

Langattomat verkot

CSE-C2400 Tietokoneverkot
18.03.2014

Matti Siekkinen

Viime luennolla

- Bridging on linkkikerroksen lähiverkkosegmenttien verkottamista
 - Pääasiassa käytetään kytkimiä ja keskittimiä
- Kytketyissä verkoissa voi esiintyä välityssilmukoita
 - Kehykset kiertävät loputtomasti verkossa
 - Tarvitaan Spanning Tree Protocol (STP) tms.
 - Muodostaa silmukattoman topologian
 - Uudempia korvaavia protokollia jo olemassa
- Virtual LAN (VLAN)
 - Verkon osittaminen yhdellä laitteella
 - Helpottaa verkonhallintaa ja tehostaa laitteiden käyttöä
- MPLS mahdollistaa joustavan pakettien reitityksen
 - Liikenteenohjaus ja varareitit

Sisältö

- Langattomat verkot
 - – Mistä koostuu
 - Langaton tiedonsiirto
- Langattomat lähiverkot: 802.11 eli Wi-Fi
- Soluverkot
- Liikkuvuudenhallinta verkoissa

Tämän luennon jälkeen...

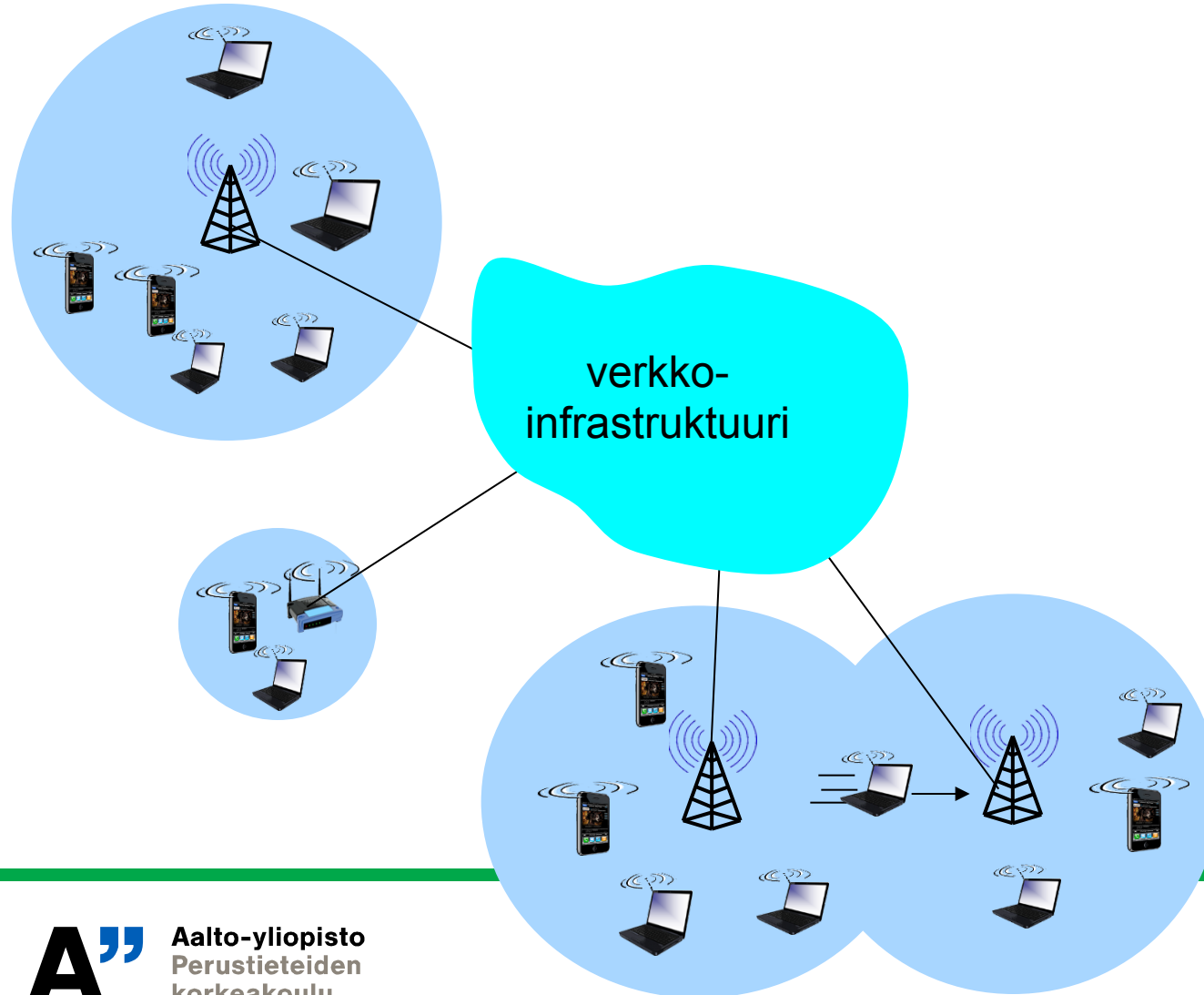
Ymmärrätte:

- Eriyishaasteet langattomissa verkoissa
- 802.11 eli Wi-Fi:n toiminnan
 - Eri versiot ja taajuusalueet
 - Osoitteet
 - Monipääsy (CSMA/CA, RTS/CTS)

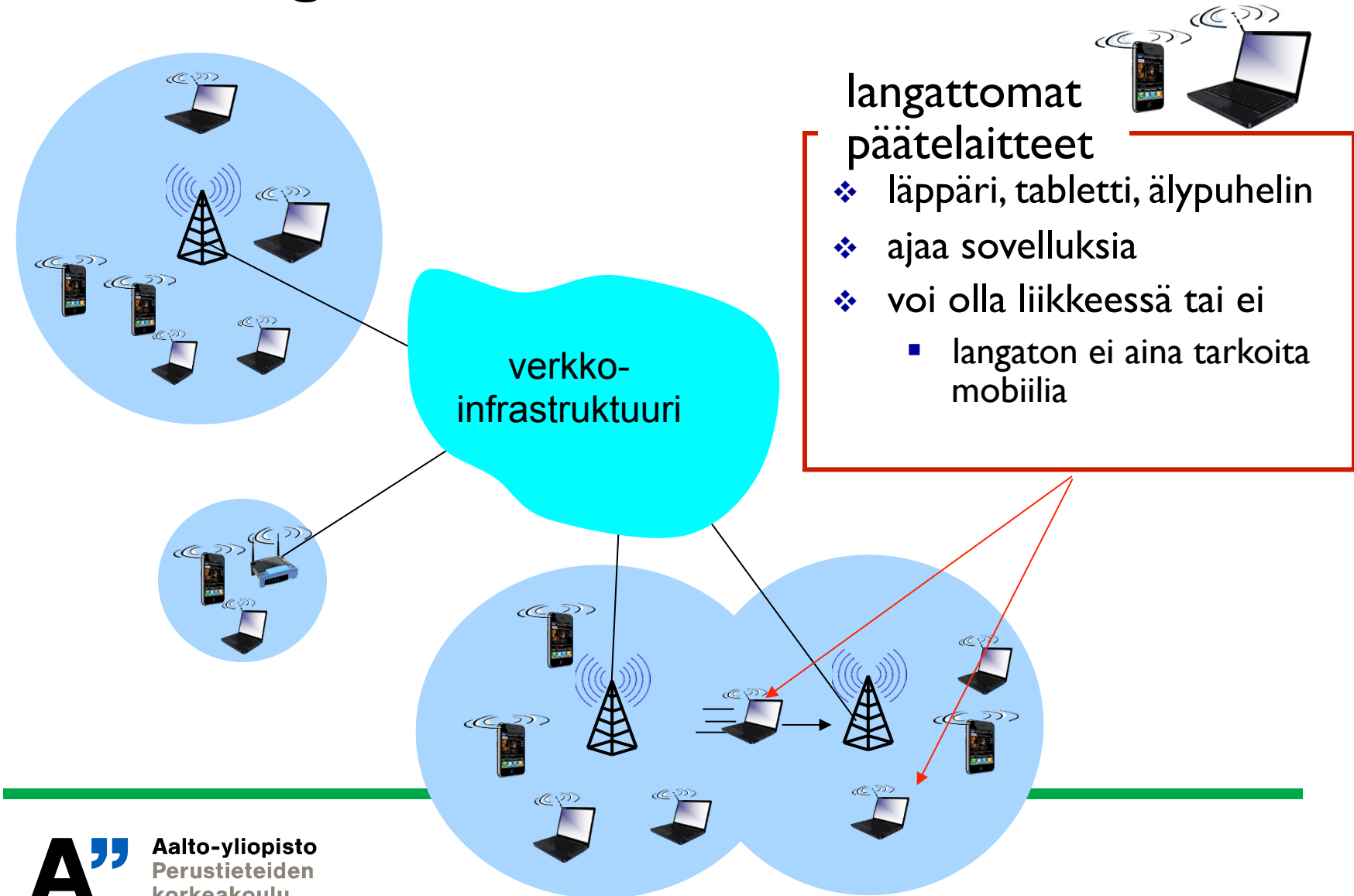
Tiedostatte:

- Langattoman tiedonsiirron perusteet
- Liikkuvuudenhallinnan periaatteet
- Soluverkkojen toiminnan (CDMA, LTE vs. 3G vs. 2G)

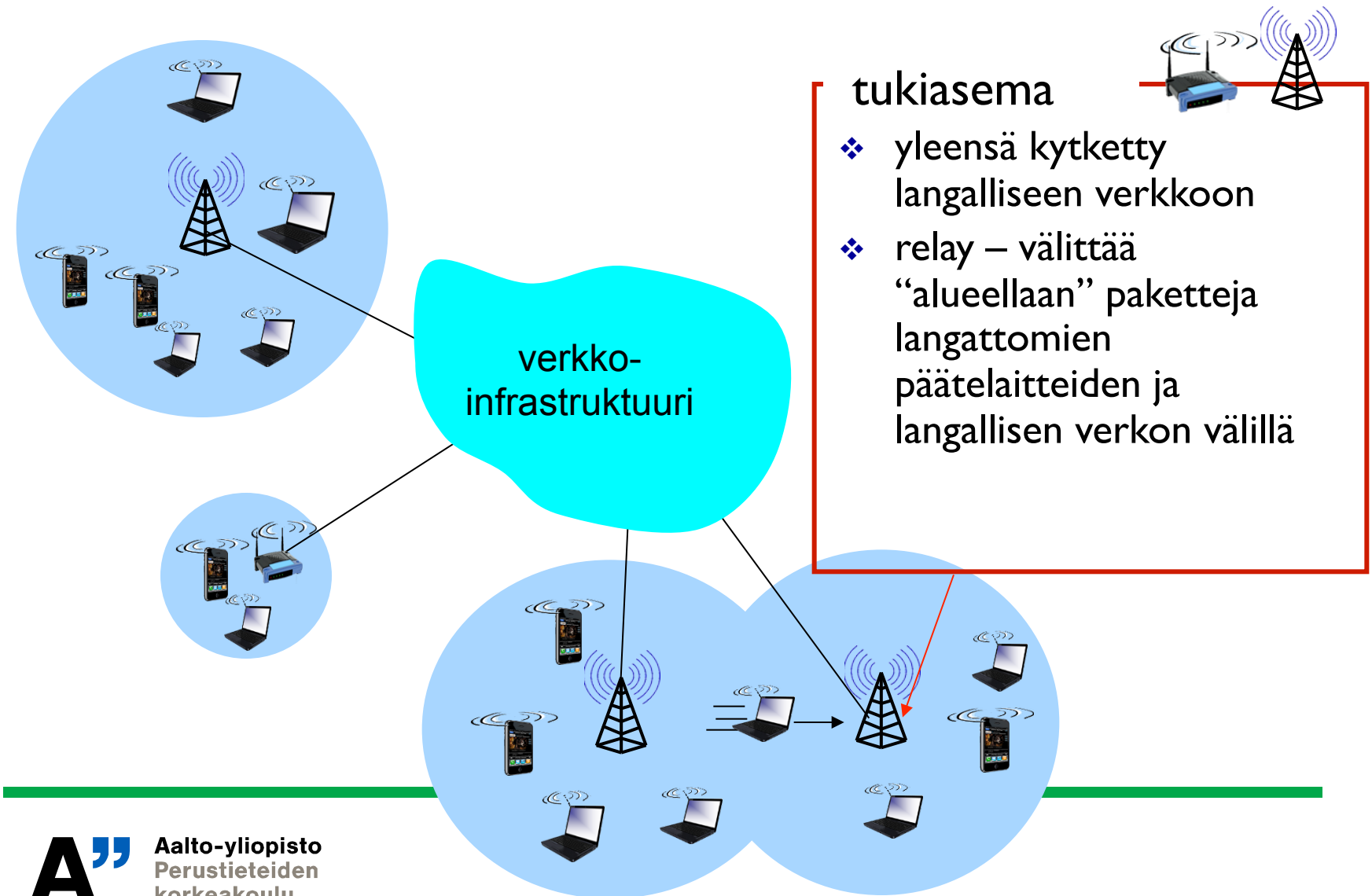
Mistä langattomat verkot koostuu?



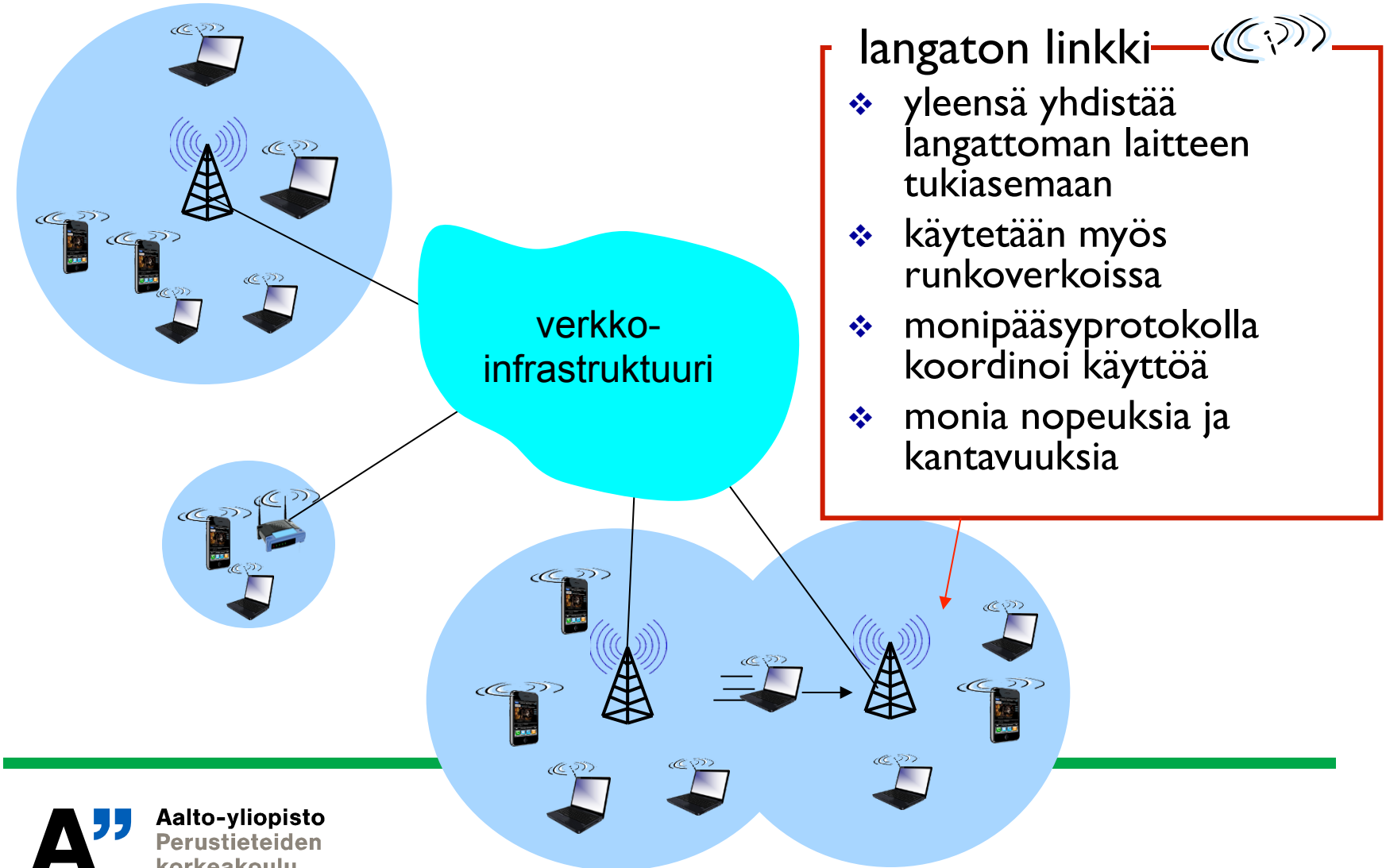
Mistä langattomat verkot koostuu?



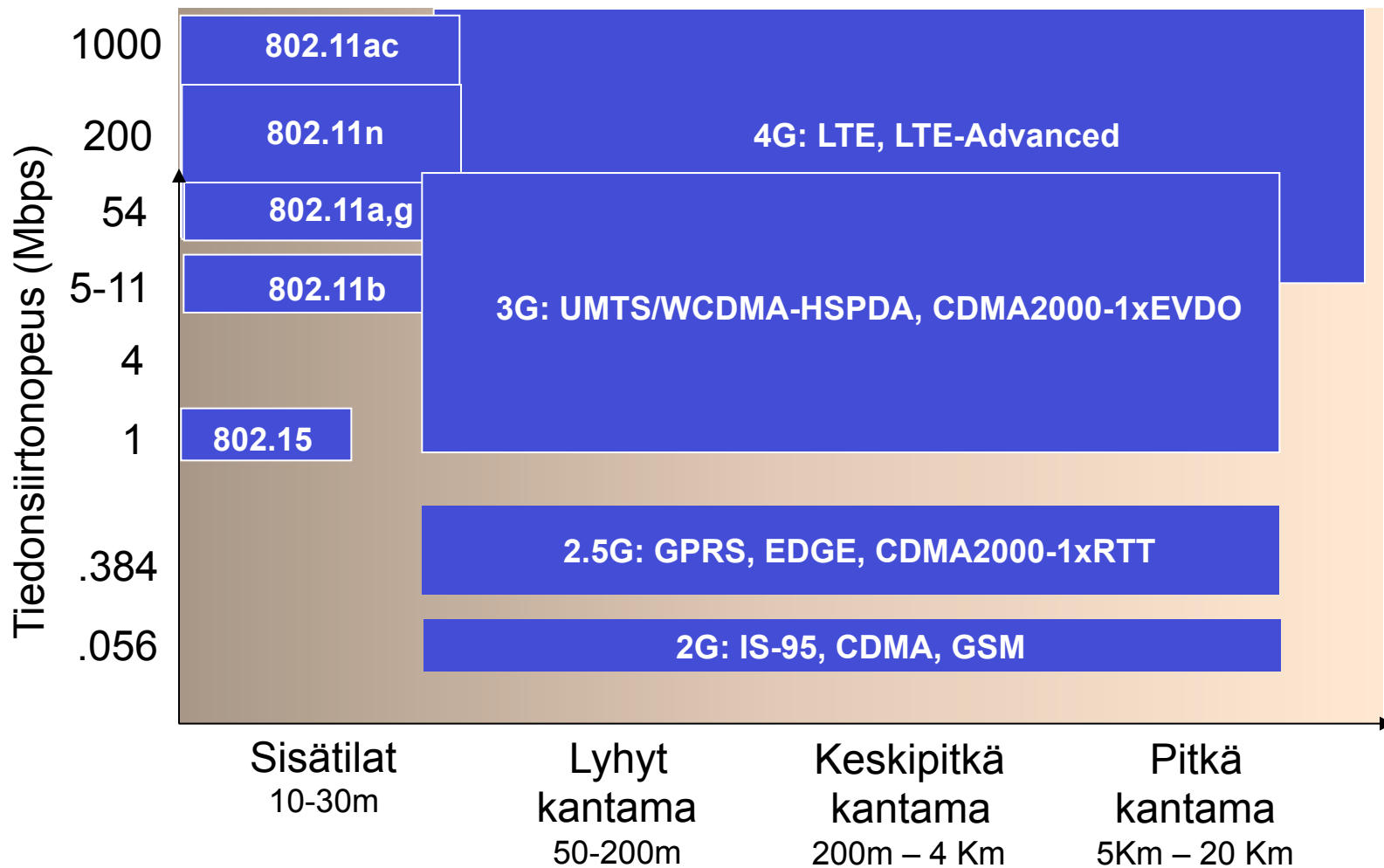
Mistä langattomat verkot koostuu?



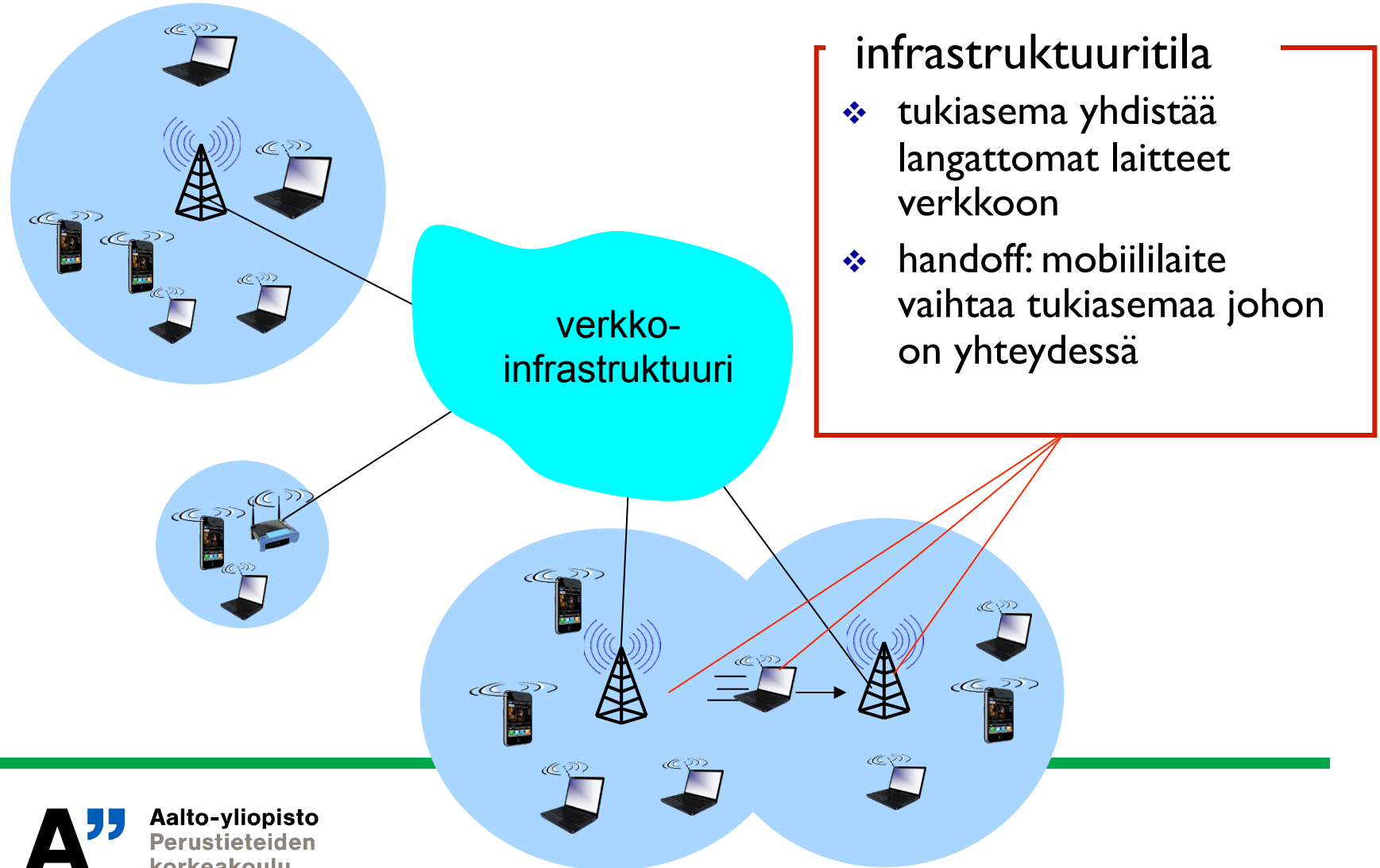
Mistä langattomat verkot koostuu?



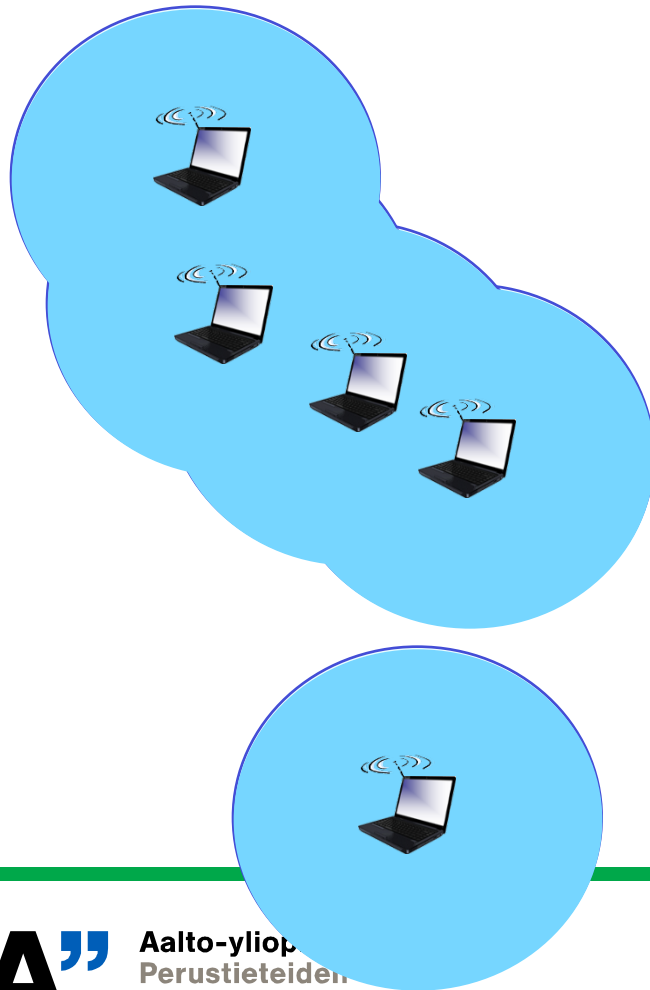
Erilaisia langattomia linkkiteknologioita



Mistä langattomat verkot koostuu?



Mistä langattomat verkot koostuu?



ad hoc -tila

- ❖ ei tukiasemia
- ❖ laitteet viestivät niiden laitteiden kanssa jotka ovat kantaman päässä
- ❖ laitteet järjestävät itsensä verkoksi: reitittävät paketteja keskenään

Langattomat verkot: taksonomia

	yksi “hyppy”	mona “hyppyä”
infrastruktuuri (esim. tukiasema)	laite yhteydessä tukiasemaan (WiFi, WiMAX, soluverkot) joka yhdistää Internetiin	paketit pitää välittää usean langattoman linkin yli jotta päästään Internetiin: <i>langattomat mesh-verkot</i>
ei infrastruktuuria	ei tukiasemaa, ei yhteyttä Internetiin (Bluetooth, ad hoc -verkot)	ei tukiasemaa, ei yhteyttä Internetiin, paketit pitää välittää usean langattoman linkin yli tietylle toiselle laitteelle: MANET, VANET

Sisältö

- Langattomat verkot
 - Mistä koostuu
 - – Langaton tiedonsiirto
- Langattomat lähiverkot: 802.11 eli Wi-Fi
- Soluverkot
- Liikkuvuudenhallinta verkoissa

Langattoman linkin ominaisuuksia: kaistanleveys

- Taajuuskaistan leveys analogisessa maailmassa
 - Bittejä per sekunti digitaalisessa
- Leveämpi taajuuskaista → enemmän bittejä per sekunti
- Nyquist
 - Max teoreettinen siirtonopeus kohinattomalle kanavalle jolla annettu kaistanleveys = $2B \log_2 V$ ← signaalin diskreettien tasojen lukumäärä

Langattoman linkin ominaisuuksia: SNR

- Signaalin voimakkuus ja kohina
 - Taustakohina vaikuttaa aina langattomassa tiedonsiirrossa
 - Laskee teoreettista tiedonsiirron maksiminopeutta
 - Shannon-Hartleyn teoreema (1948)
 - Max siirtonopeus kun kohina mukana = $B \log_2(1 + \text{S/N})$
 - Informaatioteorian keskeisimpiä tuloksia
 - A.k.a. Shannon limit
- signal-to-noise ratio
(signal power over
noise power)

Langattoman linkin laatu

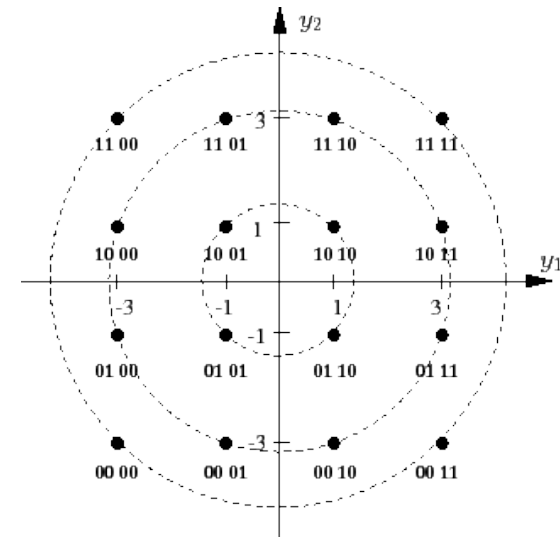
- Useat langattomien linkkien ominaisuudet tekevät tiedonsiirrosta haastavampaa kuin langallisissa linkeissä
 - *Häviö (path loss)*: radiosignaali vaimenee kulkiessaan aineen (ilman) läpi
 - *Häiriö (interference)*: Muut laitteet aiheuttavat, standardoidut taajuualueet yleisessä käytössä (esim., 2.4 GHz)
 - *Monitie eteneminen (multipath propagation)*: signaali heijastuu pinnoista ja saapuu eriaikaisesti vastaanottajalle

Langaton tiedonsiirto: *Modulaatio*

- Miten bitit koodataan ilmaan?
 - Radiolinkin signaalia muokataan tietyin tavoin
 - Tietynlainen muutos signaalissa merkkää ykköstä ja toinen nollaa
- Digitaalinen modulaatio
 - Bitit koodataan analogiseen signaaliin
 - Muokataan signaalin amplitudia, vaihetta, ja/tai taajuutta bittijonon mukaisesti
- Muutama perustekniikka
 - PSK: Phase-shift keying
 - FSK: Frequency-shift keying
 - ASK: Amplitude-shift keying
 - QAM: Quadrature amplitude modulation
 - Yhdistää amplitudi- ja vaihemodulaation

Langaton tiedonsiirto: *Modulaatio*

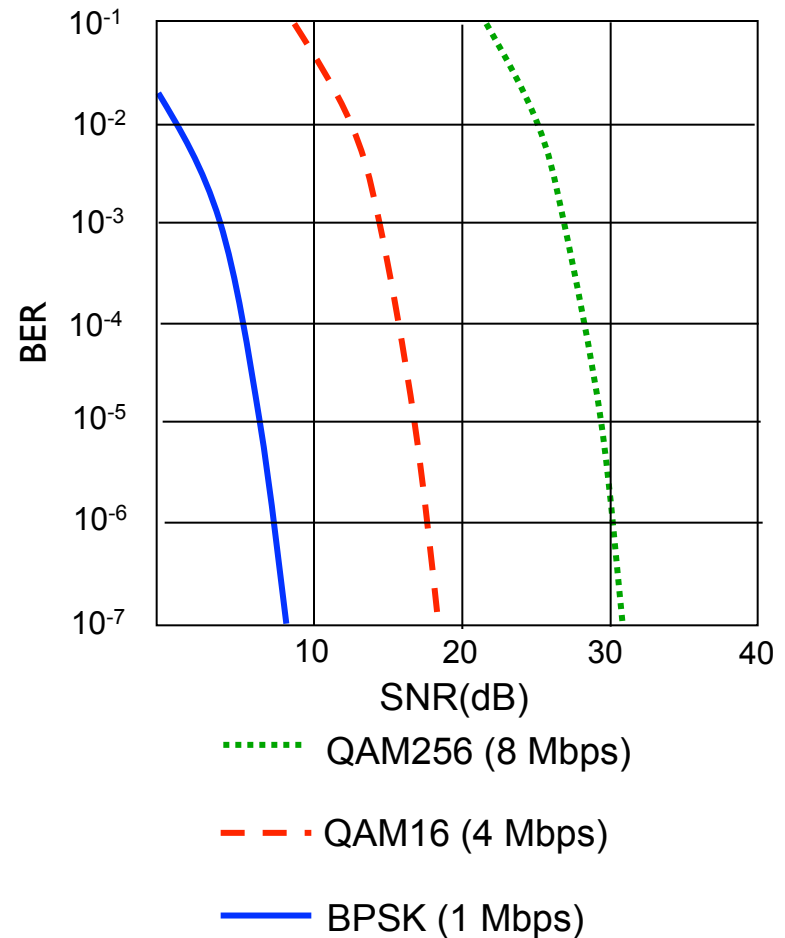
- Voidaan käyttää useita diskreettejä signaalin tasoja
- Symbol rate = bittinä per symboli
 - Perusmenetelmät (binääri) käyttävät 1 bittiä per symboli
 - Esim. Binary PSK (BPSK)
 - Kvadratuurimenetelmät käyttävät 2 bittiä per symboli
 - Esim. Quadrature PSK (QPSK)
 - Myös QAM käyttää monta bittiä per symboli
 - Esim. 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM...
- Tradeoff: siirtonopeus vs. virheiden määrä
 - Suurempi symbol rate → nopeampi tiedonsiirto
 - Pienempi symbol rate → parempi kohinansieto



16-QAM esimerkki-konstellaatio

Modulaatio ja langattoman linkin laatu

- SNR: häiriö-kohina-suhde (signal-to-noise ratio)
 - suurempi SNR → helpompi erottaa signaali kohinasta
- *SNR vs BER (bit error rate)*
 - *modulaatio annettu*: lisää lähetystehoa → parempi SNR → pienempi BER
 - *annettu SNR*: valitse modulaatio siten että saavutetaan tavoiteltu BER ja siirtonopeus



Sisältö

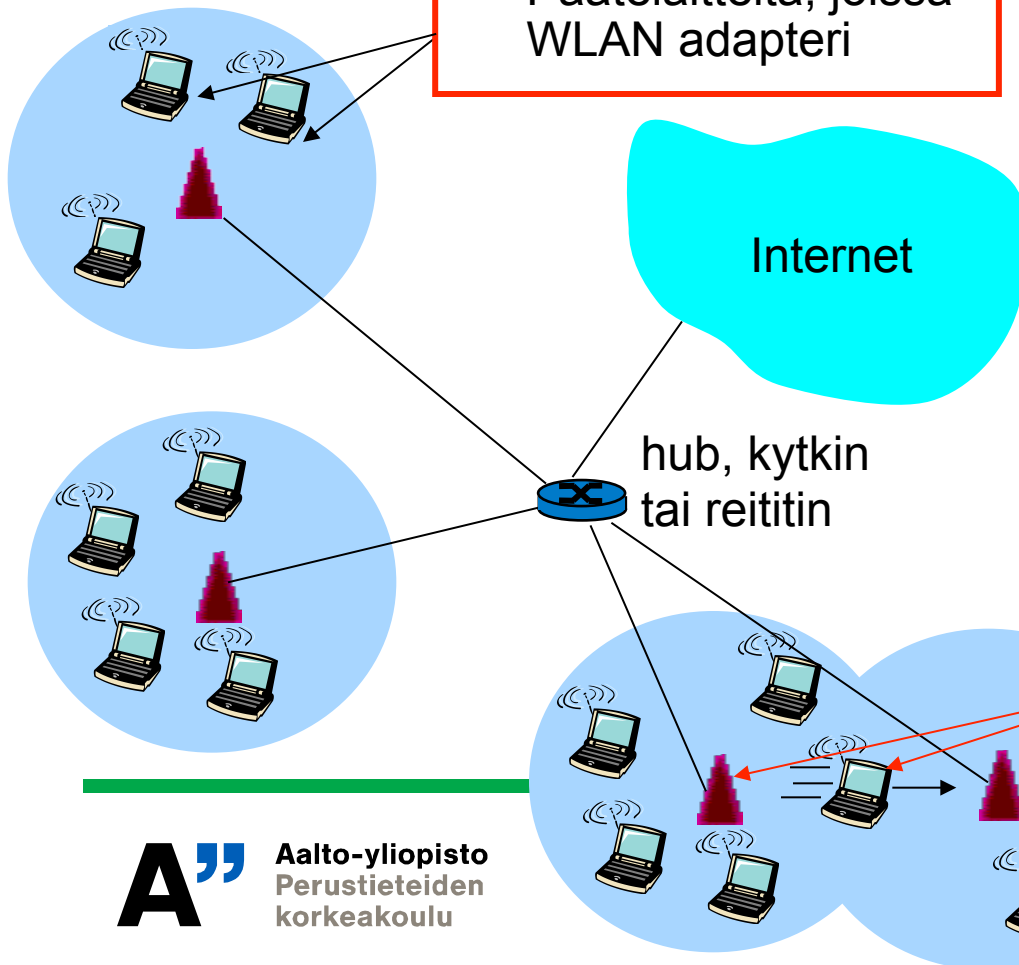
- Langattomat verkot
 - Mistä koostuu
 - Langaton tiedonsiirto
- • Langattomat lähiverkot: 802.11 eli Wi-Fi
- Soluverkot
- Liikkuvuudenhallinta verkoissa

Langaton lähiverkko (WLAN)

Keskitytään vain IEEE:n standardoimaan 802.11 WLAN:iin (eli Wi-Fi)

- Päätelaitteita, joissa WLAN adapteri

- Infrastruktuuritila: kaikki liikenne aina tukiaseman kautta
- ad-hoc-tila: päätelaitteet viestivät suoraan keskenään



WLAN tukiasema
(Access Point)

- Tukiasema välittää paketteja langallisen verkon ja langattomien tietokoneiden välillä toimialueellaan

Handoff

- Terminaali vaihtaa tukiasemaa

Langaton lähiverkko (WLAN)

- Käytännössä IEEE 802.11 nykyään
 - Kilpailevia teknologioita ei oikeastaan ole
- Mikä IEEE 802.11?
 - Yksi standardi ja monta lisäystä (amendment)
 - Määrittelevät langattoman lähiverkkoteknologian
 - Fyysinen kerros
 - Monipääsyprotokollat (MAC)
 - IEEE Standards Committee loi ja hallinnoi
- Mikä Wi-Fi?
 - Wi-Fi allianssin sertifiointimerkki IEEE 802.11 standardia noudattaville laitteille
 - Pyrkii 802.11 laitteiden yhteensopivuuden ja laadunvalvontaan

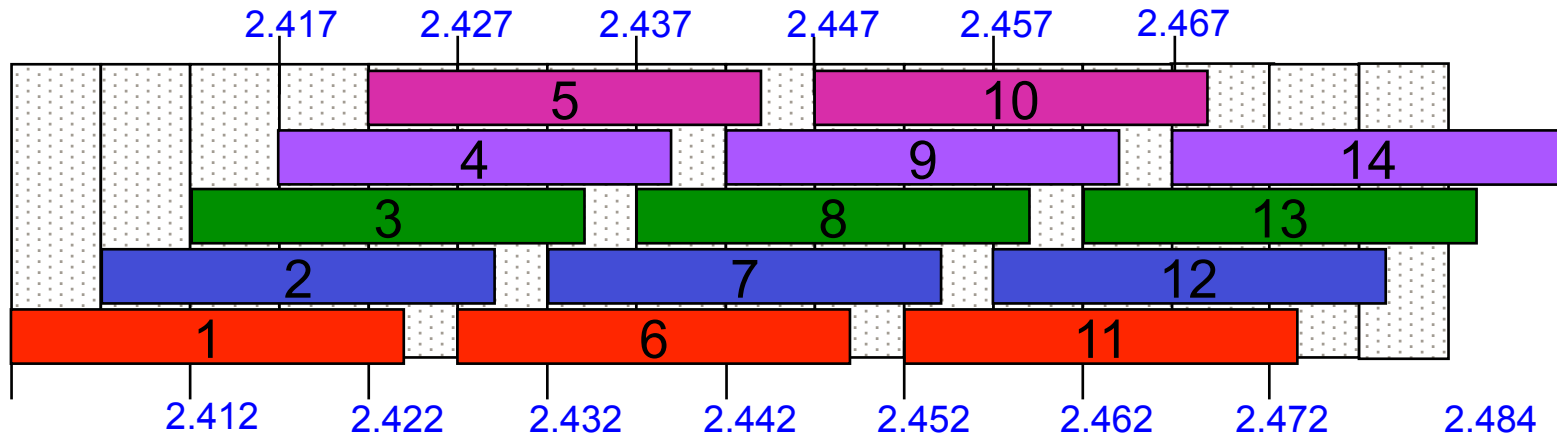
802.11 lähiverkko- teknologiat

- 802.11b (1999)
 - 2.4 GHz kaista
 - Max. lähetysnopeus 11 Mbps
 - ei juuri enää käytetä
- 802.11a (1999)
 - 5 GHz kaista
 - max. lähetysnopeus 54 Mbps
 - ei juuri enää käytetä
- 802.11g (2003)
 - 2.4 GHz kaista
 - Max. lähetysnopeus 54 Mbps
 - Vielä laajalti käytössä
- 802.11n (2009)
 - 2.4/5 GHz kaistat
 - Moniantennilähetys (MIMO)
 - 2 kanavanleveyttä (20/40MHz)
 - max. lähetysnopeus 600 Mbps
 - Oletusteknologia tänä päivänä
- 802.11ac (2013)
 - 5 GHz kaista
 - Vielä leveämmät kanavat (80 ja 160 MHz)
 - MIMO
 - Multi-user MIMO
 - max. yhdistetty lähetysnopeus 7Gb/s

Eri taajuusalueet



802.11 kanavat: 2.4 GHz



- “Karvalakki” Wi-Fi (802.11g) käyttää 2.4GHz
- 14 kanavaa käytössä
 - Taajuusalueet menevät päällekkäin
 - Vain muutamaa kanavaa voi käyttää yhtäaikaaisesti häiritsemättä toisiaan
 - 1, 6, 11 tai 1, 5, 9, 13 jos kanava 13 käytössä (esim. Eurooppa)
- “Ruuhkainen” taajuusalue
 - Häiriölähteitä: mikroaaltouunit, vauvahälyttimet, autotallin avaajat...
- Ylläpitäjä valitsee käytettävän kanavan
 - Tukiasemat ei yleensä osaa itsekonfiguroitua

802.11 kanavat: 5 GHz

- 5 GHz taajuusalue on leveämpi
- Vapaat kanavat riippuvat maanosasta
 - 19 ei päällekkäistä kanavaa Euroopassa
 - 24 Ameriikoissa
- Uudempi 802.11n käyttää sekä 5GHz että 2.4GHz
- Uusin 802.11ac käyttää vain 5GHz
 - Käytännössä tukiasemat tukee myös 802.11n 2.4GHz

	UNII-1 (5150-5250)				UNII-2 (5250-5350)				Intermediate (5450-5725)										UNII-3 (5725-5825)				
Channel	36	40	44	48	52	56	60	64	100	104	108	112	116	120	124	128	132	136	140	149	153	157	161
FCC (Americas)	√	√	√	√	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	√	√	√	√
ETSI (EMEA)	√	√	√	√	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D				
KCC (Korea)	√	√	√	√																D	D	D	D
MIC (Japan)	√	√	√	√	D	D	D	D															

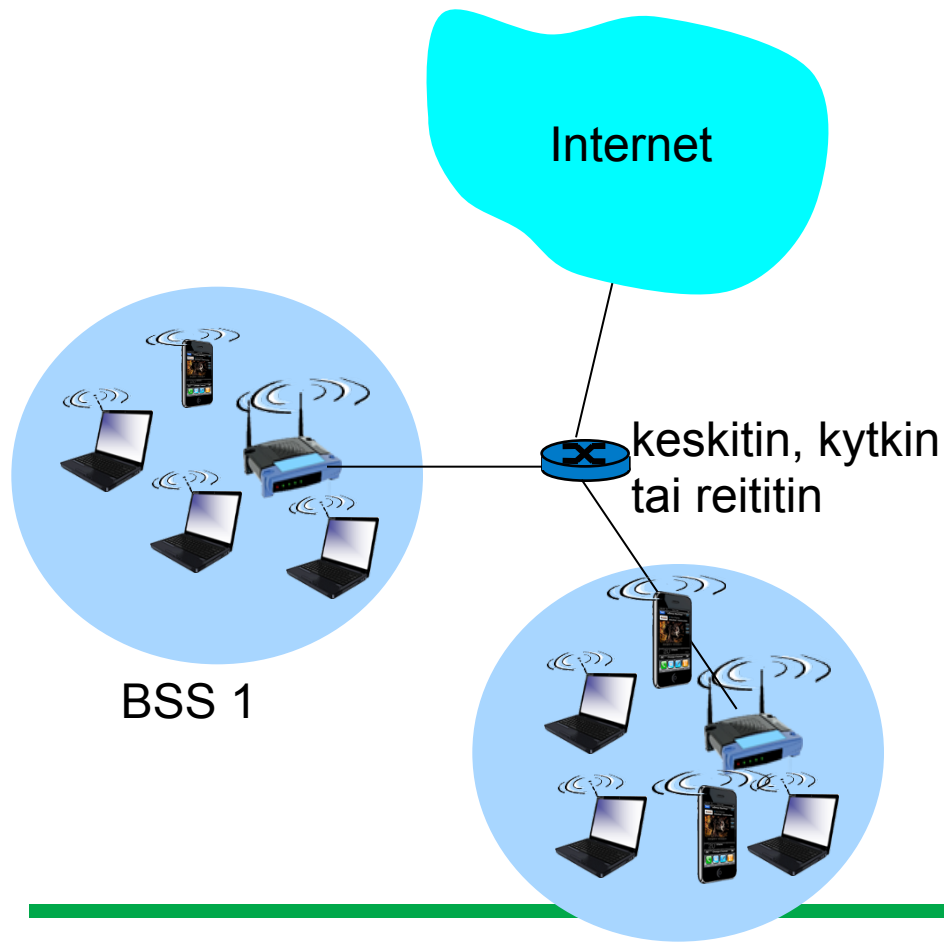
Figure 2: 5 GHz Channels

D = DFS required

802.11n: MIMO ja leveät kanavat

- MIMO käyttää useaa antennia samanaikaisesti
 - Jokaisen antennin signaali käsitellään eri RF elementissä rinnakkaisesti
 - Jokainen antenni voi lähettää tai vastaanottaa eri signaalia
 - Voidaan käyttää joko tiedonsiirron nopeuttamiseksi tai kohinan/häiriön vaikutuksen vähentämiseksi
 - Periaatteessa: 2 antennia → tuplanopeus
- 802.11n ja 802.11ac voivat yhdistää kanavia (channel bonding)
 - Esim. 2x20MHz → 1x40MHz kanava
 - Tuplattu kaistanleveys → kaksinkertainen lähetysnopeus
 - 802.11ac jopa 160MHz kanava

802.11 lähiverkon rakenne

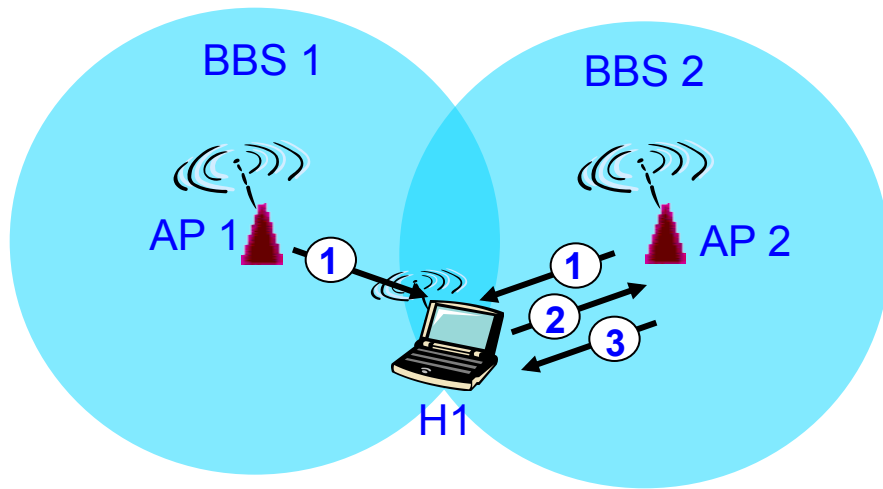


- ❖ langaton päätelaite viestii tukiaseman kanssa
 - tukiasema = access point (AP)
- ❖ **Basic Service Set (BSS)** (tavallaan “solu”) infrastruktuuritilassa sisältää:
 - päätelaitteet
 - tukiaseman (AP)
 - ad hoc –tilassa vain päätelaitteet

802.11: liittyminen

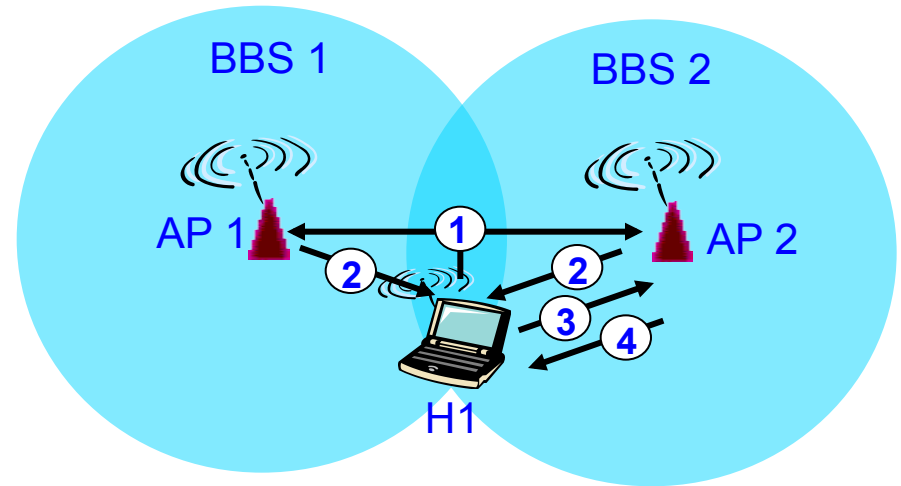
- “Mainostus ja etsiminen”
 - Tukiasemat (AP) lähettää beacon-kehyksiä
 - Sisältää AP:n SSID:n ja MAC-osoitteen
 - Päätelaitteet kuuntelevat (scan) kaikki kanavat läpi yksi kerrallaan
- Kun löytyy AP → päätelaitteet liittyvät siihen
 - Käyttäjä voi valita tai sitten valitaan automaattisesti
 - Association Request: pl → AP
 - Association Response: AP → pl
- Päätelaitteet voivat myös aktiivisesti etsiä tukiasemia
 - Lähettää kyselyjä kanaville eikä pelkästään kuuntele
- Lisäksi voidaan tarvita autentikointi

Passiivinen/aktiivinen etsiminen



Passiivinen etsiminen:

- (1) Beacon-kehys AP:lta
- (2) Liittymiskutsu (Association Request) H1:ltä valitulle AP:lle
- (3) Liittymisvastaus (Association Response) AP:lta H1:lle



Aktiivinen etsiminen:

- (1) H1 yleislähettää Probe Requestin
- (2) Vastaus AP:lta
- (3) Liittymiskutsu H1:ltä valitulle AP:lle
- (4) Liittymisvastaus AP:lta H1:lle

Q: Kumpi parempi?

A: Aktiivinen yleensä nopeampi ja energiatehokkaampi tapa

802.11: Monipääsy

- 802.11 käyttää CSMA/CA monipääsyprotokollaa
- CSMA: kuunnellaan kanavaa ennen lähetystä
 - Ei lähetetä jos joku toinen lähettää
 - Samoin kuin Ethernet
- 802.11: ei törmäysten havaitsemista!
 - vastaanottajan on vaikea havaita törmäyksiä kun vastaanotettu signaali heikko (fading = häipymä)
 - Myös vaihtelee
 - Tavoite on välttää törmäyksiä:
CSMA/C(ollision)A(voidance)

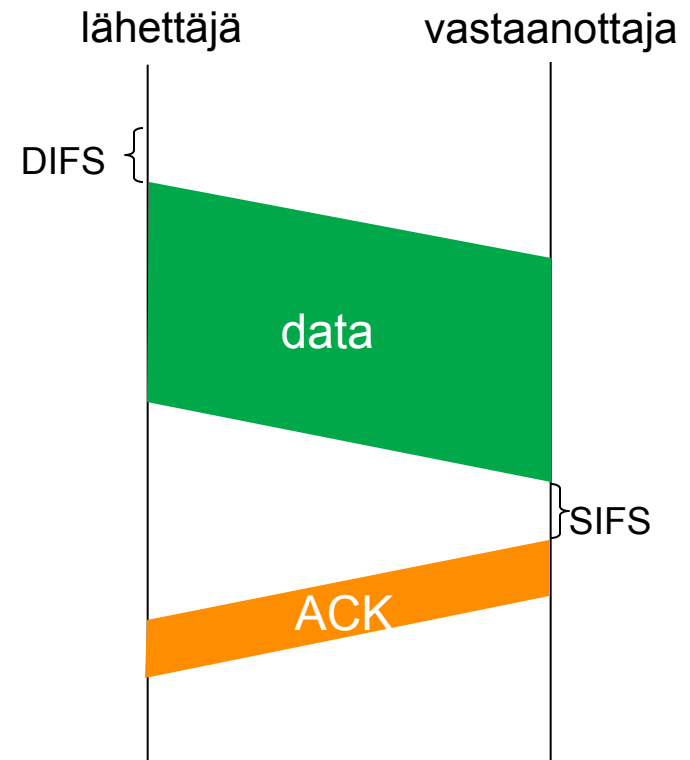
CSMA/CA

802.11 lähettäjä

1. CS: kanava vapaa DIFS:n ajan
 - lähetä koko kehys (ei CD)
2. CS: kanava varattu
 - Aseta satunnainen odotusaika (backoff)
 - Laskuri nollassa ja kanava vapaa → lähetä
 - Laskuri pienenee vain kanavan ollessa vapaa
 - Ei kuittausta → lisää satunnainen backoff väliaika, toista 2

802.11 vastaanottaja

- jos kehys vastaanotettu OK → lähetä ACK
SIFS odotusajan jälkeen



CSMA/CA

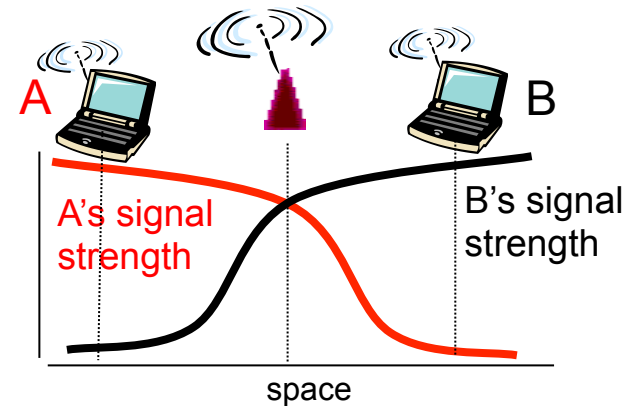
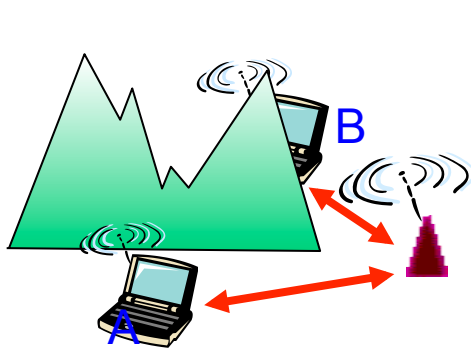
Miksi DIFS ja SIFS?

- Voidaan priorisoida eri kehyksiä
- $SIFS < DIFS \rightarrow$ kuittauksilla korkeampi prioriteetti

Miksi odotetaan satunnainen aika?

- Esim. kaksi lähettäjää odottaa kolmannen hiljenemistä.
- Ilman odotusta, molemmat lähettäisi heti kolmannen lopetettua
 - törmäys jota ei havaita (ei CD)
 - koko kehykset lähetetään turhaan
- odotus satunnainen joten eri odotusajat
 - toinen aloittaa ensin
 - toinen havaitsee ensin aloittaneen ja jatkaa odotusta

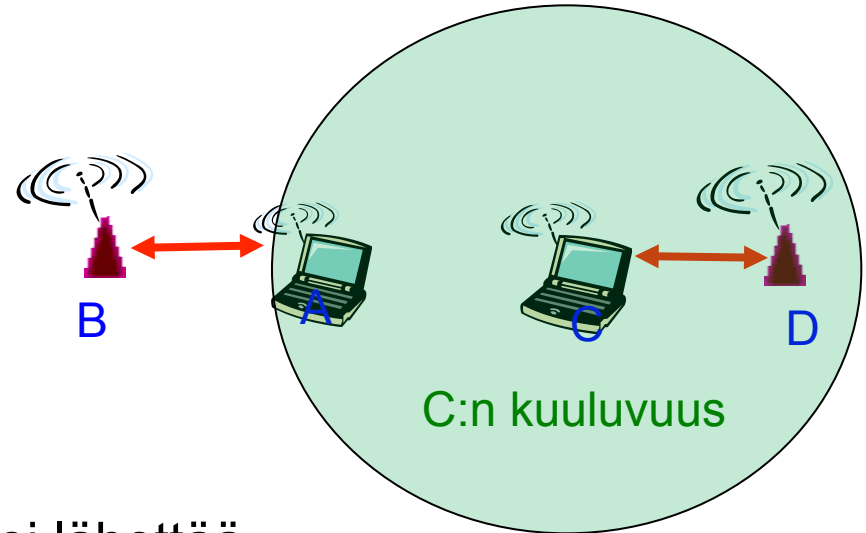
“Hidden terminal”



- A lähettää tukiasemalle
- B haluaisi lähettää myös
- Mikä on ongelma?
- A on “piilossa”
 - B ei kuule A:n lähetystä → kanava vapaa ja voidaan lähettää
 - AP kuulee molemmat → tapahtuu törmäys

“Exposed terminal”

- C lähettää D:lle
- A haluaa lähettää B:lle
- Q: Mikä ongelma?
- A: A “altistettu” C:lle
 - A kuulee C:n ja luulee ettei voi lähettää
 - Mutta A ja C voivat lähettää yhtäaikaan koska B ei kuule C:tä eikä D kuule A:ta

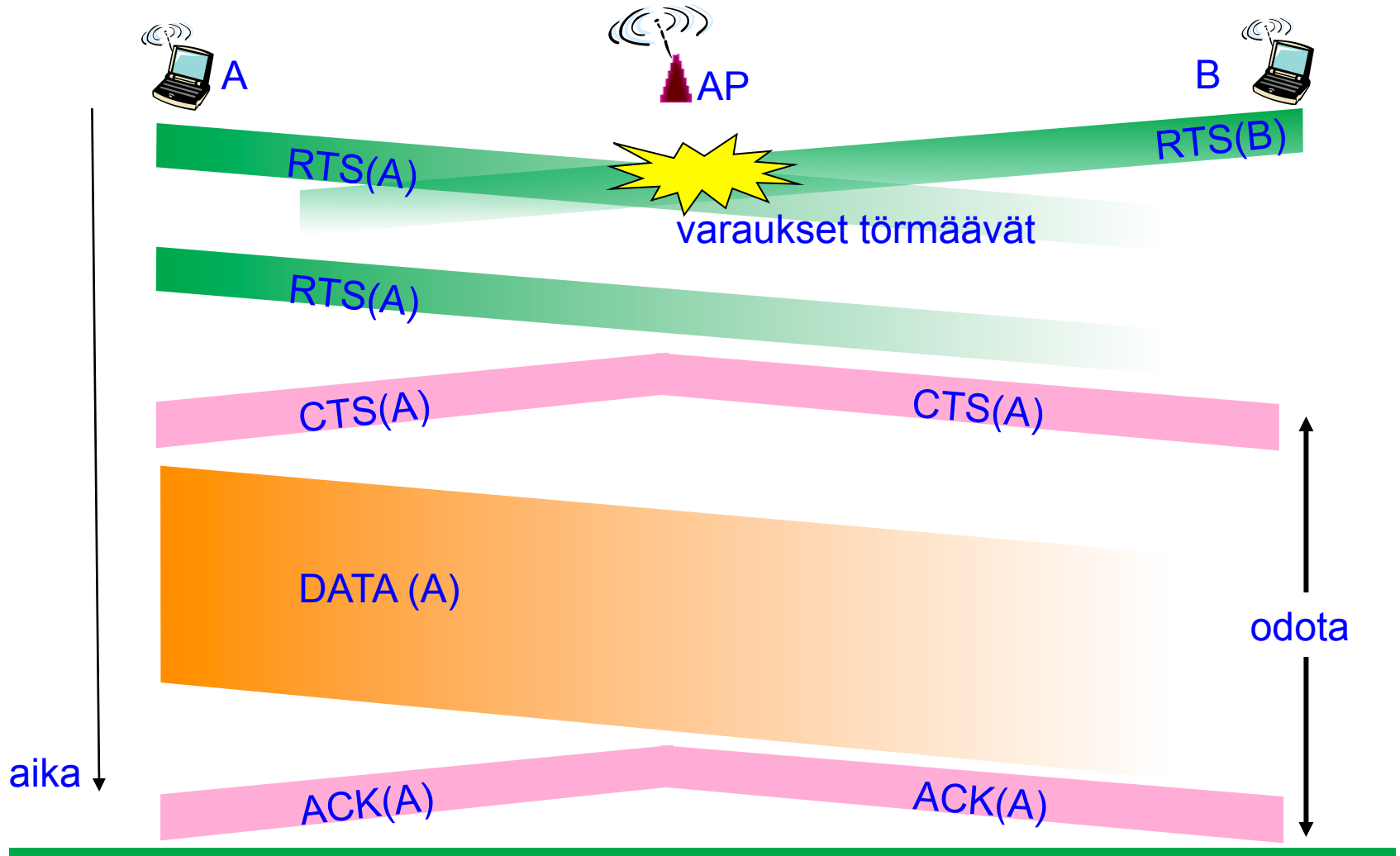


RTS/CTS

Vältetään törmäyksiä käyttäen
varausviestejä

- Lähettäjä varaa kanavan satunnaisen lähetyksen sijaan
 - Lähettää pienen request-to-send (RTS) kehyksen tukiasemalle käyttäen CSMA:a
- Tukiasema yleislähettää clear-to-send CTS vastauksen
- Kaikki tukiaseman alueella olevat kuulevat CTS:n
 - varaaja voi lähettää datakehyksen
 - muut odottavat kanavan vapautumista

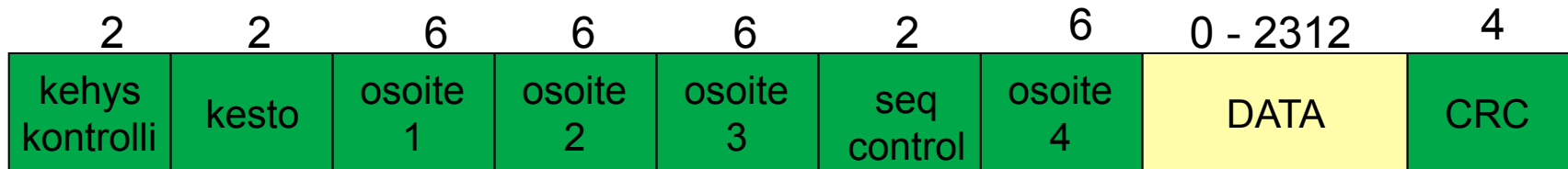
RTS/CTS: esimerkki



RTS/CTS

- Edut
 - Vältetään datakehysten törmäykset
 - RTS kehykset pieniä → niiden törmäys ei iso ongelma
 - Ratkaisee (osittain) “hidden terminal” -ongelman
 - Kaikki kuulevat tukiaseman lähettämän CTS:n
 - Samoin myös “exposed terminal” -ongelman
 - Jos kuulee RTS:n muttei CTS:ä → voidaan lähettää
- Haitat
 - Lisää viivettä ja RTS:t ovat overhead jos ei paljoa törmäyksiä
 - Ei hyötyä jos lähetetään pieniä kehyksiä
 - Käytetään yleensä vain kun kehyksen koko ylittää jonkin raja-arvon

802.11: Kehys ja osoitteistus



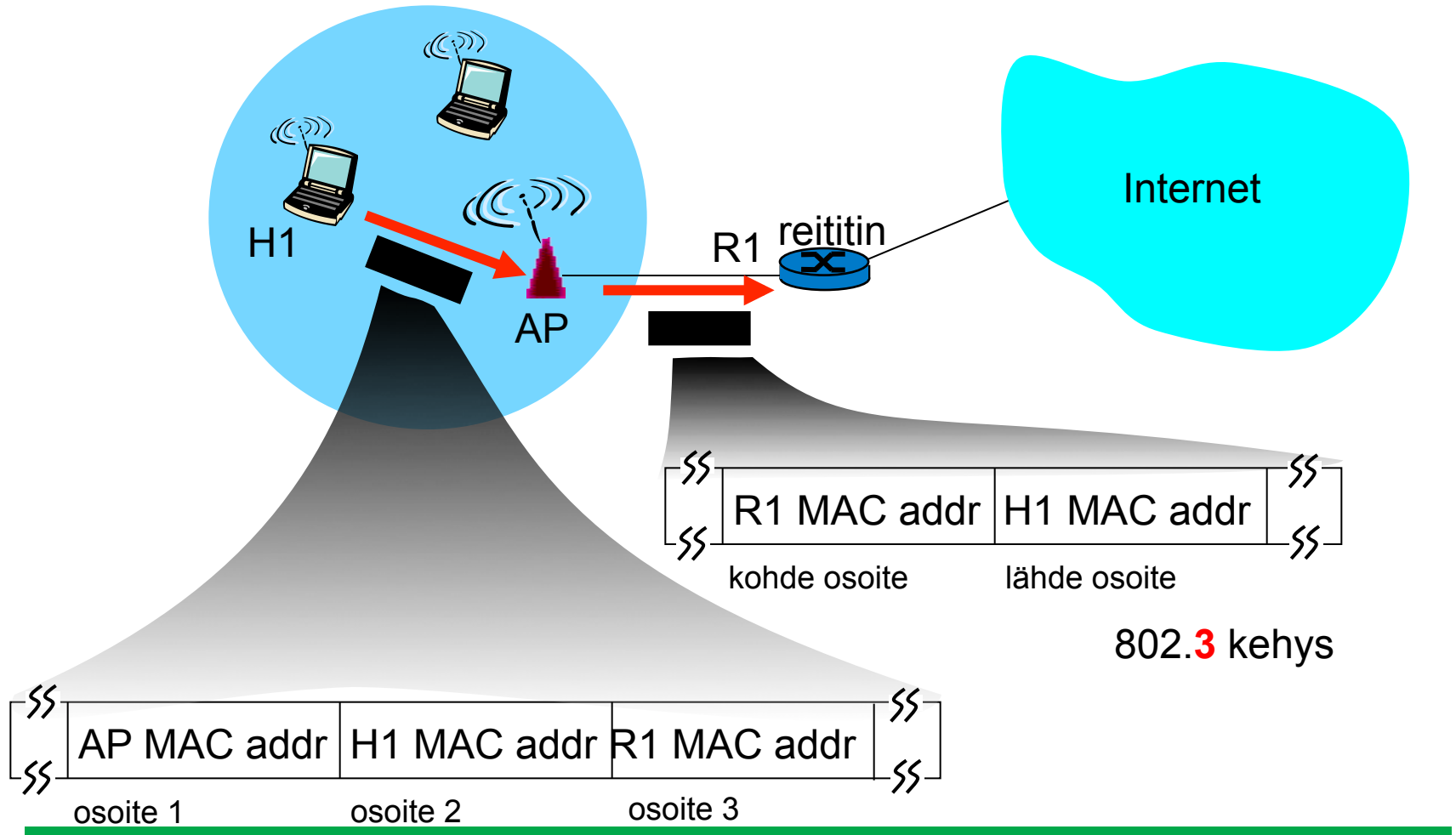
Osoite 1: Vastaanottajan MAC-osoite (pl tai AP)

Osoite 2: Lähettäjän MAC-osoite (pl tai AP)

Osoite 3: MAC osoite reitittimelle, johon AP liitetty

Osoite 4: käytetään vain ad-hoc tilassa

802.11: Kehys ja osoitteistus

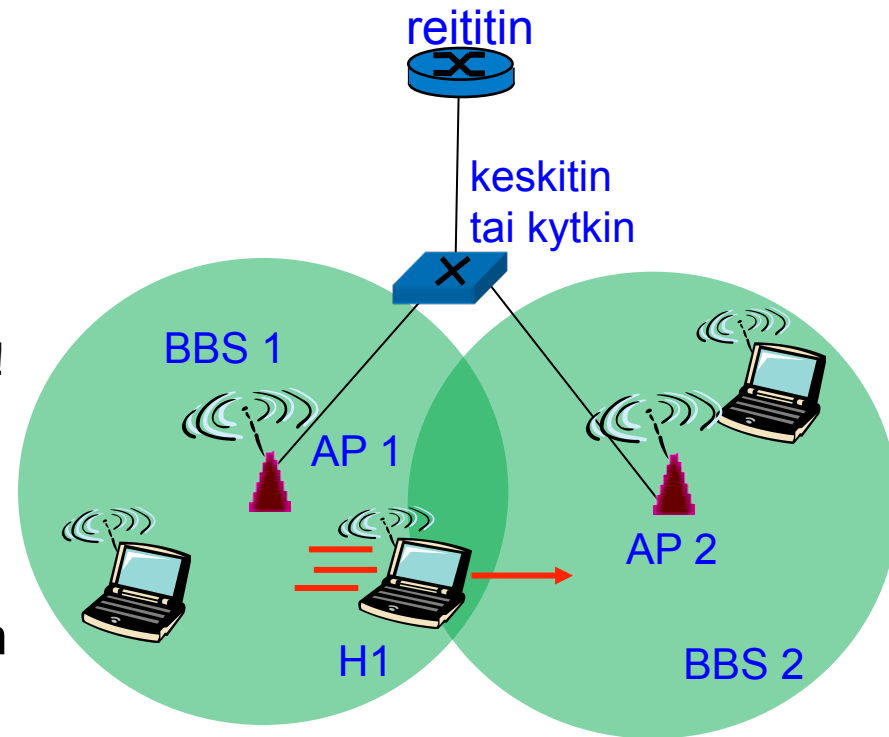


802.11: Kehys ja osoitteistus

- Q: Miksi tarvitaan kolme osoitekenttää?
 - Eikö riitä että määritetään reitittimen MAC-osoite vastaanottajaksi?
- A: Jos AP:n osoite ei vastaanottaja → AP ei prosessoi kehystä ollenkaan
 - AP tulkitsee vain sille osoitettuja kehyksiä
 - AP ei ole kytkin
 - AP ei myöskään (välttämättä) ymmärrä IP osoitteita

Liikkuvuus

- Samassa verkossa
 - H1 pysyy samassa IP aliverkossa: IP-osoite ei vaihdu
 - Keskitin yleislähetää kaiken
 - Kuinka kytkin tietää missä H1 on?
 - Muistakaa itseoppivuus (viime luento)!
 - Jos tuntematon → floodaa
- Verkkojen välillä
 - IP-osoite vaihtuu
 - Tarvitaan lisäratkaisuja jos halutaan että TCP yhteydet säilyy
 - Esim. HIP tai Mobile IP

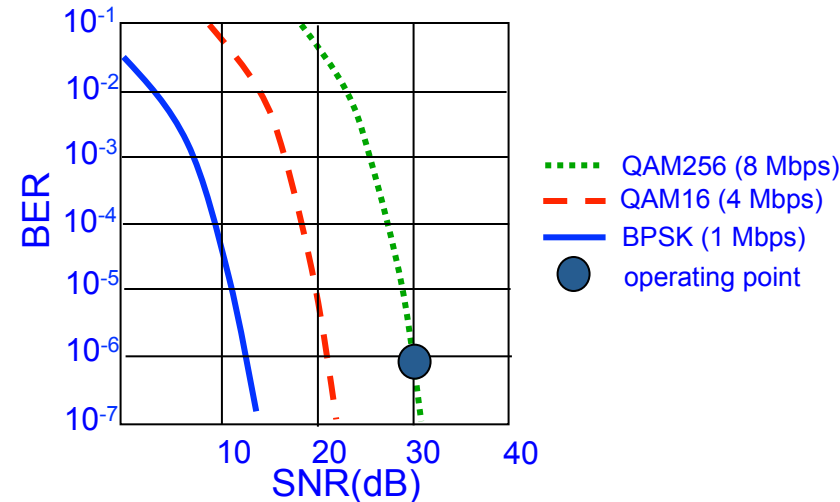


Tukiaseman vaihto

- Tukiaseman vaihto eli handoff (tai handover): päätelaite tekee päätöksen koska tarvitaan ei tukiasema
- Käynnistetään jos
 - Liian alhainen signaalinvoimakkuus
 - Liian korkea kehyshäviö
- Vaihdoista voi aiheutua pitkähäkö viive
 - Uuden tukiaseman etsiminen
 - Uudelleenautentikointi
 - Viivettä optimoitu 802.11r -lisäyksessä (2008)

Lähetysnopeuden sopeuttaminen

- SNR vaihtelee
 - Liikkuvuus
 - Langattoman siirtotien muutokset
- Muistakaa tradeoff modulaatiossa
 - Symbol rate ($\rightarrow$ lähetysnopeus) vs. kohinansieto
- Voidaan dynaamisesti sopeuttaa lähetysnopeus SNR tasoon
 - Vaihdetään modulaatiota



1. SNR kasvaa, BER kasvaa kun laite liikkuu kauemmas tukiasemasta

2. Kun BER liian suuri, vaihdetaan modulaatiota

Virransäästö

- PSM = Power Saving Mode
- Radio voidaan (ainakin osittain) kytkeä pois päältä hetkellisesti (nukkumistila)
- Tukiaseman kanssa yhteistyössä
 1. Päätelaitte (PL) tukiasemalle: “Menen nukkumaan seuraavaan beacon-kehykseen asti”
 2. Tukiasema puskuroid PL:lle osoitetut kehykset
 3. PL herää ennen seuraavaa beacon-kehystä
 4. Beacon-kehys sisältää (mm.) listan PL:sta joille tukiasemalla on puskuroidu datakehyksiä
 - Traffic Indication Map (TIM)
 5. Onko PL:lle kehyksiä?
 - Kyllä → pyytää niitä tukiasemalta ja pysyy hereillä kunnes on vastaanottanut ne
 - Ei → takaisin nukkumaan seuraavaan beaconiin asti
- Nukkumistila kuluttaa vain kymmenesosan normaalitilan virrasta

Tietoturva

- Salaus, autentikointi, pääsyn hallinta
- Monta eri tietoturvamekanismia 802.11:lle toteutettu
 - Uusi menetelmä kun vanha on murrettu
- Nykyään käytössä ainakin
 - WPA, WPA2
 - Autentikointi: 802.1x ja EAP
- WLANin tietoturvaluento löytyy kurssilta T-110.5241 Network Security

Sisältö

- Langattomat verkot
 - Mistä koostuu
 - Langaton tiedonsiirto
- Langattomat lähiverkot: 802.11 eli Wi-Fi
- • Soluverkot
- Liikkuvuudenhallinta verkoissa

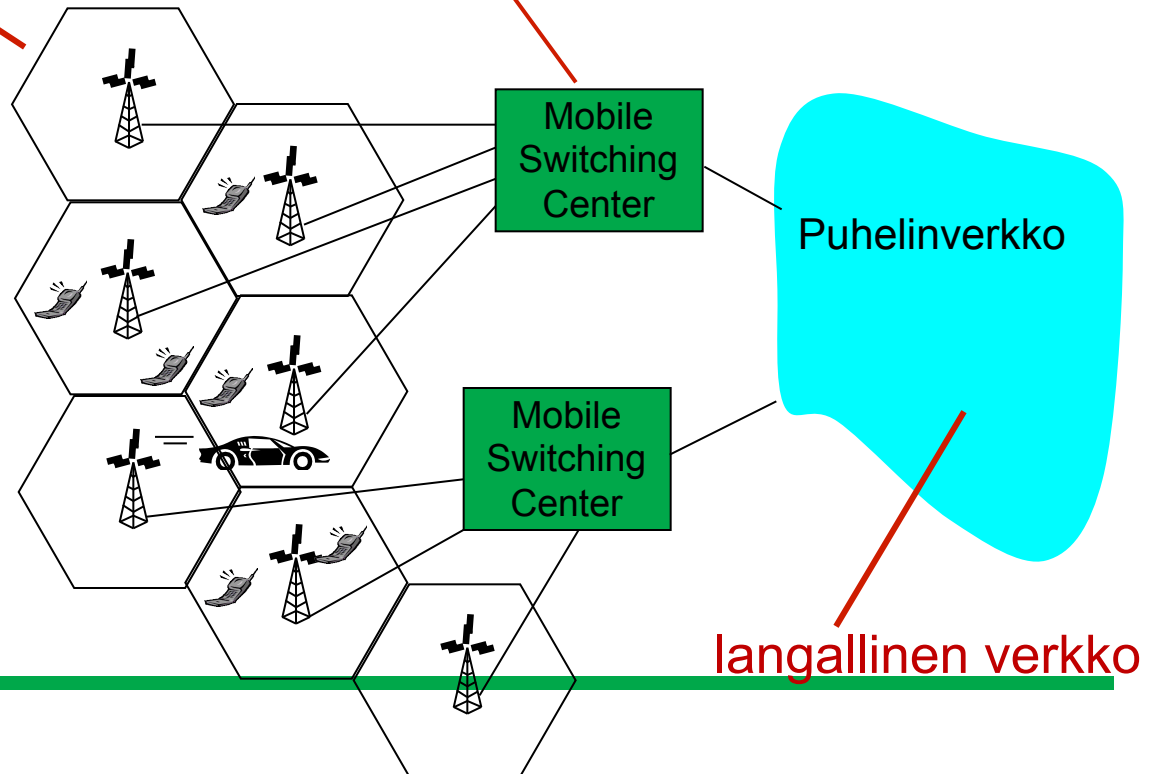
Soluverkot: rakenne

solu

- ❖ peittää maantieteellisen alueen
- ❖ *tukiasema* (BS)
- ❖ *mobiililaitteet* liittyvät verkkoon BS:n kautta
- ❖ *ilmarajapinta (air-interface)*: fyysinen ja linkkikerros mobiililaitteen ja tukiaseman välillä

MSC

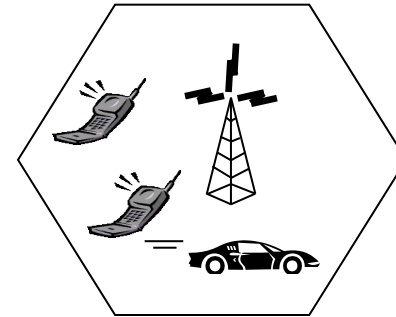
- ❖ yhdistää solun langalliseen puh.verkkoon
- ❖ puhelun yhdistäminen
- ❖ liikkuvuudenhallinta



Soluverkot: langattoman linkin monipääsy

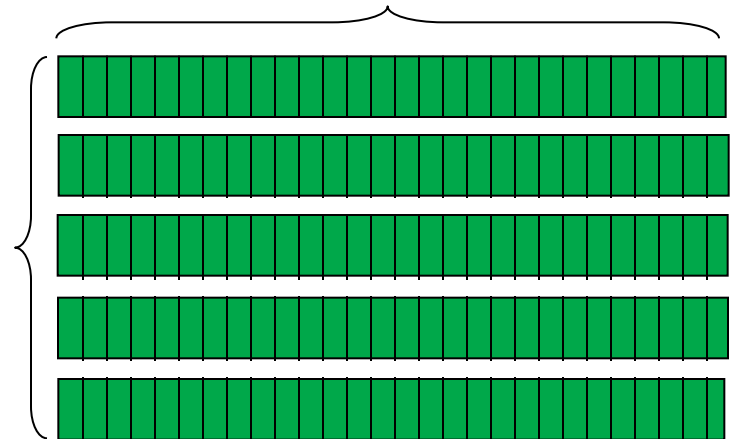
Kaksi tekniikkaa mobiililaitteen ja tukiaseman väliseen monipääsyyn

- **yhdistelmä FDMA/TDMA:**
jaetaan taajuusalue kanaviin ja jokainen kanava aikaväleihin
- **CDMA:** code division multiple access



aikavälit

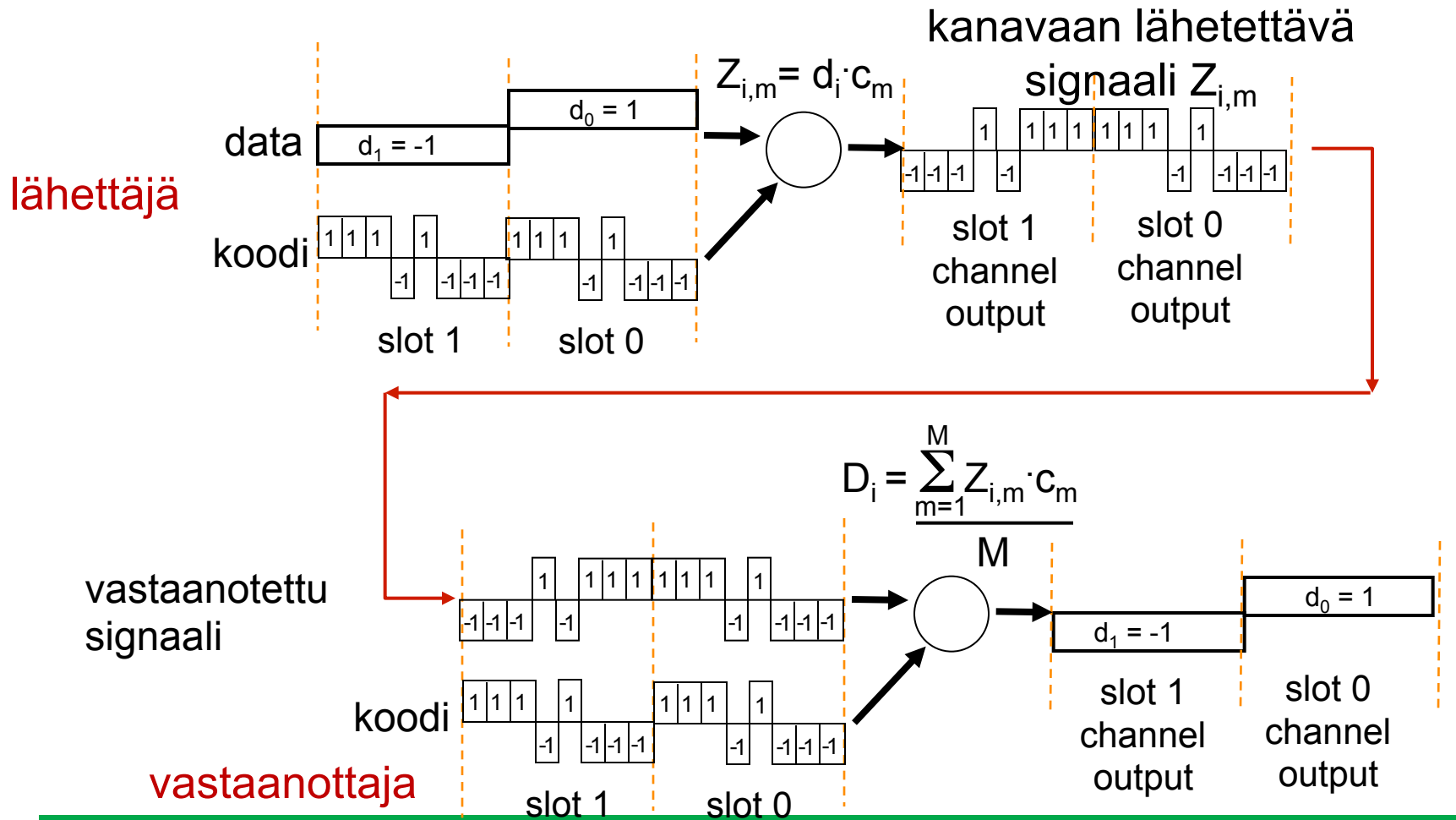
taajuus-
kaistat



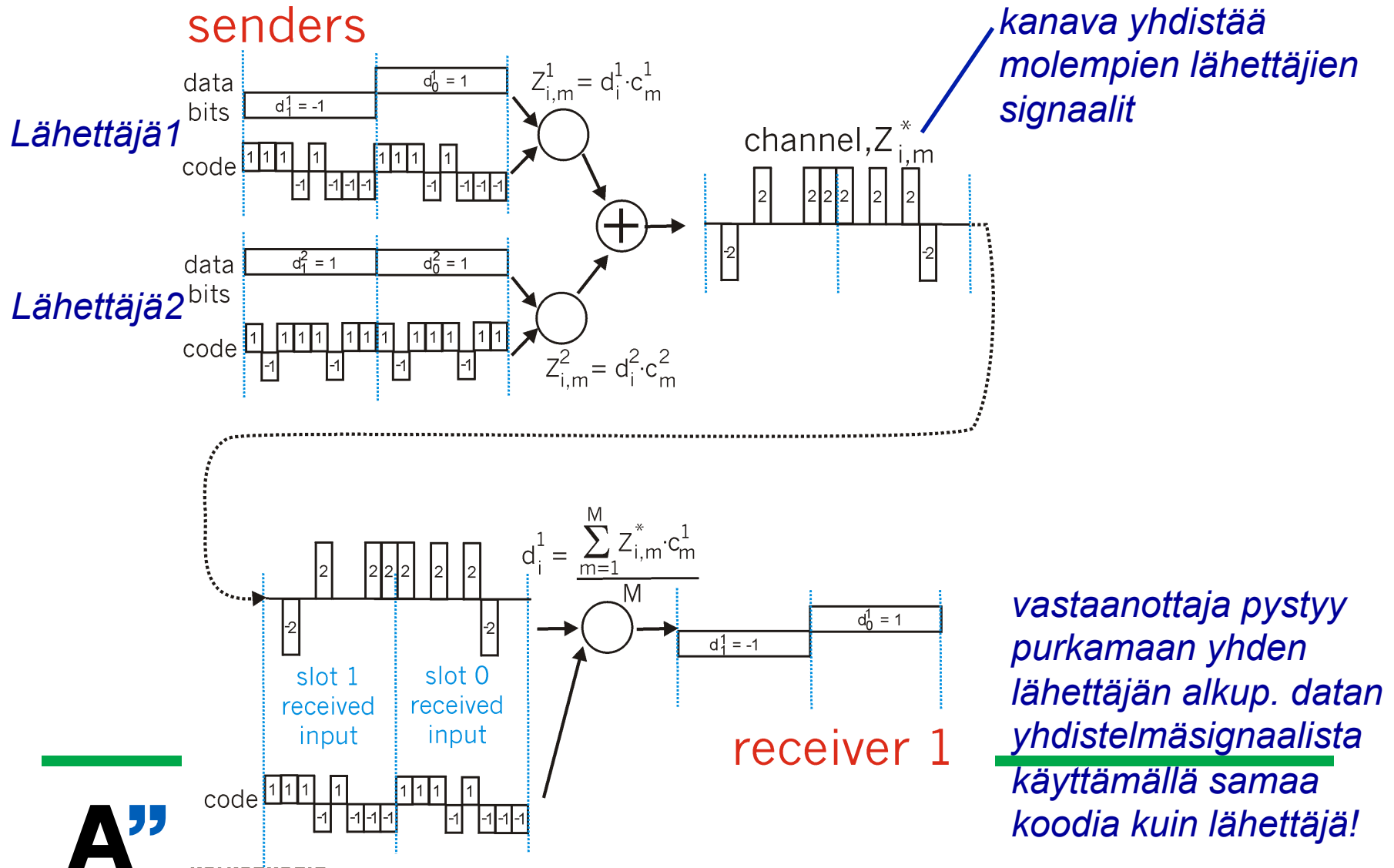
Code Division Multiple Access (CDMA)

- Jaetaan radiokanava koodeilla:
 - Kaikki käyttävät samaa taajuuskaistaa
 - Uniikki koodi jokaiselle käyttäjälle
 - “chipping” sekvenssi (i.e., koodi) jolla lähetettävät bitit koodataan
 - Mahdollistaa monta samanaikaista lähetystä ilman merkittävää häiriötä toisilleen
 - Koodit pitää olla “ortogonaalisia”
- *koodattu signaali* = (alkuperäinen data) $\times$ (chipping sekvenssi)
- *signaalin purkaminen*: koodatun signaalin ja chipping sekvenssin sisätulo jaettuna koodin pituudella

CDMA koodaus/purkaminen



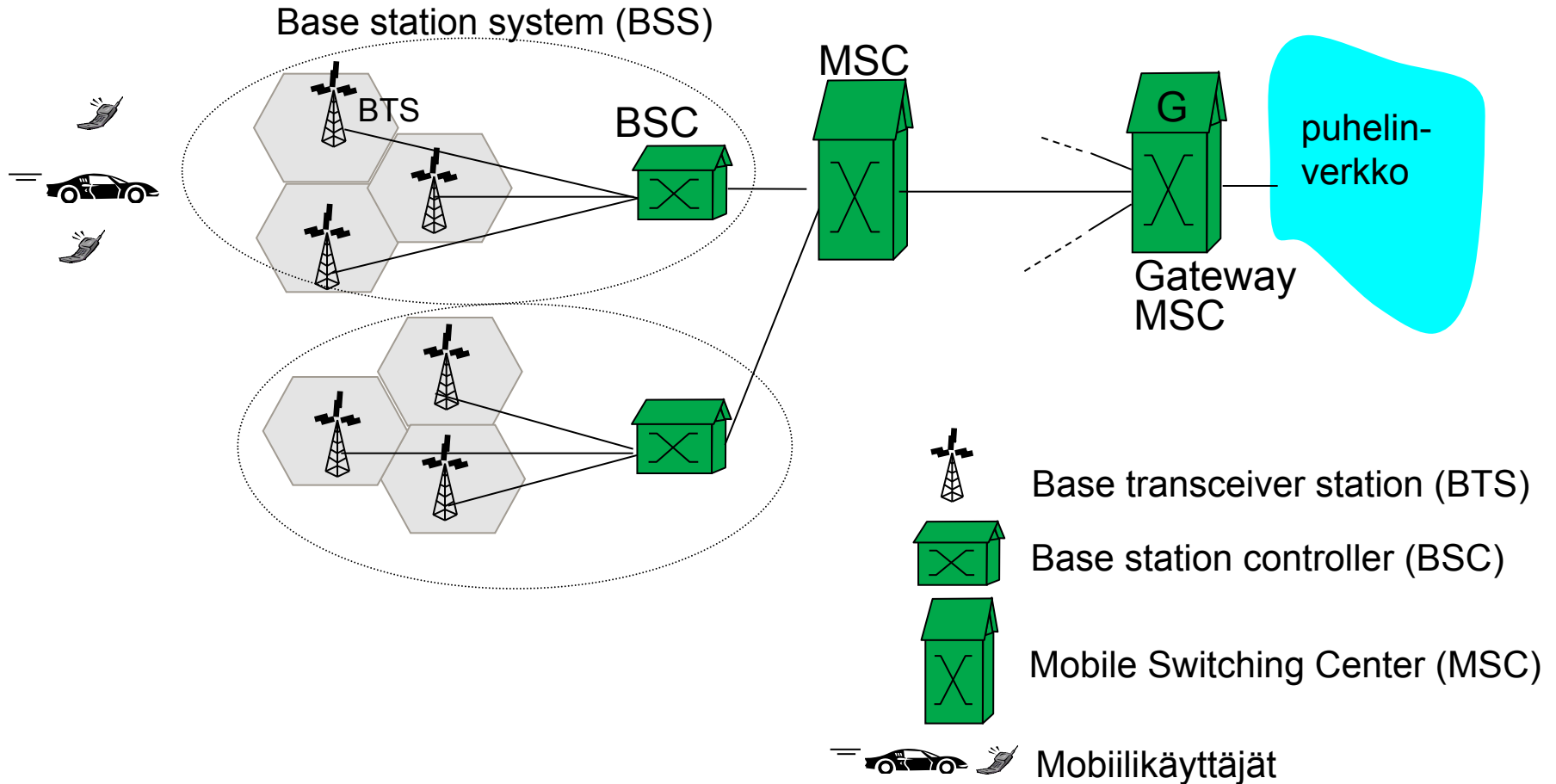
CDMA: kaksi lähettäjää



CDMA: lisää

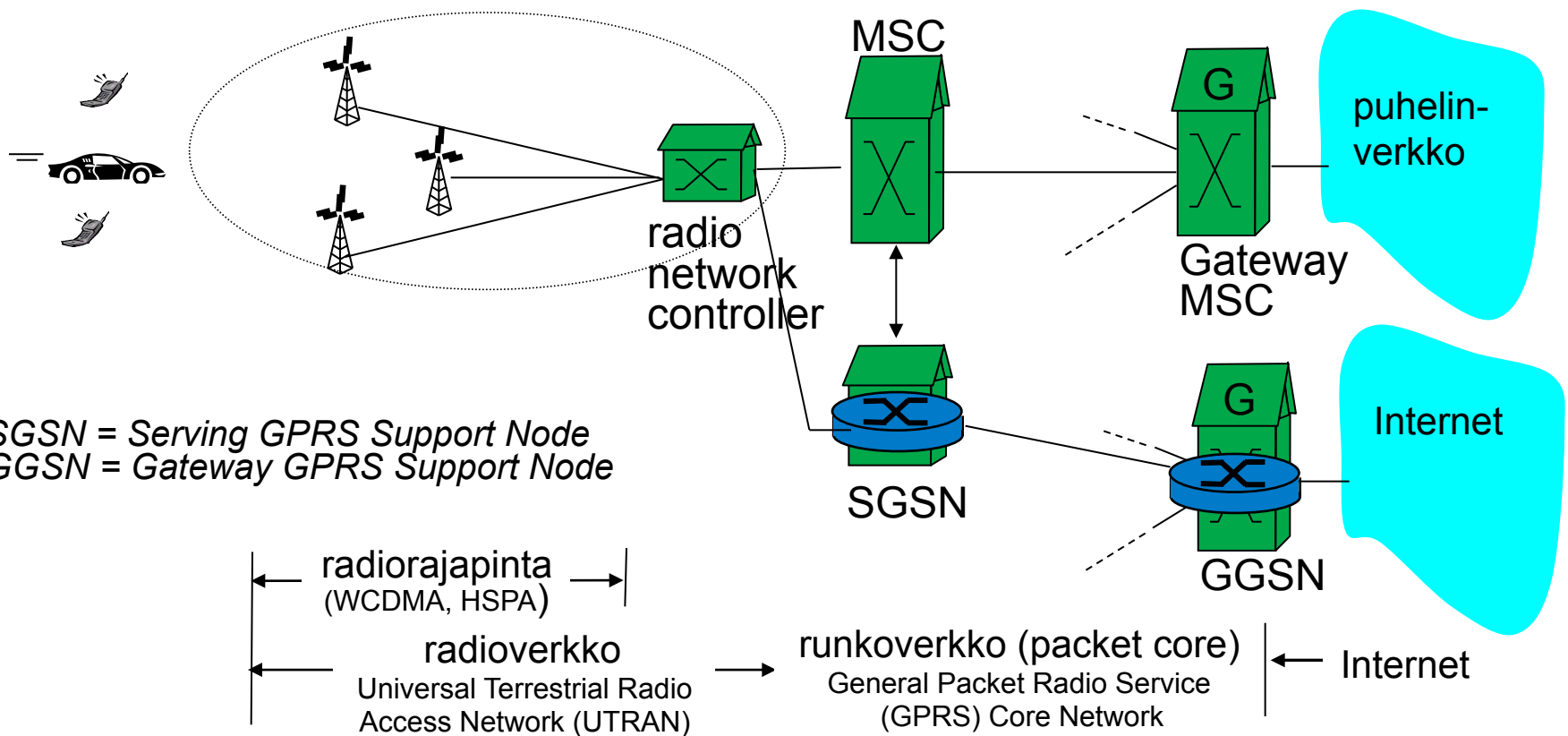
- Koodit pitää olla tarkkaan valittuja
 - Ortogonaalisia: kahden koodin sisätulo on nolla
- Tradeoff
 - Yhtä bittiä varten pitää lähettää monta symbolia → laskee lähetysnopeutta
 - Ortogonaalisia koodeja rajallinen määrä tietyllä määrällä symboleja per bitti
 - rajoittaa samanaikaisten lähettäjien määrää
 - Vähemmän symboleja/bitti → suurempi lähetysnopeus mutta vähemmän lähettäjiä
 - TNSTAAFL!

2G (GSM) verkon rakenne



3G (voice+data) verkon rakenne

3G dataverkko toimii *rinnakkaisesti* (paitsi radio access) puheverkon kanssa → puheverkko voi pysyä ennallaan



HSDPA (3.5G)

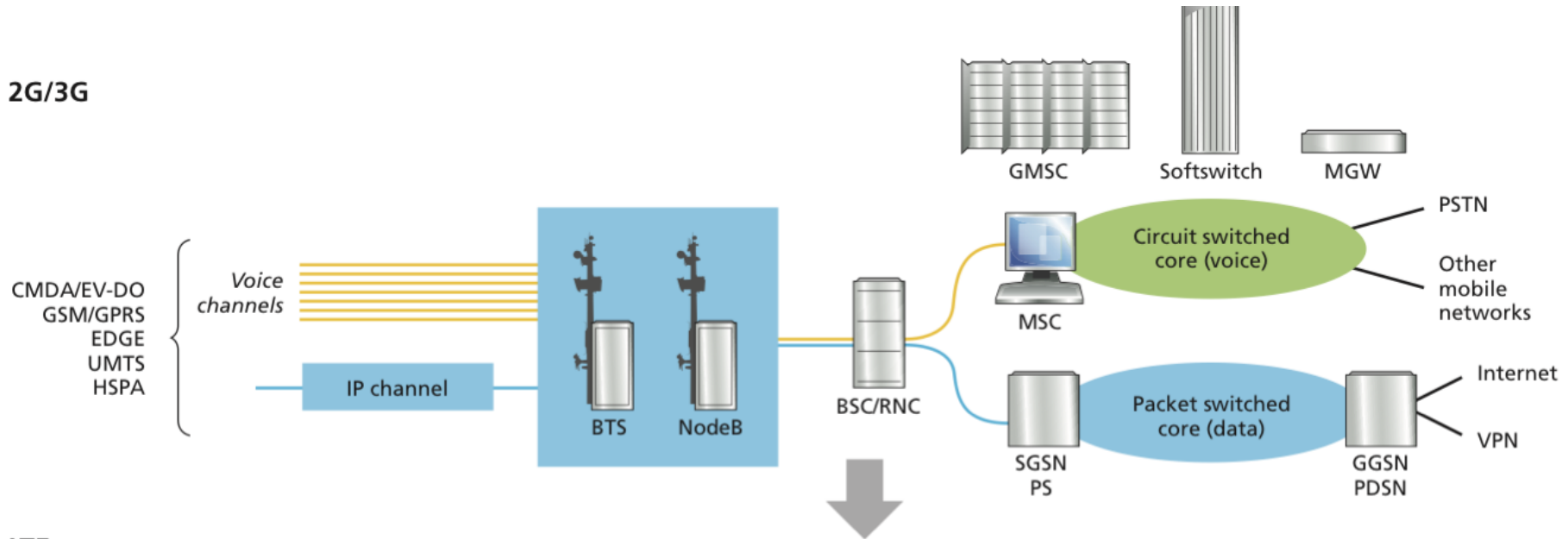
- High Speed Downlink Packet Access
- Lähetyksenopeuksia kasvatettu
 - 1.8, 3.6, 7.2 ja 14.4 Mbit/s
 - HSPA+: 42 & 84 Mbit/s (MIMO, dual carrier)
- Paluu aikajakoon
 - UMTS järjestelmässä, jokaisella käyttäjällä oma koodi
 - HSDPA:ssa usealla käyttäjällä sama koodi, mutta liikenne jaetaan eri ajanhetkiin
 - Jaettu kanava (High Speed Downlink Shared Channel)
 - Järjestelmä aikatauluttaa jaetun kanavan käyttöä dynaamisesti
- Lisäksi parannuksia viiveissä, kuittauksissa, modulaatiossa, jne.

LTE

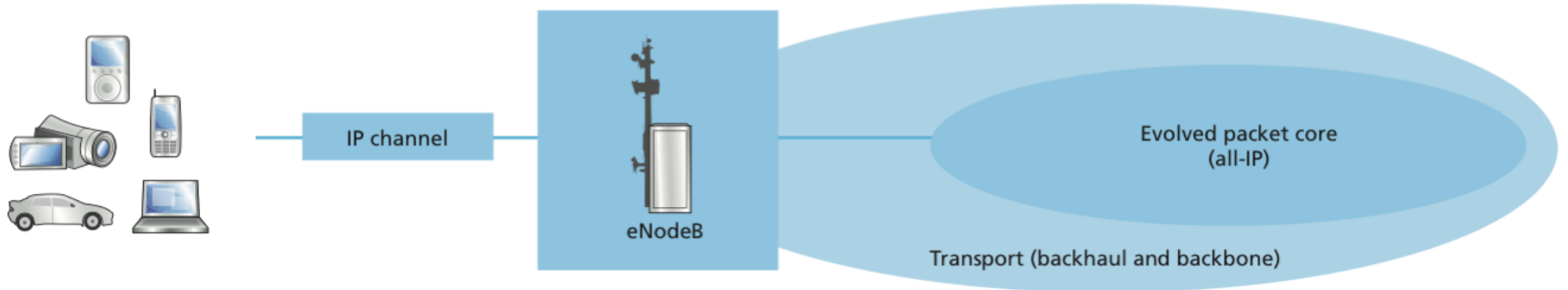
- Vain pakettidataa (Voice → VoIP)
 - Jatkossa tulee pitämään paikkansa
 - Voice over LTE (VoLTE)
 - Toistaiseksi puhelut LTE verkoissa CSFB (circuit switched fallback) mekanismilla
 - Eli piirikytkentäiset puhelut à la 2/3G
- Yksinkertaistettu (kaksitasoinen) verkon rakenne
 - RNC taso poistunut
 - Evolved Packet Core ja Evolved Node B (eNodeB)
 - Pienentää huomattavasti viivettä
- Soveltaa monia uusia radio- ja antennitekniikoita (OFDMA, MIMO)
 - Lähetyksenopeudet suuremmat
- Kaupalliset verkot jo käytössä
 - Q4/2013: 200M käyttäjää maailmanlaajuisesti
 - 3G: 1.5mrd, 2G: 4.3mrd

LTE-verkon rakenne

2G/3G



LTE

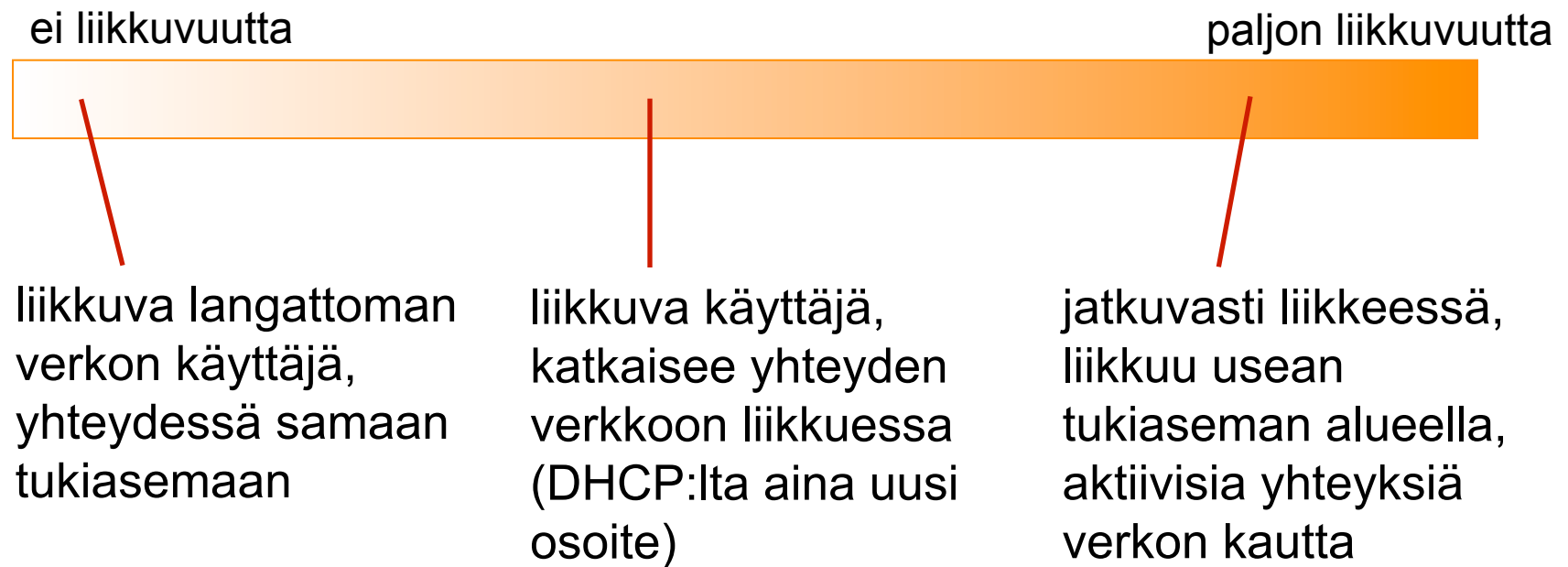


Sisältö

- Langattomat verkot
 - Mistä koostuu
 - Langaton tiedonsiirto
- Langattomat lähiverkot: 802.11 eli Wi-Fi
- Soluverkot
- • Liikkuvuudenhallinta verkoissa

Mitä on liikkuvuus?

- liikkuvuus (mobility) **verkon** näkökulmasta:

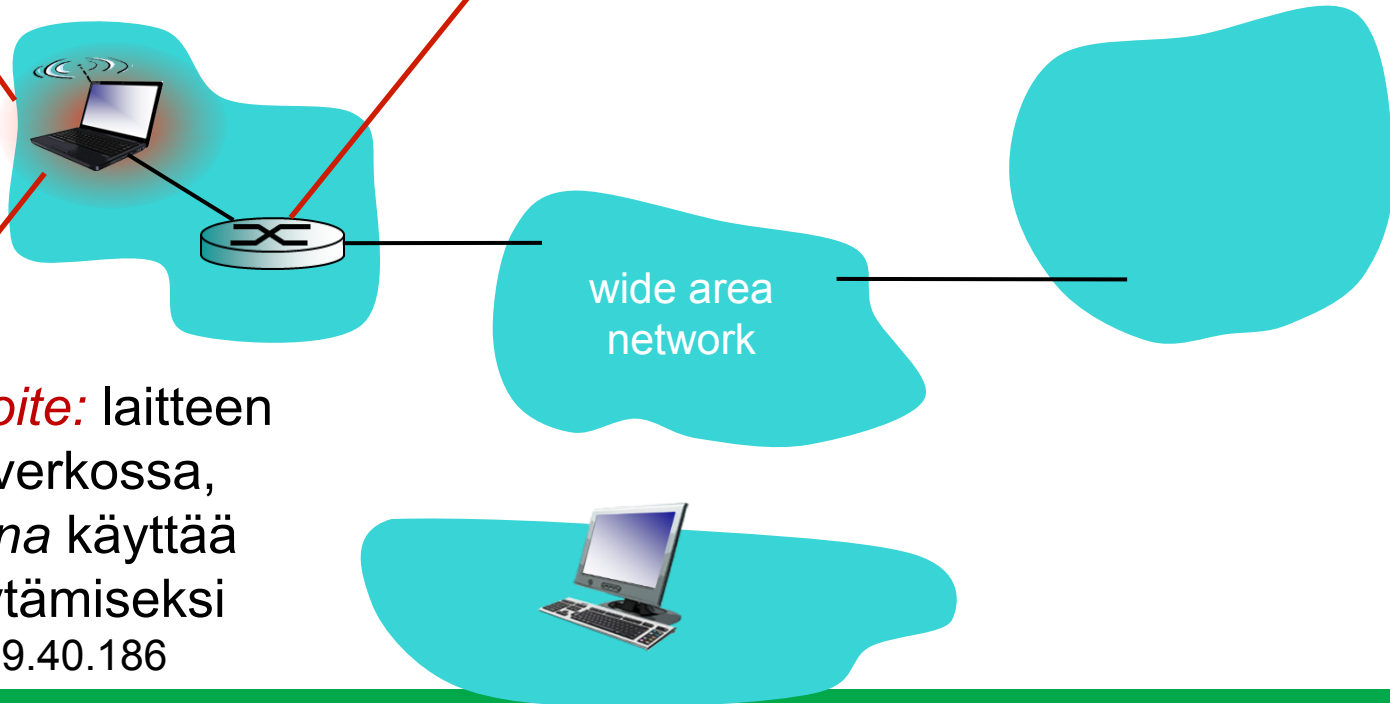


Liikkuvuuden terminologiaa

kotiverkko (home network):
liikkuvan laitteen pysyvä “koti”
(esim., 128.119.40/24)

kotiagentti (home agent): hallitsee
liikkuvuutta mobiililaitteen puolesta
kun laite ei kotiverkossa

pysyvä osoite: laitteen
osoite kotiverkossa,
voidaan *aina* käyttää
laitteen löytämiseksi
esim., 128.119.40.186



Lisää terminologiaa

pysyvä osoite: ei vaihdu (esim. 128.119.40.186)

vierailuverkko (visited network): verkko johon mobiililaite on yhteydessä (esim. 79.129.13/24)

vierailuosoite (care-of-address): osoite vierailuverkossa (esim. 79.129.13.2)

wide area network

asiakas (correspondent): haluaa viestiä mobiililaitteen kanssa

vierasagentti (foreign agent): hallitsee liikkuvuutta mobiililaitteen puolesta vierailuverkossa

Liikkuvuudenhallinta: vaihtoehdot

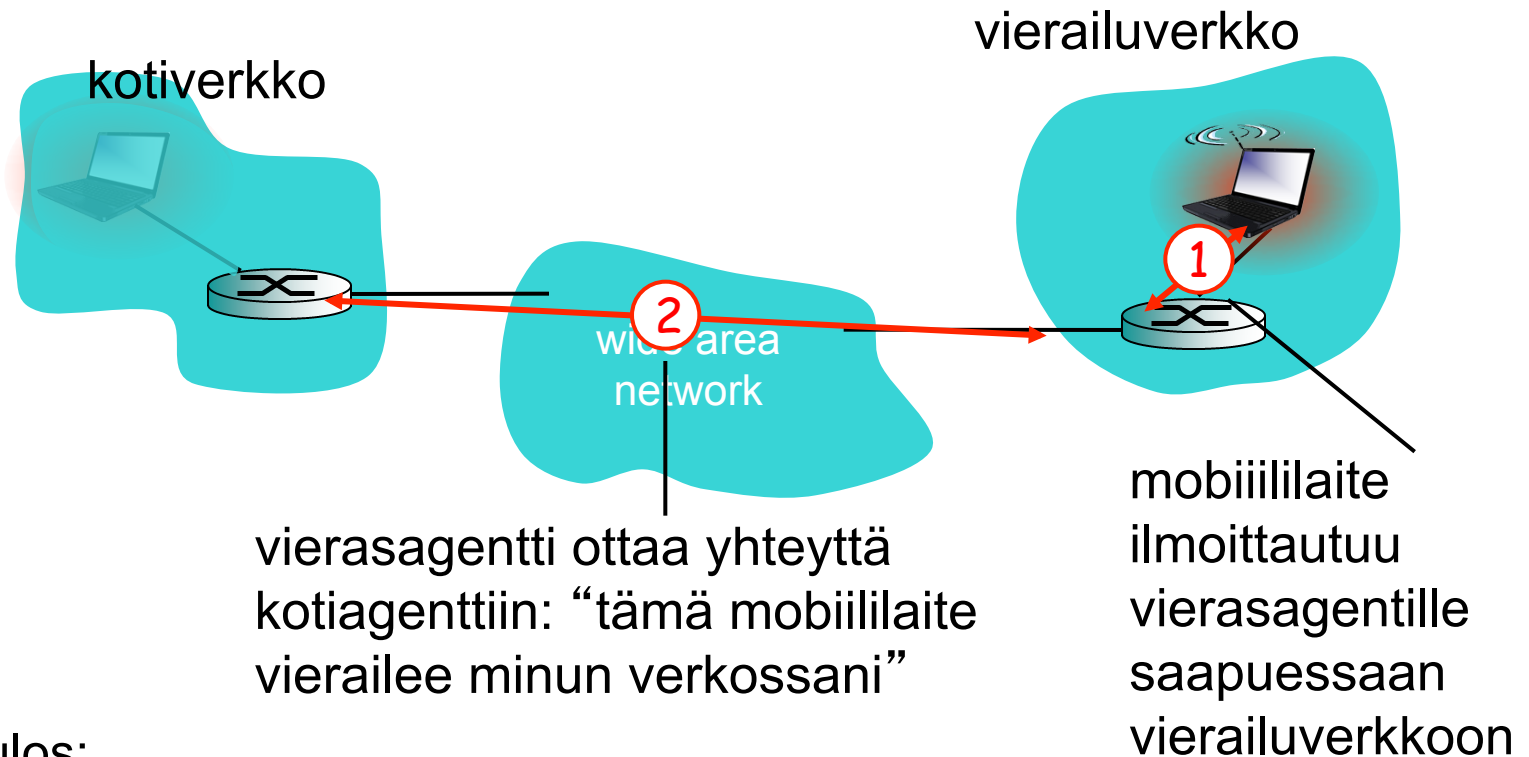
- *verkko hoitaa (reititys)*: reitittimet mainostavat jokaisen vierailevan mobiililaitteen pysyvää osoitetta
 - reititystaulut kertovat missä kukin mobiililaite milloinkin on
 - ei tarvitse muuttaa eikä tarvita uusia protokollia
- *verkon reunajärjestelmät hoitaa*
 - *epäsuora reititys (indirect routing)*: asiakkaan paketit välitetään kotiagentin kautta vierailuverkkoon
 - *suora reititys (direct routing)*: asiakas saa mobiililaitteen vierailuosoitteen, osoittaa paketit suoraan sinne



Liikkuvuudenhallinta: vaihtoehdot

- *verkko hoitaa (reitittää)* ei met mainostavat jokaisen vierailevan mobiililaitteen väliosoitetta
– reititystaulut kertovat mobiililaitteen osoitteen
– ei tarvitse muuttaa mobiililaitteille uusia protokollia
- *verkon reunajärjestelmät hoitaa*
 - epäsuora reititys (indirect routing): asiakkaan paketit välitetään kotiagentin kautta vierailuverkkoon
 - suora reititys (direct routing): asiakas saa mobiililaitteen vierailuosoitteen, osoittaa paketit suoraan sinne

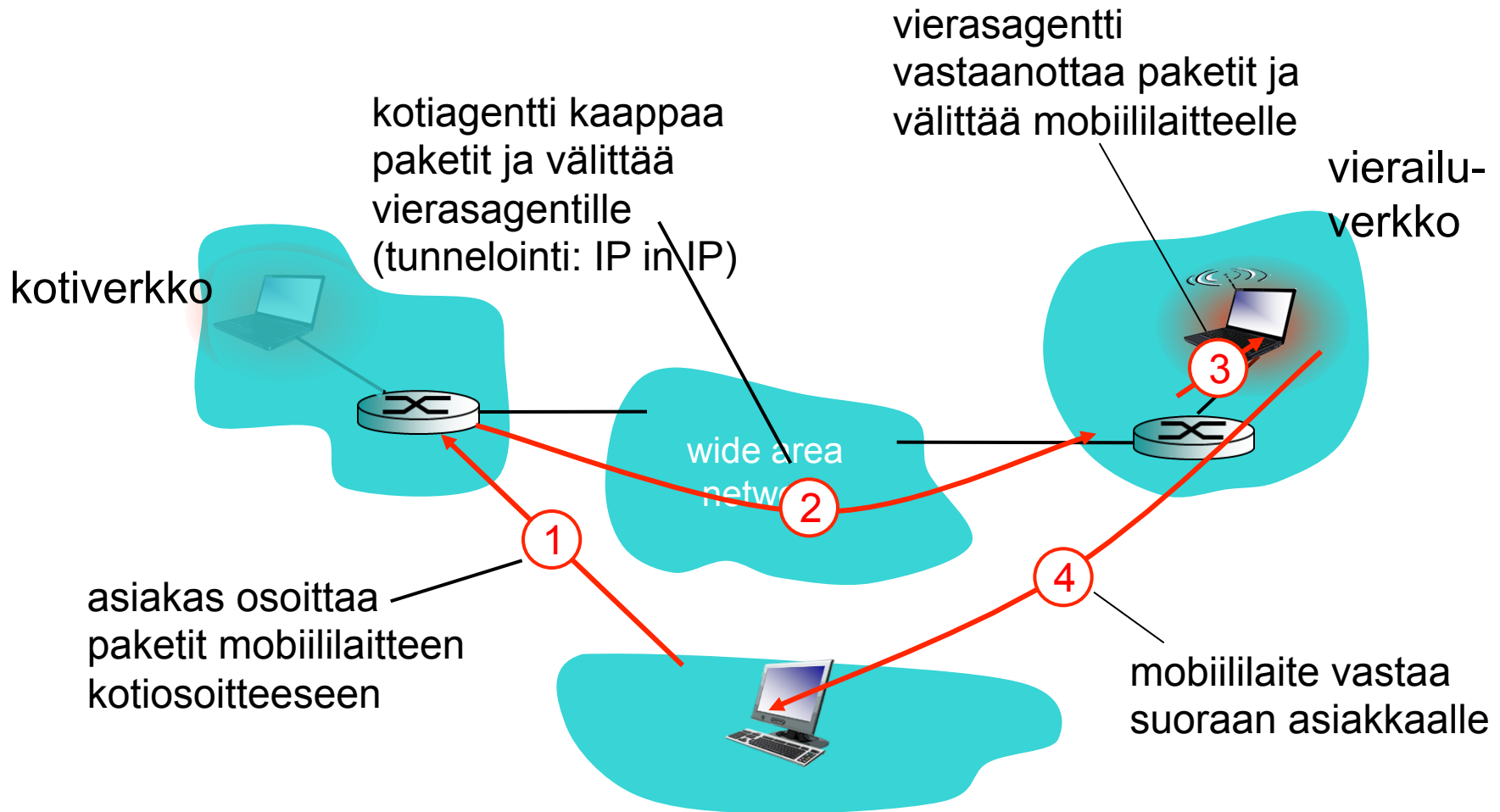
Liikkuvuudenhallinta: rekisteröinti



lopputulos:

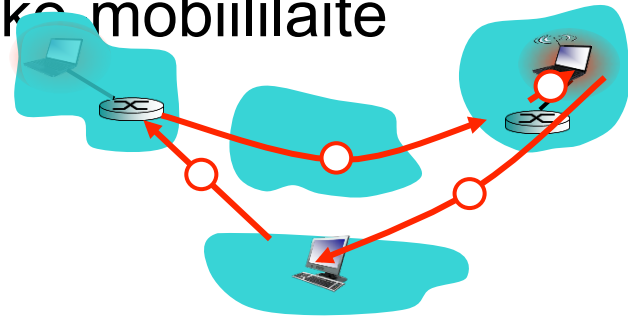
- vierasagentti tietää mobiililaitteen osoitteen
- kotiagentti tietää missä mobiililaitte sijaitsee

Liikkuvuudenhallinta: epäsuora reititys



Liikkuvuudenhallinta: epäsuora reititys

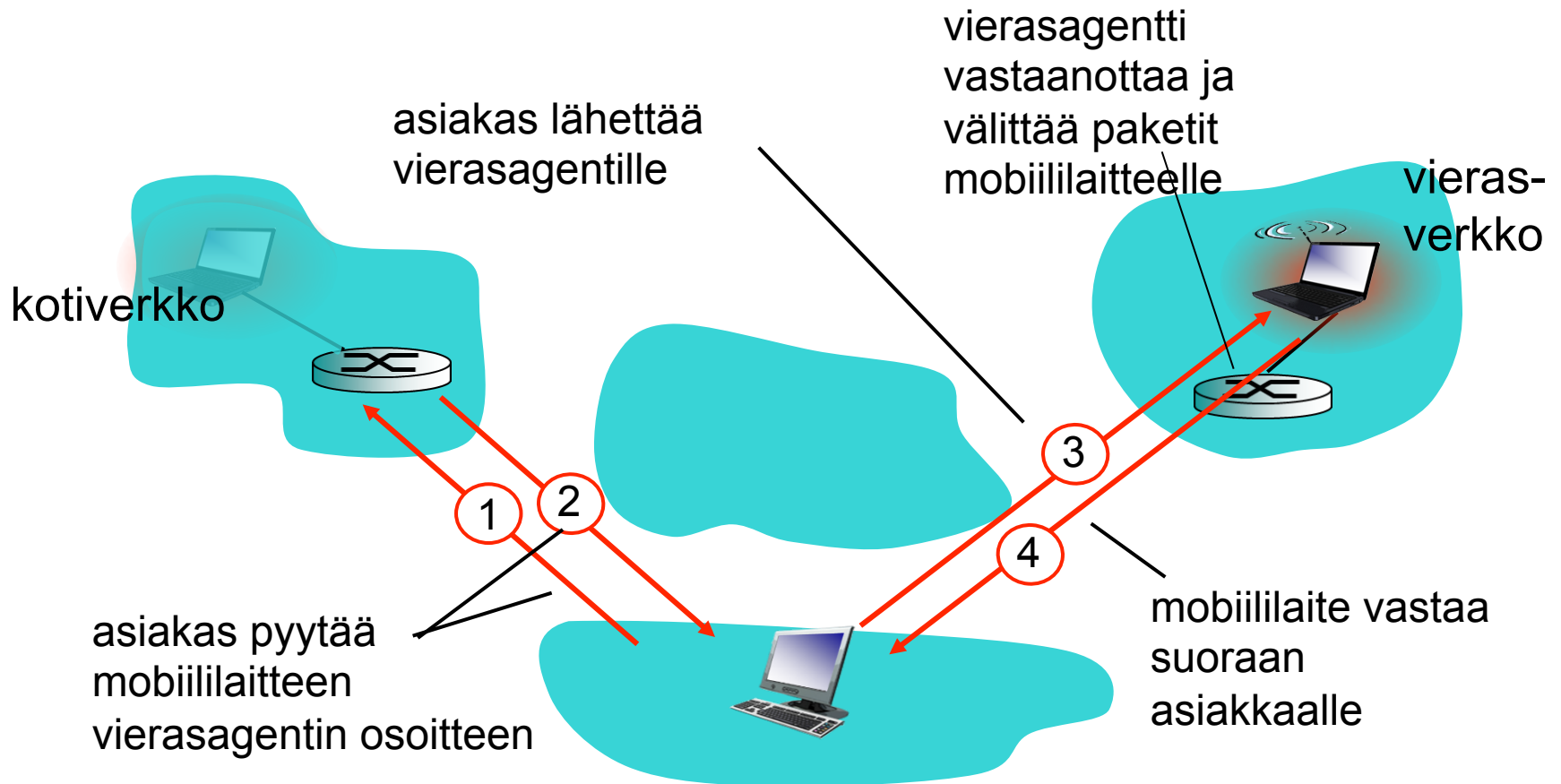
- Mobiililaitteella kaksi osoitetta:
 - **pysyvä osoite**: asiakas käyttää tätä (mobiililaitteen sijainti on asiakkaalle *huomaamaton*)
 - **vierailuosoite (care-of-address)**: kotiagentti käyttää tätä välittäessään paketit mobiililaitteelle
- Mobiililaite voi myös itse toteuttaa vierasagentin toiminnallisuuden
- **Kolmioreititys**: asiakas-kotiverkko mobiililaite
 - tehotonta (esim. asiakas ja mobiililaite samassa verkossa)



Epäsuora reititys liikkuvaan laitteeseen

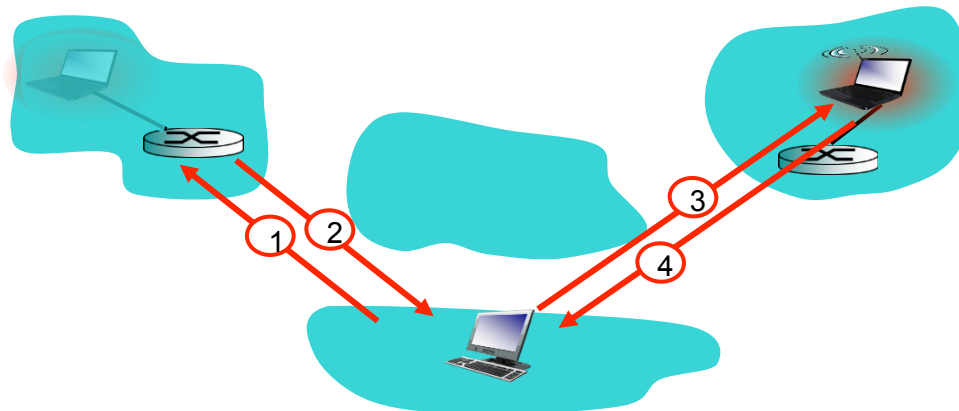
- Mobiililaite siirtyy vierasverkosta toiseen verkkoon:
 - Ilmoittautuu uudelle vierasagentille
 - Uusi vierasagentti ilmoittaa kotiagentille
 - Kotiagentti päivittää mobiililaitteen vierasosoitteen
 - Paketit välitetään uuteen osoitteeseen
- Yhteydet voidaan pitää katkeamattomina

Liikkuvuudenhallinta: suora reititys



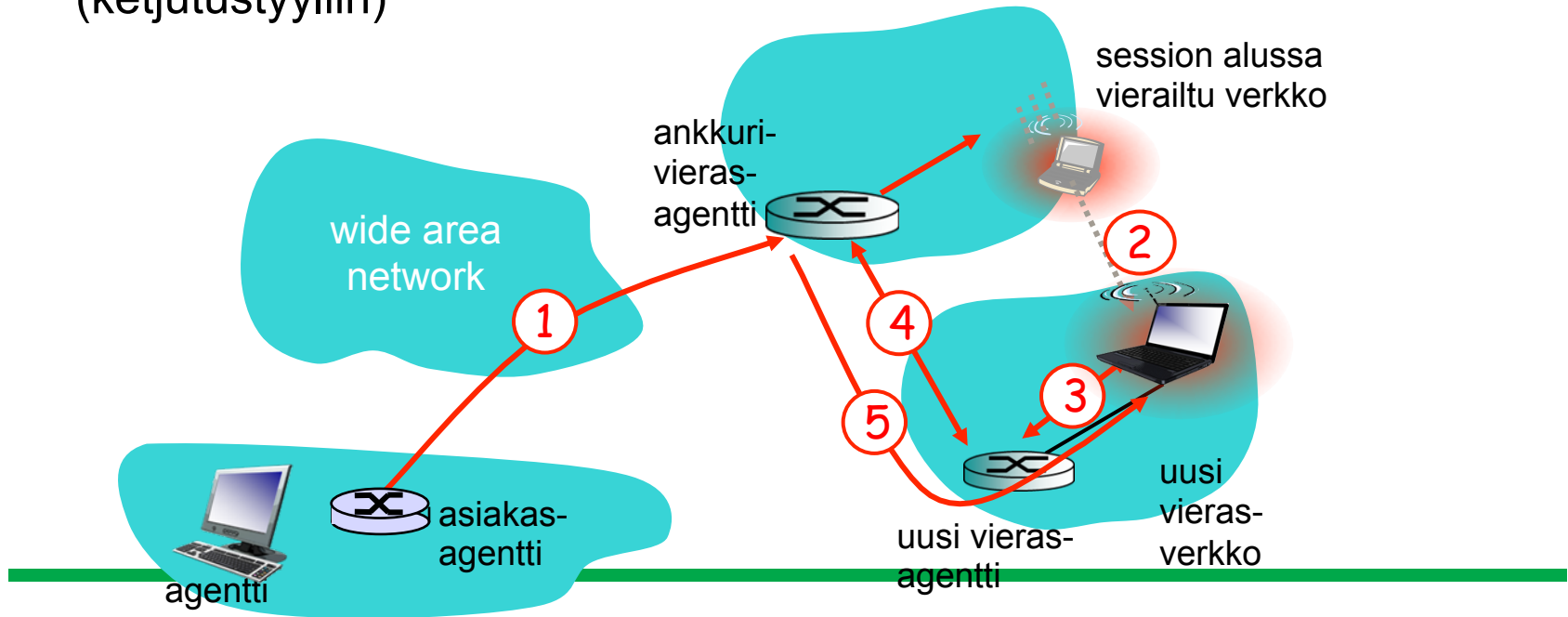
Liikkuvuudenhallinta: suora reititys

- Ratkaisee kolmioreititysongelman
- *Ei enää huomaamatonta asiakkaan näkökulmasta*
 - Asiakkaan täytyy pyytää vierasosoite kotiagentilta
 - Entä jos mobiililaite liikkuu toiseen verkkoon?



Liikkuvuudenhallinta: suora reititys

- Asiakasagentti hoitaa kyselyn asiakkaan puolesta
 - Voidaan toki toteuttaa asiakkaassa
- Ankkurivierasagentti (anchor foreign agent): ensimmäisen vierasverkon agentti
- Data reititetään aina ensin ankkurille
- Mobiililaite liikkuu: uusi vierasagentti pyytää paketit edelliseltä agentilta (ketjutustyyliin)



Yhteenveto

- Langattomat verkot
 - Infrastruktuuri: tukiasemia joihin langattomat laitteet yhteydessä
 - Langaton tiedonsiirto: kaistanleveys, signaalikohinasuhde, modulaatio
- IEEE 802.11 standardi eli Wi-Fi
 - Langaton lähiverkkoteknologia (PHY/MAC kerrokset)
 - Monta versiota: suurimmat erot fyysisen kerroksen tekniikoissa (lähetysnopeus)
 - Kaksi eri taajuusaluetta, jaettu kanaviin
 - Satunnaispääsy kanavalle käyttäen CSMA/CA ja joskus RTS/CTS
- Soluverkot
 - Koostuu soluista joissa tukiasema
 - GSM (2G) → UMTS (3G) → LTE (4G)
 - 3G:ssä käytetään CDMA FDMA:n ja TDMA:n lisäksi
- Liikkuvuudenhallinta verkoissa
 - Osoite muuttuu verkosta toiseen liikuttaessa
 - Agentit pitävät kirjaa olinpaikasta
 - Epäsuora vs. suora reititys

Seuraavalla luennolla

- Verkon suunnittelu ja valvonta

Jatkokursseilla...

- Wi-Fi edistyneet ominaisuudet
 - Power saving, RTS/CTS, rate adaptation...
- WPAN
 - Bluetooth (Low Energy), ZigBee/802.15.4
- Datakeskuksien verkot
 - Optimoidut verkkoarkkitehtuurit ja protokollat
- Energiankulutuksesta
 - Mittaaminen, mallintaminen ja optimointi
 - Green ICT
- Liikkuvuudenhallinta ja osoitteistus
 - Host Identity Protocol (HIP), Mobile IP

Lyhenteitä ja terminologiaa