



Aalto-yliopisto
Teknillinen korkeakoulu

Soluverkot

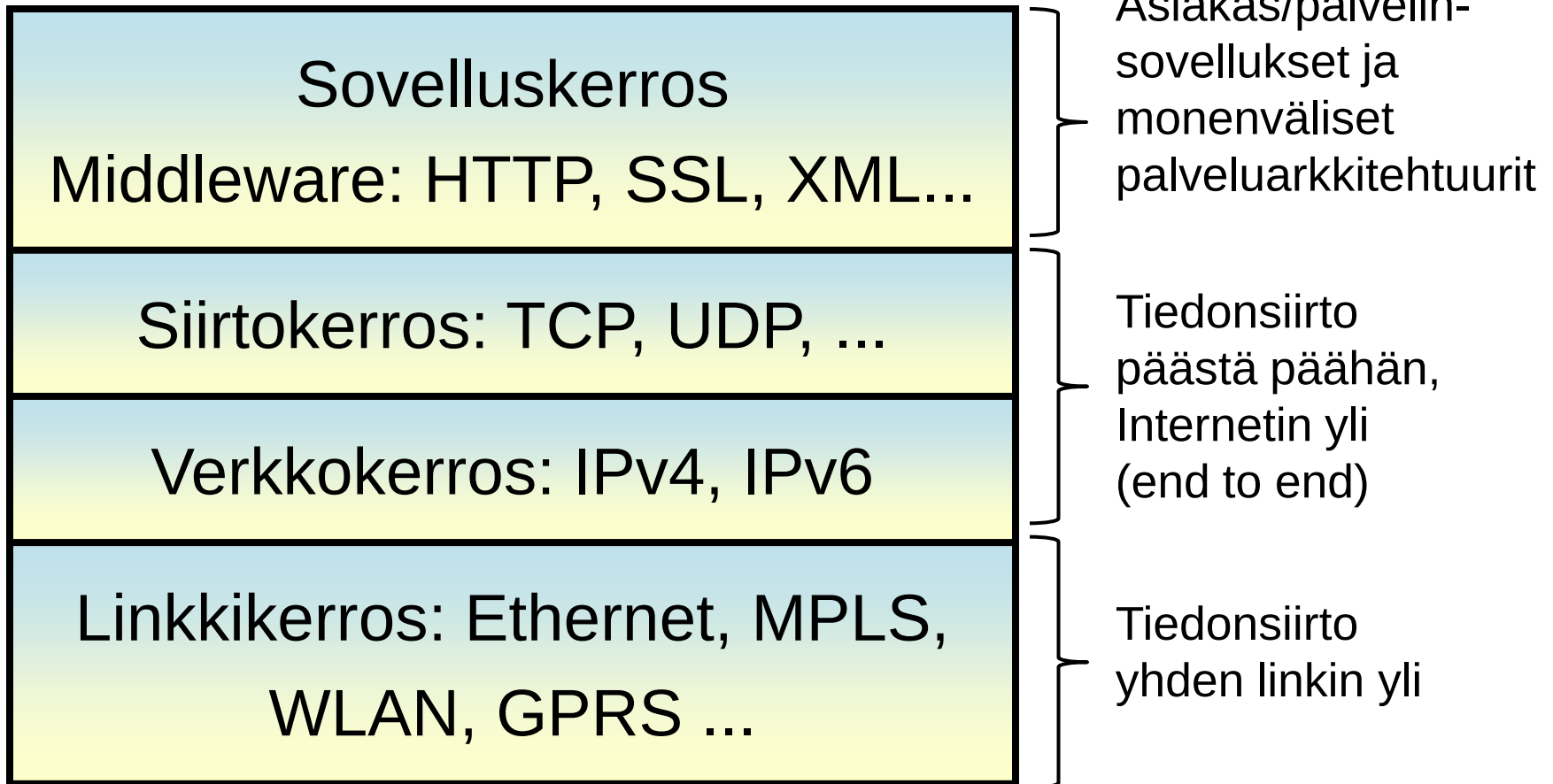
Jukka K. Nurminen

T-110.2100 Johdatus tietoliikenteeseen
kevät 2010

Viime luennolla

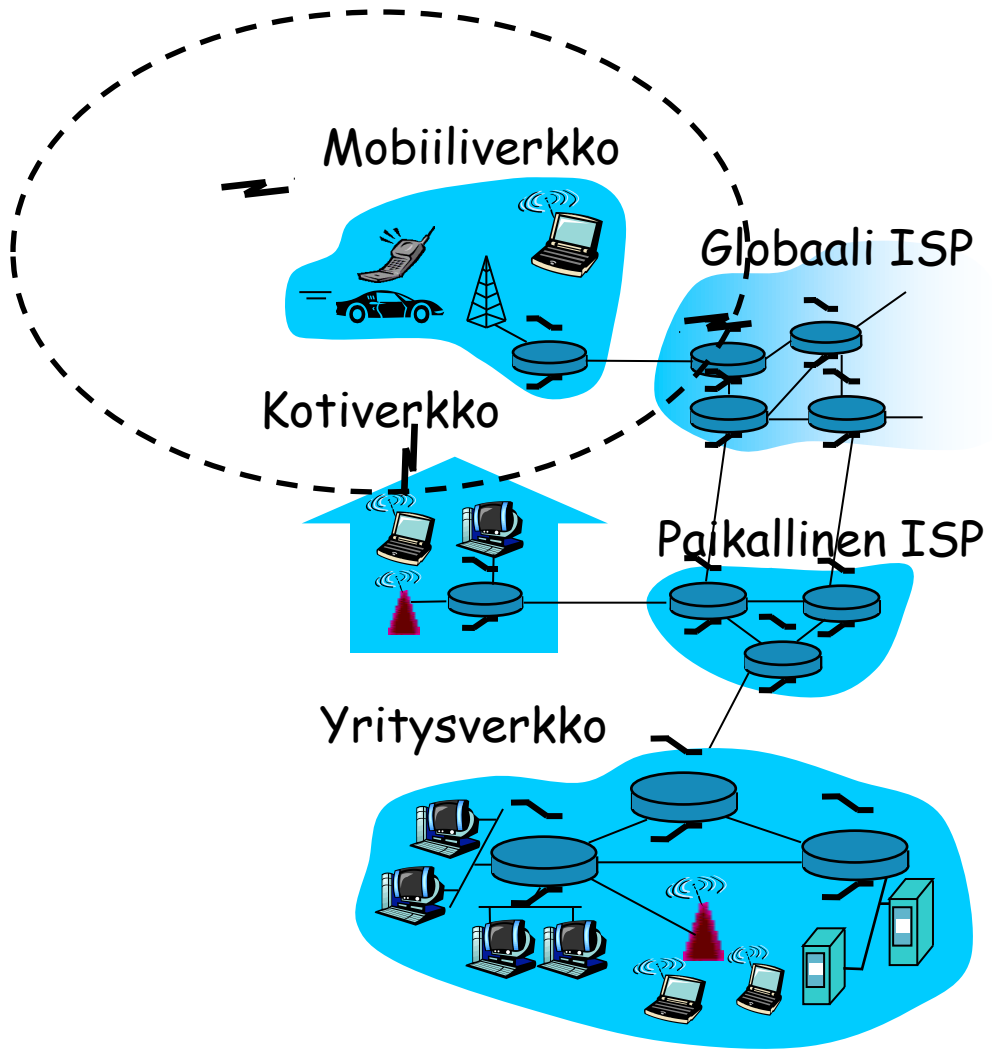
- Tiedonsiirron perusteet ja fyysinen kerros, haetaan vastausta kysymykseen:
 - Miten bitteinä oleva tieto siirtyy kaapeleissa, kuidussa ja radioaalloilla solmusta seuraavaan (linkkien väli) – pitkiäkin matkoja ?
 - Mitkä tekijät vaikuttavat ja rajoittavat siirtoa ? – mitkä ovat perimmäiset fysikaaliset rajat jotka määräävät tiedonsiirron tehokkuuden ?
- Signaalin (mm. puheen) näytteenotto ja koodaus. 64 kb/s puhelinsignaali. Nyqvistin teoreema näytteenotolle. Bittinopeudet, bittivirhesuhde.
- Kanavanjako / multipleksointi: Aikajako, taajuusjako, koodijako
- Siirron rajoitukset: Kohina, häiriöt radiotaajuuksien tai kaistan riittäminen. Signaalikohinasuhteesta johtuva bittivirhesuhde. Shannon'in teoreema maksimisiirtonopeudelle kanavassa
- Yhteys linkkikerroksen ja fyysisen kerroksen välillä
- 2 Megan tietoliikennesignaali, optinen siirto: piirikytkentäinen tiedonsiirto: PDH ja SDH; Optisen siirron periaatteet: WDM (Wavelength Division Multiplexing) ja OTN (Optical Transport Network)

TCP/IP-protokollapino



Luennon sisältö

- Soluverkkojen eli matkapuhelinverkkojen toimintaperiaatteet
- GSM, 3G, (LTE)
- Äänipuhelu
- Tiedonsiirto
- Ydinkysymyksiä:
 - Kuinka kommunikoidaan puhelimen kanssa?
 - Kuinka löydetään puhelin?
 - Kuinka hallitaan puhelinten liikkumista?



Mobiiliympäristön haasteita

- Langaton tietoliikenne (wireless communication)
 - Tiedonsiirtovirheet -> paketteja katoaa
 - Linkkien kapasiteetti vaihtelee (esim. paikan tai muiden käyttäjien perusteella)
 - Rajallinen kaistanleveys
 - Suuntaamaton lähetys
- Liikkuva tietoliikenne (mobile communication)
 - Verkon topologia muuttuu jatkuvasti
 - Tilaajien paikan hallinta
 - Käyttäjien liikkuminen
- Taskussa kulkevat laitteet (handheld communication)
 - Virrankulutus -> akun kesto
 - Rajalliset resurssit (esim. CPU, muisti)

Historia



ARP
NMT

GSM (2G)
1993

GPRS
(2.5G)
2001

3G
1999

LTE
2009

Analoginen

Digitaalinen

Suurempi tiedonsiirtonopeus

Paikallisista globaaleihin standardeihin

SOLUVERKKO JA SEN KESKEISET KOMPONENTIT

Mobiiliverkon periaate

- Maantieteellisesti laajalle alueelle halutaan kattava langaton viestintäpalvelu
 - Viestimen on pystyttävä liikkumaan ja viestimään samanaikaisesti
- Alue jaetaan soluihin, joihin asennetaan solun kattava lähetin-vastaanotin
- Käytössä oleva taajuusalue jaetaan soluihin siten että samaa taajuutta ei käytetä vierekkäisissä soluissa
- Viestimen siirtyessä solun alueelta toiselle, verkko havaitsee tämän ja ohjaa viestimen vaihtamaan käyttämänsä taajuutta

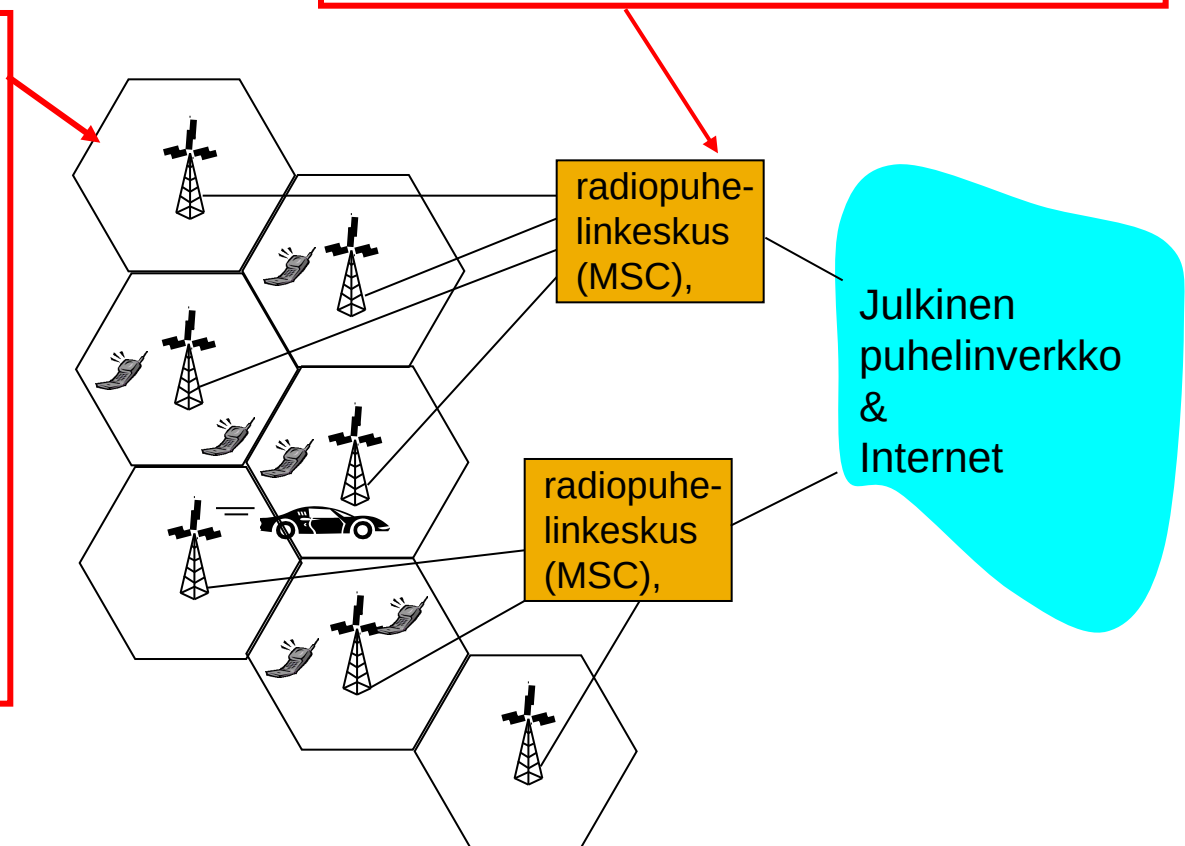
Soluverkon arkkitehtuuri

Solu

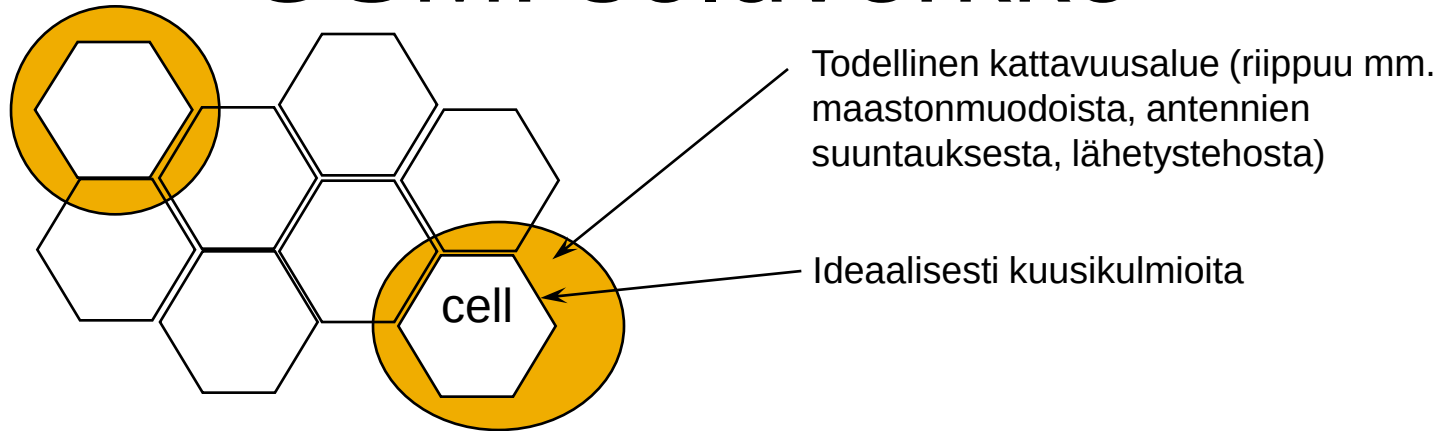
- kattaa maantieteellisen alueen
- *tukiasema useita* lähetin-vastaanottimia
- *mobiilikäyttäjä* radioyhteydessä tukiasemaan
- *ilmarajapinta:* fyysisen ja linkkikerroksen protokolla

MSC

- kytkee solut tietoliikenneverkkoon
- hallinnoi puhelun muodostusta
- hallinnoi tilaajan liikkumista

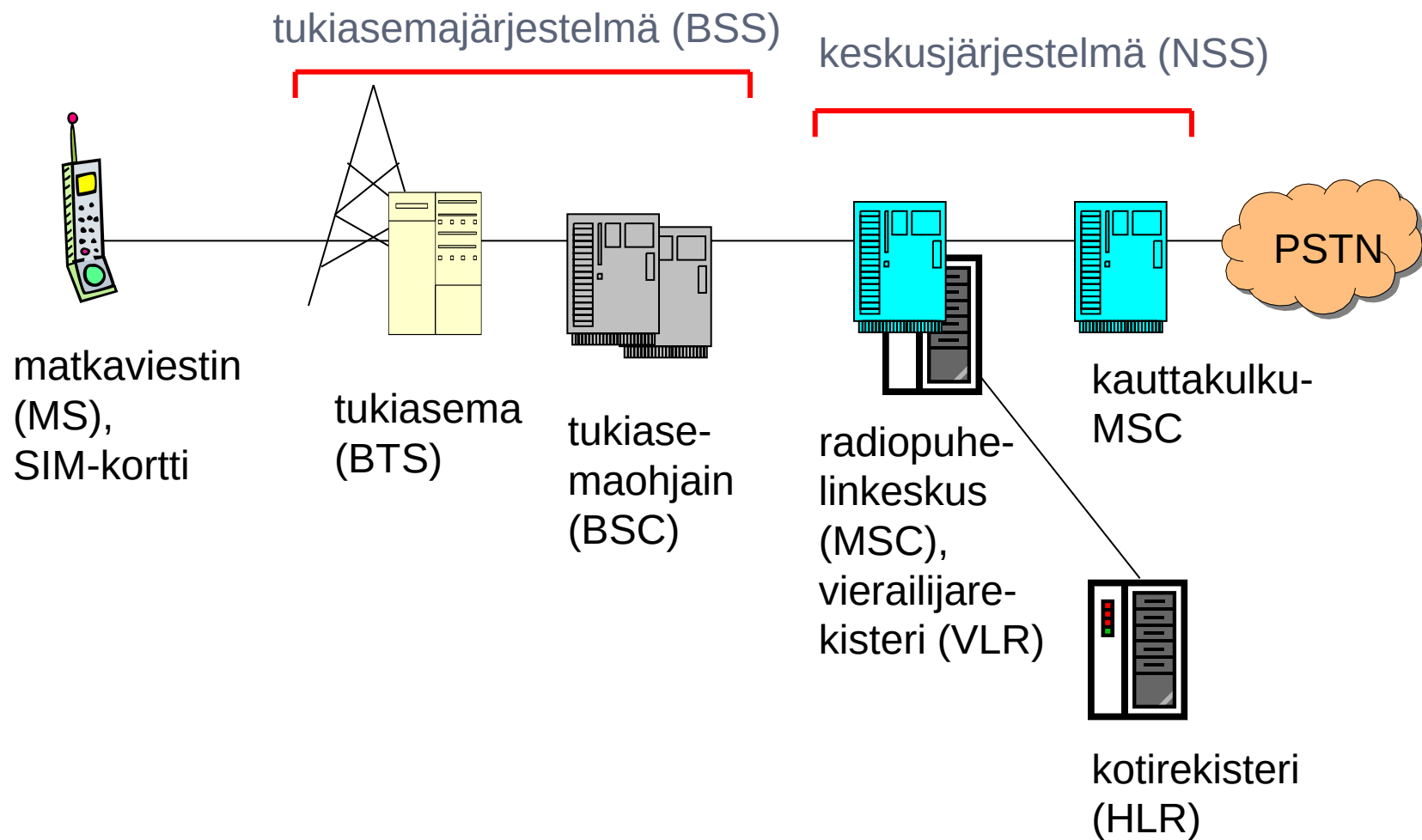


GSM: soluverkko



- Alue jaetaan soluihin. Kullakin solulla oma taajuus
- Perustekniikka on käyttää eri taajuuksia vierekkäisissä soluissa ja uudelleenkäyttää taajuuksia kauempana
- Solukoot vaihtelevat: 50 m - 35 km
 - Pikosoluja rakennuksien sisällä, mikrosoluja esim. yhtä katua varten, makrosoluja harvaan asutuilla alueilla
- Koska radioverkon rakentaminen maksaa, kyseessä on optimointiongelma
 - Kattava verkkopeitto kaikkialle
 - Riittävä kapasiteetti

GSM:n arkkitehtuuri



GSM-verkon rakenne

- Verkko koostuu useista osista, joilla on oma tehtävänsä
 - Osien tehtävät on määritelty tarkasti, jotta eri valmistajien komponentteja voidaan yhdistellä
 - Osien välillä on määritellyt rajapinnat, eli sovitut protokollat
- Rakenne on huomattavasti monimutkaisempi kuin esim. Internetin arkkitehtuuri
 - Piirikytkentäisyys
 - Käytön maksullisuus
 - Luotettavuus ja varmuus
- Verkko on suunniteltu kymmenien vuosien investointisyklejä varten ja siihen voidaan lisätä uusia ominiasuuksia

Tukiasemajärjestelmä

- Base Station Subsystem (BSS)
- Tukiasemajärjestelmä sisältää mobiiliverkon radorajapintaan ja liikkuvuuteen liittyvät toiminnot
- Tukiasemaohjain, Base Station Controller (BSC) ohjaa alaistensa lähettimien toimintaa halliten verkkoa
 - Allokoi radioverkon aikavälit
 - Hallitsee tukiasemanvaihtoja
 - Ilmoittaa MSC/VLR:lle aluellaan olevista matkaviestimistä
 - Ei tiedä viestimen tarkkaa sijaintia ennen kuin sitä tarvitaan
- Tukiasema, Base Transceiver Station (BTS)
 - Ohjaa lähetin-vastaanottimia, joita voi olla useita
 - Kukin lähetin-vastaanotin käyttää yhtä taajuutta ja kahdeksaa aikaväliä
 - Tukiasemassa voi olla enintään kuusi taajuutta, joten solun maksimikapasiteetti on 45 puhelua (3 aikaväliä varataan merkinantoon)
- Transcoding Rate and Adaptation Unit (TRAU) koodaa puhelinverkon 64 kb/s PCM-koodatun puhevirran 13 kb/s virraksi

Keskusjärjestelmä

- Network and Switching Subsystem (NSS)
- Rakentuu perinteisen puhelintekniikan varaan
 - SS7-merkinanto, älyverkon palvelut ja ISDN-digitaalitekniikka
- Radiopuhelinkeskus, Mobile Switching Center (MSC)
 - Verkossa on yksi tai useampia MSC:tä
 - ISDN-puhelinkeskus laajennettuna matkaviestintään
 - Vierailijarekisteri, Visitor Location Register (VLR)
 - MSC:n yhteyteen liitetty tietokanta, jossa ylläpidetään tietoa MSC:n alueella olevien viestimien sijainnista BSC:n tarkkuudella
- Kauttakulku-MSC, Gateway Mobile Switching Center (GMSC)
 - Liittää järjestelmän muuhun puhelinverkkoon
- Kotirekisteri, Home Location Register (HLR)
 - Tilaaajakohtaiset tiedot palveluiden toteuttamiseen, kuten
 - International Mobile Subscriber Identity (IMSI)
 - MSISDN (Mobile Subscriber ISDN number)
 - Sekä Location Area Code, joka kertoo minkä MSC:n alaisuudessa viestin on
- Tunnistuskeskus Authentication Center (AuC) HLR:n yhteydessä sisältää asiakkaan todentamiseen tarvittavan tiedon
- Laitteiden tunnistusrekisteri, Equipment Identity Register (EIR)
 - Esim. International Mobile Station Equipment Identity (IMEI) -koodeja varastettujen laitteiden sulkulistaa varten

Matkaviestin

- Mobile Station (MS)
- MS koostuu kahdesta osasta
- Matkaviestinlaite, Mobile Equipment (ME)
 - Radiolähetin-vastaanotin
 - Käyttöliittymä
 - Muistia ja tietojenkäsittelykapasiteettia merkinantoon, salaukseen tekstiviesteihin jne.
- Liittymätunnistekortti, Subscriber Identity Module (SIM)
 - Toimikortti, eli oma keskusyksikkö ja muisti
 - Sisältää tunnistetiedot AuC:lle tunnistautumista varten

Muita verkon osia

- Käyttötukijärjestelmä, Operations Support System (OSS)
 - Koko järjestelmän hallintajärjestelmä (esim. uusien käyttäjien ja palveluiden lisääminen)
 - Valmistajakohtainen, ei standardoitu
- Lisäarvopalvelut
 - Hyödyntävät mm. älyverkkoja
 - Vastaajapalvelut, soitonsiirto, puhelinneuvottelut jne.
- Tekstiviestipalvelu, Short Message Service (SMS)
 - SMS-keskus, SMSC
 - Tallettaa ja edelleenlähettää SMS-viestit
 - SMSC toimii kuin sähköpostipalvelin

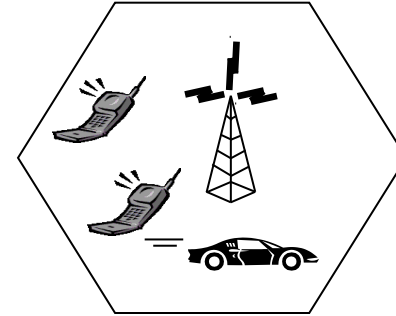
RADIORAJAPINTA

- **GSM**
- **UMTS (3G) [KUROSE 6.2.1]**

Radiorajapinta

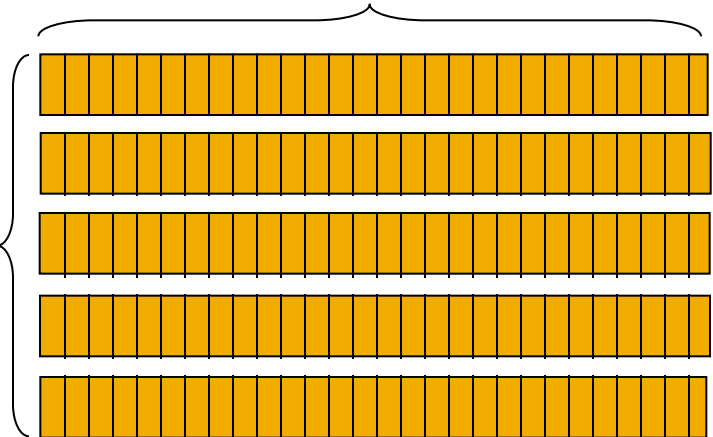
Radiotaajuuksien määrä on
rajallinen

Eri menetelmiä jakaa
käytettävissä olevaa
radiokaistaa



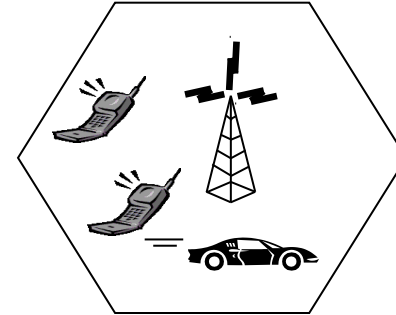
time slots

frequency
bands

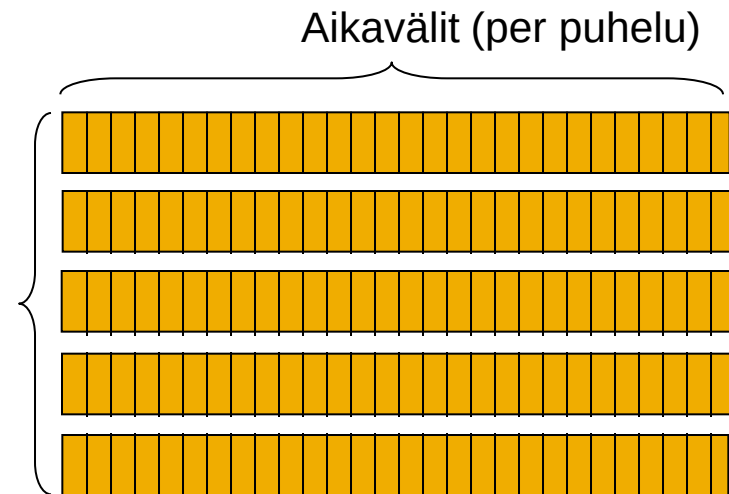


GSM radiorajapinta

- Yhdistelmä FDMA (Frequency Division Multiple Access, taajuusjako) ja TDMA (Time Division Multiple Access, aikajako) tekniikoista
- Solu käyttää vakiotaajuutta
- Puhelu käyttää sille sovittuja aikavälejä



Taajuuskaistat
(per solu)



YDINTOIMINNALLISUUS

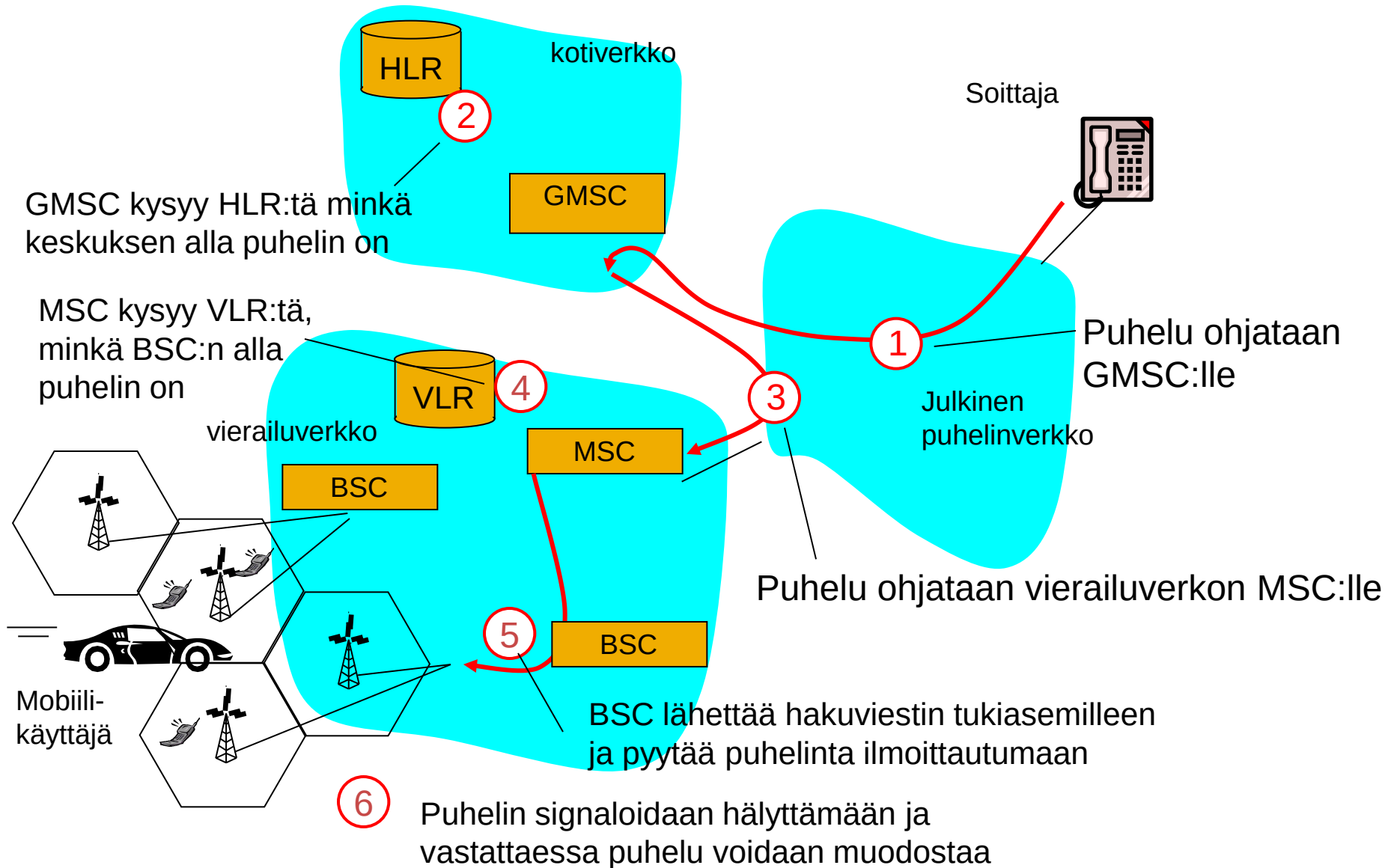
[KUROSE 6.7]

- **PUHELUN MUODOSTUS**
- **SIJAINNIN PÄIVITYS**
- **TUKIASEMAN VAIHTO (HANDOVER) – PUHELUN AIKANA**

Liikkuvuuden hallinta soluverkoissa

- *kotiverkko*: oman mobiilioperaattori verkko (esim. Elisa, Sonera)
 - *Kotirekisteri (home location register (HLR))*: oman operaattorin tietokanta, joka sisältää puhelinnumeron, profiilitietoa (palvelut, preferenssit, laskutus), tiedon nykyisestä paikasta (voi olla toinen verkko)
- *vierailuverkko*: verkko jossa puhelin tällä hetkellä on (voi olla esim. ulkomaisen operaattorin verkko mutta myös oma kotiverkko)
 - *Vierailijarekisteri (visitor location register (VLR))*: tietokanta, jossa tieto jokaisesta laitteesta, joka on tällä hetkellä verkossa

GSM: Puhelun muodostus



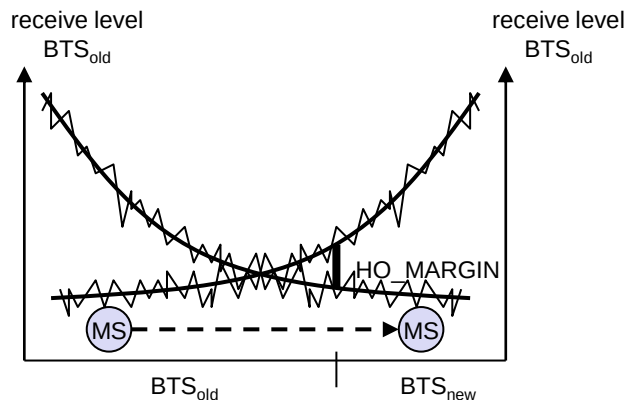
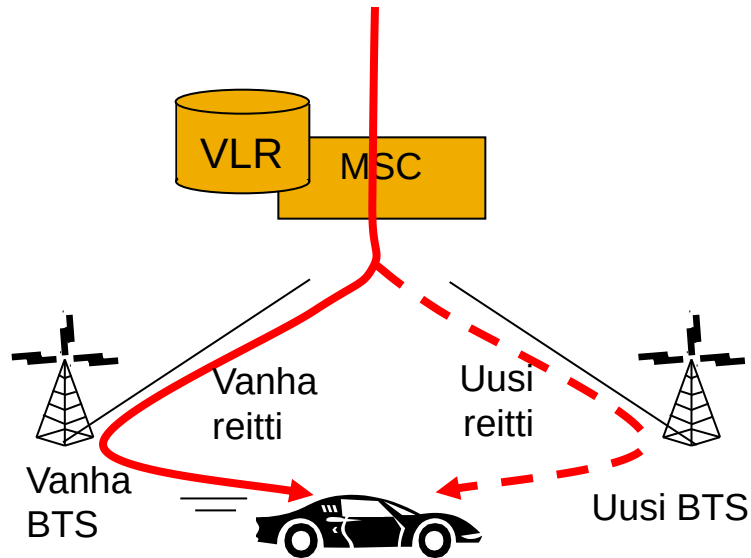
Puhelun välitys matkaviestimeen

- Kun perinteisestä puhelinverkosta soitetaan matkapuhelimeen, puhelu saapuu ensin GMSC:lle
- GMSC kysyy HLR:ltä minkä keskuksen alueella puhelin on ja puhelin ohjataan tälle MSC:lle
- MSC kysyy VLR:ltä minkä BSC:n alueella puhelin on
- BSC lähettää hakuviestin tukiasemilleen ja pyytää puhelinta ilmoittautumaan
- Puhelimen vastatessa sen sijainti tiedetään (tukiaseman lähettimen tarkkuudella) ja puhelu voidaan yhdistää

Sijainnin päivitys

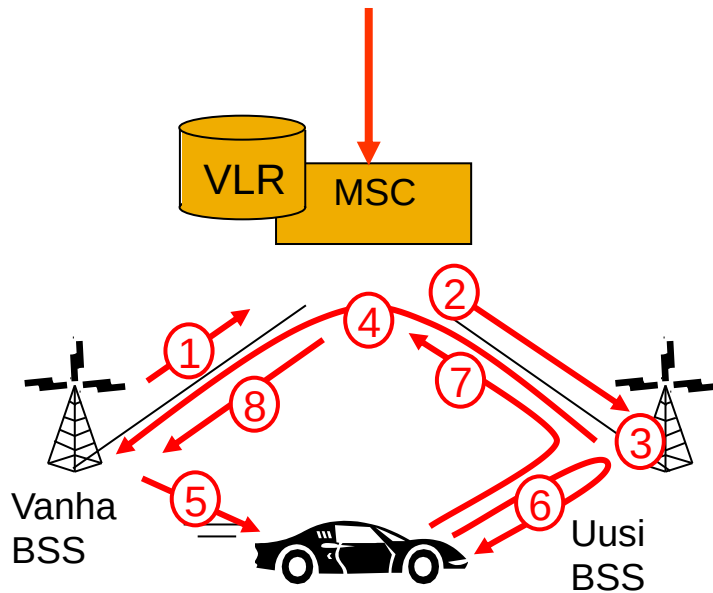
- Mobiiliverkon olennainen osa on liikkuvuuden hallinta
- Solut ovat limittäin ja tyypillisesti viestin voi havaita useita tukiasemia (BTS)
 - Tukiasemat lähettävät niitä ohjaavan tukiasemaohjaimen (BSC) tunnistetta
- Kun matkaviestin ei ole käytössä, mutta on päällä, se seuraa tunnisteita
- Kun viestin havaitsee BSC:n tunnisteen muuttuvan, se pyytää uudelta BSC:ltä sijainnin päivitystä
- BSC välittää MSC:lle tiedon viestimen siirtymisestä sen alueelle
- MSC tallettaa vierailijarekisteriin (VLR) tiedon viestimen sijainnista ja lähettää myös tiedon vanhalle BSC:lle
- Näin verkko on tietoinen viestimen summittaisesta sijainnista
 - Kompromissiratkaisu

GSM: Tukiaseman vaihto (Handover, handoff)



- Tavoite: reitittää puhelu uuden tukiaseman kautta (ilman katkoa)
- Syitä :
 - Vahvempi signaali uudessa tukiasemassa (yhteyden ylläpito, virrankulutuksen säästö)
 - Kuorman jako: vapauttaa kanava nykyisessä tukiasemassa.
 - Syytä ei ole määritelty GSM standardissa ainoastaan mekanismi
- Voi vaatia myös MSC:n vaihdon

GSM: Tukiaseman vaihto



Huomaa. Tässä BSS kattaa sekä tukiaseman (BTS) että radiokontrollerin (BSC) toiminnot

0. Mobiili mittaa havaitsemiensa tukiasemien voimakkuutta
1. Vanha BSS päättää vaihdon aloittamisesta ja välittää MSC:lle tiedon mahdollisista BSS:stä
2. MSC luo yhteyden uuteen BSS:ään
3. Uusi BSS varaa radiokanavan mobiilin käyttöön
4. Uusi BSS signaloi MSC:lle ja uudelle BSS:lle kun on valmis
5. Vanha BSS signaloi mobiilia vaihtamaan
6. Mobiili ja uusi BSS aktivoivat uuden kanavan
7. Mobiili signaloi MSC:lle kun vaihto on valmis MSC uudelleen reitittää puhelun
- 8 Vanhat resurssit vapautetaan.

Tukiasemanvaihto (handover)

- Puhellun ollessa käynnissä sijainnin päivittäminen on vaativampaa
- Yhden tukiasemaohjaimen (BSC) alueella BSC hallitsee radiorajapinnan ja seuraa viestimen liikkumista
- Kun tukiaseman vaihtaminen tulee aiheelliseksi, BSC varaa uudelta tukiasemalta kanavan (taajuus ja aikaväli) ja lähettää viestimelle käskyn siirtyä uudelle kanavalle
- Tätä kutsutaan kovaksi vaihdoksi (hard handover)
 - Pehmeässä vaihdossa viestinlaite olisi yhteydessä useampaan tukiasemaan samanaikaisesti
- MSC hoitaa vaihdon BSC:n alueelta toiselle

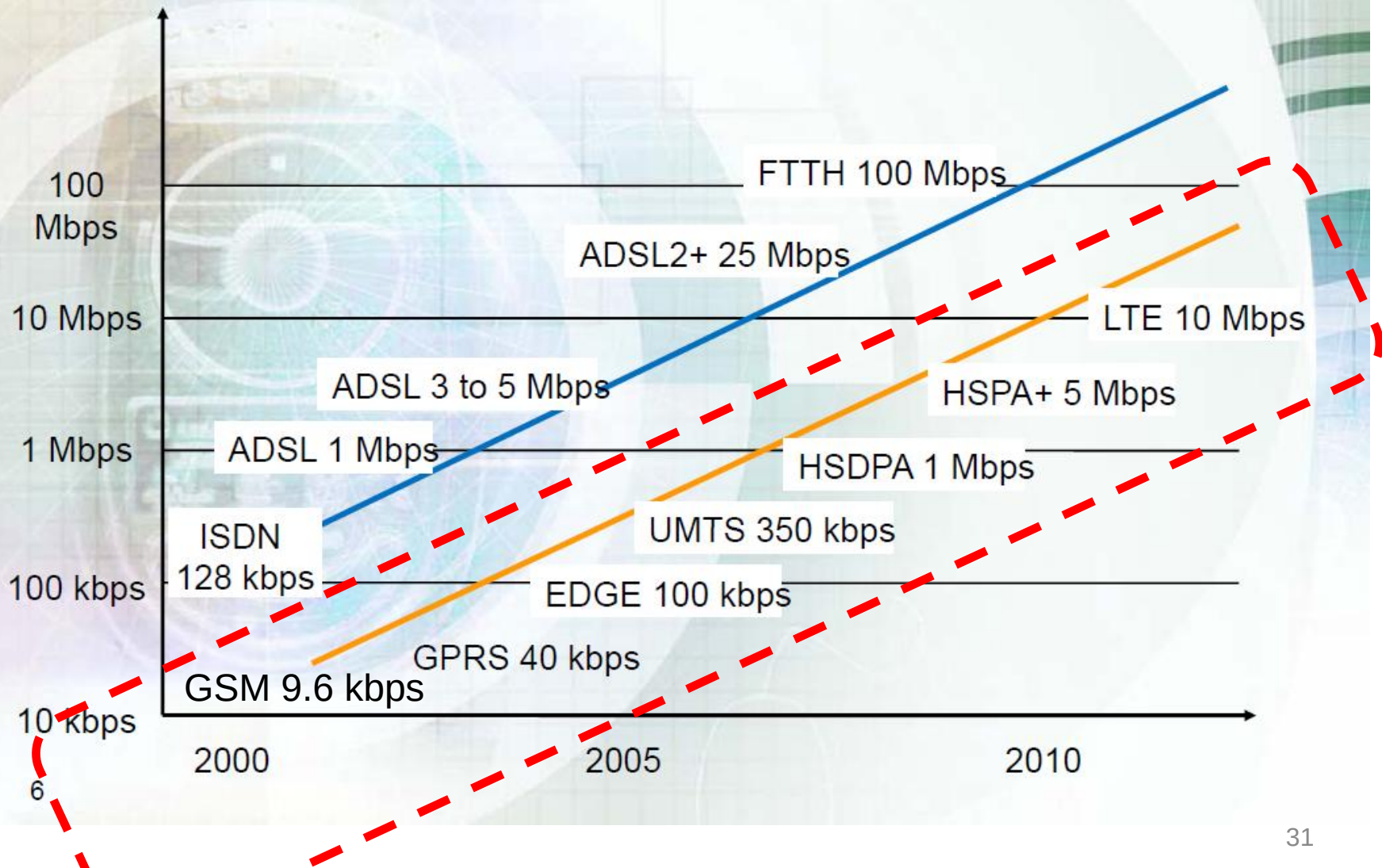
Verkkovierailu (roaming)

- Viestin voi käyttää myös muiden operaattorien verkkoja, mikäli operaattorit ovat sopineet tästä
- Tunnistus välitetään SIM-kortilta korttia vastaavan operaattorin AuC:lle

GPRS, UMTS, LTE

Nopeampaa datansiirtoa
Tehokkaampaa radiokaistan
hyödyntämistä

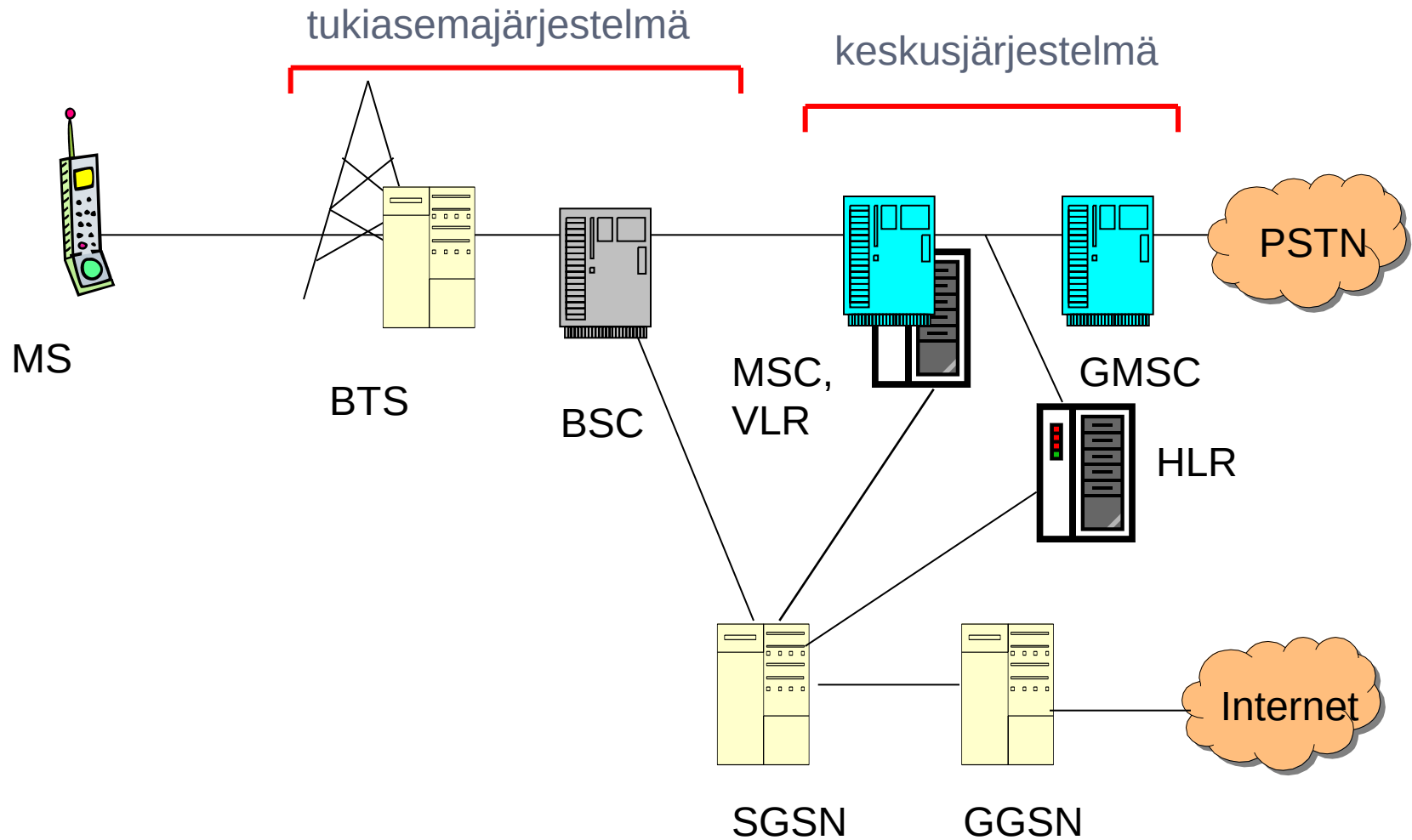
Wireline and Wireless Advances



GPRS-verkko

- GPRS hyödyntää samaa radioverkkoa kuin GSM
 - Radio Access Network (RAN)
 - BSS-järjestelmään lisätään tietoliikennepaketteja välittävä yksikkö
- Tukiasemalta GPRS-paketit tunneloidaan saman verkon ylitse kuin muu GSM-data (puhelut)
- GPRS lisää verkkoon uusia elementtejä
 - Serving GPRS Support Node (SGSN) on reititin
 - Seuraa viestimen sijaintia
 - Välittää liikenteen
 - Tunnistaa viestimen ja toteuttaa muut hallintatoiminnot
 - Gateway GPRS Support Node (GGSN)
 - Välittää liikenteen muihin verkkoihin
 - Esim. IP-paketteja Internetiin
 - GPRS käyttää GSM:n VLR ja HLR-rekistereitä

GPRS



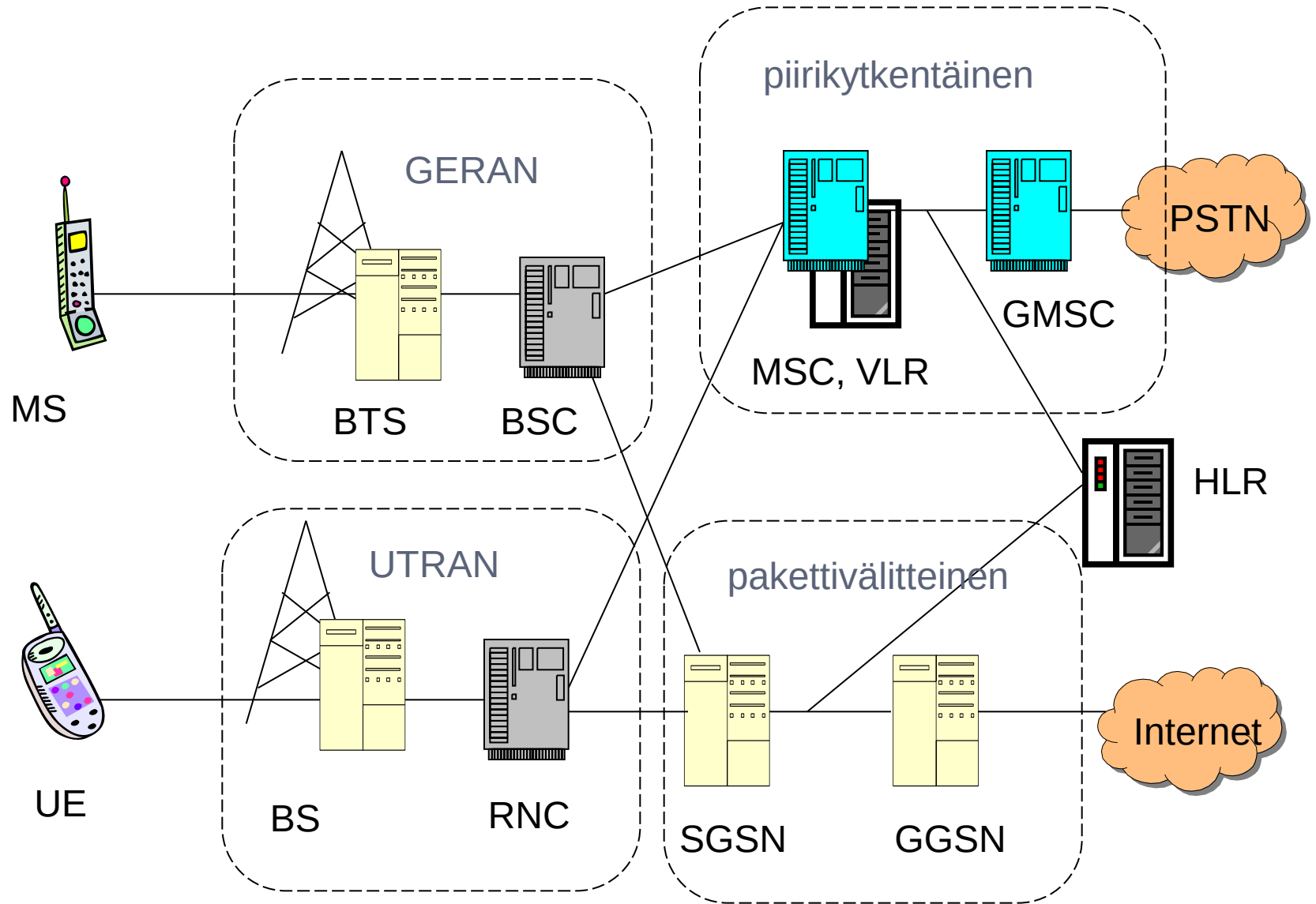
Tukiasemanvaihdot GPRS-järjestelmässä

- Koska GPRS ei ole samalla tavalla piirikytkentäinen kuin puhelut, vaihto on yksinkertaisempi
- Viestin pyytää solun vaihtoa ja liikenne reititetään uuteen soluun

UMTS

- Universal Mobile Telecommunications System
 - Eli 3G
- Tarjoaa lisää samaa kuin GSM/GPRS/EDGE
 - Tiedonsiirtoa 2 Mb/s tai enemmän
 - 144 kb/s realistisempi arvio
 - VoIP saattaa korvata piirikytkentäiset puhelut
 - Videopuhelut ja muut multimediaspalvelut
 - Radiokaistan tehokkaampi hyödyntäminen

UMTS

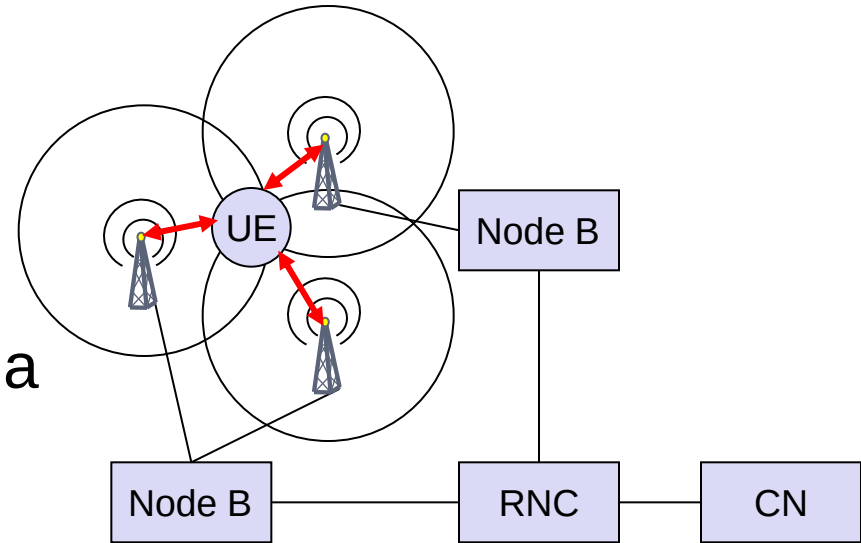


UMTS RAN

- UMTS määrittelee uuden radioverkon
 - Laajakaistaiseen CDMA:han pohjautuva UTRAN (Universal Terrestrial RAN)
 - 1885-2025 MHz (uplink)
 - 2110-2200 MHz (downlink)
 - GSM/EDGE:n GERAN-verkko voi toimia rinnakkaisesti UMTS:n kanssa
 - Näillä näkymin UMTS saattaa jäädä vain kaupunkien verkoksi
- Muutama uusi komponentti ja termi
 - Radio Network Controller korvaa BSC:n
 - Base Station korvaa BTS:n
 - User Equipment korvaa MS:n
- Uusia ominaisuuksia
 - Suurempi siirtokapasiteetti
 - Soluhengitys
 - Pehmeä tukiasemanvaihto

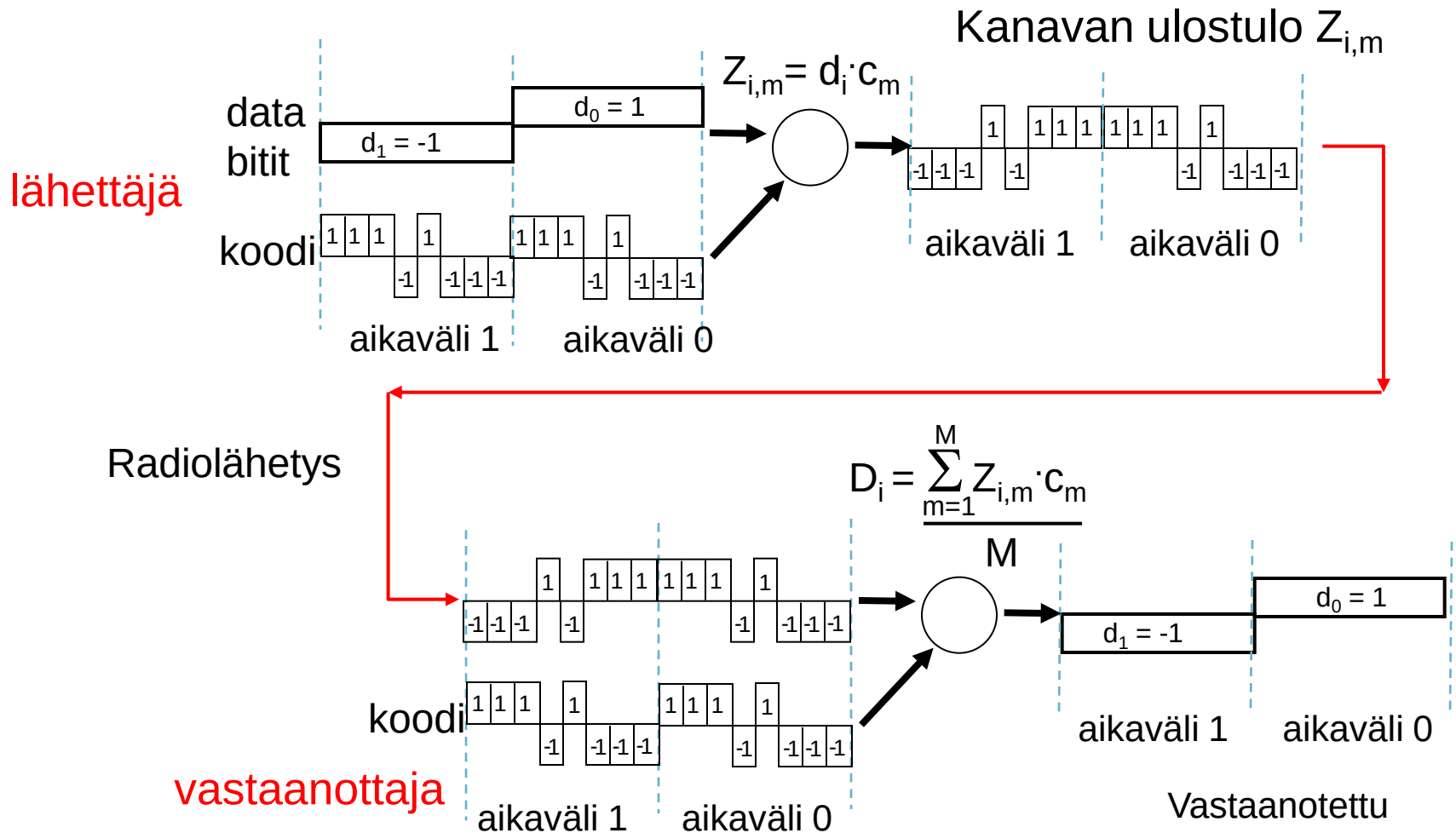
UMTS radiorajapinta

- CDMA, Code Division Multiple Access
- Jokaisella käyttäjällä oma koodi
- Oikein valitut koodit mahdollistavat useita samanaikaisia lähetyksiä samalla taajuudella
- Yksi bitti koodataan useaksi symboliksi, jotka saman koodin omaava vastaanottaja pystyy erottamaan taustakohinasta



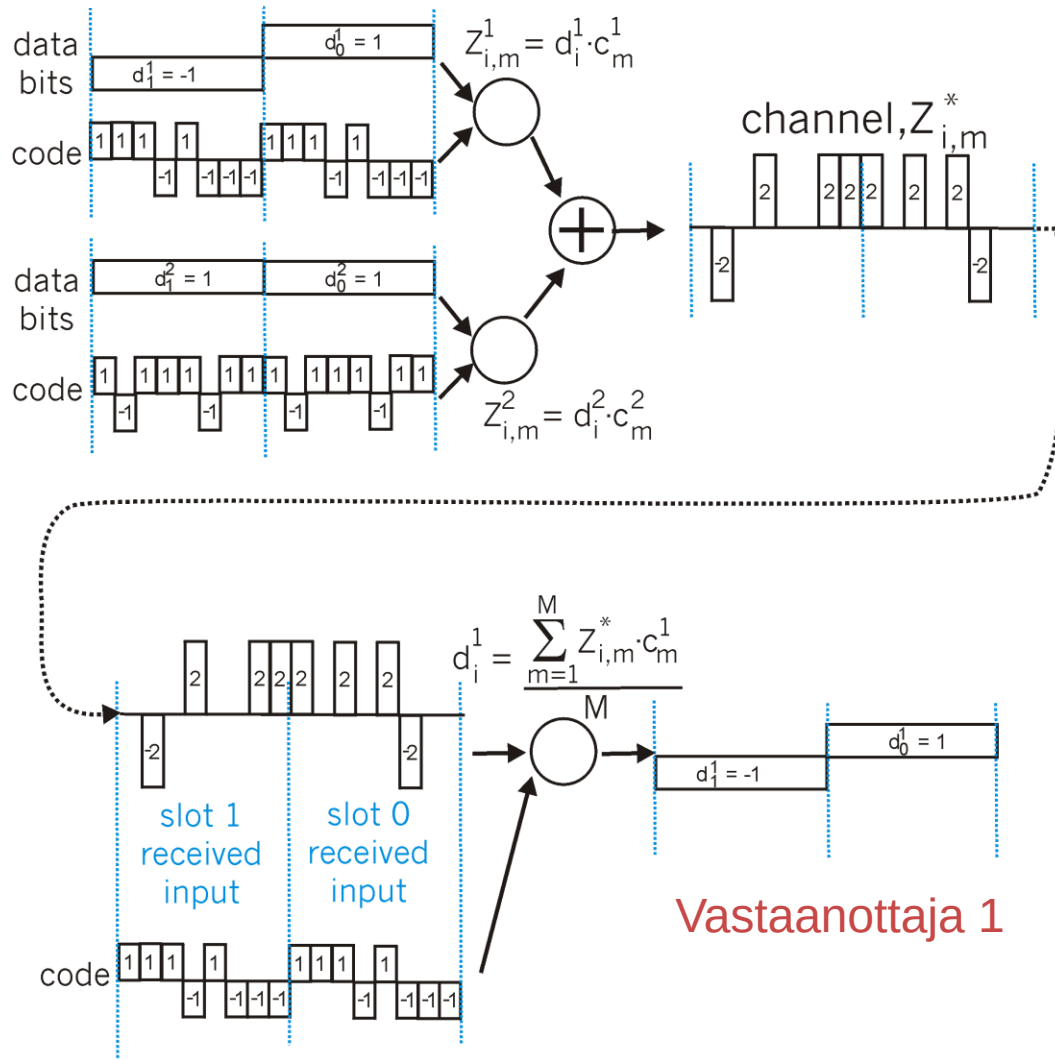
Koodattu signaali = (alkuperäinen data) X (koodi)
decoding: sisätulo koodatusta signaalista ja koodista

CDMA koodaus/dekoodaus



CDMA: kahden lähettäjän tapaus

Lähettäjät



Soluhengitys

- W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) -teknologia korvaa yhden lähetettävän bitin usealla symbolilla
 - Lähettäjällä ja vastaanottajalla on sama koodi
 - Hajayspektritekniikka käyttää laajaa taajuuskaistaa
- Muiden saman taajuuden käyttäjien liikenne on kuin taustakohinaa CDMA-liikenteelle
 - SNR-suhde vaikuttaa edelleenkin siirrettävän datan määrään (Shannon)
 - CDMA-tekniikoiden yhteydessä käytetään termiä Signal to Interference Ratio (SIR)
- Tästä seuraa se, että CDMA:han perustuva solu pienenee, kun liikenteen määrä kasvaa
 - Käytetään termiä soluhengitys
 - CDMA pystyy käsittelemään joustavasti suuremman määrän asiakkaita, mutta solun koko muuttuu liikenteen suhteessa

Pehmeä tukiasemanvaihto

- Soft Handover
- Viestimen (UE) laajakaistainen hajaspektriradio pystyy olemaan yhteydessä useaan tukiasemaan samanaikaisesti
- Niinpä tukiasemanvaihdossa viestin lisää yhden tukiaseman lisää vastaanottajiin ja pudottaa myöhemmin toisen
- Lisäksi viestin voi tämän tekniikan avulla käyttää useaa tukiasemaa tiedonsiirron laadun (QoS) hallintaan

Konvergenssi

- UMTS:ään on määritelty IPv6-pohjainen runkoverkko perinteisen puhelinverkon teknologioiden sijaan
 - Operaattorin suljetussa verkossa palvelunlaadun takaaminen ei ole ongelma
- UMTS:ään on tulossa myös MSC:n korvaava IMS, IP Multimedia Subsystem, joka toteuttaa puheluita ja multimediapalveluita hyödyntäen TCP/IP-perheen protokollia
- Neljännen sukupolven verkkoihin liittyvät ideat ajavat konvergenssia edelleen
 - Tukiasemanvaihdon (horizontal handover) rinnalle vertical handover teknologiasta toiseen
 - SIP/RTP-protokolliin perustuvan VoIP puhelun siirtäminen WLAN-yhteydeltä UMTS- tai GSM-puheluksi
- 4G:tä ei ole määritelty selkeästi, termi on vielä hype-vaiheessa

LTE

- Vain pakettidataa (Voice ->VoIP)
- Kaksitasoinen verkko (RNC taso poistunut)
- Soveltaa monia uusia radio- ja antennitekniikoita (OFDM, MIMO)
- Ensimmäiset kokeiluverkot käytössä

Mobiiliverkkojen tärkeimmät ideat

- Tietoliikenne liikkuvalla asiakkaalla
 - Viestin liikkuu radioverkossa
 - Asiakas on tunnistettavissa (SIM-kortti)
 - Verkko seuraa viestintä ja varaa resurssit (radiokaistan) tietoliikenteelle
 - Palvelu ei katkea viestimen siirtyessä lähetin-vastaanottimien välillä
- Järjestelmä on standardoitu ja kehitettävissä
 - GSM → GPRS → EDGE → UMTS → 4G
 - Uuden sukupolven laitteet ja palvelut käyttävät olemassaolevaa teknologiaa

Tukiluettavaa

- Kurose & Ross
 - 6.2 CDMA (UMTS radiotoiminnallisuus)
 - 6.4 Cellular internet access (arkkitehtuuri)
 - 6.7 Managing mobility in cellular networks
- Mutta huomaa, että suurin osa luennon sisällöstä on kirjan ulkopuolelta

Esimerkkejä tenttikysymyksistä

- Puhelinliikenne on mahdollisesti siirtymässä SDH (ja PDH) - pohjaisista verkoista IP-verkkoihin. Kuvaile yksi tässä muutoksessa saavutettava hyöty ja yksi haitta. (2p)
- Väittämiä (perustele)
 - Jos WLAN-tukiaseman kantama olisi 100 m sijaan esim. 10 km, matkapuhelinverkot voitaisi korvata suoraan WLAN-tekniikalla.
 - Matkapuhelinverkko seuraa koko ajan puhelimen sijaintia.
 - UMTS ei tarjoa GSM/GPRS:ään muuta olennaista kuin uuden radioverkon.
- Mitä tapahtuu GSM-järjestelmässä, kun matkapuhelimeen soitetaan puhelu lankapuhelimesta? Kerro prosessi vaiheittaisesti.