



Luento 10: Kaikki yhteen ja langaton linkki

29.11.2012

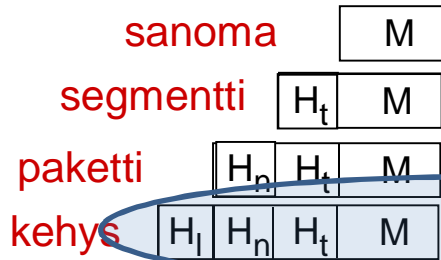
Tiina Niklander

Kurose&Ross
Ch5.7 ja 6.1-6.3

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

Luennon sisältöä

Lähettäjä (sender)



message,
segment
datagram
frame

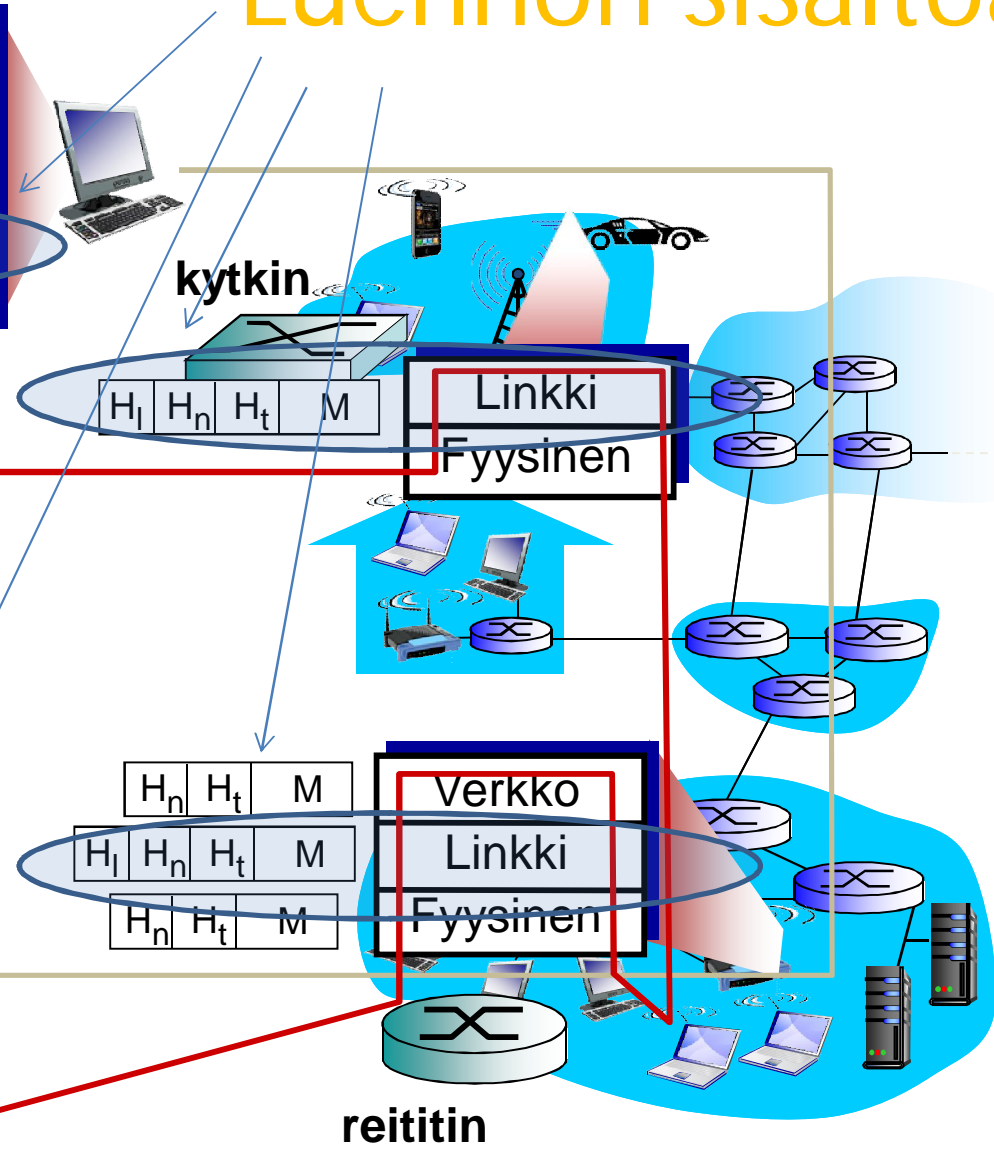
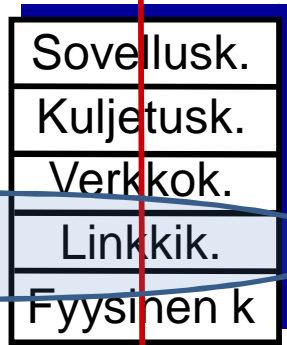
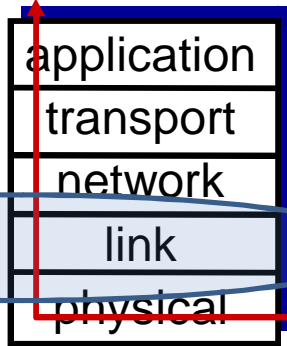
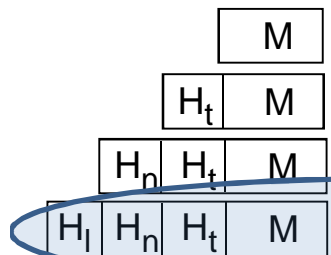


Fig 1.24 [KR12]

Vastaanottaja (recipient)





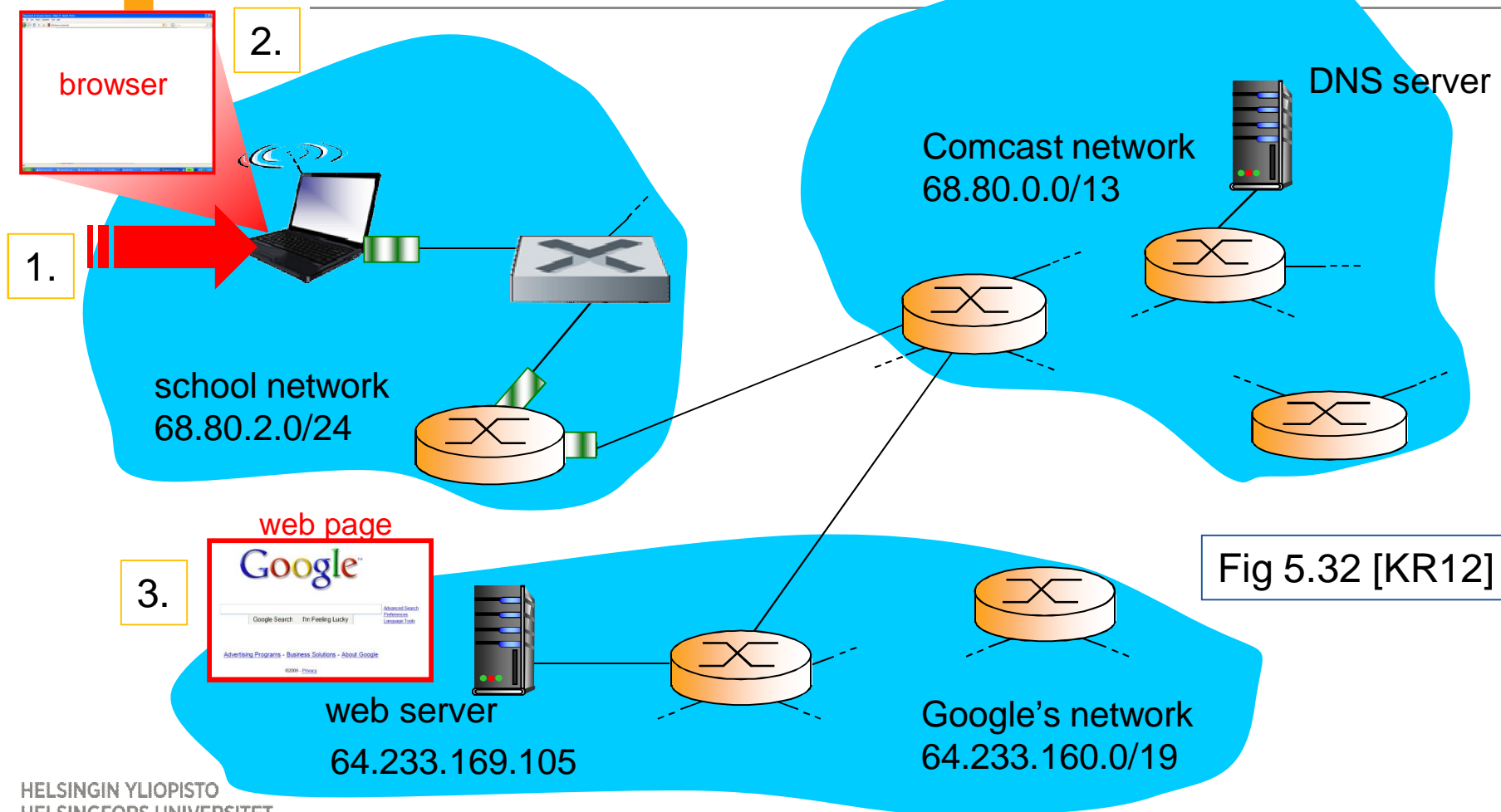
Linkkikerros

Kerrosten yhteistoiminta

Ch 5.7 (vain 6ed.)



Skenaario: opiskelija yhdistää koneensa langattomaan verkkoon ja pyytää sivua www.google.com

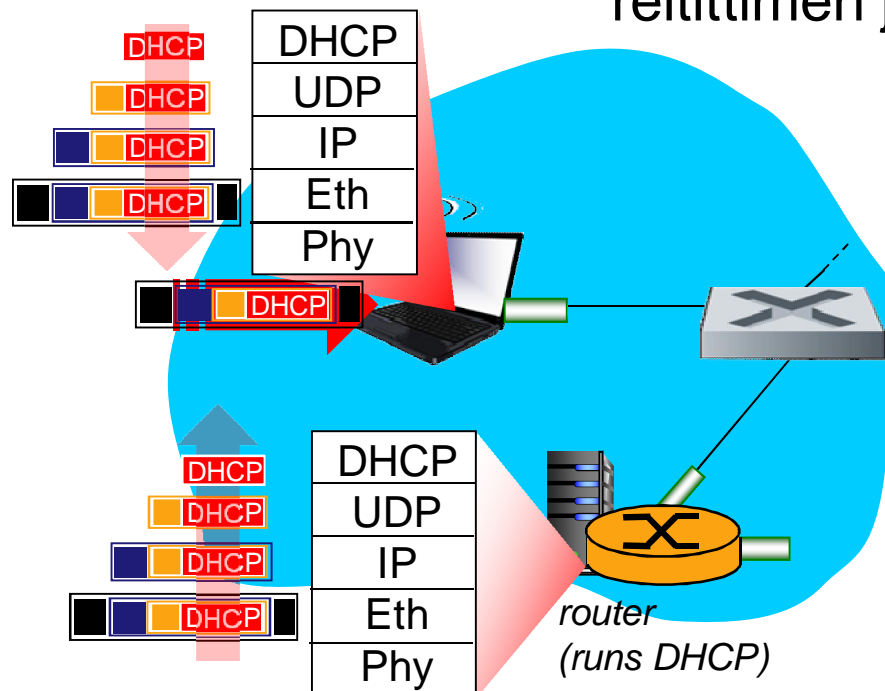




Vaihe 1: yhteys verkkoon (Internet)

DHCP pyyntö

❖ Kannettavan täytyy saada IP-osoite sekä reitittimen ja nimipalvelun osoitteet; *DHCP*

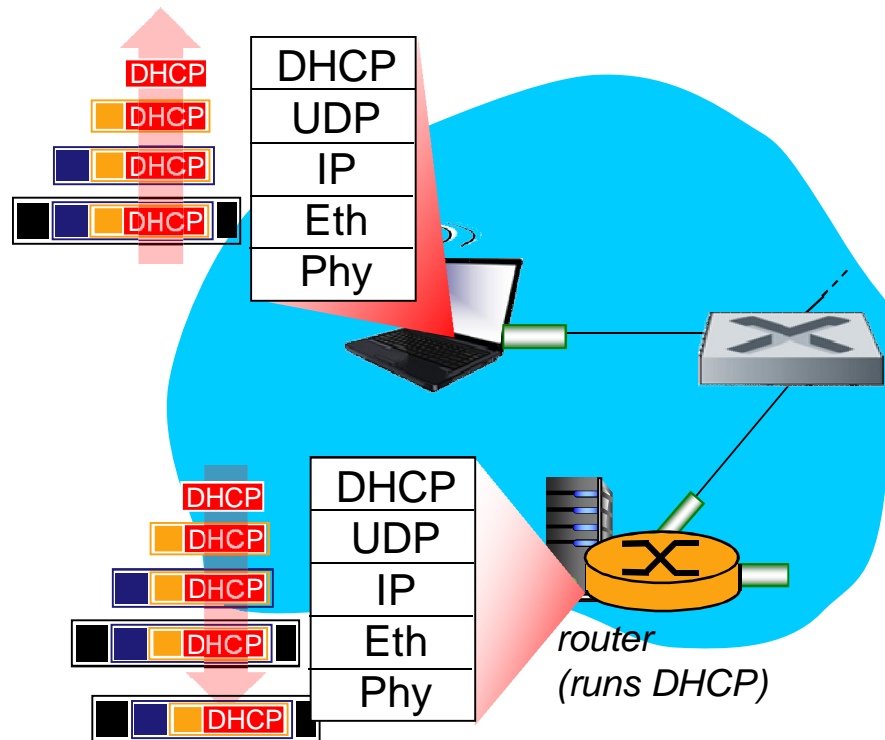


- ❖ DHCP-pyyntö paketoidaan (*encapsulated*) **UDP**, paketoidaan **IP**, paketoidaan **802.3** Ethernet
- ❖ Ethernet kehys (frame) lähetetään kaikille (*broadcast*) (kohde: FFFFFFFFFFFFFFFF), **DHCP** -palvelin (esim. reitittimessä) saa viestin
- ❖ Paketoinnit puretaan (*demuxed*) Ethernet → IP → UDP → DHCP



Vaihe 1: yhteys verkkoon (Internet)

DHCP vastaus



DHCP-palvelin muodostaa **DHCP ACK**-sanoman, jossa on kannettavalle IP-osoite, reitTIMEN osoite, aliverkkopeite + nimipalvelimen nimi ja osoite

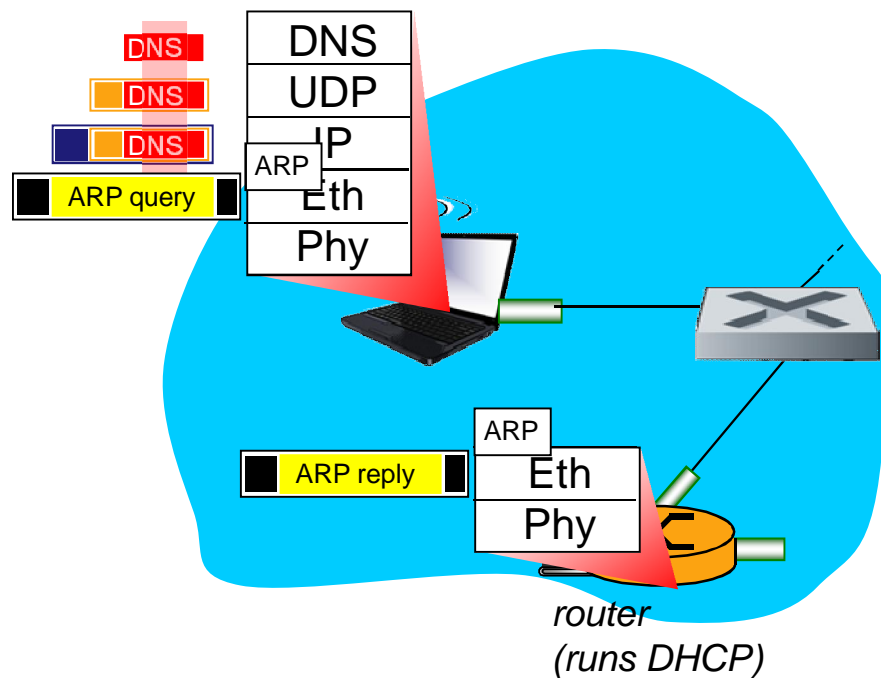
- ❖ Sanoma paketoidaan kerroksittain DHCP-palvelimella, kehys siirretään verkossa (**kytkin oppii!**) kannettavalle
- ❖ Kannettava (DHCP:n asiakas) vastaanottaa DHCP ACK sanoman

Kannettavalla on nyt IP-osoite. Se tietää myös nimipalvelimen nimen ja osoitteen, sekä reitittimen ip-osoitteen



Vaihe 2: ARP (välivaihe, tarvitaan DNS-viestin lähetykseen verkkoon)

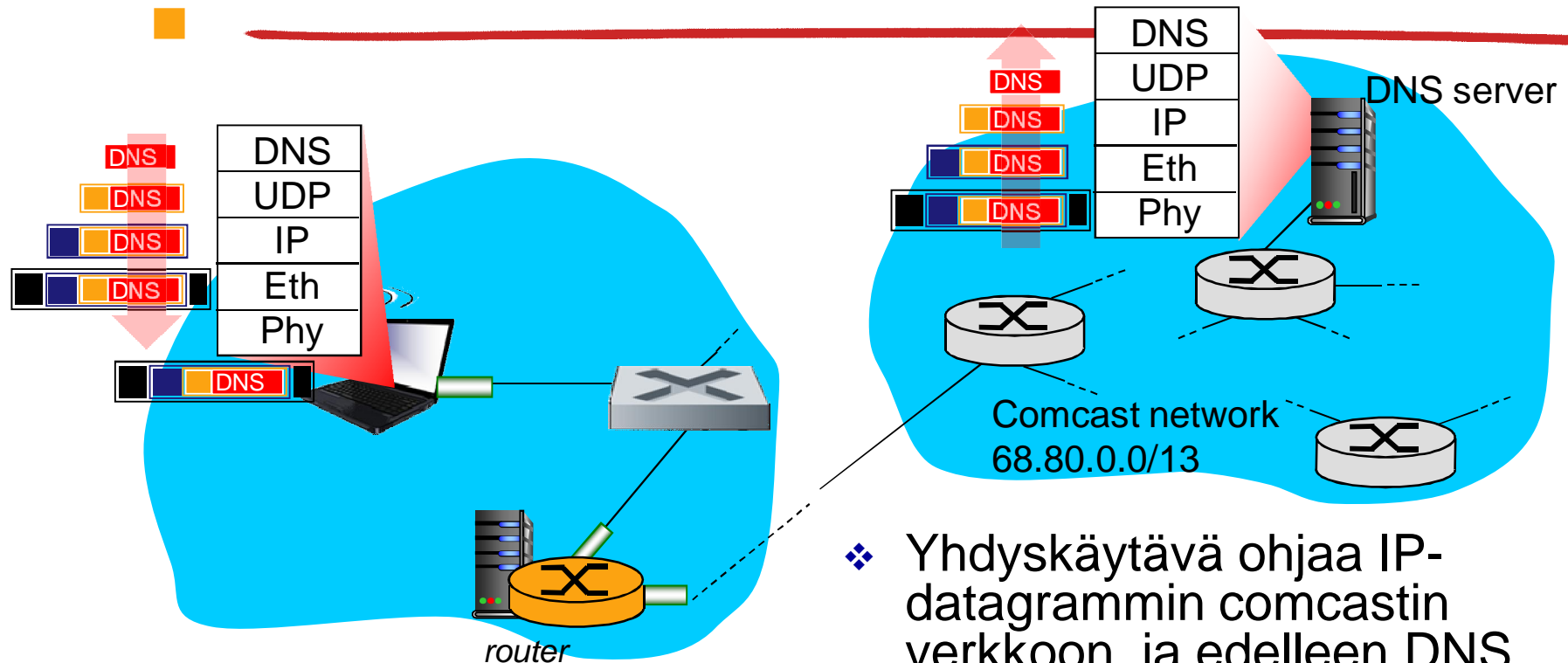
Ennen *HTTP*-pyynnön lähetystä tarvitaan *www.google.com*:in IP-osoite *DNS*



- ❖ Kannettava tekee DNS-pyyntöä, joka paketoituu UDP → IP → Ethernet. Mutta eri verkossa, joten tarvitaan vielä reitittimen MAC-osoite; **ARP**
- ❖ **ARP-kysely** yleislähetystenä, reititin vastaanottaa ja kertoo oman MAC-osoitteensa **ARP-vastausviestinä**
- ❖ Kannettavalla on nyt reitittimen MAC-osoite, joten se voi lähettää DNS-pyyntöä sisältävän kehyksen



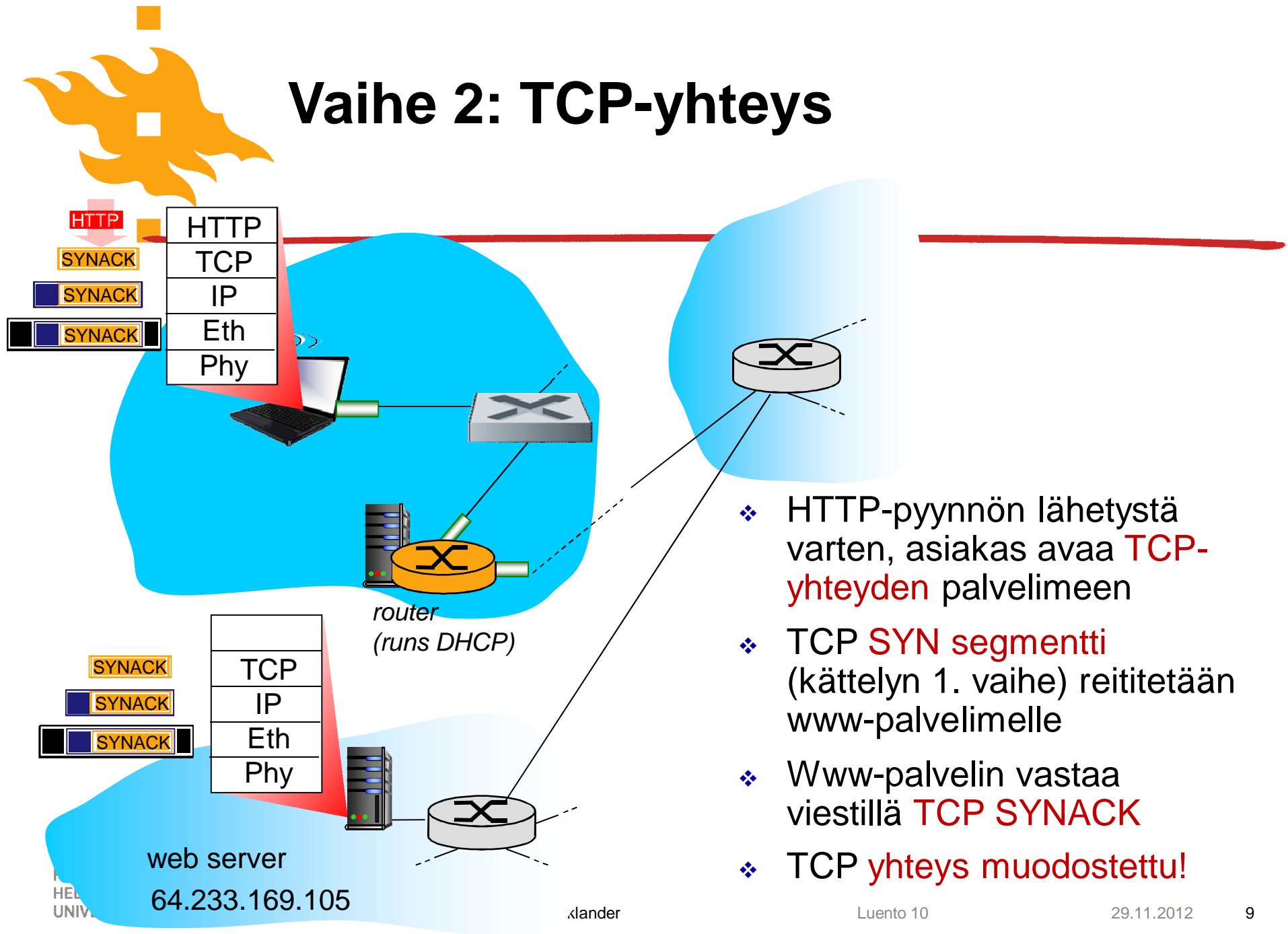
Vaihe 2: jatketaan DNS-kyselyä. Nyt se voidaan lähettää



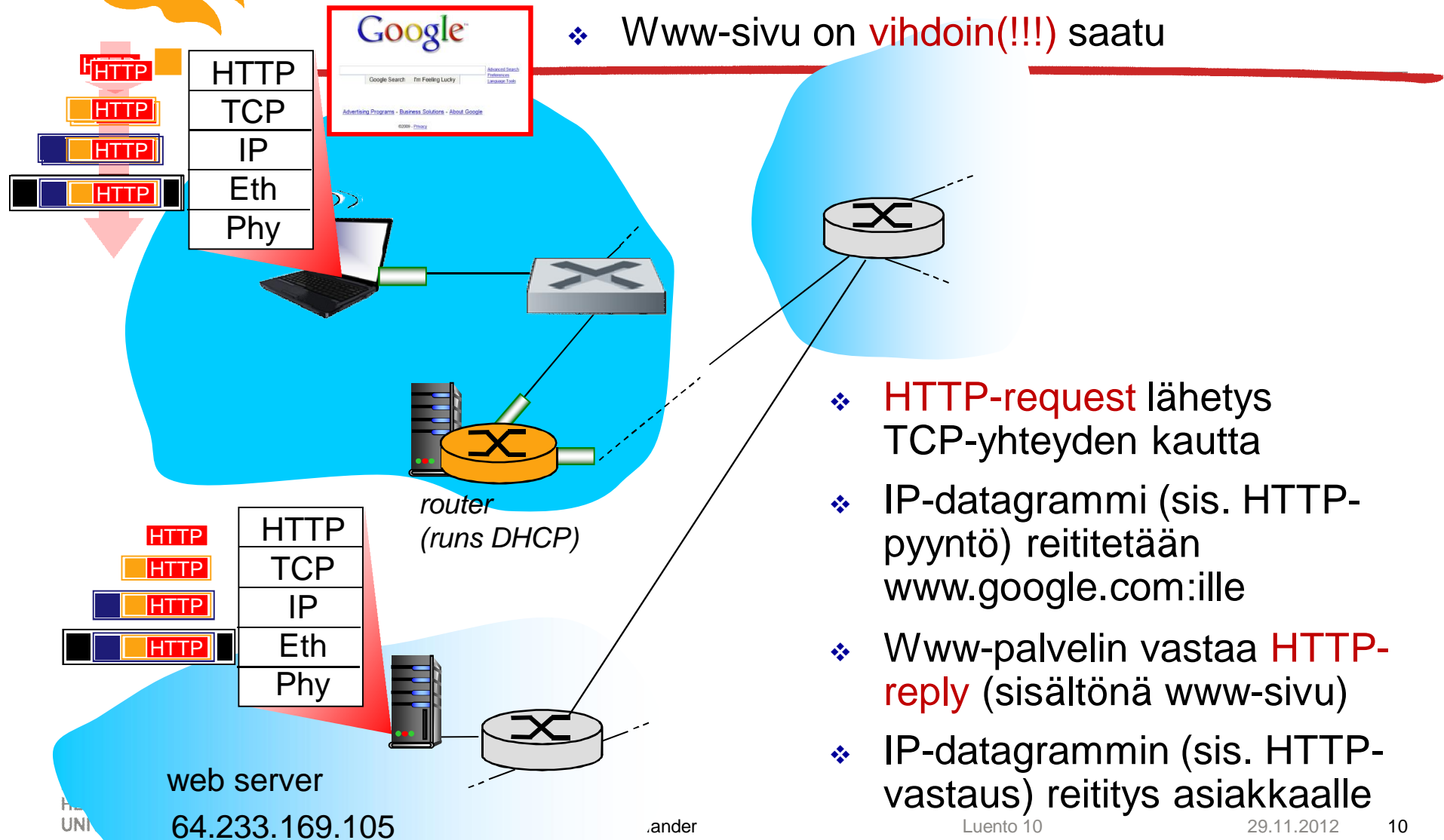
- ❖ Paikallisverkon kytkin ohjaa kehyksen yhdyskäytäväreitittimelle

- ❖ Yhdyskäytävä ohjaa IP-datagrammin comcastin verkkoon, ja edelleen DNS nimipalvelijalle
- ❖ DNS-palvelin vastaa asiakkaalle ja kertoo `www.google.com:n` IP-osoitteet

Vaihe 2: TCP-yhteys



Vaihe 2: HTTP pyyntö ja vastaus





Linkkikerros

Siirretty maanantailta tänne!

Keskitin, kytkin

Ch 5.6



Keskitin (hub)

fyysinen kerros (layer-1)

Käsittelee bittejä

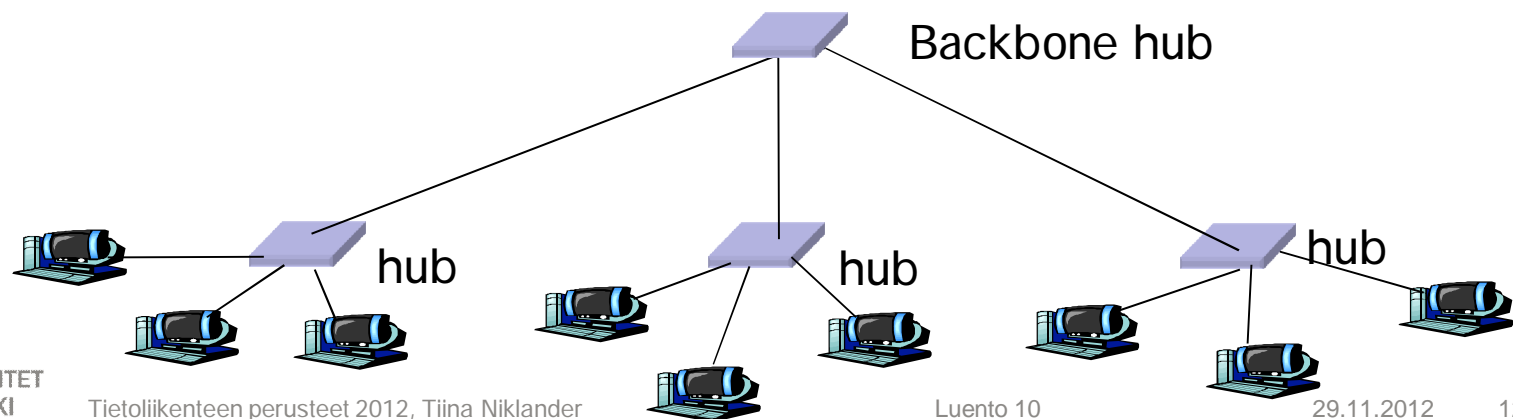
Toistaa saamansa bitit heti kaikille muille linkeille

Signaalin vahvistus

Yhteinen törmäysalue → vain pieniin verkkoihin

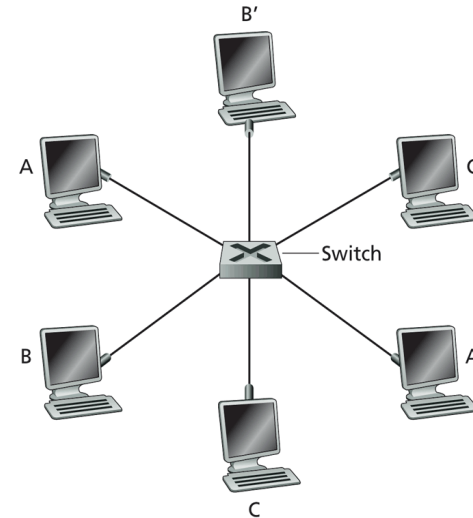
Yhdistää vain saman teknologian laitteita

Ei esim. 10 Mbps ja 100 Mbps samaan keskittimeen





Kytkin (switch) linkkikerros (layer-2)



- Käsittelee siirtokehyksiä,
useita yhtäaikaista yhteyksiä
- Vastaanottaa ja lähettää kokonaisia kehyksiä
- Etappivälitys (store and forward) (yleensä)
- Ei törmäyksiä
- Suora piuha koneelta kytkimeen
- Kytkin lähettää ulos vain yhdelle piuhalle
- Voi yhdistää erilaisia verkkosegmenttejä
- Kytkimessä esim. 10/100 Mbps portteja
- Puskurointia
- Tuntumaton (transparent)
- Sopeutuu itse verkon muutokseen
- 'plug-and-play, self-learning



Kytkin: kehyksien välitys - mihin linkkiin?

Miten kytkin osaa välittää kehyksen juuri oikeaan piuhaan?

Se kerää itse ('oppii') tarvittavat tiedot

takaperinoppimista (backward learning): saa saapuvasta kehyksestä tiedon, mistä linkistä **lähettäjä** löytyy jatkossa

Ylläpitää kytkentätaulukkoa

(MAC-osoite, linkki, TTL)

TTL-aikaleima: poista ne, joita ei ole käytetty esim. 60 minuutin aikana



Kytkentätaulu (switching table): -tietojen keruu saapuvista kehyksistä

Aluksi taulu on tyhjä

Saapuva kehys

Lähteen MAC-osoite x,
kohteen MAC-osoite y,
tuloportti p, yms

Lähde X ei ole taulussa =>

Lisää (X, p, TTL) tauluun
eli **kytkin oppii, että
osoite X on
saavutettavissa portin
p kautta**

Lähde X on taulussa =>
päivitä TTL

Kohde Y ei ole taulussa =>

Lähetetään kehys kaikkiin
muihin portteihin =
tulvitus (flooding)

Opitaan myöhemmin Y:n
oikea portti jostain sen
lähettämästä kehyksestä

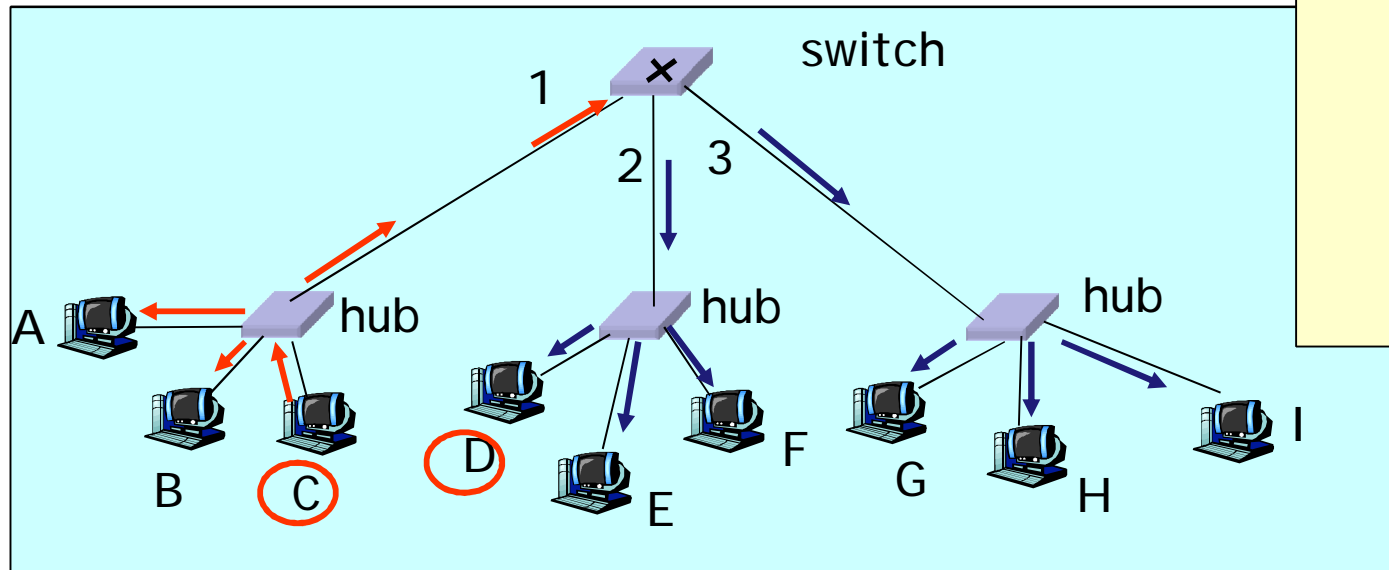
Lähde X ja kohde Y jo
taulussa

X ja Y samassa portissa =>
hylkää kehys (on jo
oikeassa verkon osassa)

X ja Y eri porteissa =>
lähetä kehys Y:n porttiin



Esimerkki: C lähettää kehyksen D:lle

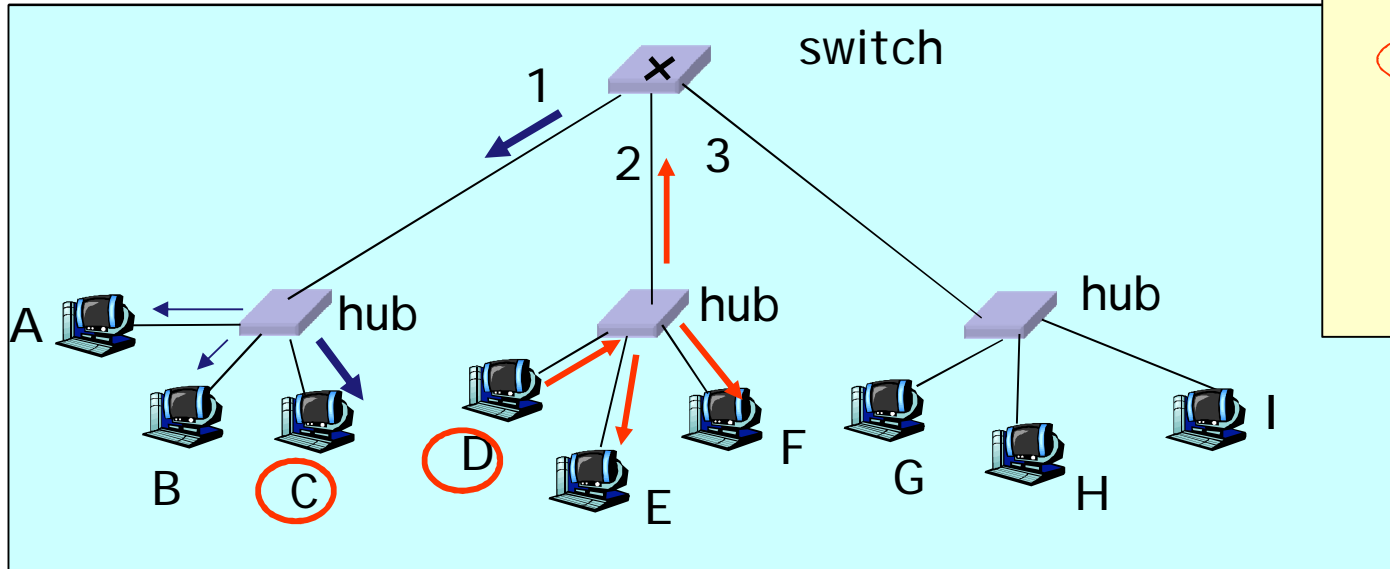


| address | interface |
|---------|-----------|
| A | 1 |
| B | 1 |
| E | 2 |
| G | 3 |
| C | 1 |

- Kytin vastaanottaa kehyksen (A ja B kuulevat myös)
 - Merkitsee tauluun C:n MAC-osoitteen ja portin 1
 - Koska D ei ole taulussa, tulvittaa linkeilla 2 ja 3.
- D vastaanottaa kehyksen (E, F, G, H, I kuulevat myös)



Esimerkki jatkuu: D lähettää kehyksen C:lle



| address | interface |
|---------|-----------|
| A | 1 |
| B | 1 |
| C | 1 |
| E | 2 |
| G | 3 |
| D | 2 |

- Kytkin vastaanottaa kehyksen (E ja F kuulevat myös)
 - Merkitsee tauluun D:n MAC-osoitteen ja portin 2
 - C:n osoite on taulussa, joten lähettää kehyksen linkkiin 1
- C vastaanottaa kehyksen (A ja B kuulevat myös)



Tulvitus (flooding)

Tulvitus voi olla ongelma

Kehykset voivat jäädä kiertämään silmukoissa

Koko verkko tukkeutuu

Siis silmukoita ei saa muodostua!

Verkon loogisen rakenteen pitää olla puu.

Virittävä puu (Spanning tree)

Lyhimmin poluin virittävä puu Dijkstran algoritmilla



Suorakytkentä (cut-through switching)

Jotkut kytkimet voivat välittää kehyksen bitit ulos sitä mukaa kuin itse ne saavat

Välityspäätöksen tekoon riittää tutkia otsakkeesta kohdeosoite

Ei siis enää etappivälitteistä (store-and-forward)

Pienentää latenssiaikaa

Ei kuitenkaan mahdollomasti ...

100 Mbps:n linjalla odotusta maksimissaan noin 0.12 ms



Vertailua

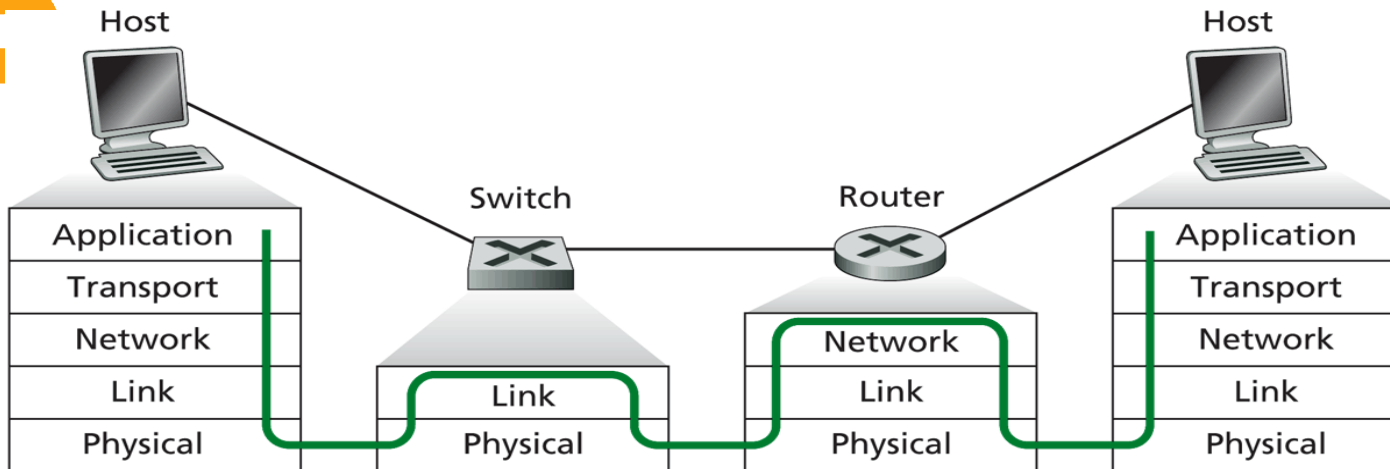


Fig 5.24 [KR12]

◆ Packet processing in switches, routers, and hosts

Table 5.1 [KR12]

| | Keskitin (hub) | Kytkin (switch) | Reititin (router) |
|-------------------|----------------|-----------------|-------------------|
| Traffic isolation | no | yes | yes |
| Plug and play | yes | yes | no |
| Optimal routing | no | no | yes |
| Cut through | yes | yes | no |



Kertauskysymyksiä

Miten lähiverkko rakennetaan?

Reititin vs. kytkin vs. keskitin?

IP-osoite vs. MAC-osoite?

ARP-protokolla ja ARP-taulu?

Takaperinoppiminen ja kytkentätaulu?

Bittivirheiden havaitseminen?

CRC?

Lähetyskanavanjako?

CSMA/CD?

ks. kurssikirja s. 501





Langaton verkko

Langaton verkko

Ch 6.1, 6.2, 6.3-6.3.2

(ei: 6.2.1, 6.3.3-)



Langattoman verkon komponentit

Fig 6.1 [KR12]

Tukiasema

LAN-yhteys
pääsy Internetiin

Langattomat linkit

koneesta tukiasemaan
koneesta koneeseen
Rajattu kuuluvuusalue

Isäntäkoneet

Laptop, PDA, IP-puhelin
Suorittaa sovelluksia
kiinteä tai liikkuva

Haasteet

virhealtis linkki
liikkuva työasema

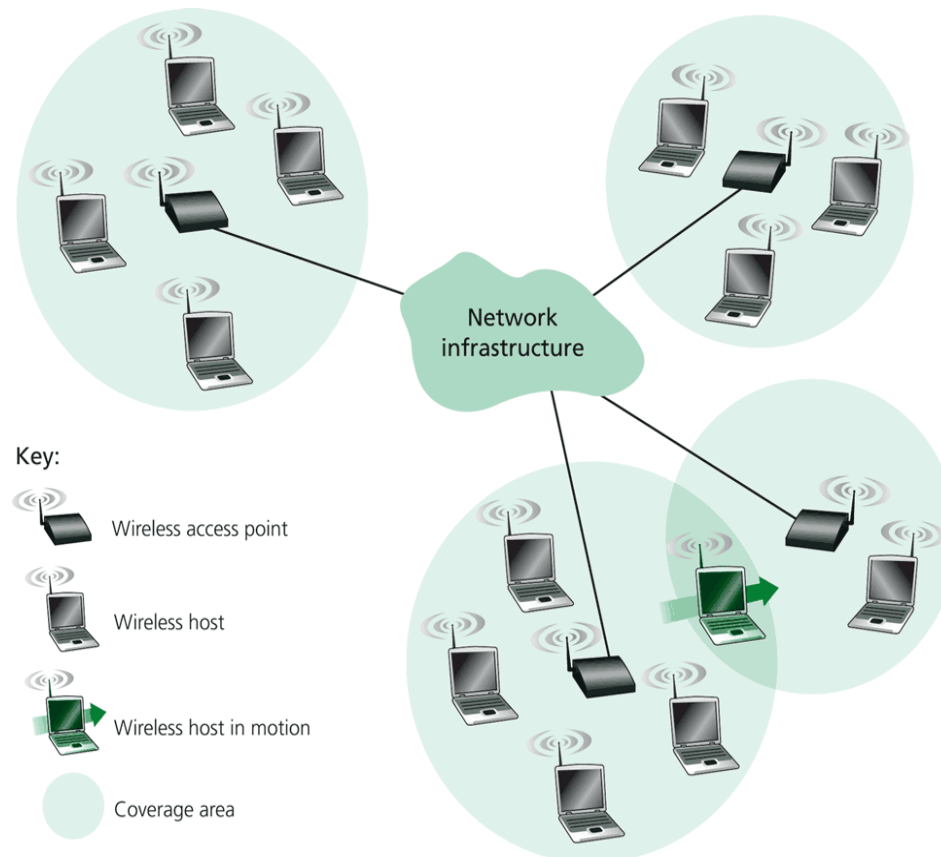
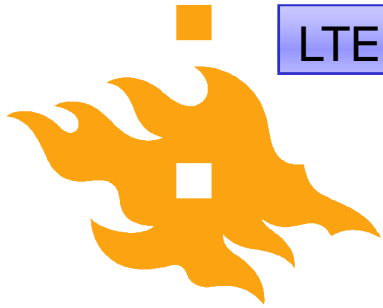


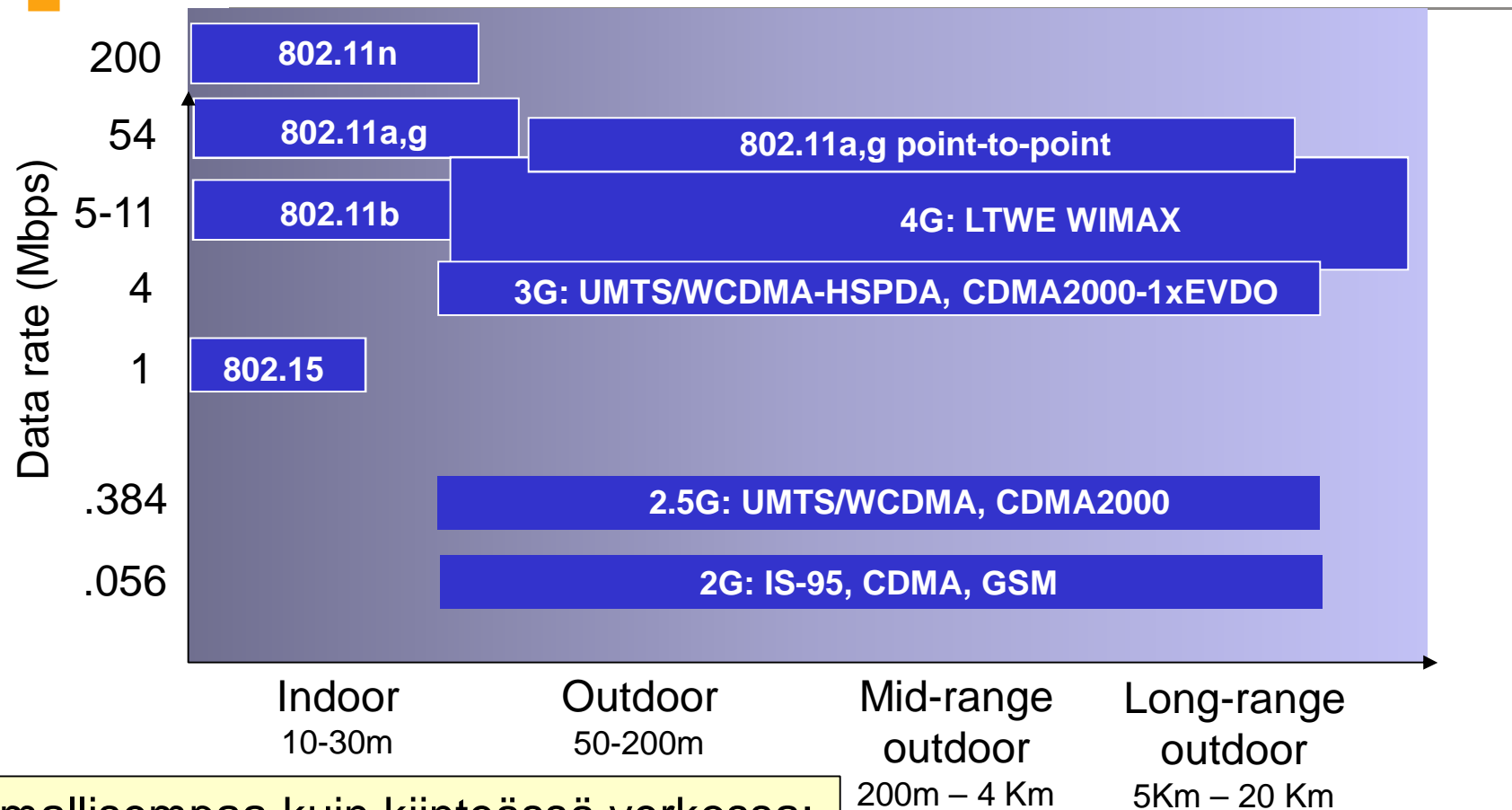
Figure 6.1 ♦ Elements of a wireless network

LTE Advanced: 4G, 1 Gbps



Langattoman linkin ominaisuuksia

Fig 6.1 [KR12]



Ongelmallisempaa kuin kiinteässä verkossa:

- signaalin vaimeneminen, heijastukset
- muiden laitteiden aiheuttamat häiriöt



Langattoman verkon tekniikat (IEEE)

| <i>Tekniikka</i> | <i>IEEE standardi</i> | <i>Nimi</i> |
|---|-----------------------|-------------|
| Wireless personal area network (WPAN) | IEEE 802.15.1 | Bluetooth |
| Low-rate WPAN (LR-WPAN) | IEEE 802.15.4 | ZigBee |
| Wireless local area network (WLAN) | IEEE 802.11 | WiFi |
| Wireless metropolitan area network (WMAN) | IEEE 802.16 | WiMAX |



Ad hoc -verkko

Fig 6.8 [KR12]

Liikkuville koneille ...

Ei tukiasemia

Keskustelu omalla kuuluvuusalueella olevien koneiden kanssa

Ei valmiita palveluja

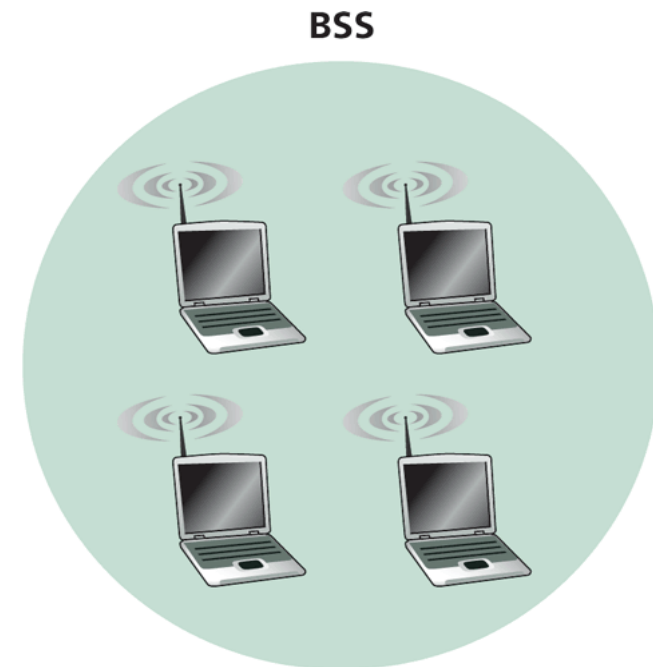
Reititys, IP-osoitteet, DNS, ..

Itseorganisoituva

Jonkun tuotettava tarvittavat palvelut

Ketä läsnä?

Reititys kuuluvuusalueelta toiselle?





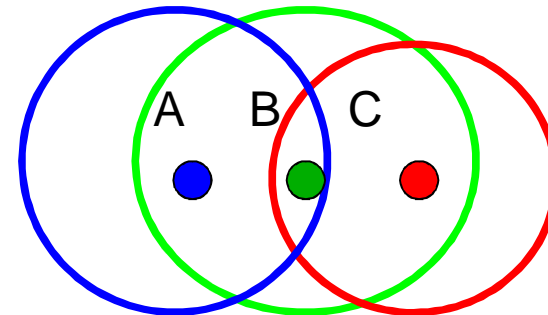
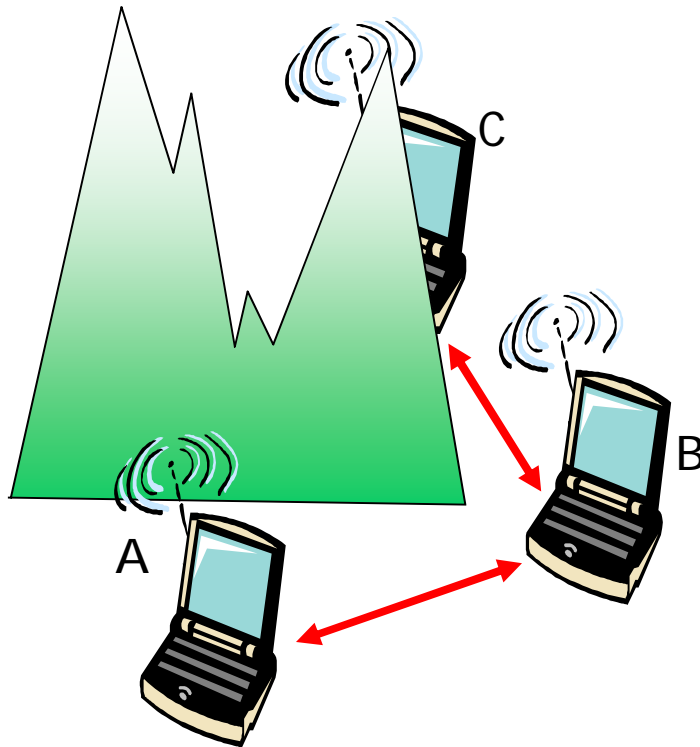
Kätkeyn aseman ongelma

(Hidden terminal)

Fig 6.4a [KR12]

Asemat A ja C eivät kuule toisiaan eivätkä huomaa, milloin toinen lähettää samaan aikaan ja syntyy törmäys.

Miten asema voi tietää, menikö sen lähetyks perille?

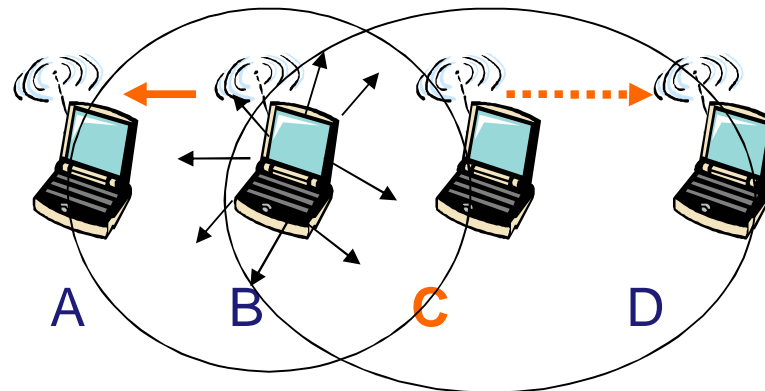




Exposed terminal

C ei voi lähettää D:lle, koska kuulee itse B:n lähetyksen eli joku on jo lähettämässä

Vaikka tämä lähetys ei lainkaan häiritsisi C:n lähettämistä D:lle eikä B:n lähettämistä A:lle





Langaton linkki

IEEE 802.11 WLAN (Wi-Fi)

Ch 6.3

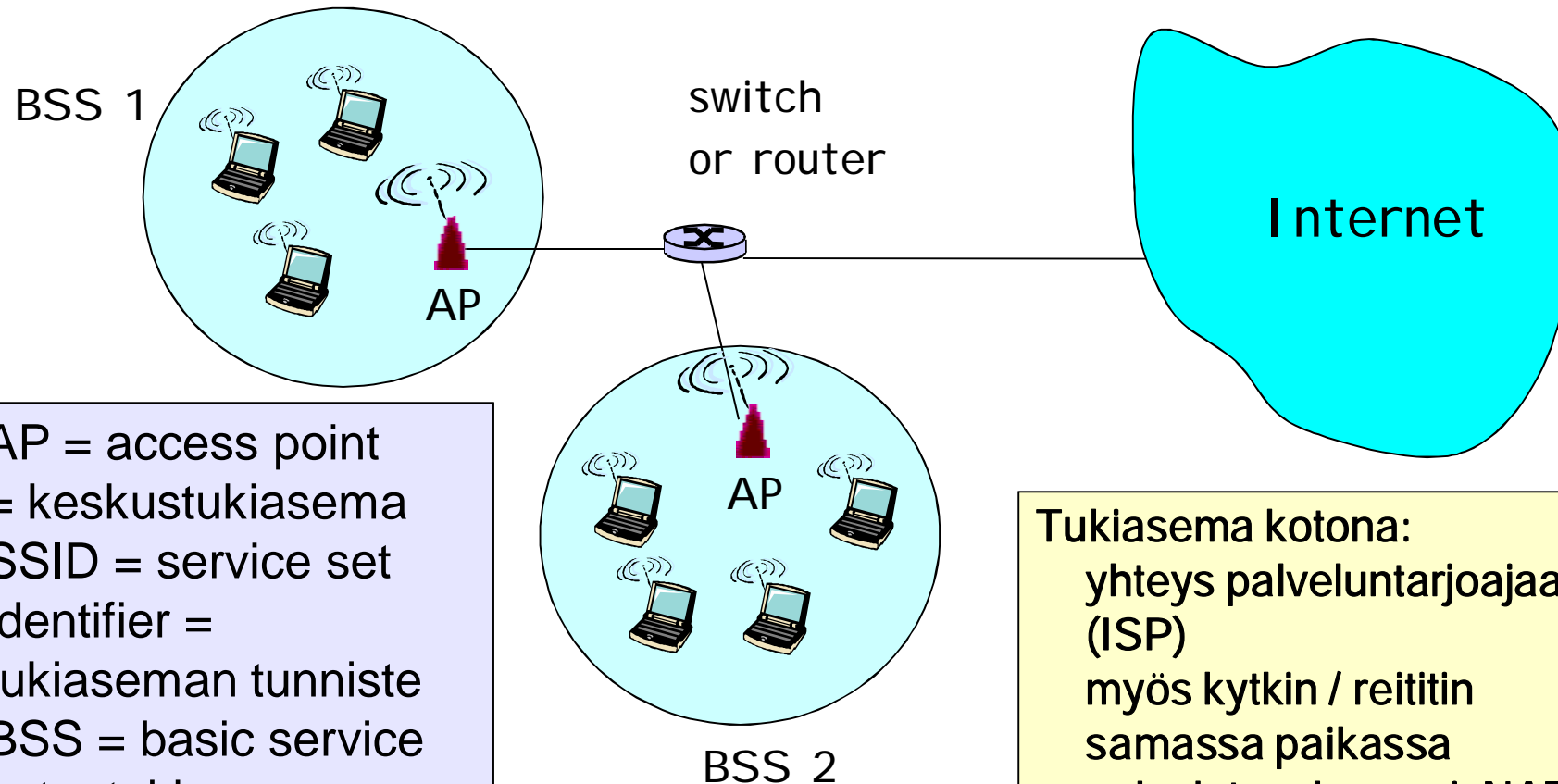
(ei tällä kurssilla 6.3.3-)



IEEE 802.11 -lähiverkko

(infrastructure wireless LAN, Wi-Fi)

Fig 6.7 [KR12]

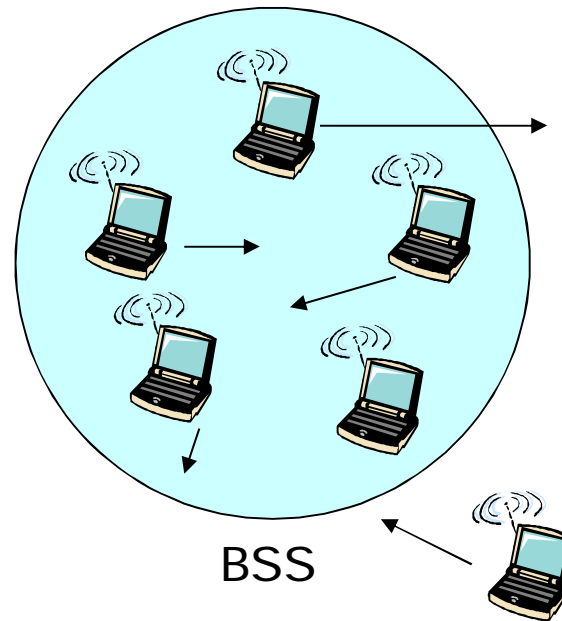


AP = access point
= keskustukiasema
SSID = service set
identifier =
tukiaseman tunniste
BSS = basic service
set = tukiaseman
palvelemat koneet

Tukiasema kotona:
yhteys palveluntarjoajaan
(ISP)
myös kytkin / reititin
samassa paikassa
palvelut: palomuri, NAT,
DHCP



Ad hoc-verkko



MANET (Mobile
ad hoc network)

VANET (Vehicular
ad hoc network)

Ei mitään
infrastruktuuria
ja solmut voivat
liikkua

Solmujen on itse hoidettava kaikki toiminnot mm.
reititys, jos eivät ole saman kuuluvuusalueen sisällä.



IEEE 802.11: Kanavat

| Standard | Frequency Range | Data Rate |
|----------|-----------------|----------------|
| 802.11b | 2.4 GHz | up to 11 Mbps |
| (802.11a | 5 GHz | up to 54 Mbps) |
| 801.11g | 2.4 GHz | up to 54 Mbps |

Alue 2.4 GHz - 2.2485 GHz

Jakaantuu 11 limittäiseen kanavaan (Eurooppa 13 ja Japani 14)

Esim. kanavat 1, 6 ja 11 eivät mene keskenään päällekkäin

Tukiaseman kanava on konfiguroitavissa

Naapuritukiasemalla saattaa olla sama kanava

Linkin käytössä **CSMA/CA**

Kaikissa sama linkkitason kehysrakenne



802.11: Kanavan valinta (1)

- Koneen kuuluvuusalueella voi olla useita tukiasemia
- Kone liittyy tiettyyn tukiasemaan (associate)
 - 'näkymätön' lanka ko. tukiasemaan
- Kone skannaa kanavat (passiivinen selaus)
 - Kuuntelee **merkkikehyksiä** (beacon frames), joilla tukiasemat mainostavat itseään
 - Kehyksessä tukiaseman nimi (SSID, Service set id) ja MAC-osoite
- Tai kone itse lähettää yleislähetyksenä kyselykehysten (probe) kaikille kantaman sisällä oleville tukiasemille. (aktiivinen selaus)
- Tukiasemat vastaavat ja kertovat nimensä ja MAC-osoitteensa.



802.11: Kanavan valinta (2)

- Standardi ei määrittele tukiaseman valintaa varten mitään erityistä algoritmia, vaan laitevalmistajat voivat toteuttaa sen eri tavoin
 - Yleensä valitaan voimakkaimmalla signaalilla lähettävä tukiasema
- Yhteys valittuun asemaan
 - Mahdollinen autentikointi (tukiasema konfiguroitavissa)
 - Käyttö vain sallituilta MAC-osoitteilta, tunnus, salasana, ..
- Saa asemalta IP-osoitteen DHCP:llä
- Saa asemalta DNS-palvelijan IP-osoitteen DHCP:llä

"WiFi Jungle"



802.11: Linkkitason protokolla (1)

CSMA kuten Ethernet (carrier sense multiple access)

Ei vuoronjakelua kilpailutilassa: lähetä, kun on lähetettävää (random access)

Kuuntele ennen lähetystä, että linkki on vapaa

Mutta ei CD (collision detection)

Ei huomaa törmäyksiä eikä keskeytä kehyksen lähetystä

Käyttää **kuittauksia**: jos kuittausta ei tule (=törmäys), lähetetään uudestaan

Pyritään välttämään törmäyksen syntymistä

CSMA /CA (collision avoidance)



802.11: Linkkitason protokolla (2)

Miksi ei yritä huomata törmäystä?

Vaikea lähettää ja ottaa vastaan yhtäaikaan. Saapuva signaali on vaimentunut matkalla ja voi siksi olla hyvinkin paljon heikompi kuin lähetettävä signaali.

Ei voi huomata törmäystä, jossa toinen lähettävä solmu on oman kuuluvuusalueen ulkopuolella (**hidden terminal**)

Tai voi luulla törmäykseksi, vaikka lähetys ei sotkisikaan omaa lähetystä (**exposed terminal**)

802.11: CSMA/CA

Lähetys

1. Jos kanava vapaa

Kuuntele DIFS aikayksikköä
Lähetä kehys kokonaan

2. Jos kanava varattu

→ Käynnistä peruutuslaskuri (backoff)
random(max), jota vähennetään vain
kun kanava on vapaa,
Lähetä, kun laskuri nollassa
Jos ei tule kuittausta, niin yritä
← uudestaan $\text{max} = 2 * \text{max}$

Vastaanotto

Jos kehys OK

Odota SIFS aikayksikköä

Lähetä ACK (linkkikerroksen ACK)

Fig 6.10 [KR12]

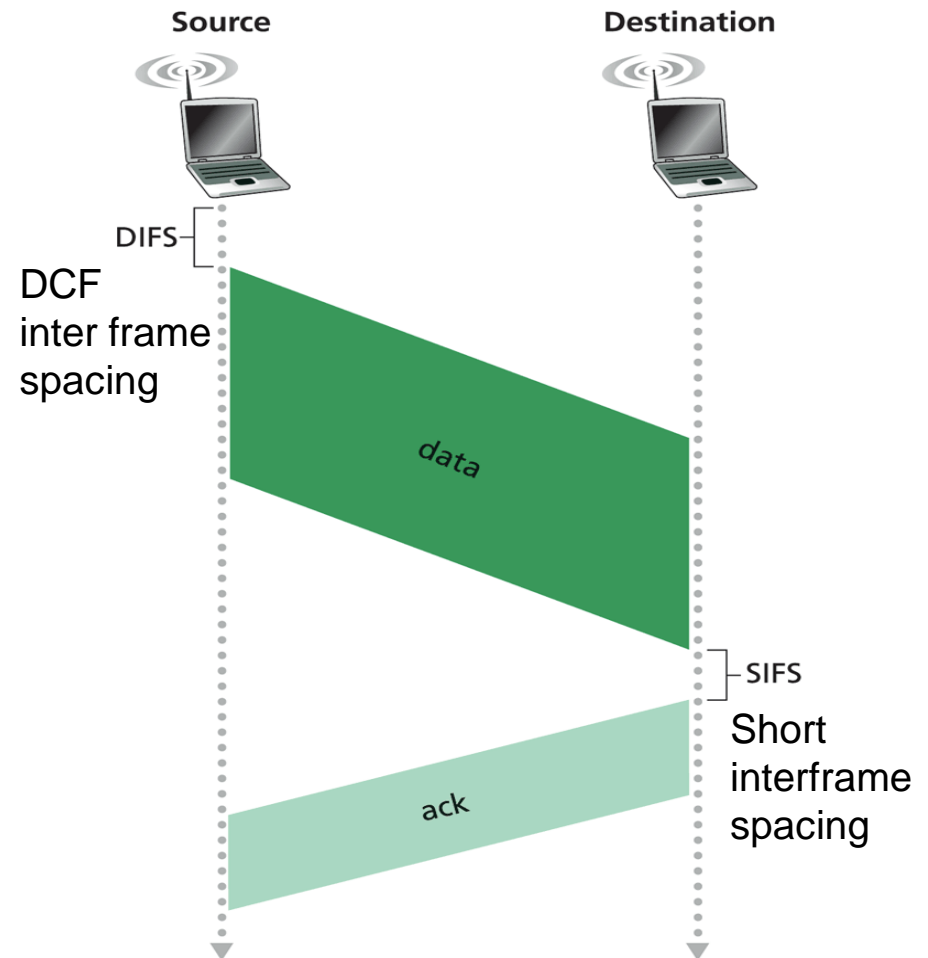
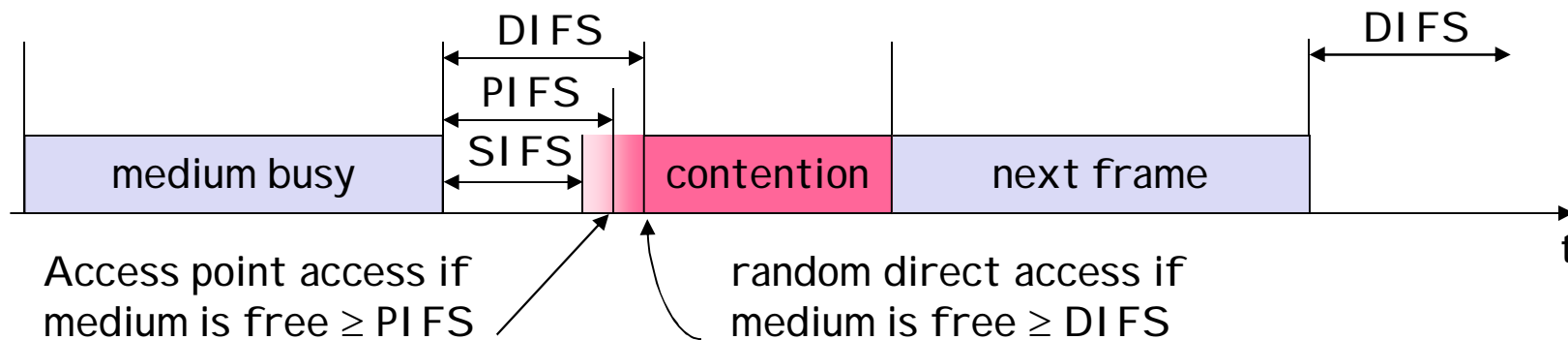


Figure 6.8 ♦ 802.11 uses link-layer acknowledgment



Kehysten väliä käytetään niiden priorisointiin

- Kehysväli (inter frame spacing, IFS): Korkean prioriteetin kehystyypeille sallitaan lyhyempi kehysväli
 - SIFS (Short Inter Frame Spacing)
 - Korkein prioriteetti; ACK, CTS, polling response
 - PIFS (Point Coordination Function Spacing)
 - Keskipälin prioriteetti, tietyille aikarajoitteisille viesteille, PCF:lle
 - DIFS (Distributed Coordination Function Spacing)
 - Alin prioriteetti, tavalliselle dataliikenteelle





DIFS ja SIFS kestoja (mikrosek.)

DIFS DCF Interframe Space (DIFS)

Aika, jolloin odotetaan

$DIFS = SIFS + (2 * \text{slot time})$

Tämä jälkeen voidaan lähettää frame

802.11b Slot time 20 μs , DIFS 50 μs

802.11g Slot time 9 tai 20 μs , DIFS 28 tai 50 μs

SIFS Short Interframe Space

Aika datakehysten ja sen ackin välillä

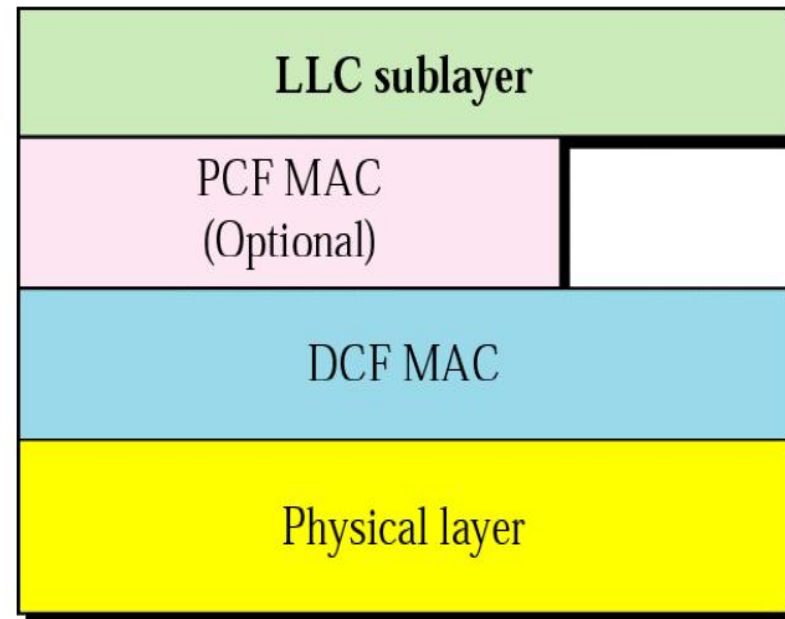
Tarvitaan että ehditään siirtyä kuuntelusta lähetykseen (tai toisinpäin)

802.11b 10 μs , 802.11g 10 μs



Koordinoitiefunktiot

- DCF (Distributed Coordination Function)
 - Kilpailua, ei priorisointia
- PCF (Point Coordination Function)
 - Keskitetty medianhallintafunktio
 - Toimii infrastruktuuritilassa
 - Kukin tilaaja saa lähetyvuoron (myös DCF periaate)

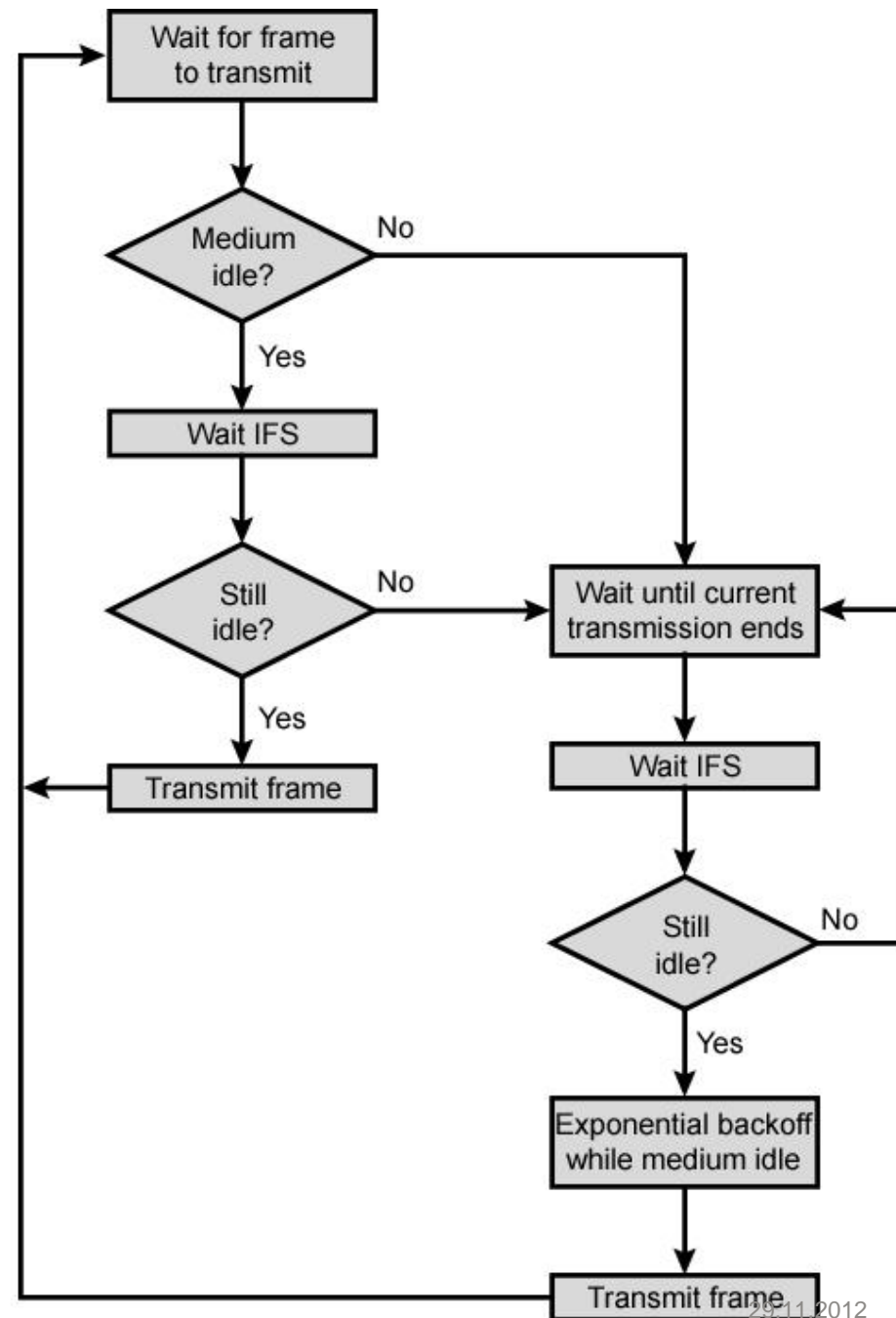




IEEE 802.11 MAC Logic

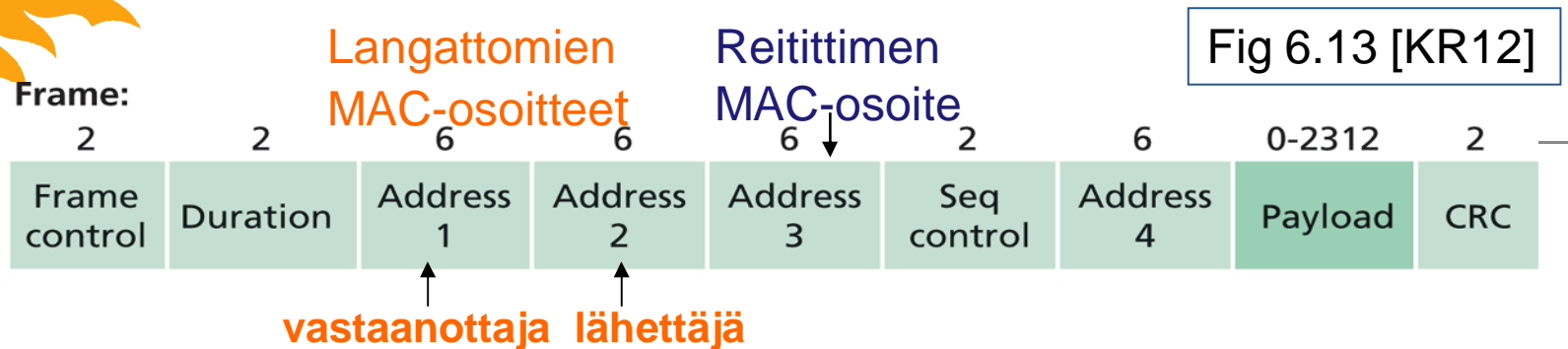
IFS: Inter Frame Space (= DIFS, SIFS, or PIFS)

Reference: W. Stallings: Data and Computer Communications, 7th ed





802.11: Kehyksen rakenne



4 osoitekenttää

isännän ja tukiaseman MAC-osoitteet (kenttä 1 ja 2)

Sen reitittimen osoite, jossa tukiasema on kiinni (kenttä 3)

Reitittimen ja tukiaseman välillä tavallinen kehys (esim. Ethernet)

Tukiasema on 'näkyvätön' reitittimelle, reititin luulee saavansa kehyksen suoraan isäntäkoneelta

Kenttä 4 käytössä vain ad hoc -verkossa

Request To Send
Clear To Send

Lähetyksen kesto (duration)

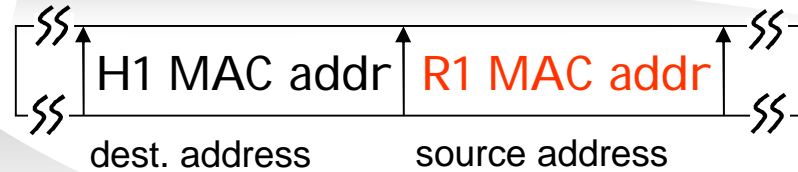
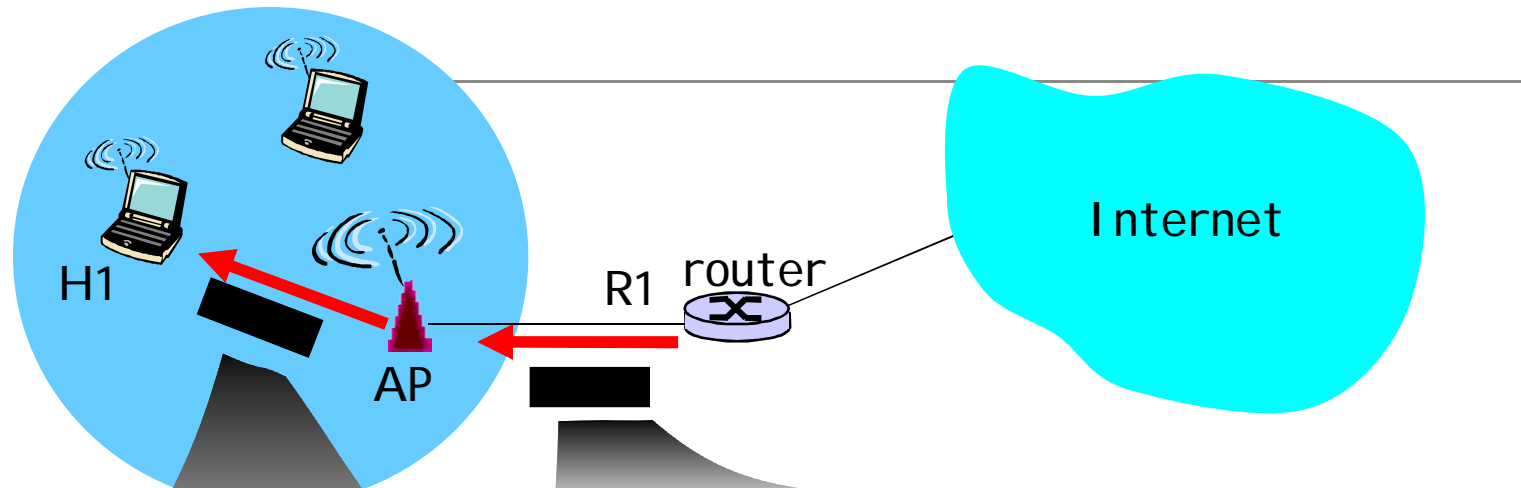
Jos RTS/CTS kehys, varauksen kesto (lähetys-kuittaus)

Seq control

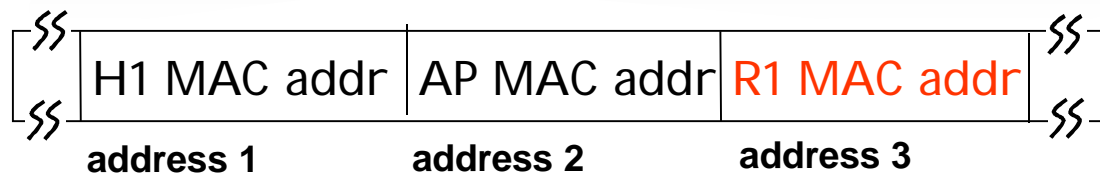
Järjestysnumeroa tarvitaan kuittauksia varten



Osoitteiden käyttö: Internetistä langattomalle



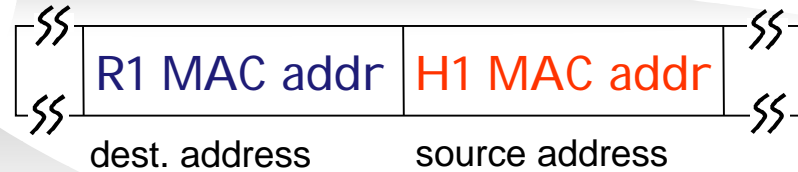
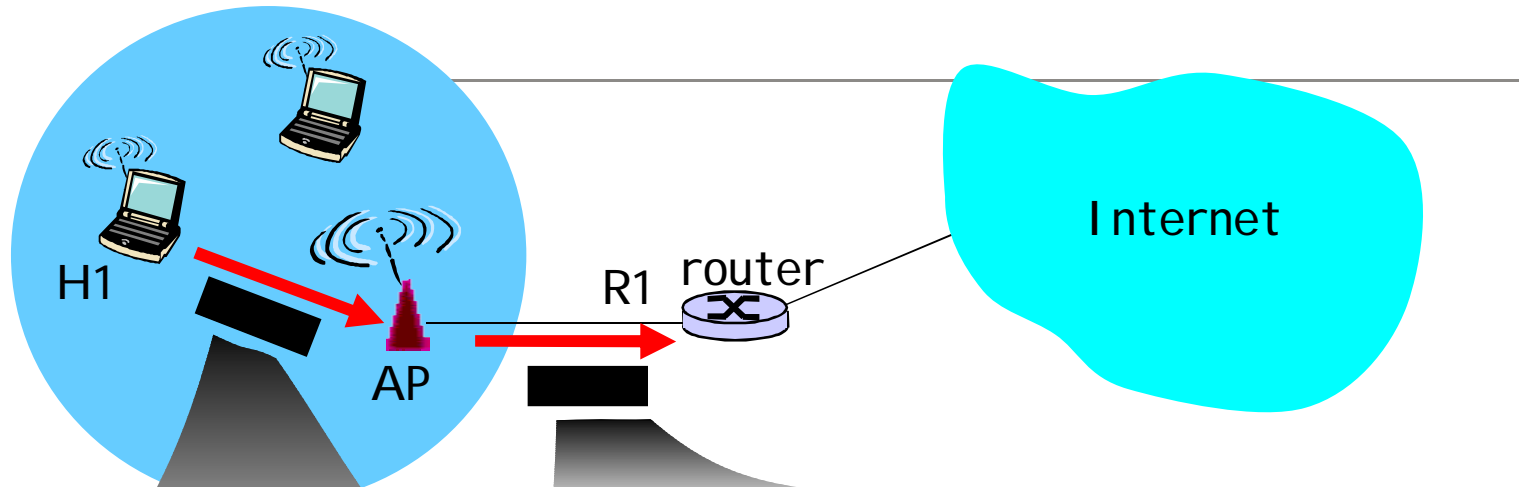
Ethernet-kehys



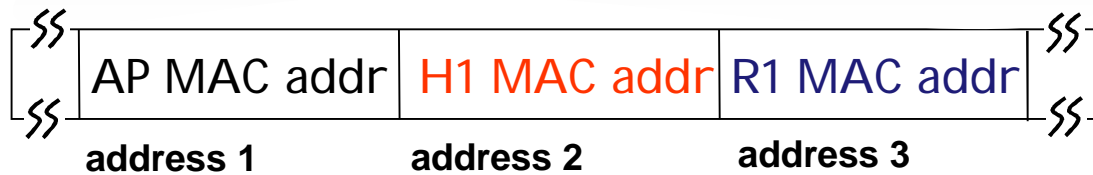
Katso Fig 6.14 [KR12]



Osoitteiden käyttö: langattomalta Internetiin



Ethernet-kehys



Katso Fig 6.14 [KR12]



802.11: Kehyksen rakenne

Frame control

Type, Suptype

miten kehystä tulkittava: RTS/CTS/ACK/ data?

ToAP ja FromAP

miten osoitekenttiä tutkittava: lähettäjä /vastaanottaja
ad hoc?

WEP (Wired Equivalent Privacy) ja WPA (WiFi Protected Acces)

Käyttääkö kryptausta (Huom. WEPin tietoturva surkea → ÄLÄ KÄYTÄ)

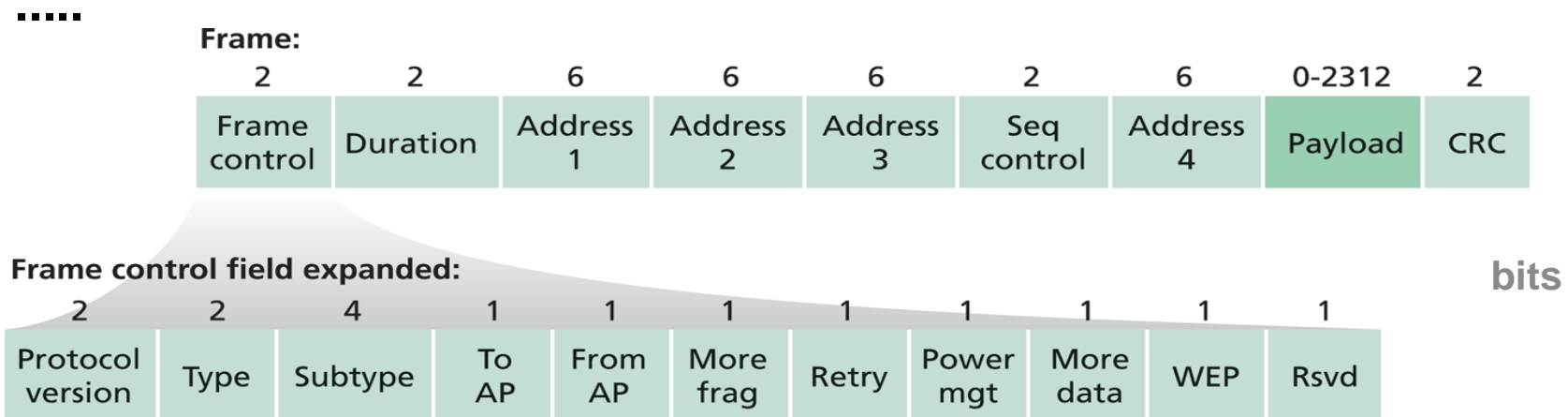


Figure 6.13

The 802.11 frame



Kertauskysymyksiä

Miksi WLAN:ssa ei hyödytä käyttää törmäysten havaitsemista?

Miten sitten tiedetään, onko törmäystä tapahtunut?

Miten WLAN:ssa hoidetaan linkin yhteiskäyttö?

Miksi WLAN-kehyksessä kaksi osoitetta ei oikein riitä?

Onko törmäys lainkaan mahdollinen, jos käytetään RTS/CTS-varausmenetelmää?

Ks. myös kurssikirja s. 579-580



CDMA (Code Division Multiple Access)

yksi kanava

usea samanaikainen lähetys

kukin koko kanavan taajuudella!

yhden bitin lähetyisaika jaetaan pienempiin osiin
(aikasiruihin)

- 64 tai 128 sirua bittiä kohden

kullakin asemalla oma 'sirukuvio' 1-bitin lähetykseen

- 0-bitti on tämän komplementti (merkitään siksi **-1**)

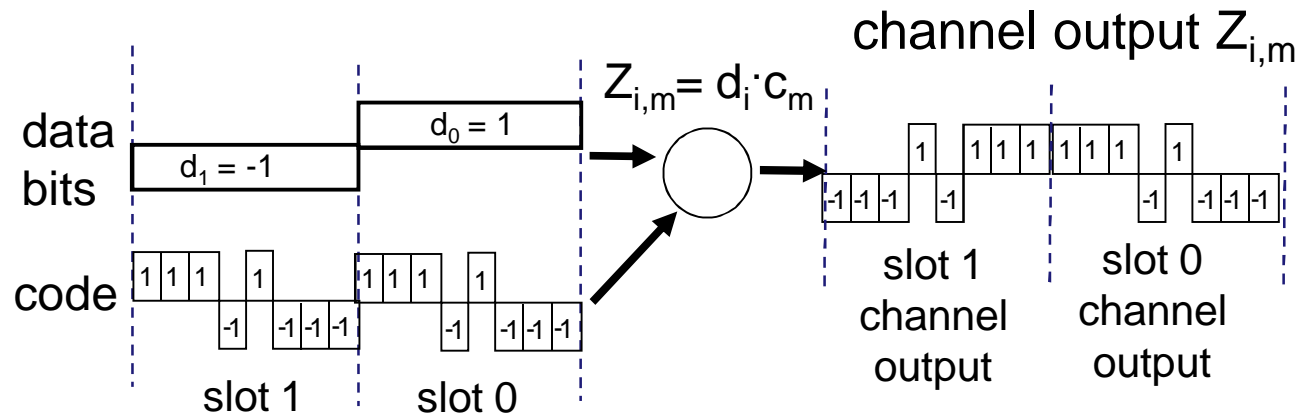
Bittikuviot ortogonaalisia: bittikuvioiden sisätulot nolliä



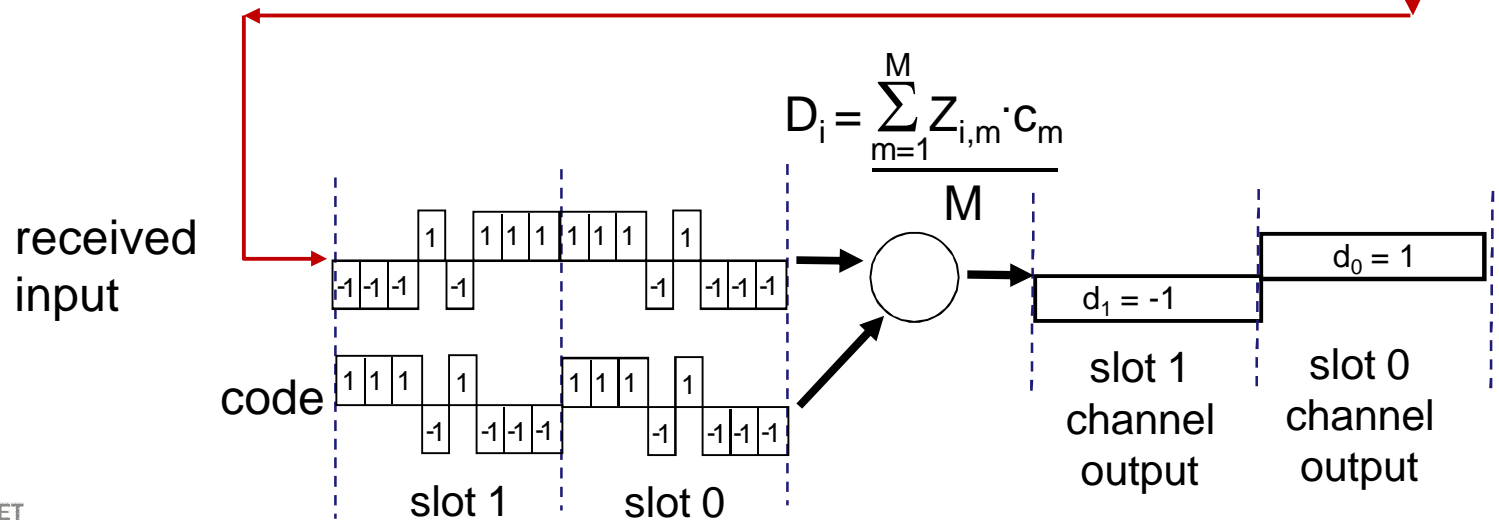
CDMA encode/decode

Fig 6.5 [KR12]

sender



receiver



CDMA: kahden lähettäjän interferenssi

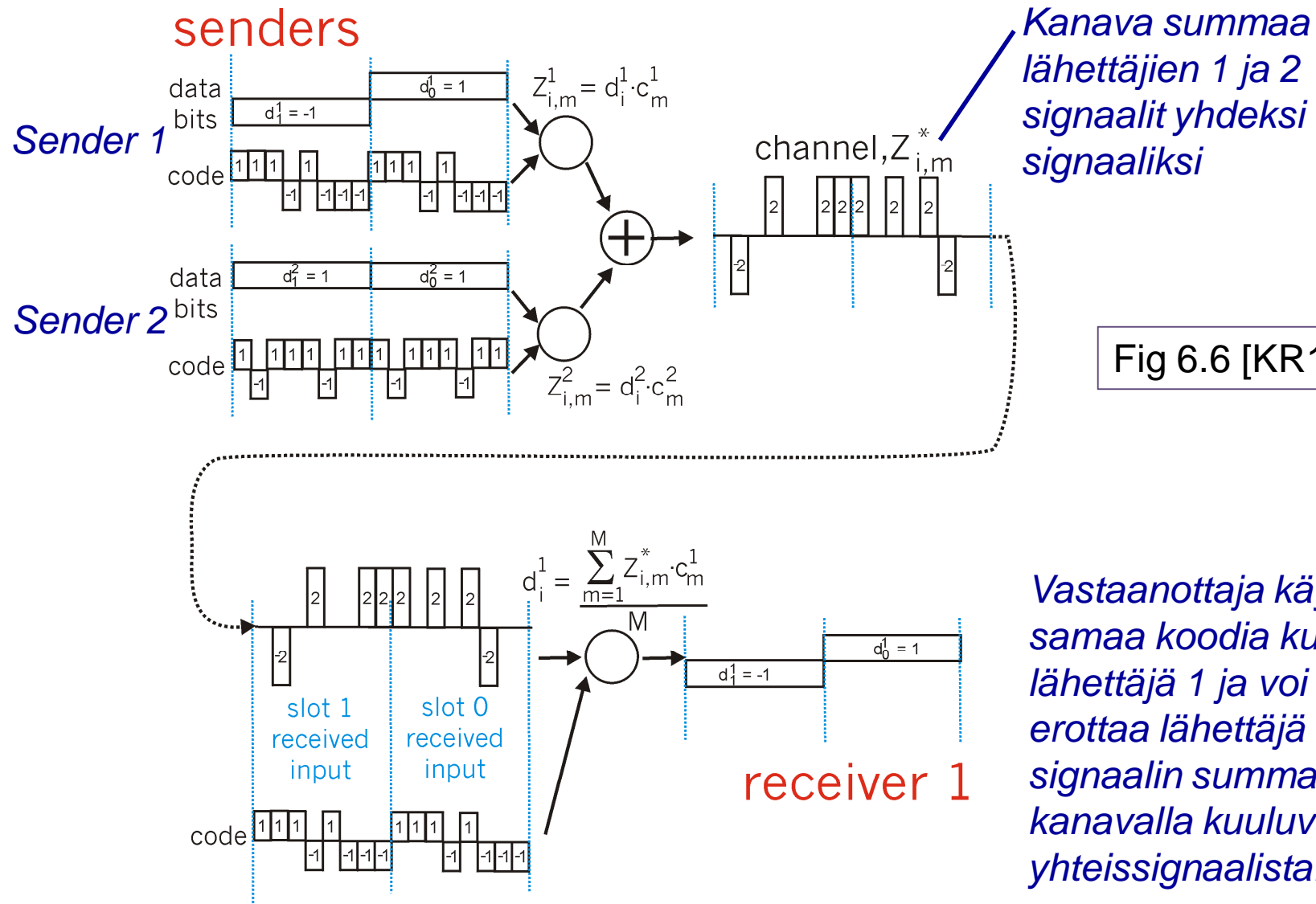


Fig 6.6 [KR12]



Esimerkki: 8-siruinen koodi

aseman A 1-bitti: 00011011 = -1 -1 -1 1 1 -1 1 1

0-bitti: 11100100 = 1 1 1 -1 -1 1 -1 -1

aseman B 1-bitti: 00101110 = -1 -1 1 -1 1 1 1 -1

0-bitti: 11010001 = 1 1 -1 1 -1 -1 -1 1

aseman C 1-bitti: 01011100 = -1 1 -1 1 1 1 -1 -1

0-bitti: 10100011 = 1 -1 1 -1 -1 -1 1 1

aseman D 1-bitti: 01000010 = -1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1

0-bitti: 10111101 = 1 -1 1 1 1 1 -1 1

| |
|----------|
| $0 = -1$ |
| $1 = 1$ |

Ps. Oikeasti käytetään 64 tai 128 sirua



Kaikki sirukuviot parittain ortogonaalisia:

$$A \bullet B = 0 = 1/m \sum A_i B_i \text{ (sisätulo)}$$

$$A \bullet A = 1$$

$$-A \bullet A = -1$$

=> yhteissignaalista löydetään eri asemien omat lähetykset!

$$A:n \text{ 1-bitti: } 00011011 = -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1$$

$$B:n \text{ 1-bitti: } 00101110 = -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1$$

$$A \bullet B = 1+1+-1+-1+1+-1+1+-1$$

$$= 0 \Rightarrow \text{keskenään ortogonaalisia}$$



Yhteissignaali

- kukin asema lähettää omat 1-bittinsä ja 0-bittinsä
- kun moni lähettää samanaikaisesti tuloksena on yhteissignaali S.
 - lähetettyjen signaalien ‘summa’
- aseman datan ‘purkaminen’ yhteissignaalista
 - A = aseman oma bittikuvio
 - $S \bullet A$ tuottaa aseman lähettämän bitin
 - kerrottuna bitin aikasirujen lukumäärällä



Esimerkki: Mitä C lähetti?

$$S = (-2 \ -2 \ 0 \ -2 \ 0 \ -2 \ 4 \ 0)$$

$$C = (-1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1)$$

$$S \bullet C = (2 \ -2 \ 0 \ -2 \ 0 \ -2 \ -4 \ 0) \\ = -8 \Rightarrow -1$$

eli C lähetti 0-bitin



Esimerkki jatkuu: Mitä B lähetti?

$$S = (-2 \ -2 \ 0 \ -2 \ 0 \ -2 \ 4 \ 0)$$

$$B = (-1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1)$$

$$S \bullet B = (2 \ 2 \ 0 \ 2 \ 0 \ -2 \ 4 \ 0)$$

$$= 8 \Rightarrow 1$$

eli B lähetti 1-bitin



Esimerkki jatkuu: Entä mitä A lähetti?

$$S = (-2 \ -2 \ 0 \ -2 \ 0 \ -2 \ 4 \ 0)$$

$$A = (-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1)$$

$$S \bullet A = (2 \ 2 \ 0 \ -2 \ 0 \ 2 \ 4 \ 0)$$

$$= 8 \Rightarrow 1$$

eli A lähetti 1-bitin

Lähetikö myös D jotain?



Käytännössä CDMA on vaativa toteuttaa

64 tai 128 bitin ortogonaalisia koodeja
edellyttää signaalien voimakkuuksien
vertailua ja yhteenlaskua => signaalien
heikkeneminen eri etäisyyksillä otettava
huomioon

tarkat ajoitukset

tunnettava lähettäjien sirukoodit