

Televerkko, GSM-verkko

Jyry Suvilehto

T-110.1100 Johdatus tietoliikenteeseen ja
multimediatekniikkaan
kevät 2011

Luennon sisältö

1. Televerkko (PSTN)
2. Matkapuhelinverkko
 - GSM, EDGE, UMTS

Kalvot perustuvat Timo Kiravuon vastaaviin, kuvitusta ja selvennystä varastetu Jukka K. Nurmiselta ja Jouko Kurjelta

TELEVERKKO

Kuha. Uusi paradigma

Pythagoras, Kant ja Edison
Höyrykone, Kuhn, Sergei Eisenstein,
Juri Gagarin ja Sigmund Freud
fonografi, Kolumbus
Kopernikus, Marx ja rautatie
Alexander Bell, Jaakko Hintikka
Aristoteles, kirjapaino
Tuli, sähkö, Leukippos

Intro

- Televerkko oli aikaisemmin maailman suurin tekninen rakenne
 - Ehkä vieläkin, miten koko mitataan?
 - Miten laite määritellään?
- Puhelinverkko on yli 100 vuotta vanha rakennelma
 - Tarkkaan kansainvälisesti standardoitu (ITU)
- Lähtee eri premisseistä kuin Internet
 - Laskutus
 - Jatkuva yhteys
- PSTN = Public Switched Telephone Network

Toimintaperiaate

- Puhelinverkko on *piirikytkentäinen*
 - Puhelun päiden välille muodostetaan jatkuvasti auki pidettävä yhteys
 - Aikaisemmin piiri oli fyysinen
 - Kaksi simplex-yhteyttä mikrofoniasta kaiuttimeen
 - Nykyään looginen piiri
- Puhe pakataan 64kbps bittivirraksi
- Verkko ylläpitää piiriä koko puhelun ajan

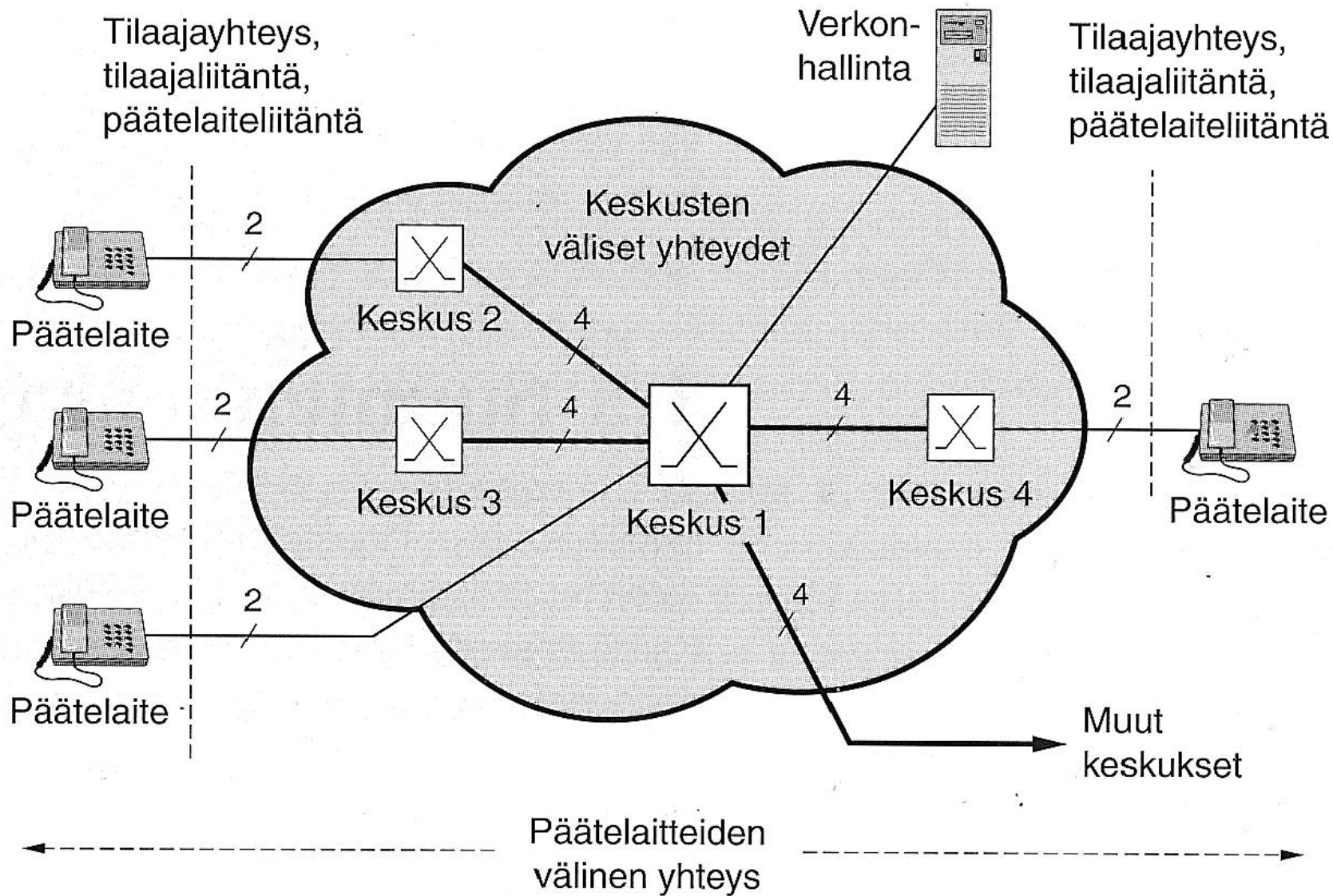


Sentraalisentra kytkee piirin

**MIKÄ ON MAAILMAN SUURIN
LAITE?**

Piiri vs. pakettikytkentäisyys

- Puhelinverkko on päätelaitteille piirikytkentäinen verkko
 - Yhteys mikrofonista kaiuttimeen ja toisin päin
- Internet on pakettikytkentäinen verkko
 - TCP luo yhteyden illuusion IP-pakettien reitityksen päälle
- Onko looginen piiri enemmän yksi koje kuin keskenään paketteja välittävät laitteet?



Verkon rakenne

- Pisteiden välille rakennetaan linkkejä kaapelilla tai kuidulla
- Kuljetuskerros tarjoaa kiinteän kapasiteetin virtuaalisia piirikytkentöjä pisteiden välillä
- Piirit luodaan kytkemällä linkkejä yhteen
 - Huom. Ei reitittämällä!
- Piirin yli voidaan siirtää puhedataa tai muuta dataa (verkko on digitaalinen asiakkaan päätettä lukuunottamatta)
- Piirien kytkemistä ohjataan erillisellä viestiverkolla (SS7)

Päätelaite

- (Lanka)puhelinverkon päätelaite on analoginen puhelin, joka on hyvin yksinkertainen laite
 - Mikrofoni, kuuloke, valitsin, soittokello, luurin kytkin
- On yhteydessä puhelinkeskukseen tai keskittimeen yhdellä parikaapelilla
 - Parikaapelin kaksisuuntainen käyttö aiheuttaa kaikua, jonka poistamista varten keskuksen päässä on kaiunpoistopiiri
- Numerovalinta pulsseina tai kaksitaajuisena äänisignaalina

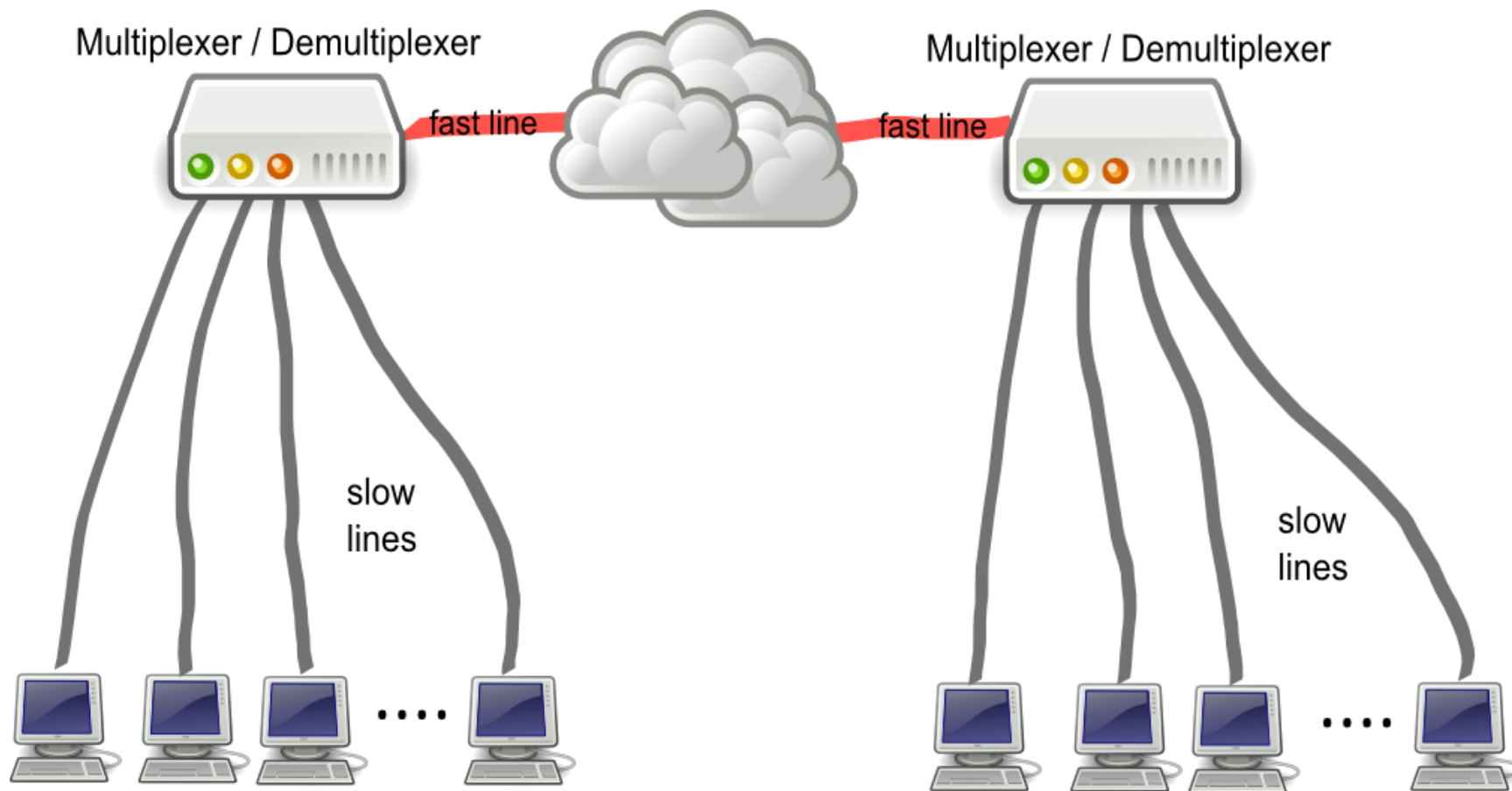
Analoginen tilaajaverkko

- Asiakkaalta tuleva/menevä signaali on analogista
- Asiakkaan ja puhelinkeskuksen välillä on usein keskitin (concentrator) tai sama toiminnallisuus on puhelinkeskuksessa
 - Keskittimessä on A/D ja D/A -muunnin kullekin tilaajajohdolle
 - Keskittimelle saakka tilaajalta tulee kuparipari
 - Kuparipareista muodostuu suuria satojen parien kaapelikimppuja, joiden käsittely on vaikeata, jotka ovat kalliita ja joissa tapahtuu *ylikuulumista* (crosstalk)
 - Keskittimessä voidaan *kanavoida* (multipleksata, multiplexing) useita asiakaspuheluja yhteen optiseen kuituun, kuparipariin tai koaksaalikaapeliin

Puheen PCM-koodaus

- Analoginen äänisignaali muunnetaan digitaaliseksi ottamalla siitä 8000 näytettä sekunnissa ja koodaamalla ne 8-bittiseksi dataksi PCM-koodauksella (Pulse Code Modulation)
 - Puhe suodatetaan ensin 4 kHz kaistalle
 - Yksi puhelu on siis siis 64 kb/s tietovirta kumpaankin suuntaan
 - Koodaus tehdään puhelinkeskuksessa tai keskittimessä
 - *Kvantisointi* ei ole lineaarinen vaan pyrkii seuraamaan puhesignaalin tyypillisiä ominaisuuksia
- Tästä eteenpäin puhelinverkko on nykyään digitaalinen

Kanavointi



Kuva: Wikipedian
käyttäjä Ggia

Kanavointi

- Kanavointia (multiplexing) käytetään mm. puhelintekniikassa usean tietovirran siirtämiseksi yhtä fyysistä siirtokanavaa pitkin
- Yleisimmät tekniikat ovat:
 - Aikajakokanavointi TDM (Time Division Multiplexing)
 - Signaalit lähetetään peräkkäin (vähän kuin paketit yksi kerrallaan)
 - Taajuusjakokanavointi FDM (Frequency Division Multiplexing)
 - Kantoaaltoa moduloidaan usealla eri taajuudella
 - Aallonpituuskanavointi WDM (Wavelength Division Multiplexing)
 - FDM valosignaalille
 - Koodikanavointi CDM (Code Division Multiplexing)
 - Lähetetään eri aikaan eri taajuuksilla, vastaanottaja tietää hyppyjen koodin

Yhdistäminen ja SS7

- Miten yhdistetään puhelinkeskuksia
 - Puhe kulkee multipleksattuna isoissa linjoissa
 - Lisäksi tarvitaan tieto siitä, minne tuleva yhteys yhdistetään
- Ensi alkuun kaukopuhelut olivat käsivälitteisiä
- Sitten käytettiin in-band merkinantoa keskuksien välillä
 - Tieto puhelinnumerosta johon puhelu on yhdistettävä siirrettiin äänitaajuuskoodeina samaa linjaa pitkin kuin puhelu
 - Johti huomattaviin väärinkäytöksiin (phreaking)
- Nykyään puhelinverkon yhteydessä on eriytetty merkinanto (out-of-band signaling) ja puheensiirto
 - Käyttäjätaso ja ohjaustaso erillään

Signaling System 7

- **Signaling System 7 (SS7)** on reitityspohjainen pakettiverkko joka toimii puhelinverkossa
- Ei kuljeta puhetta (eli ei voi soittamalla päästä käsiksi)
- Erikoistunut puhelun yhdistämiseen tarkoitettujen viestien lähettämiseen
- SS7 määrittelee oman protokollapinonsa TCP/IP:n tapaan
 - Huomattavasti monimutkaisempi
- Puhelun tila voi olla joko valmisteltu, soi, puhuu, yhteys katkaistu

MATKAPUHELINVERKOT

Historia



ARP
NMT

GSM (2G)
1993

GPRS
(2.5G)
2001

3G
1999

LTE
2009

Analoginen

Digitaalinen

Suurempi tiedonsiirtonopeus

Paikallisista globaaleihin standardeihin

Pienempiä, kevyempiä, fiksumpia, ... päätelaitteita

Jo muinaiset suomalaiset

- Ensimmäisen sukupolven analogisten matkapuhelimien menestys osoitti tarpeen mobiilille viestinnälle
 - ARP (AutoRadioPuhelin) Suomessa
 - NMT (Nordic Mobile Telephone) Pohjoismaissa
- Tältä pohjalta kehitettiin digitaalinen toinen sukupolvi (2G)
 - Erillinen kehitys Euroopassa ja USA:ssa 1980-luvulla
- Eurooppalaisen kehityksen tulos oli GSM
 - Global System for Mobile Communications
 - Otettiin käyttöön 1990-luvulla
 - Tärkeimmät palvelut:
 - Ääni, 3,1 kHz
 - Data, 9,6 kb/s
 - SMS-tekstiviestit

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 käyttämäänsä taajuutta

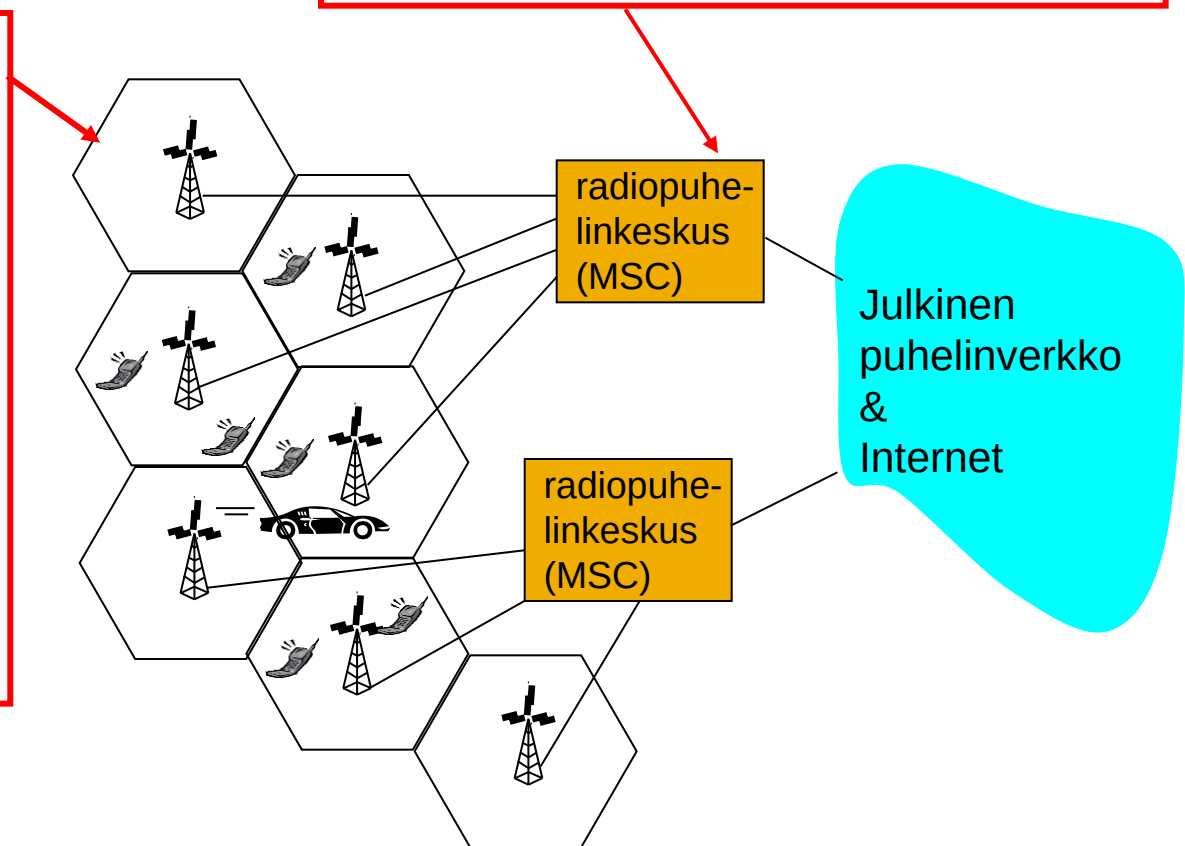
Soluverkon arkkitehtuuri

Solu

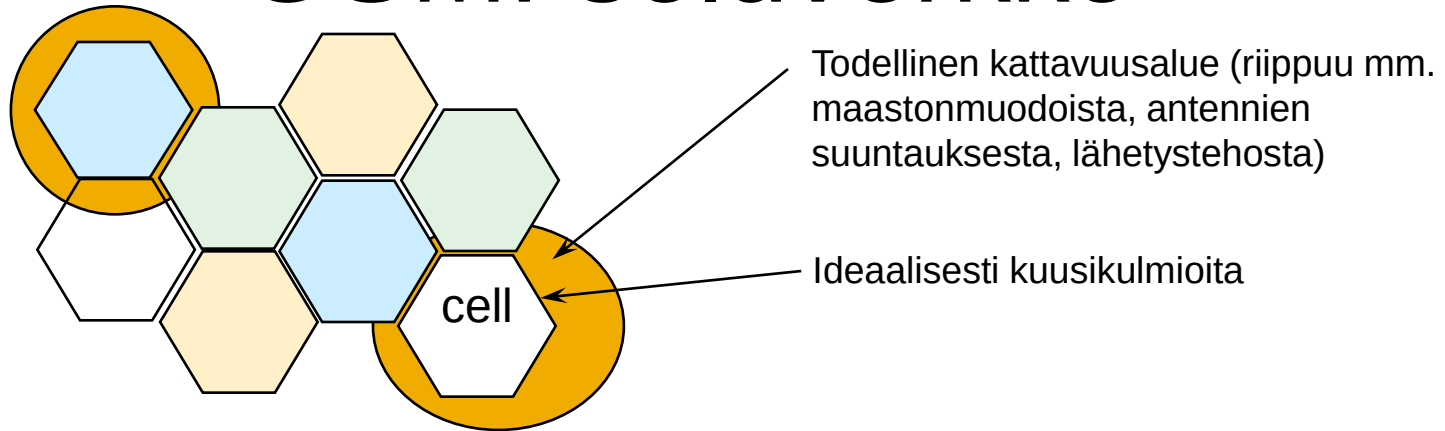
- kattaa maantieteellisen alueen
- *tukiasema* useita lähetin-vastaanottimia
- *mobiilikäyttäjä* radioyhteydessä tukiasemaan
- *ilmarajapinta*: fyysisen ja linkkikerroksen protokolla

MSC

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

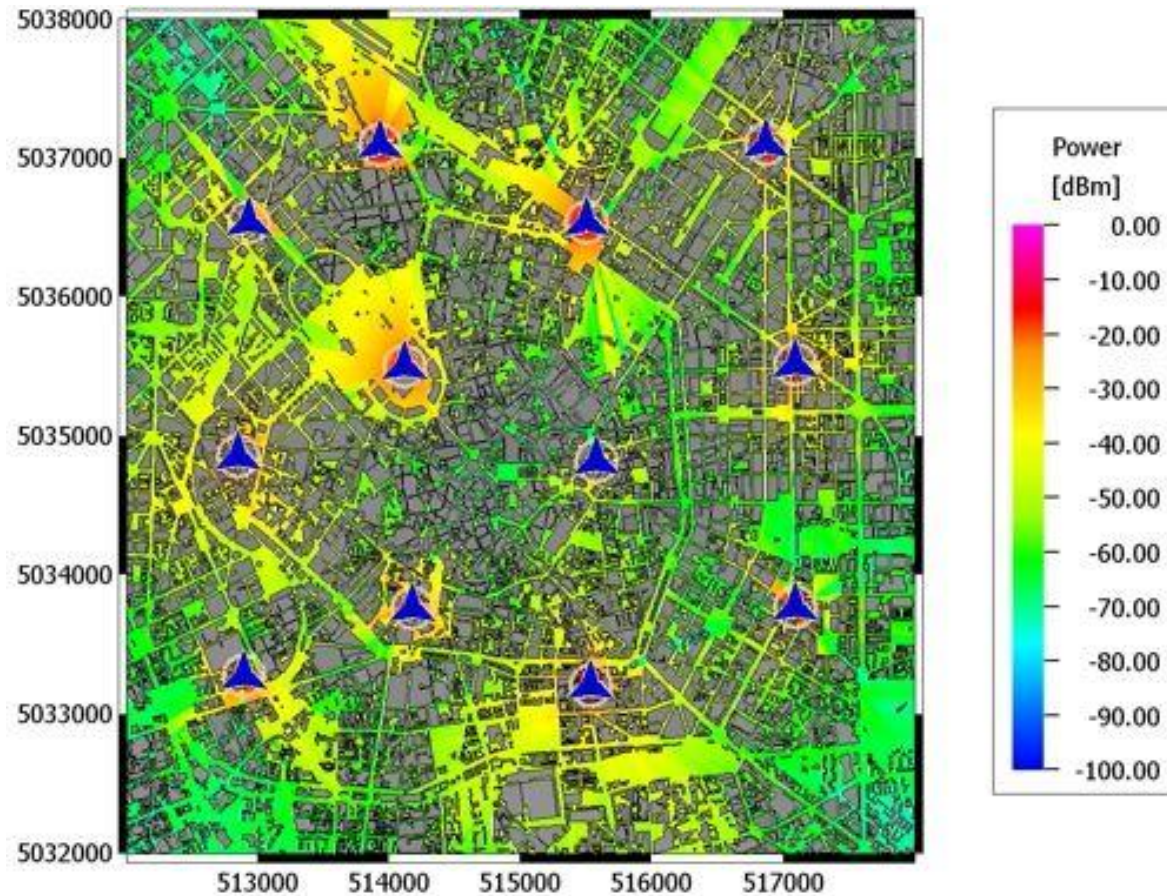


GSM: soluverkko

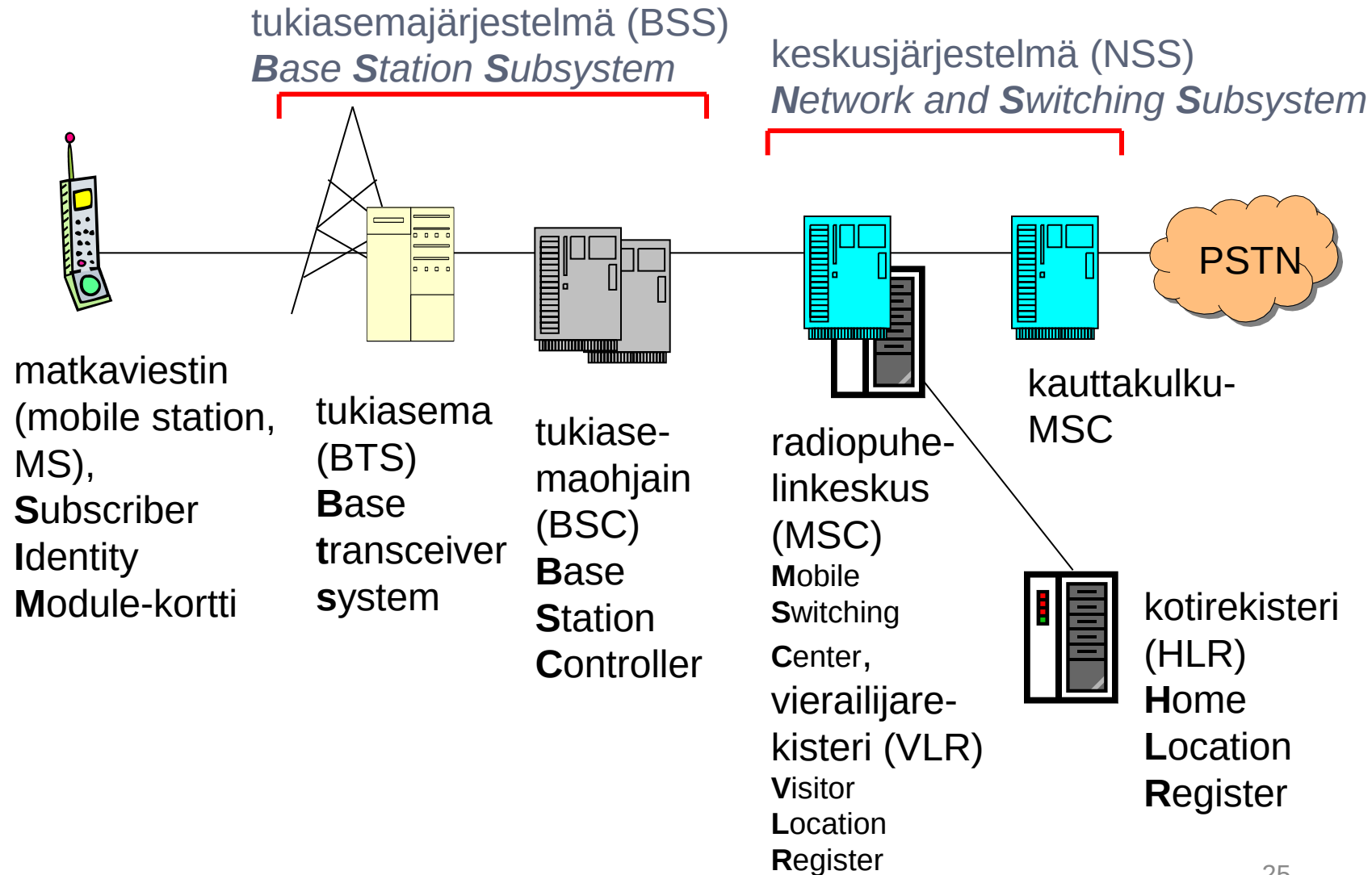


- Alue jaetaan soluihin. Kullakin solulla oma taajuus
- Perustekniikka on käyttää eri taajuuksia vierekkäisissä soluissa ja uudelleenkäyttää taajuuksia kauempana
- Solukoot vaihtelevat: 50 m - 35 km
 - Pikosoluja rakennuksien sisällä, mikrosoluja esim. yhtä katua varten, makrosoluja harvaan asutuilla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

Esimerkki tukiasemien peittoalueista



GSM



Matkaviestin (MS)

- Mobile Station (MS)
- MS koostuu kahdesta osasta
- Matkaviestinlaite, Mobile Equipment (ME)
 - Radiolähtin-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

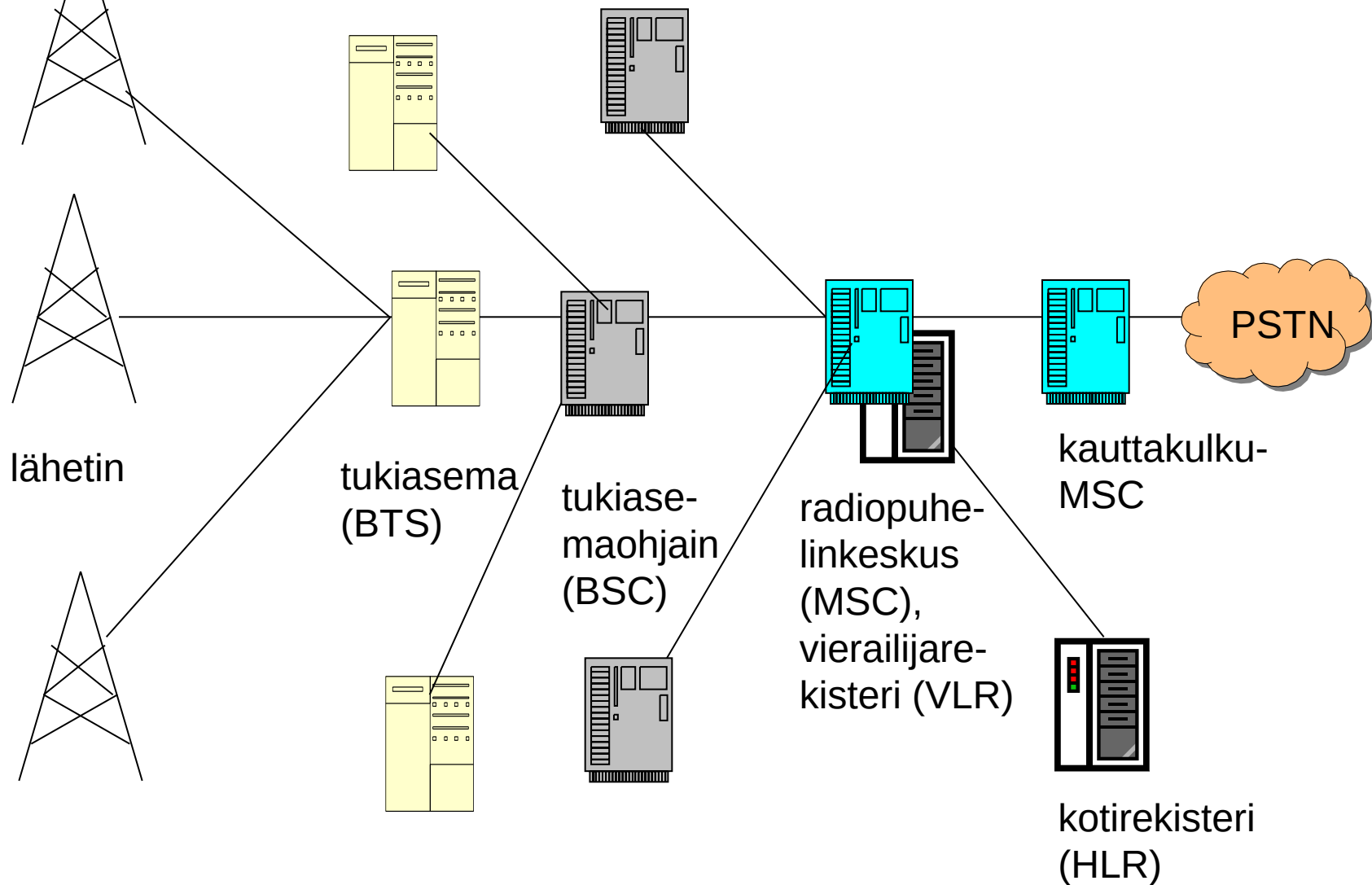
Tukiasemajärjestelmä (BSS)

- 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 (NSS)

- 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

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

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

Tukiasemanvaihto (handover)

- Puhelun ollessa käynnissä sijainnin päivittäminen on vaativampaa
- Yhden tukiasemaohjaimen (BSC) alueella BSC hallitsee radorajapinnan 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 (vaatii monimutkaisemman radion viestimessä)
- MSC hoitaa vaihdon BSC:n alueelta toiselle

Roaming

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

Liikkuvuuden hallinta

- *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

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

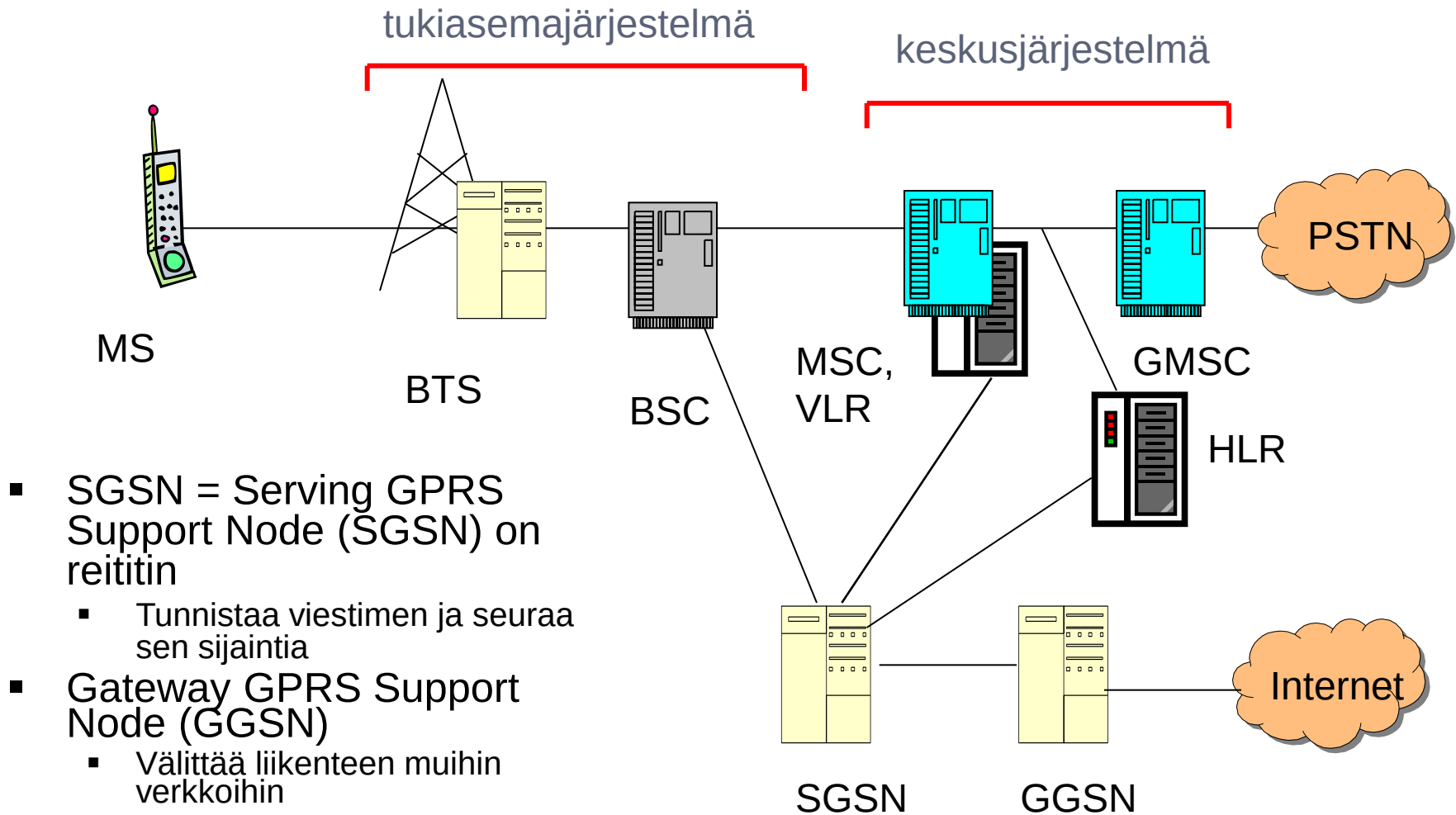
GSM-data

- Ensimmäisessä vaiheessa GSM-verkkoon määriteltiin myös digitaalinen piirikytkentäinen tiedonsiirto
 - Käyttää yhden aikavälin kuten puhelu
 - 9,6 tai 14,4 kb/s
 - Aikaperusteinen laskutus
 - Yleensä päätyy modeemin kautta puhelinverkkoon
- High Speed Circuit Switched Data (HSCSD) hyödyntää useampia aikavälejä
 - 57,6 kb/s saakka
- Pakettidata on ohittanut GSM-datan

GPRS

- GPRS on GSM:n laajennus
 - "2,5 G"
- Vapaita aikavälejä käytetään pakettidatan välittämiseen
 - Siirtokapasiteetti riippuu puhelinliikenteestä
 - Teoreettinen maksimikapasiteetti on 171,2 kb/s
 - Käytännössä 10-40 kb/s
- Enhanced Data rates for Global Evolution (EDGE) nostaa siirtokapasiteettia
 - "2,9 G"
 - Jopa 348 kb/s
 - Vaatii EDGE:ä tukevan laitteiston BTS:ään ja viestimeen, sekä ohjelmistopäivityksen BSC:hen
 - Yhteen aikaväliin koodataan enemmän dataa kuin tavallisessa GPRS:ssä

GPRS



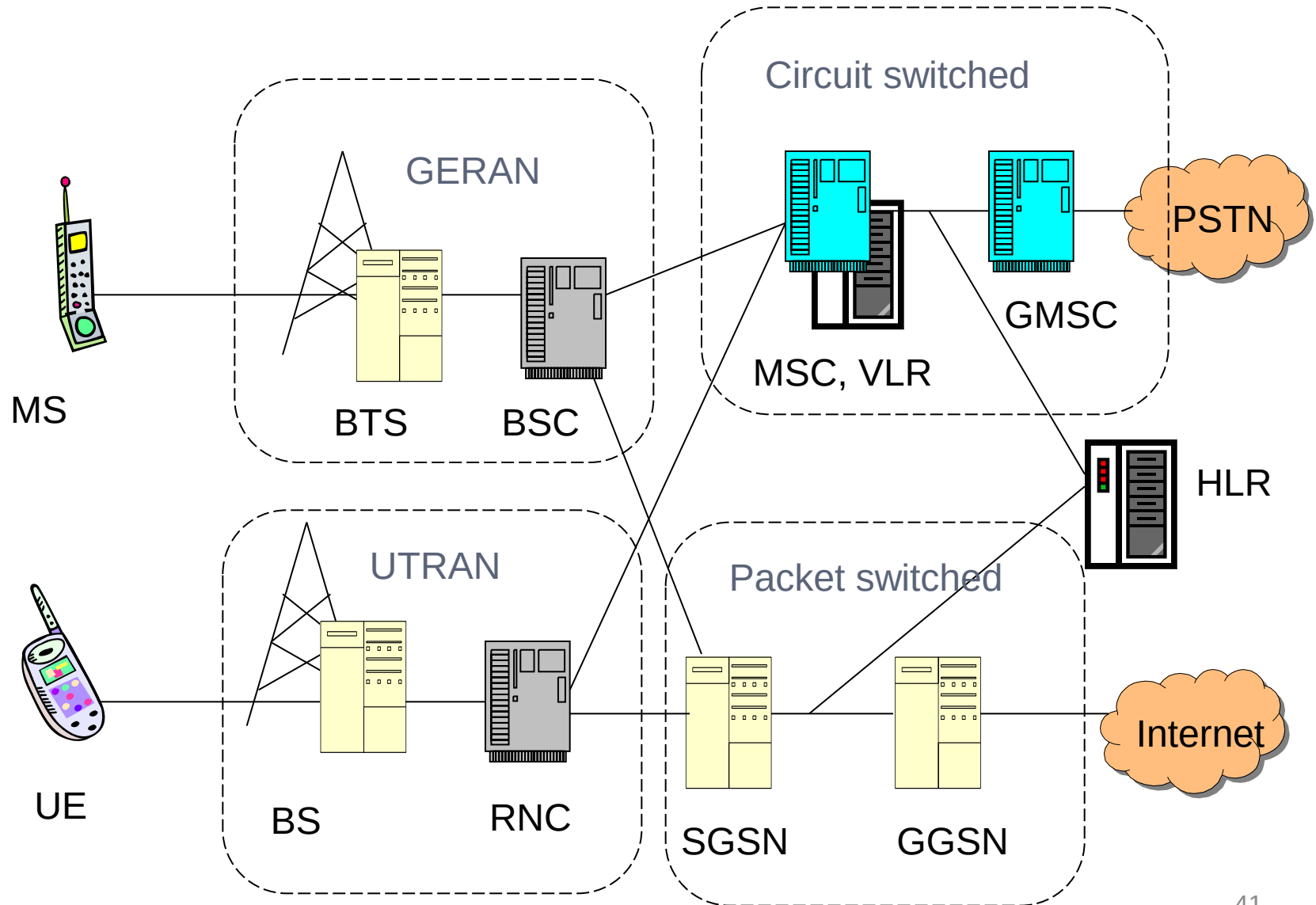
EDGE

- Enhanced Data rate for Global Evolution
- ≤ 384 kbps
- Lohdutusprotokolla operaattoreille jotka eivät saaneet UMTS-kaistaa ostettua
- Eri modulaatiotekniikalla GPRS:n tilalla saadaan kulkemaan enemmän dataa
- Vaatii rautatason tuen päätelaitteesta, BTS:stä ja ohjelmistotuen BSC:stä

UMTS

- Universal Mobile Telecommunications System
 - 3G
- Ominaisuuksia
 - Parempaa tiedonsiirtoa kuin GPRS/EDGE
 - 2Mbps teoreettinen maksiminopeus
 - Optimistinen oletus, 144kbps todellisempi
 - VoIP mahdollista normaalin puhelun sijaan
 - Videon streamaaminen mahdollista
 - Tehokkaampaa taajuuskaistan käyttöä

UMTS



Universal Terrestrial RAN (UTRAN)

- UMTS toteutetaan toisen radioverkon (**R**adio **A**ccess **N**etwork, RAN) avulla
 - Eri taajuuskaista
- Vanhaa GRAN (**G**SM **R**AN) ja GERAN (**G**SM **R**AN with **E**EDGE) –verkkoa voidaan käyttää rinnalla
 - Tullaan käyttämään pitkään, koska taajuusalue mahdollistaa paremman kattavuuden

LTE

- Vain pakettidataa (Voice ->VoIP)
- Ensimmäiset kokeiluverkot käytössä
- LTE = 3GPP Long Term Evolution

Yhteenvetoa

- Kaikkea puhelinliikennettä dominoi laskutus
- Kännykkäverkossa asiakkaan siirtyminen tekee elämästä monimutkaisempaa
- Ääni on ollut kauan ratkaistu ongelma
 - Uudet kännykkäverkot tarjoavat datan siirtoa
 - >Digitaalinen konvergenssi (yksi verkko, kaikki laitteet)

Ensi viikolla

- Tiedon tallentamisen perusteet
 - AD ja DA-muunnokset
 - XML
 - Kuvien tallennus

Huom: 8.4. ei luentoa näillä näkymin