lisää kenttiä otsakkeeseen: vastaanottajan postiohjelma osaa käynnistää oikean sovelluksen viestin näyttämiseksi.





MIME

MIME-sisältötyyppejä

text/plain; charset=us-ascii
text/html
image/gif, image/jpeg,
video/mpeg
application/postscript
application/msword
application/octetstream
multipart/mixed

MIME-versio:

Content-Transfer-
Encoding: - - - -

Content-Type:

Base-64-koodaus

Sanoman 24 bitin ryhmät on jaettu 6 bitin osiksi,
jotka kukin on koodattu ASCII-merkiksi, 64 eri vaihtoehtoa



Moniosainen MIME-viesti

...
Content-Type: multipart/mixed; **Boundary=StartOfNextPart**

- - **StartOfNextPart**

Hei Allu,

sinulle kaunis kuva kissastani Villestä.

- - **StartOfNextPart**

Content-Transfer-Encoding: base64

Content-Type: image/jpeg

base64 encoded data

.....

.....base64 encoded data

- - **StartOfNextPart**

Haluatko muita kuvia!

.

Nykyisin yleensä
linkki www-sivulle,
josta kuvan voi
hakea!



Postinnoutoprotokollat

(mail access protocols)

Koska SMTP on 'PUSH'-protokolla, sitä ei voi käyttää sanomia haattaessa ('PULL').

Posti omalta postipalvelimelta postiohjelmaan

POP3: Post Office Protocol versio 3

Viestien lataamiseen omalle koneelle, ei postikansioita

IMAP: Internet Mail Access Protocol

Monipuolisempi: postikansiot (folders), lataa vain otsikot, viestien säilytys postipalvelimelle

HTTP: Esim. TKTL:lla käytettävä IlohaMail, Hotmail, ...

Web-palvelija käyttää IMAP-palvelijaa

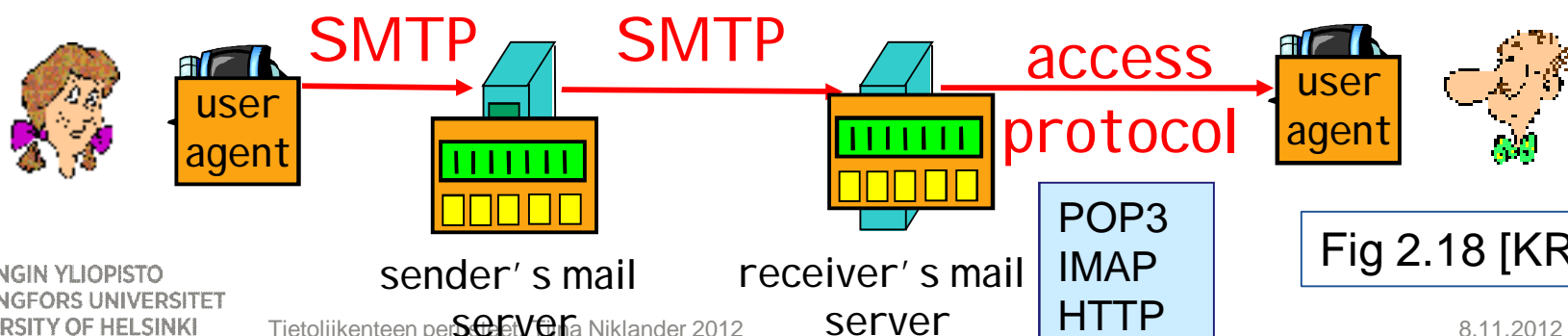


Fig 2.18 [KR12]



ESMTP

(Extended Simple Mail Transfer Protocol) RFC 2821
(uusin versio RFC 5321 (lokakuu 2008))

Runsaasti laajennoksia jo 1995 (RFC 1868)

- * 8BITMIME — 8 bit data transmission, RFC 1652
- * ATRN — Authenticated Turn, RFC 2645
- * SMTP-AUTH — Authenticated SMTP, RFC 2554
- * CHUNKING — Chunking, RFC 3030
- * DSN — Delivery status notification, RFC 1891
- * ETRN — Extended Turn, RFC 1985
- * HELP — Supply helpful information, RFC 821
- * PIPELINING — Command pipelining, RFC 2920
- * SIZE — Message size declaration, RFC 1870
- * STARTTLS — Transport layer security, RFC 3207

EHLO aloittaa



Verkkosovelluksia, sovellusprotokollia

Vertaistoimijat peer-to-peer



Vertaistoimijaverkko

Fig 2.2b [KR12]

**Kone on satunnaisesti
Internetissä (no always-on)**

IP-osoitekin voi vaihdella kerrasta
toiseen

Kukin kone sekä palvelija että
asiakas!

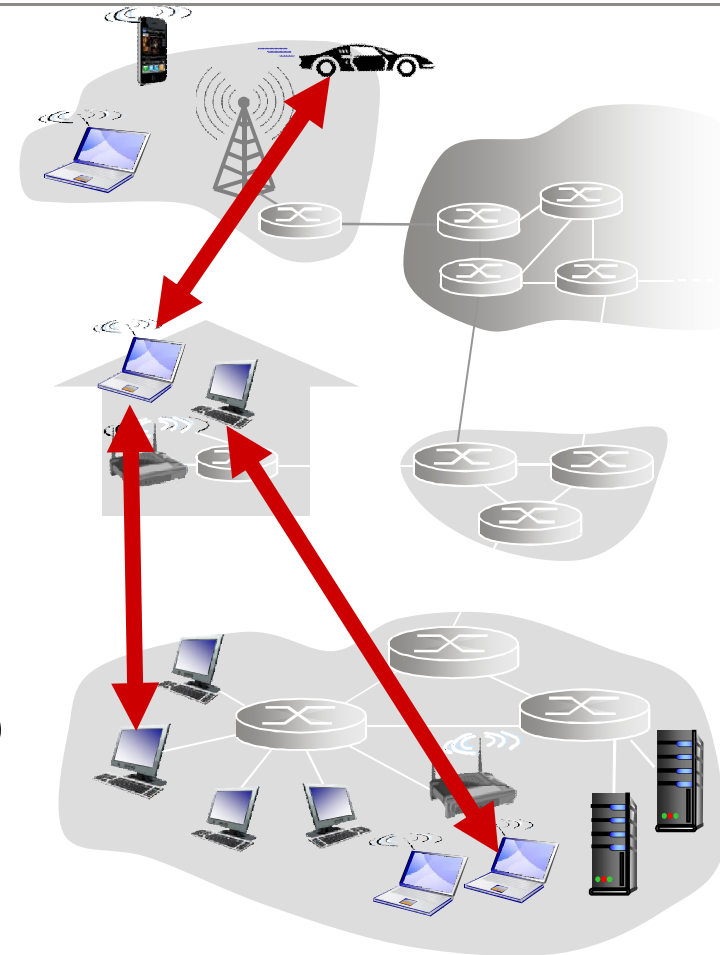
Skaalautuvuus, kuormantasaus

Esimerkkejä:

Tiedostojen jakaminen (BitTorrent)

Multimedia, kuten IPTV (KanKan)

VoIP (Skype)





Vertaistoimijat: tiedoston jakaminen

Isäntäkoneet asiakkaan ja palvelijan roolissa

Jaetaan uusi versio käyttöjärjestelmästä, korjaustiedosto ohjelmaan, MP3-tiedostoja, videoleikkeitä, ...

Jokainen vertainen voi toimia jakelijana

BitTorrent-liikenne jo
30% Internetin koko
liikenteestä?

Miten löytää vertaistoimija(t)?

Keskitetty hakemisto: kiinteä IP-osoite, josta voi kysellä

Kyselyn tulvitus: kysellään potentiaalisilta toimijoilta

Hiukan keskitetty hakemistopalvelu, joka tekee jatkokyselyt

Kun kohde löytynyt, kopiointi suoraan sieltä

Kyselyn tuloksena IP-osoite

Nouto HTTP-protokollaa käyttäen



Skaalautuvuus

Asiakas-palvelinmalli:

Palvelimen siirrettävä
 $n \cdot F$ bittiä =>
 siirtoaika = nF/u_s .

Hitain asiakas d_{\min} saa
 tiedoston ajassa F/d_{\min}

Siirtoaika = $\max(nF/u_s, F/d_{\min})$

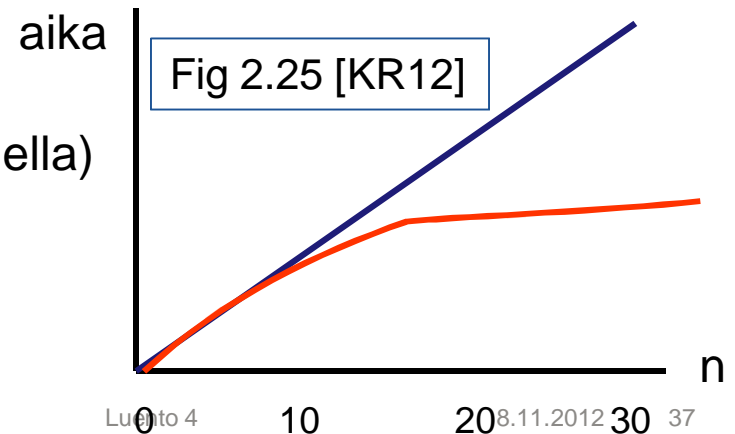
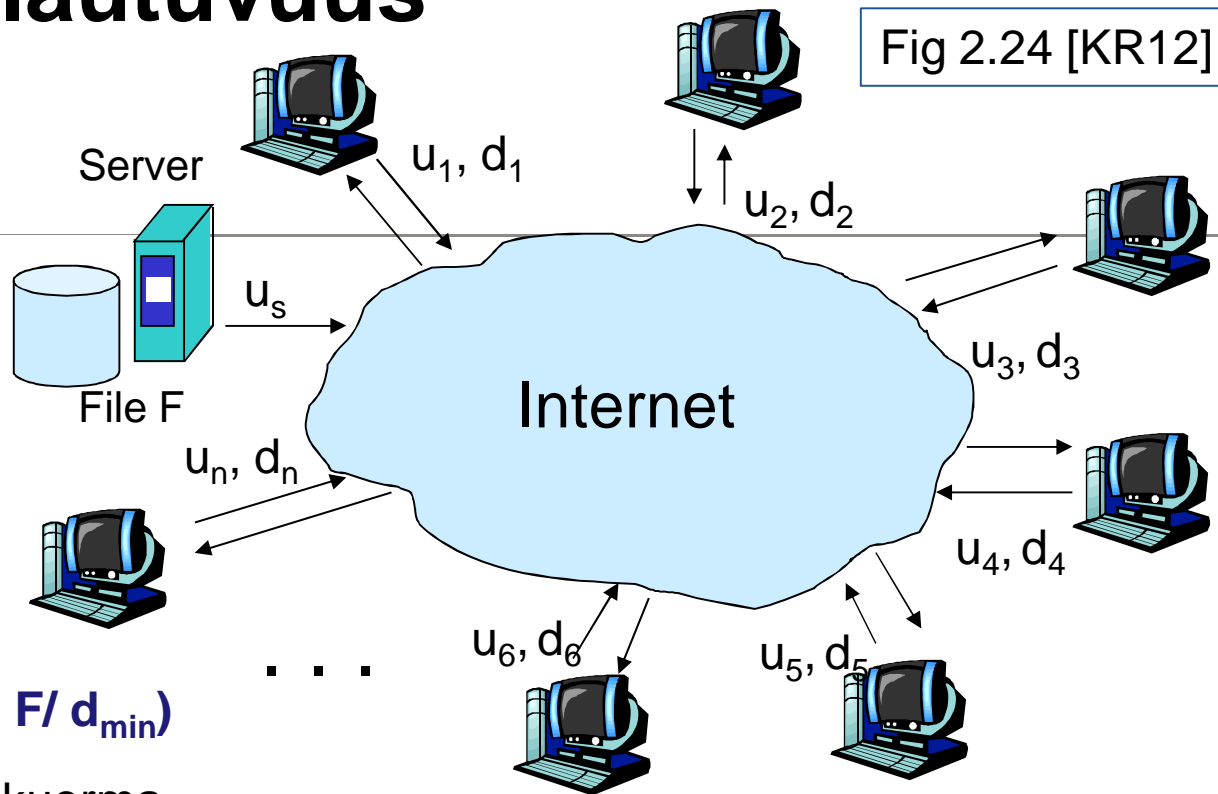
Kun n kasvaa, palvelimen kuorma
 kasvaa ja siirtoaika kasvaa.

Vertaistoimijamalli (alussa tiedosto on palvelimella)

Siirtoaika = $\max\{F/u_s, F/d_{\min}, nF/(u_s + \sum u_i)\}$

Summamerkki: total upload rate

F/u_s lähetys kerran

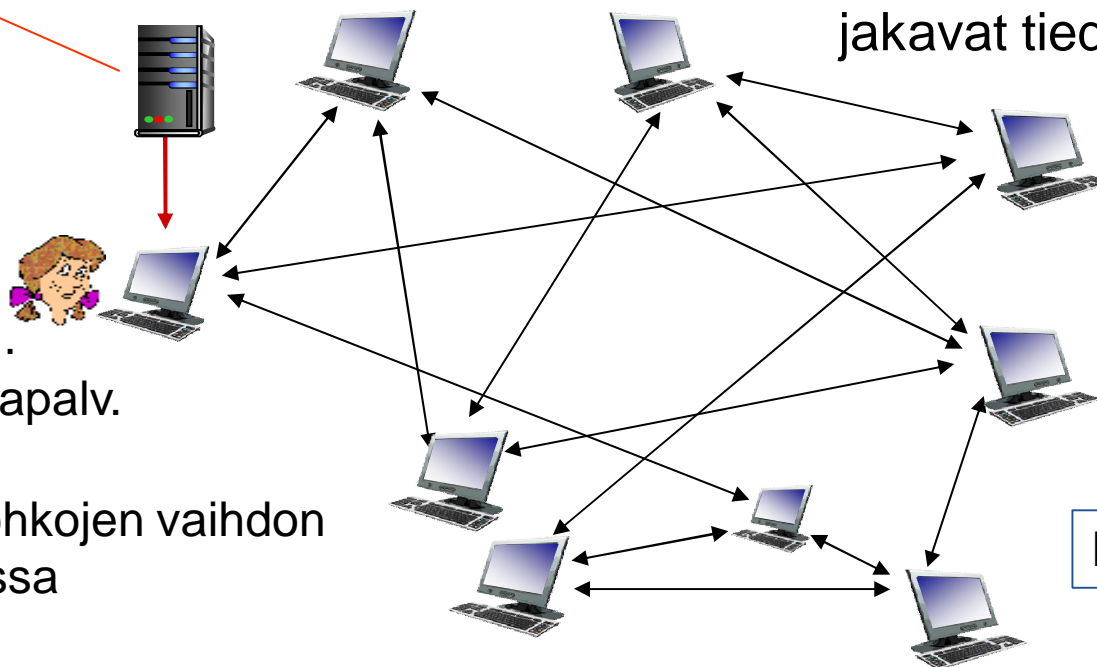




BitTorrent Tiedostonjakoverkko

Tiedostot jaettu yhdenkokoisiin lohkoihin (256KB)
Vertaistoimijat lataavat ja samaan aikaan jakavat yhden
”ryöpyn” (torrent) lohkoja

tracker, seurantapalvelin:
pitää kirjaa
torrent-ryhmän
jäsenistä



torrent: ryhmä
vertaistoimijoita, jotka
jakavat tiedoston lohkoja

Alice saapuu ...
... saa seurantapalvelin
vertaislistan
... ja aloittaa lohkojen vaihdon
vertaisten kanssa

Fig 2.26 [KR12]



BitTorrent – lohkojen vaihto

Naapureilta kysellään lohkolistoja ja
pyydetään lähettämään lohkoja
(harvinaisimmat ensin)

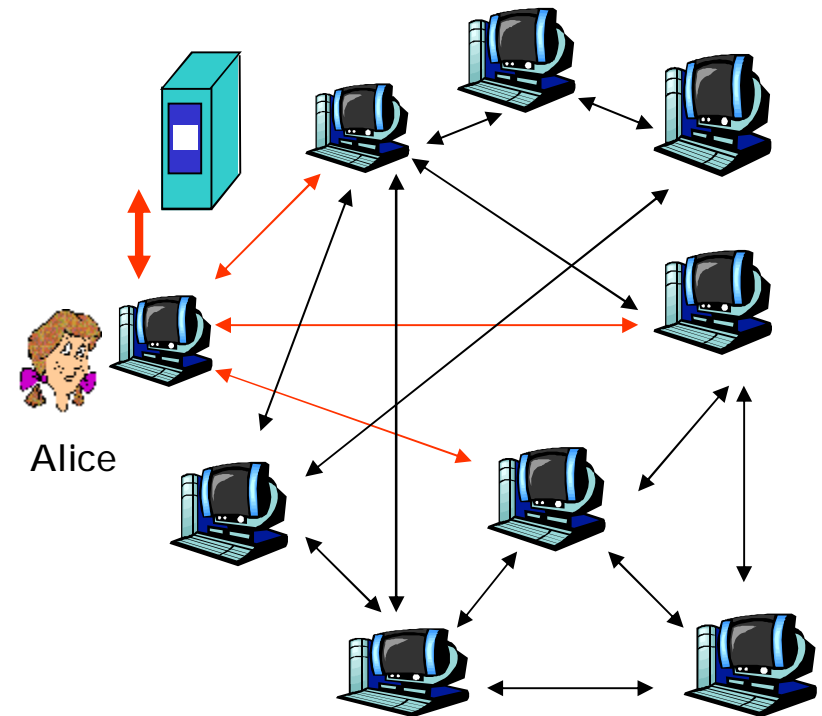
Itse lähettää

4:lle, jotka lähettävät itselle suurimmalla
nopeudella (arvio 10 s välein) (*tit-for-tat*)

ja 30 s välein satunnaiselle
naapurille kokeeksi

Vapaa matkustus -ongelma (free-riding)

BitTorrentissa paljon muita piirteitä!





Hajautettu tiiviste (Distributed Hash Table, DHT)

avain	arvo
hetu	Henkilön nimi
Elokuvan nimi	IP osoite
Tiiviste/ Tunniste	Tunniste (ID)

- Hajautettu tietokanta vertaisverkoille
 - alkiot ovat (avain, arvo) pareja
 - ei yhtä keskitettyä tietokantapalvelinta, vaan
 - tietokannan alkiot jaettu (miljoonille) vertaisille
 - Annetaan numeeriset tunnisteet sekä avaimille että vertaisille ja jaetaan näiden numeroiden perusteella
- Kyselyt aina avaimella
 - vastauksena tulee avaimeen liittyvä(t) arvo(t)
- Vertaisverkon solmut voivat lisätä alkioita



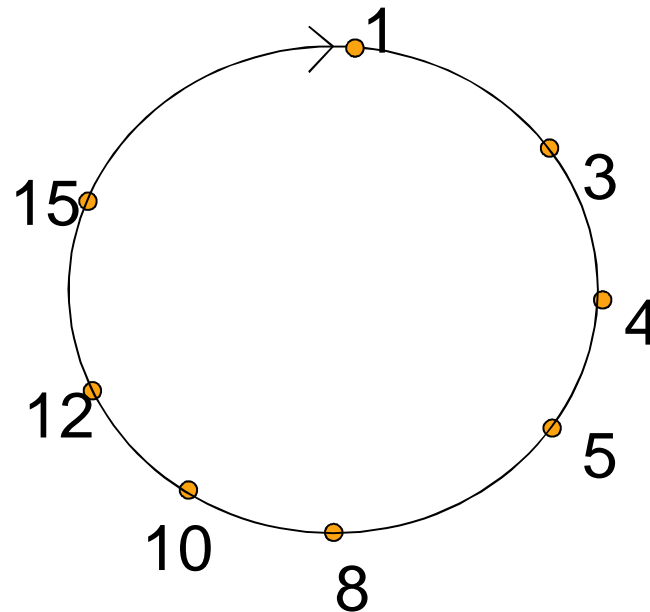
Numeeriset tunnisteet ja tiivistet

- Numeroidaan vertaiset kokonaislukuarvoilla $[0, 2^n - 1]$
 - kukin tunniste on n bittiä.
- Lasketaan avaimille numeroarvo samalle välille käyttäen hajautusfunktiota (hash function) ja tarvittaessa jakojäännöstä (jaetaan 2^n)
 - esim: avain = hash("Led Zeppelin IV")
- Sijoittelu vertaisille (kirjan sääntö):
numerojärjestyksessä lähimmälle seuraajalle renkaana.
 - eli kun $n=4$ ja vertaisilla tunnisteet: 1,3,4,5,8,10,12,14;
 - avain = 13, säilytysvastuu annetaan vertaiselle 14
 - avain = 15, säilytysvastuu annetaan vertaiselle 1



Circular DHT

Fig 2.27a [KR12]



Kukin vertainen tietää vain edeltäjän ja seuraajan numeerisen tunnisteen (ja IP:n)

Näin muodostaa uusi päällysverkko (overlay network)

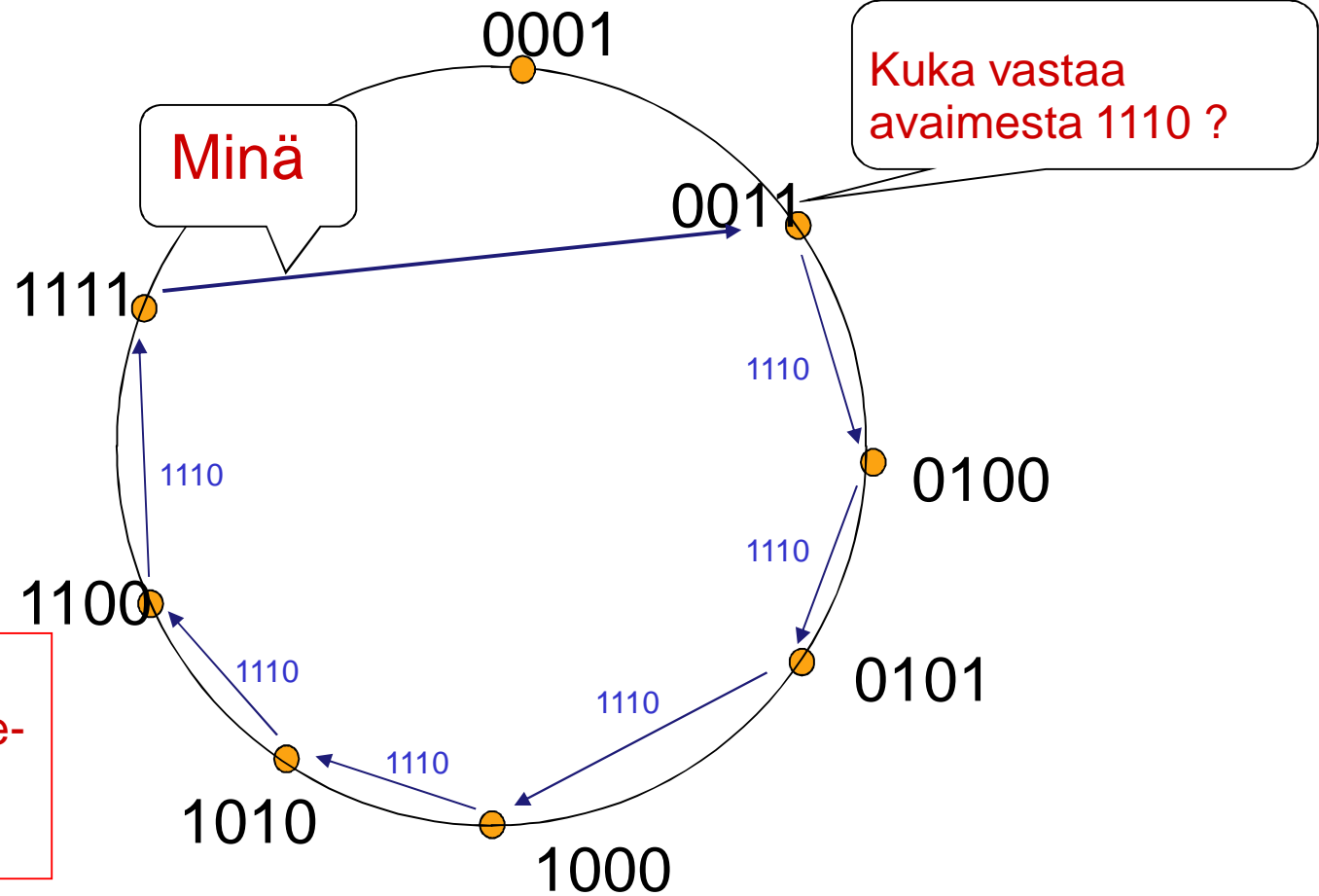


Circular DHT esimerkki

Fig 2.27a [KR12]

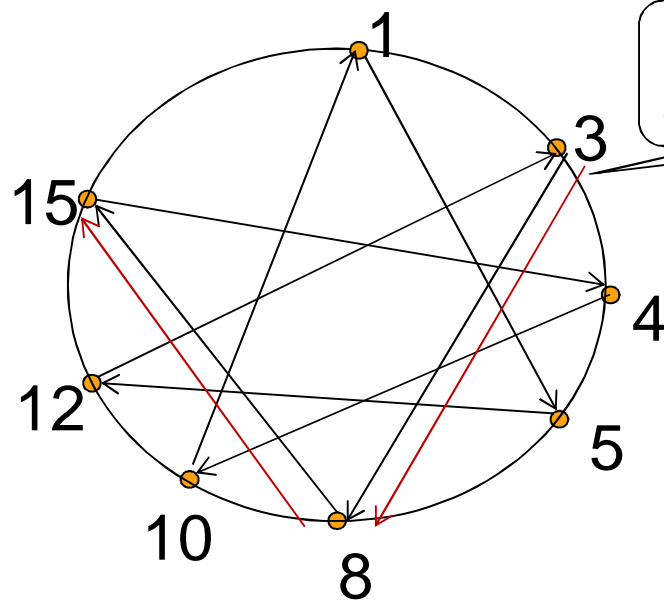
Kyselyyn vastaamiseen tarvitaan keskimäärin $O(N)$ viestiä, kun verkossa on N solmua

Muista: Sijoitettu solmulle joka numeerisesti sama tai lähin suurempi





Circular DHT with shortcuts



Kuka vastaa avaimesta 1110?

Nyt jokainen solmu pitää kirjaa seuraajan ja edeltäjän lisäksi myös muutamasta oikopolusta.

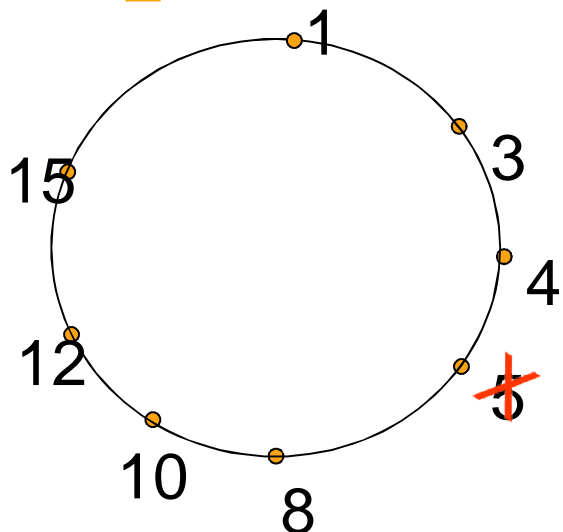
Kyselyssä tarvittavien viestien määrä putosi 6:sta 2:een.

Teoria: oikopolut voidaan määrätä siten, että kirjanpidossa $O(\log N)$ naapuria ja kyselyissä $O(\log N)$ viestiä

Fig 2.27b [KR12]



Vertaisten vellominen (Peer churn): näitä tulee ja menee

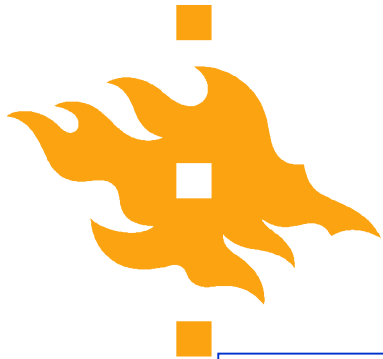


- Solmut voivat liittyä ja poistua
- Jokaisen täytyy tietä kaksi seuraajaa ja edeltäjää
- Niiden mukanaolo tarkistettava (ping) säännöllisesti
- Jos muutoksia, niin tee tarvittavat päivitykset ja kysele muista puuttuvat tiedot

Esimerkki: Solmu 5 poistuu yllättäen

Solmu 4 havaitsee solmun 5 poistumisen; kirjaa solmun 8 lähimmäksi seuraajaksi; kysyy solmulta 8 sen lähimmän seuraajan ja kirjaa sen itselleen seuraajan seuraajaksi. - Muutkin solmut joutuvat päivittämään – mitkä?

Mitä, jos solmu 13 haluaa liittyä mukaan?



Kertauskysymyksiä

Asiakas-palvelija-malli? Vertaisverkkomalli?

Kuinka asiakas löytää palvelimen?

Miten KJ osaa antaa bitit oikealle sovellukselle?

Miten koneen nimestä saadaan selville sen IP-osoite?

Miten HTTP-protokolla toimii?

Miksi SMTP ei riitä, vaan tarvitaan POP3 tai IMAP?

Mitä hyötyä on proxy-palvelimesta?

Miksi käytetään evästeitä?

Mikä on pistoke ja missä sitä käytetään?

Ks. myös kurssikirja s.195-197.