



Mobiiliverkot

Kirja sivut 533-572



- 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

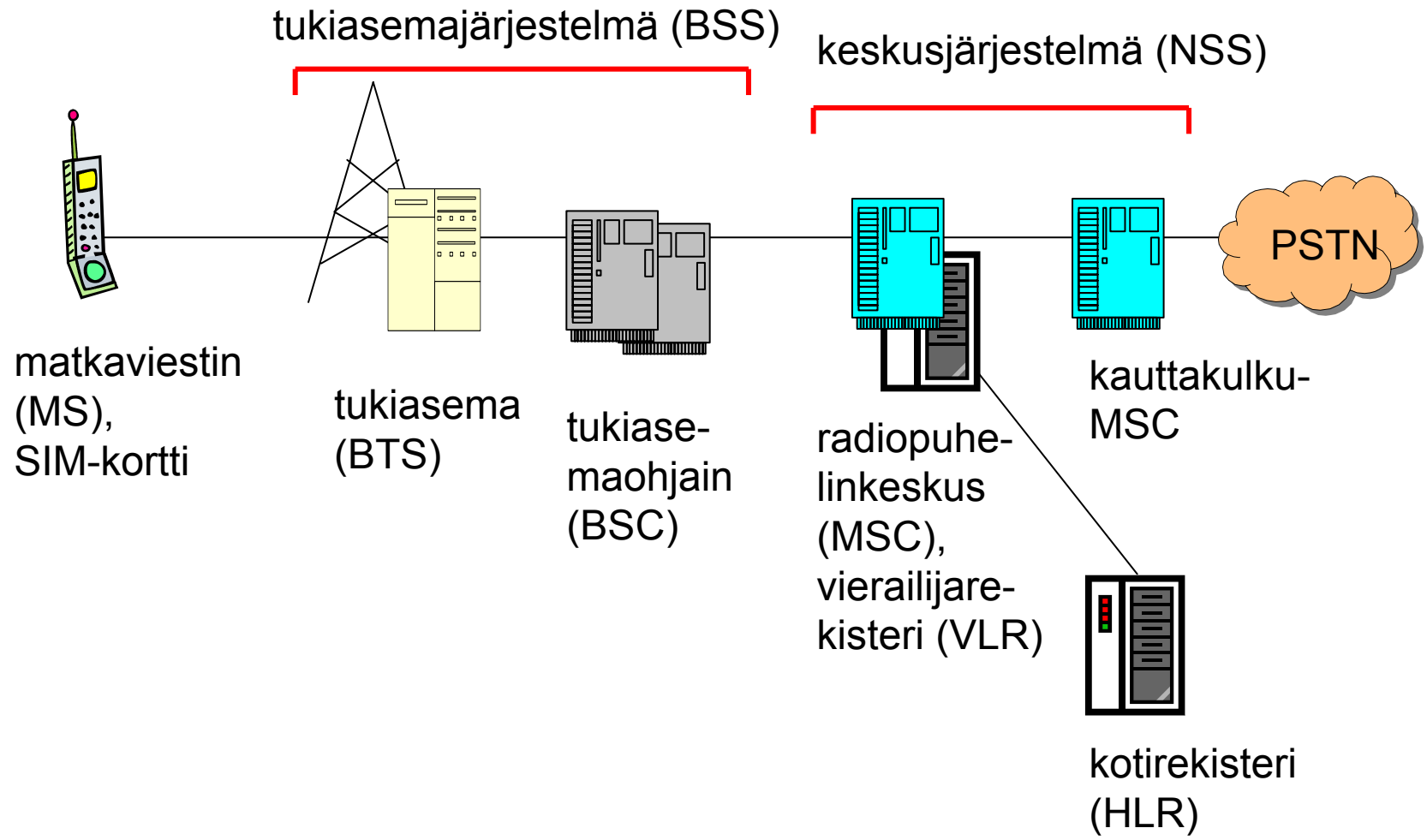


Mobiiliverkon periaate

- 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 käyttämänsä taajuutta



GSM:n arkkitehtuuri





Tukiasemajärjestelmä

- Base Station Subsystem (BSS)
- Tukiasemajärjestelmä sisältää mobiiliverkon radiorajapintaan 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)
 - Tilaajakohtaiset 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



- 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



- 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



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)

- Puhellun 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 viestin 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



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



Radiolinkin käytöstä

- Eri koodausmetodeita
- FDMA, Frequency Division Multiple Access
 - Yksi taajuus per käyttäjä
 - Esim. NMT
- TDMA, Time Division Multiple Access
 - Useita aikavälejä samalla taajuudella
 - Esim. GSM
- CDMA, Code Division Multiple Access
 - Yksi bitti koodataan useaksi symboliksi, jotka saman koodin omaava vastaanottaja pystyy erottamaan taustakohinasta
 - Useita samanaikaisia lähetyksiä
 - Esim. UMTS



GSM:n taajuuskaista

- Alunperin GSM suunniteltiin 900 MHz taajuudelle
 - Puhelimelta tukiasemalle 890 - 915 MHz
 - Tukiasemalta puhelimelle 935 - 960 MHz
 - 124 kanavaa, kaistanleveydeltään 200 kHz and 100 kHz varoaluetta alueen molemmissa laidoissa
 - Kullakin kanavalla voi olla 8 TDMA yhteyttä
- Yleensä yksittäinen operaattori ei saa koko aluetta käyttöönsä
- GSM-teknologiaa käytetään nykyään myös muilla taajuuksilla
 - 450, 800, 1800, 1900 MHz
- Aikajakoisuuden takia maksimikantama on 35 km
- Käsipuhelimien suurin lähetysteho on 2 W



Radioverkon suunnittelu

- Saatuaan luvan käyttää tiettyjä taajuuksia tietyllä alueella, operaattori pyrkii hyödyntämään resurssejaan mahdollisimman tehokkaasti
 - Kattava verkkopeitto kaikkialle
 - Riittävä kapasiteetti
 - Jos asiakas ei saa palvelua, operaattori ei saa tuottoa
- Perustekniikka on käyttää eri taajuuksia vierekkäisissä soluissa ja uudelleenkäyttää taajuudet kauempana
- Solut eivät ole pyöreitä (tai kuusikulmaisia) vaan käytännössä käytetään liki aina suuntaavia antennoja
 - Vahva pääkeila ja sivukeiloja
- Solua voidaan muotoilla myös säätämällä lähetystehoja
 - Pikosoluja rakennuksien sisällä
 - Mikrosoluja esim. yhtä katuraitaa varten
 - Makrosoluja harvaan asutuilla alueilla
- Koska radioverkon rakentaminen maksaa, kyseessä on optimointiongelma



Langattoman viestinnän haasteita

- Signaalin vaimeneminen ja katoaminen
 - Rakennukset, puut jne. estävät tai vaimentavat
- Signaalin heijastuminen
 - Etenkin monitiehäiriö, jossa signaali saapuu useaan kertaan erimittaisia reittejä pitkin, eli eri aikaisena
 - Interferenssi voi vaimentaa signaalia
- Asiakkaiden käyttäytyminen
 - Koska päätelaite on mobiili, verkko voi ylikuormittua helposti
 - Onnettomuudet
 - Flash crowd -ilmiö



GSM:n datapalvelut

- 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
- GSM data vaikuttaa evolutionääriseltä umpikujalta
 - Pakettidata on ohittanut sen



TEKNILLINEN KORKEAKOULU

GPRS ja UMTS

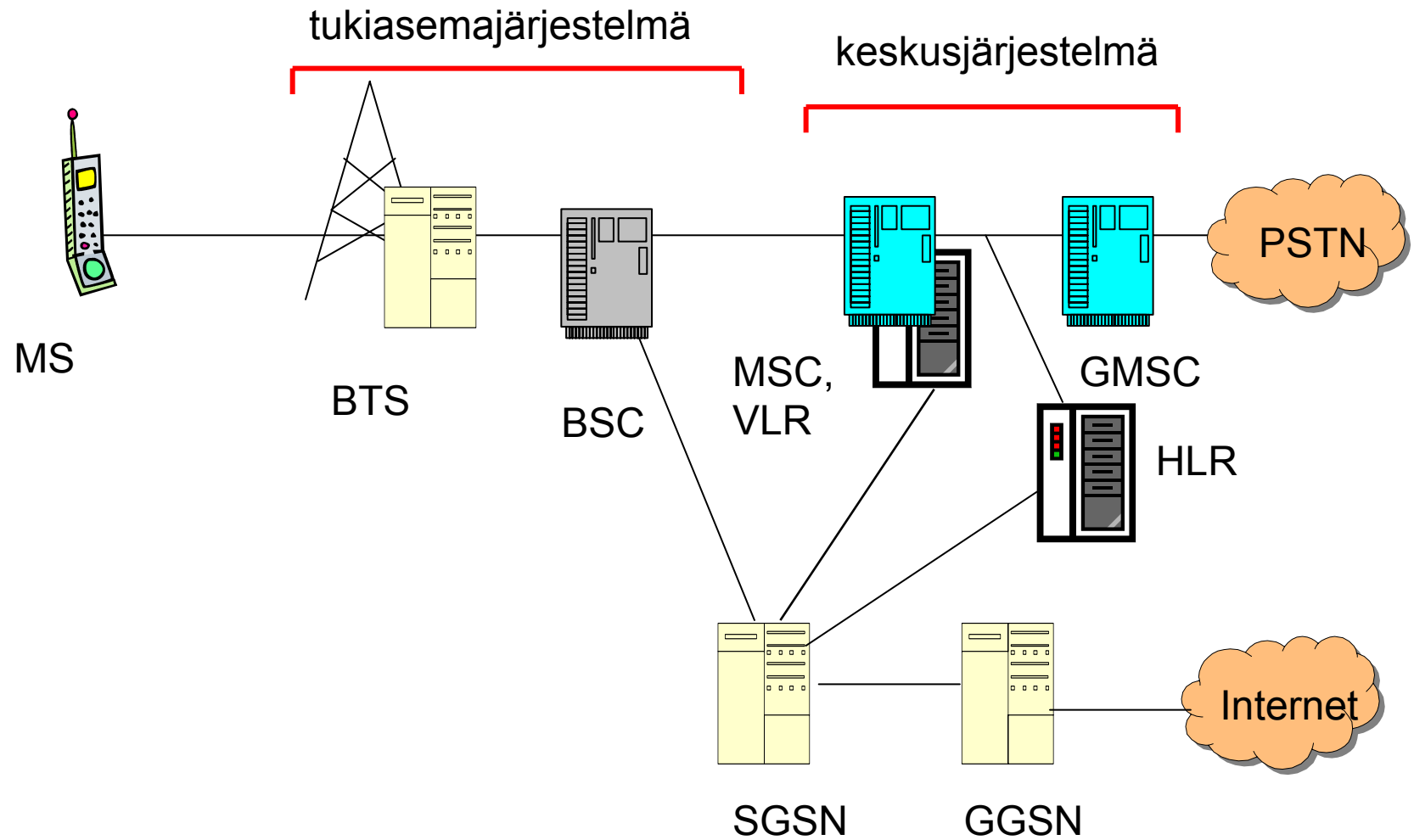


Global Packet Radio Service

- 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 hyödyntää samaa radioverkkoa kuin GSM
 - Radio Access Network (RAN)
 - BSS-järjestelmään lisätään tietoliikennepaketteja välittävä yksikkö
 - A Packet Control Unit is added to the BSS
- 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



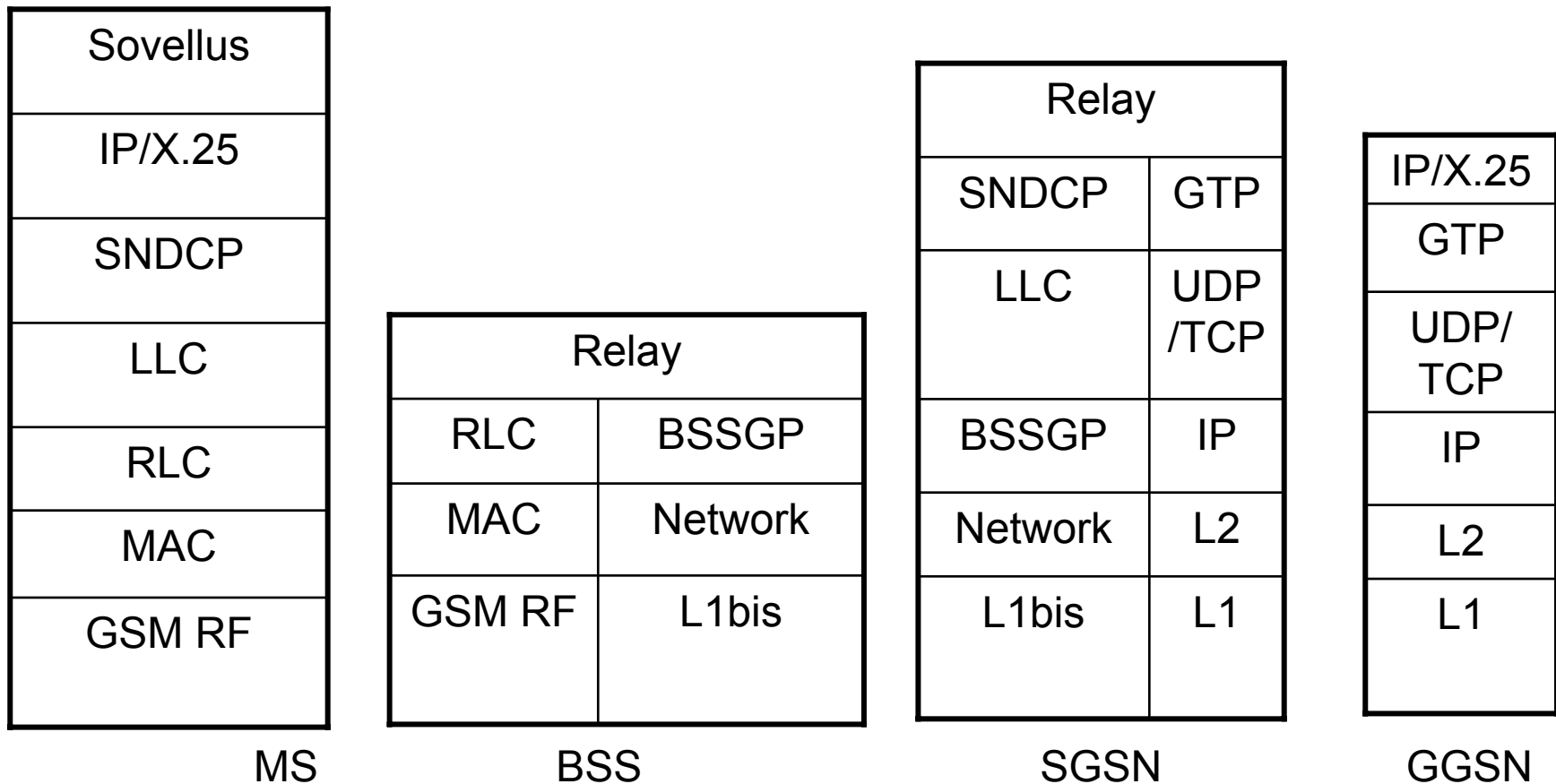


Tukiasemanvaihdot GPRS-järjestelmässä

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



GPRS Connection Protocol Stack



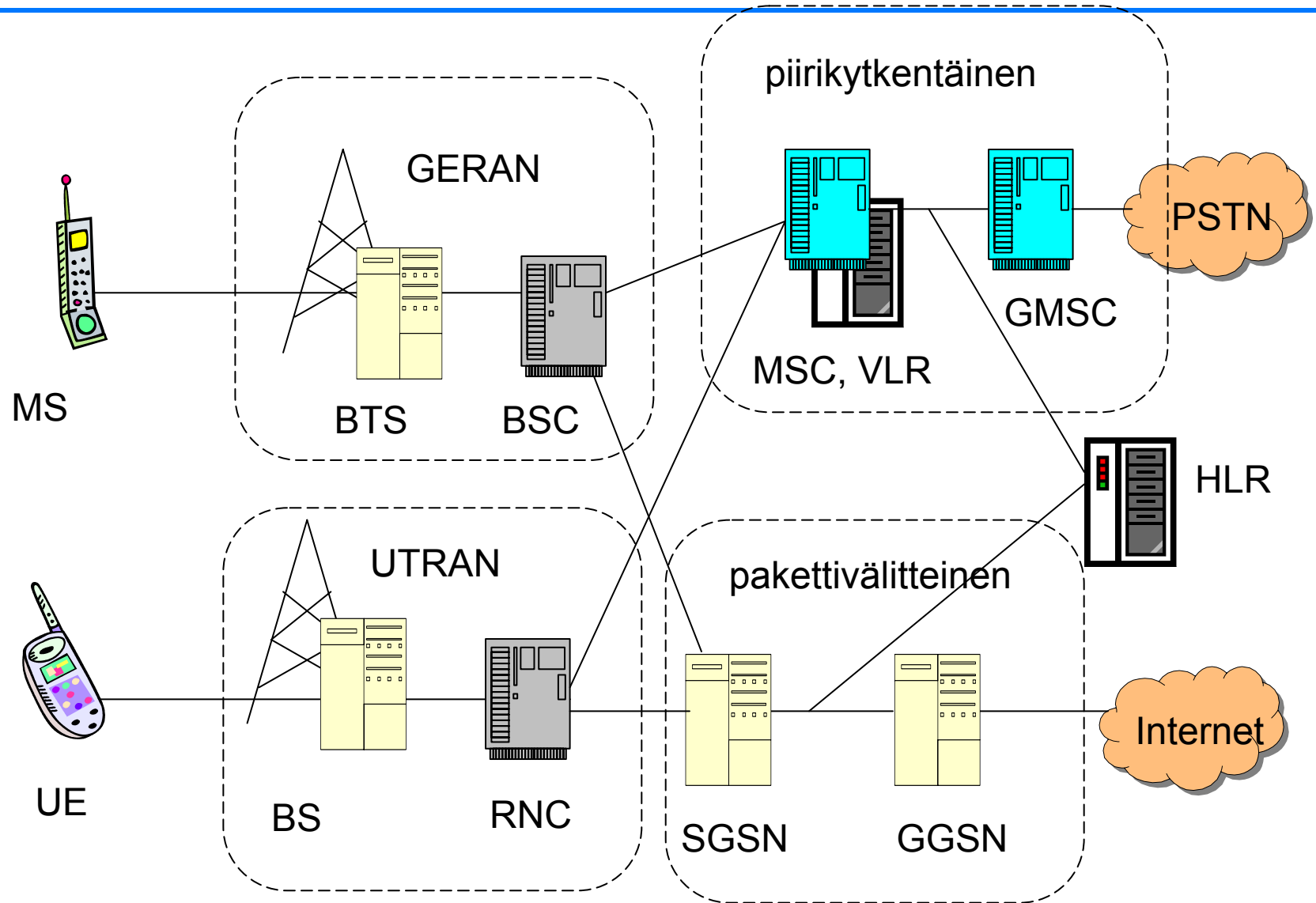


GPRS:n protokollat

- Nämä protokollat kuljettavat käyttäjän TCP/IP-liikenteen viestimeltä Internetiin
 - BSSGP, BSS GPRS Protocol
 - GTP, GPRS Tunneling Protocol
 - LLC, Logical Link Protocol
 - RLC, Radio Link Control
 - Sisältää uudelleenlähettävän virheenkorjauksen
 - MAC, Medium Access Control
 - GSM RF, GSM:n radiotaajuinen fyysinen kerros
 - SNDCP, Subnetwork Dependent Convergence, usein IP
 - UDP, TCP ja IP tavallisissa tehtävissään
 - X.25, IP:n kaltainen verkkokerroksen protokolla, ei välttämättä toteutettu



- 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 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



- 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



- 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



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