

Тема 10. Мобилни комуникации. Общи сведения за мобилните мрежи, основни компоненти. Клетъчни структури. HLR и VLR бази данни. Въздушен интерфейс. Обслужване на повиквания. GSM мрежи, архитектура, блокова схема. Хендоувър и роуминг. Следващи поколения мобилни мрежи – 2.5G, 3G, LTE и 4G.

Изграждането на мобилна мрежа изисква да се решат три проблема:

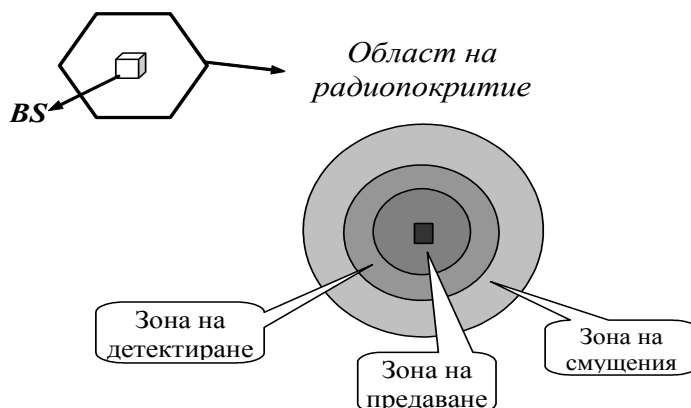
1. Ограничен ресурс на радиоканалите. Ресурсът на радиоканалите за реализиране на въздушния интерфейс е ограничен. Броят на абонатите на една мобилна мрежа може да е няколко десетки хиляди пъти повече от каналите, с които мрежата разполага. Решението на въпроса е чрез:

- а) **клетъчна структура** на предоставяне на канали за въздушен достъп;
- б) **разпределена комутация**, реализирана в много и различни възли (включително и в приемо-предавателния блок) за колективно използване на радиоканалите. Тук се предвижда и превключване на каналите (**хендовър**), ако мобилният абонат премине в друга клетка, когато е зает (говори).

2. Как да се следи местоположението на абоната. В мрежата всички абонати са подвижни и трябва във всеки момент да се знае местоположението на всеки абонат. Тази функция, която е непозната за фиксираната мрежа, изисква допълнителен софтуер в управлението на централите и специално създадени за целта бази данни, наречена най-често **регистър на домашните абонати (HLR – Home Location Register)** и **регистър на посетителите (VLR – Visitor Location Register)**.

3. Проверката за автентичността на абонатите. Понеже достъпът до мрежата се осъществява чрез въздушен интерфейс, е необходима проверка за автентичността на абонатите при всеки опит да използват ресурсите на мрежата. За целта са предвидени други бази данни (регистри), а самата процедура създава отново допълнителен товар върху управлението на централите и каналите за сигнализация.

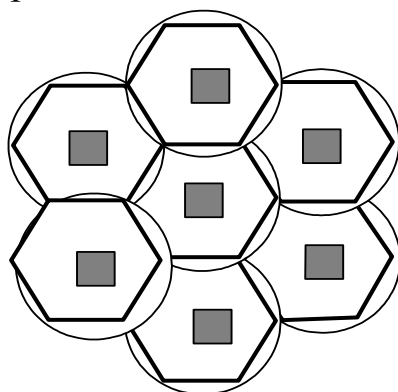
Базова станция (BS – Base Station) и зони на покритие



Достъпът е осигурен в зоната на предаване, образуваща „клетка”

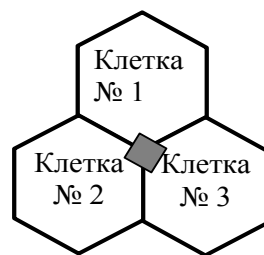
Базова станция за мобилни връзки **BS**:

- шестоъгълен модел на клетката
- многократно използване на честотите



■ Базова станция

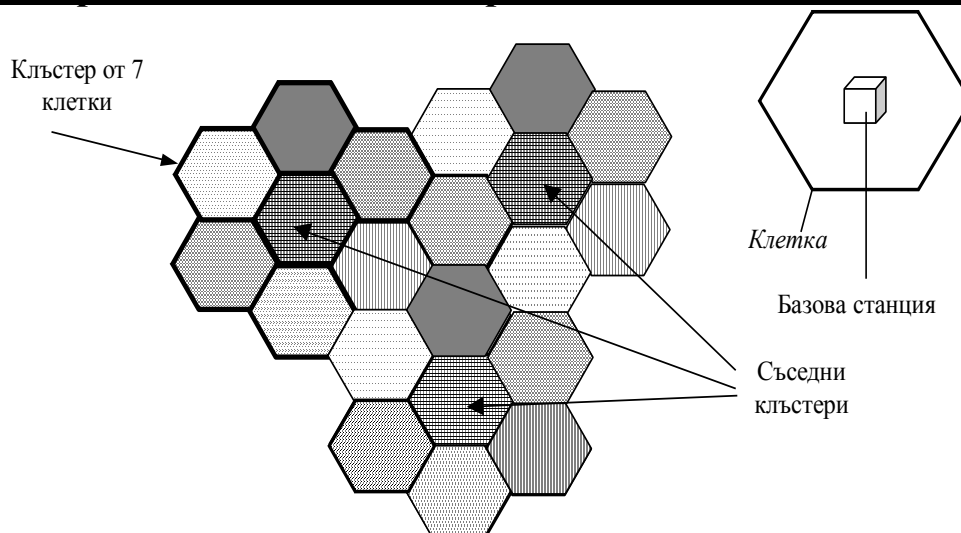
(а) ненасочени антени в центъра на клетките



б)

(б) насочени антени, покриващи 3 клетки

Клъстери от клетки и многократно използване на честотите



Клетъчната мрежа се изгражда от клетъчни клъстери. На различните клетки от даден клъстер са заделени различни групи носещи честоти. По-малките клетки осигуряват по-голям трафик, но имат и недостатъци:

1. Необходимост от много базови станции, комутатори, контролери, регистратори на местонахождението на мобилните станции и т.н.

2. При преминаване от една клетка в радиопокритието на друга клетка мобилната станция трябва да се превключва, без абонатът да се смущава. Това усложнява системата.

Структура на една клетка на радиопокритие

В мобилната мрежа няма фиксирани точки на абонатен достъп. Достъпът на мобилната станция (мобилния телефон **Mobile Station - MS**) до мрежата става по ефира чрез т.н. базова приемно-предавателна станция (**Base Transceiver Station - BTS**), за по-кратко наричана **базова станция (BS)**. Чрез BS абонатите, намиращи се в клетката, имат входяща точка за достъп към мрежата, т.е. разрешава им се да инициират и приемат

повиквания. Клетката представлява радиочастта на мобилната мрежа. BS осигурява радиопокрытие на клетката и поддържа едновременни разговори, които чрез нея водят много мобилни телефони, намиращи се в зоната на покритието ѝ. Основното ѝ предназначение е приемно-предавателната функция и връзката с фиксираната комутируема мрежа. Така клетката играе роля на мрежа за достъп до фиксираната мрежа. BS съдържа предаватели, но по-мощни от тези на мобилния телефон, и приемници, но по-чувствителни от него. Има няколко антени и кула, използвана за комуникации с мобилните телефони в клетката, в чийто център е самата тя. Базовите станции използват насочени или ненаочени антени.

Ненасочената антена излъчва еднакво силен сигнал във всички посоки и така покрива кръгла област, която изобразяваме като шестоъгълна, за да се изобрази удобно подреждането на съседни клетки.

Насочените антени излъчват в една посока и имат покритие, ширината на което зависи от параметрите на антената. Базовите станции, използващи насочени антени, осигуряват радио покритие в секторизирани клетки. Най-често се използват антени с насоченост от 120° , поставени на границата между три клетки, но понякога могат да се използват и единични антени, които да покриват само един сектор, например автомобилна или жп магистрала.

Размерите на клетката зависят от проектираната площ на покритие и от топологията и морфоструктурата на терена (населено място, гора, пресечена местност). Големината на клетката варира в широки граници - от 30 km до около 200 m. В по-новите генерации се говори за **макро-клетки** (клетки-чадъри), **микро-клетки**, **пико-клетки** и даже за **фемто-клетки**

Управление на достъпа до мобилната клетъчна мрежа

В мобилните мрежи съществува проблема за едновременното участие на много абонати (**multiple access**) в ограничения честотен диапазон, с който разполага оператора на мобилните връзки. В клетъчните системи се използват 4 метода за множествен достъп:

1. **Множествен достъп с пространствено разделение (Space Division Multiple Access - SDMA).** Мобилният телефон може да приема няколко сигнала от различни базови станции, които са около него, но качеството на връзката с всяка от тях ще е различно. Алгоритъмът на множествения достъп трябва да позволява избор на най-добрата връзка. Това значи телефонът непрекъснато да измерва нивото на сигналите и да отхвърли останалите. На SDMA всъщност се базира самата клетъчната концепция. Клетките образуват инфраструктура, чрез която се постига **уплътнение с пространствено разделение (SDM).**

2. **Множествен достъп с честотно разделяне на каналите (frequency division multiple access - FDMA).** При метода FDMA на всеки абонат по време на разговора се заделя честотен канал с ширина на лентата Δf и той

разполага с него през цялото време без ограничения. Щом свърши разговора, каналът се освобождава и може да бъде предоставен на друг потребител. По същество FDMA се свежда до принципите на работа на мултиплексните системи с честотно разделяне на каналите.

3. **Множествен достъп с времево разделяне на каналите (time division multiple access TDMA)**. Уплътнението е по принципа TDM. Разделението е по време. За да работи такава схема, е необходима синхронизация на предавателя и приемника. Когато на всеки канал се отдели свой постоянен временен промеждутък, се говори за фиксирана схема.

4. **Множествен достъп с кодово разделяне на каналите (code division multiple access CDMA)**. Методът CDMA е най-сложен, но в много отношения - най-съвършен. При него няколко (до 30-40) потребителя ползват едновременно сравнително широка честотна лента (от порядъка на 1 MHz) и се използват специални кодове за разделяне на физическите канали. Проблемът за повторното използване на честотите не съществува. Във всяка клетка може да се използват едни и същи честоти.

Методите TDMA и CDMA се свързват с цифровите мобилни комуникации. В реалните системи се използват комбинации от разгледаните методи. Най-типичната комбинация е SDMA/TDMA/FDMA. Използва се в клетъчните телефонни системи от второ поколение GSM, DECT, PACS, PHS и др., както и в спътниковите системи Iridium. В 3G се прилага CDMA и широколентовия му вариант WCDMA. В LTE и 4G се използва и FDMA с ортогонално разделяне на честотите - OFDMA.

Еволюция на стандартите за мобилни клетъчни комуникации

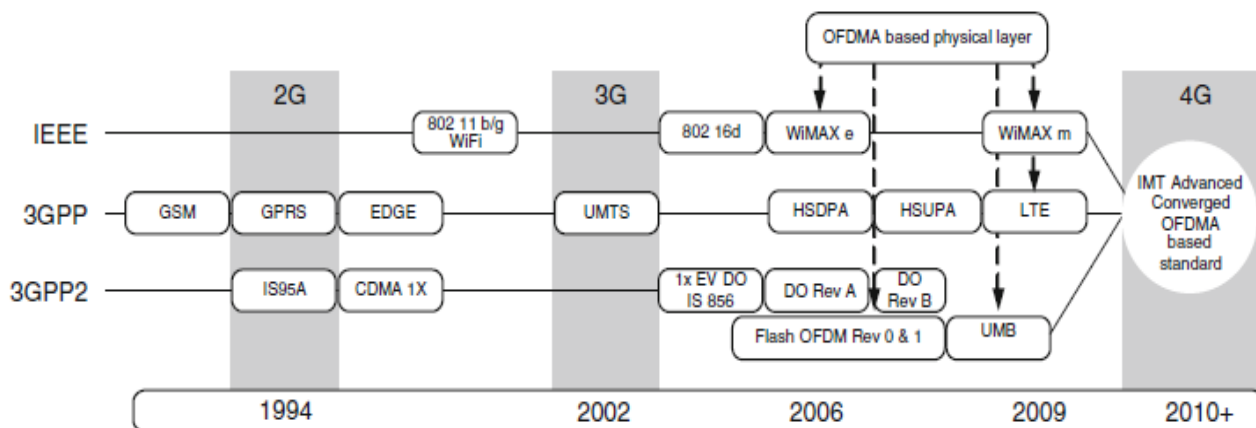
Съществуват три ясни паралелни линии на еволюция на мобилните комуникации:

1. **Европейска** – минала през NMT и GSM (2G) и доразвивана от **3GPP** (Third Generation Partnership Project – <http://www.3gpp.org>), на която дължим GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA, LTE и LTE Advanced.

2. **Американска** – започнала от аналоговата AMPS (1G), минала през CdmaOne (1993 – 2G), доразвивана от **3GPP2** (Third Generation Partnership Project 2 – <http://www.3gpp2.org>) - cdma2000 EV-DO(3G) и HRPD до UMB.

3. **WiMAX (IEEE 802-16e)**-базирана и отиваща към IEEE 802-16m.

На долната фигура се вижда, че трите линии се схождат в бъдеще към общи стандарти в 4G под шапката на ITU, наричани **IMT Advanced** (International Mobile Telecommunications), които се базират на OFDMA.



Еволюция на трите основни групи мобилни стандарти

В 4G системите се очаква да се достигнат скорости до 1 Gbit/s при бавно движещи се абонати и поне 100 Mbit/s при бързо движещи се, като се използват **MIMO (Multiple Input Multiple Output)** радио-системи с 4x4 с повече входи и изходи.

GSM мрежи

За GSM системите са предоставени три честотни ленти: 900, 1800 и 1900 MHz. Системите GSM 1800/1900 са предназначени за голяма плътност на мобилния трафик. В тези системи, освен известните клетки, се използват и т.н. **клетки-чадъри**. Оригиналният GSM, публикуван през 1991 г., е проектиран да използва радиолента от 900 MHz. Системата е стандартизирана в два варианта:

1. 900 MHz с две ленти отделени на 45 MHz, с по 124 съседни носещи честоти
2. 1800 MHz (1900 MHz) прав и обратен канал, отделени на 75 MHz (90 MHz).

Основните системни параметри на GSM 900

1. Честотна лента на базовия предавател 935.2 - 960 MHz (**Downlink**);
2. Честотна лента на мобилния предавател 890.2 - 915 MHz (**Uplink**);
3. Дуплексен режим с две честоти, по една за всяка посока на предаване във всеки канал;
4. Интервал между носещите честоти: 200 kHz;
5. Мултиплексиране с времеделене по осем канала на носеща честота;
6. Брой на носещите честоти във всеки диапазон (т.1 и т.2): 124;
7. Всеки канален времеинтервал е с продължителност 577μs – по една честота могат да се провеждат до 8 повиквания.

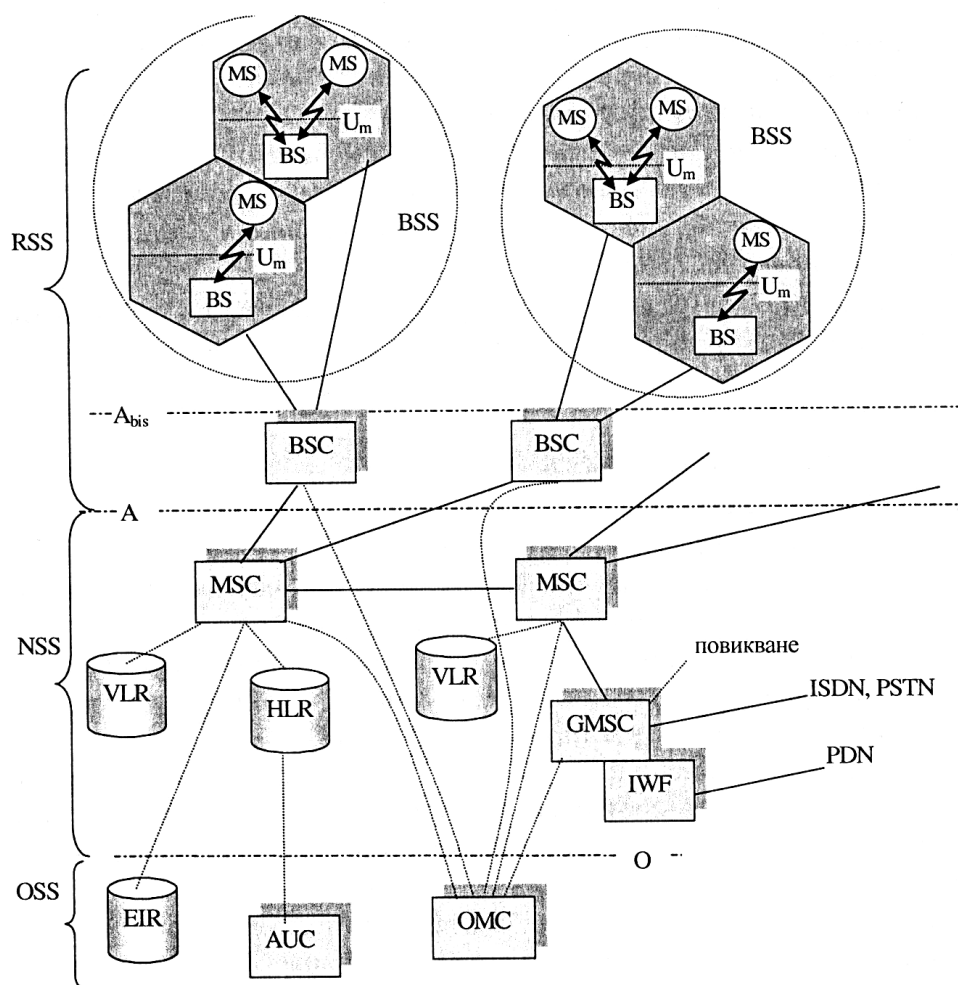
Архитектура на система GSM. Блокова схема

Система GSM има сложна йерархична структура. Тя включва много обекти, интерфейси и абривиатури. По-долу са показани архитектурата и опростена илюстративна схема. GSM се състои от три подсистеми:

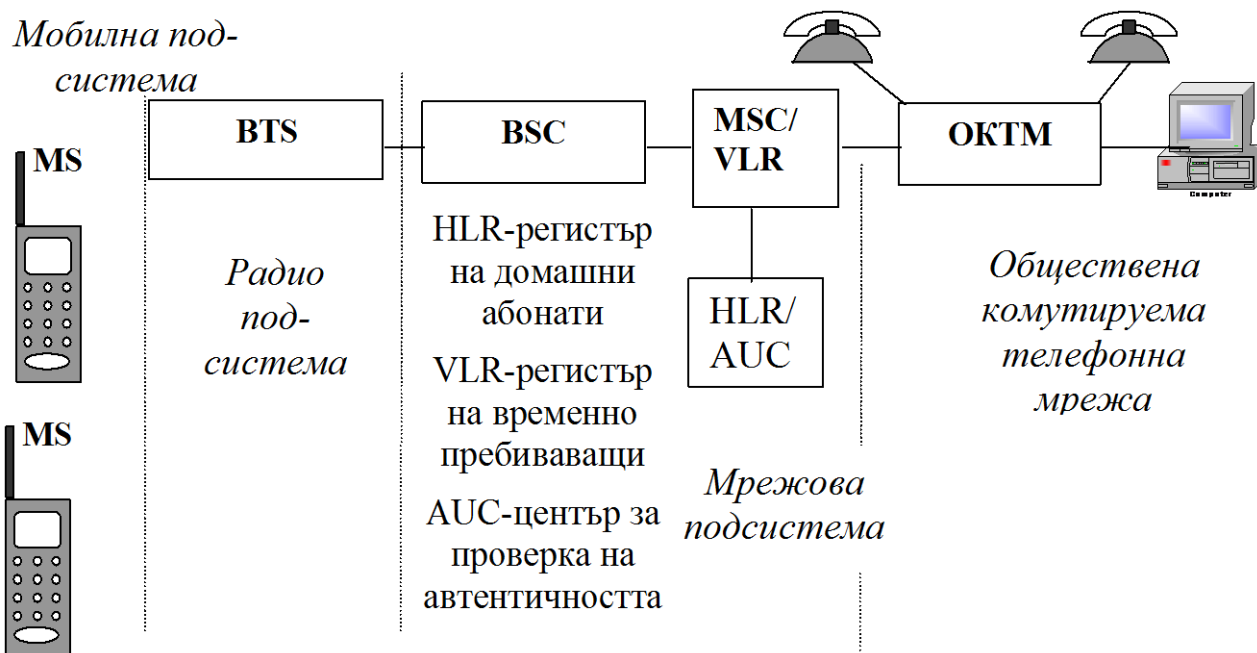
радиовръзка (RadioSubSystem - RSS), мрежи и комуникации (Network & Switching System - NSS) и операционна подсистема (Operation Subsystem - OSS).

Подсистемата на радиовръзките включва базовите станции BS и мобилните станции (апарати) MS. Връзката между подсистемите RSS и NSS се осъществява чрез интерфейс А (плътните линии), а с OSS - чрез интерфейс О (пунктирните линии).

Интерфейс А функционира на базата на импулсно-кодовата модулация с комутация на каналите (2,048 Mbit/s) като поддържа до 30 канала със скорост 64 Kbit/s.



Архитектура на система GSM



Опростена илюстрация на GSM клетъчна система

Интерфейс О използва Сигнализация No 7 (SS7). Тя се основава на предаване на управляваща информация през мрежа X.25 към подсистемата RSS и обратно.

Подсистема за радиовръзки RSS

RSS се състои от мобилни станции, базови станции и контролери BSC.

1. **Мобилната станция (мобилен апарат) MS** е мобилен терминал. MS съдържа цялото потребителско оборудване и софтуер, необходими за свързването на MS с мрежата на GSM. Към тях се отнасят:

- Независимото от абоната апаратно и програмно осигуряване: предавател с мощност 2W (за GSM 900) или 1W (за GSM 1800), схемата за опознаване на оборудването EI, чрез която се защитава от кражби, телефонен и други видове интерфейси (компютърни радиомодеми, за технологиите IrDA или Bluetooth), и др.;
- Модул за идентификация на абоната (**Subscriber Identity Module - SIM**) – SIM-карта, в която се съдържат всички индивидуални данни за потребителя (абонатен профил, такси и пр.), идентификатори (регистрационен номер, тип на картата, списък на абонатните услуги, личен идентификационен номер - PIN, ключ за снемане на блокировката - PUC, ключ за автентикация Ki и международната идентификация на мобилното оборудване IMEI (**International Mobile Equipment Identity**)).

SIM е персонална абонатна карта, която всеки получава, когато се регистрира като абонат на мобилния оператор и заплати абонатната такса. Съдържа памет и микропроцесор. Оформена е като малка печатна платка, адаптирана към всички телефонни апарати от съответния стандарт. Един абонат може да си купи нова MS или да ползва MS на друг абонат, но ще бъде таксуван за своя сметка. Това се постига благодарение на SIM-

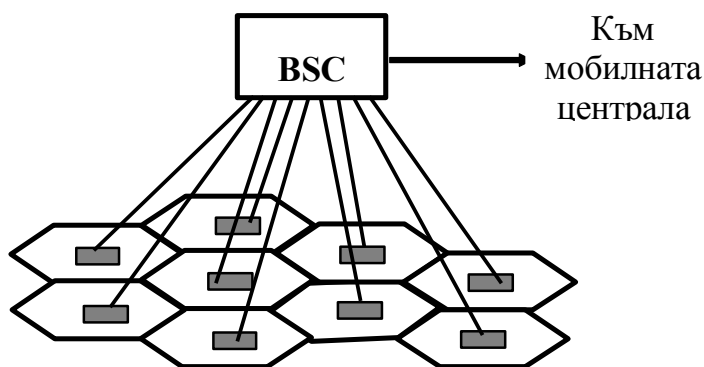
картата. При връзка с MSC за ползване на услуга, от SIM-картата се предава информация, по която HLR разпознава абоната.

При включването си в системата, мобилната станция запазва динамичната информация - данните за местонахождението и ключа на шифъра Kc.

2. Базовата станция BS отговаря за поддръжката на радиовръзките с MS, кодирането и декодирането на канала за защита от грешки, криптиране с цел засекретяване на разговора, измерване на нивото на сигналите и качеството на обслужване, регулиране на скоростта на предаване през безпроводната среда и др. BS съдържа оборудването, необходимо за радиокомуникациите - антени, усилватели, устройства за обработка на сигналите, и др. Връзката ѝ с MS се осъществява чрез интерфейс Um, а с контролерите - чрез Abis. BS осигурява входяща точка за множеството мобилни телефони, които присъстват в дадена клетка, разрешава им да правят и приемат повиквания.

Интерфейсът **Um** включва всички механизми, необходими за безжична връзка (TDMA, CDMA и др.).

3. Контролерът за базовите станции (BSC) в GSM-системата координира функциите на няколко базови станции. Той определя честотите, които могат да се използват от контролираните BS. Управява превключването на разговора, което се прави при пресичане на границата между две клетки. Информира базовата станция в клетката, която трябва да поеме разговора, и изпраща на мобилния телефон информация за това. Базовите станции могат да се свържат с контролера по различни топологии - звезда, пръстен, каскада и др. BSC е свързан с базовите станции BS чрез проводни линии. Това е комуникационен контролер, който комутира трафика от множество базови станции към мобилна телефонна централа (Mobile Switching Center – MSC). За трафика от BSC действа като контролер, а за обратния трафик от MSC – като маршрутизатор към назначената базова станция.



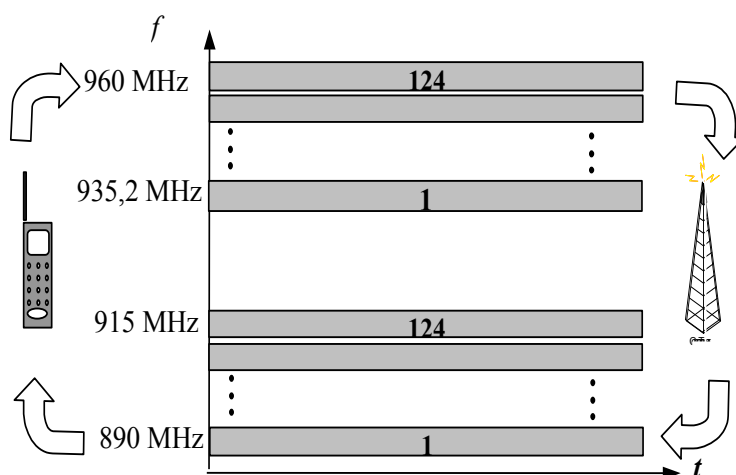
Контролер на базови станции

За мобилната телефония се отделят специални честотни обхвати, които се разделят на честотни канали с различна широчина на честотната лента, в зависимост от използваните модулации и методи за множествен достъп.

За да работят в **дуплексен режим**, т.е. за да могат мобилният телефон MS и базовата станция BS едновременно да предават и приемат, трябва да са отделени два честотни обхвата на значително отстояние един от друг, наречено **дуплексно отместване**. Посоката на предаване **от BS към MS** се нарича **права посока (downlink)**, а посоката **от MS към BS** – **обратна посока (uplink)**. За всеки дуплексен канал се използват двойка честотни канали от двата честотни обхвата, образуващи **дуплексен радиоканал от FDD тип**. При някои стандарти се използва разделяне по време и тогава дуплексния канал е **TDD (Time Division Duplexing)**

При GSM в обхват 900 MHz се устройват 124 честотни дуплексни канала. Всеки от тях има една възходяща (за uplink) и една низходяща носещи честоти, които са взаимно свързани.

Ако възходящата е $f_u = 890\text{MHz} + n0,2\text{MHz}$, то низходящата е свързана с нея чрез съотношението: $f_d = f_u + 45\text{ MHz}$, т.е. $f_d = 935\text{ MHz} + n0,2\text{MHz}$, т.е. дуплексното отместване е 45 MHz.



Използване на честотното уплътнение за множествен достъп и организация на дуплекса в GSM системи

Каналите на мобилната мрежа се подразделят на две групи:

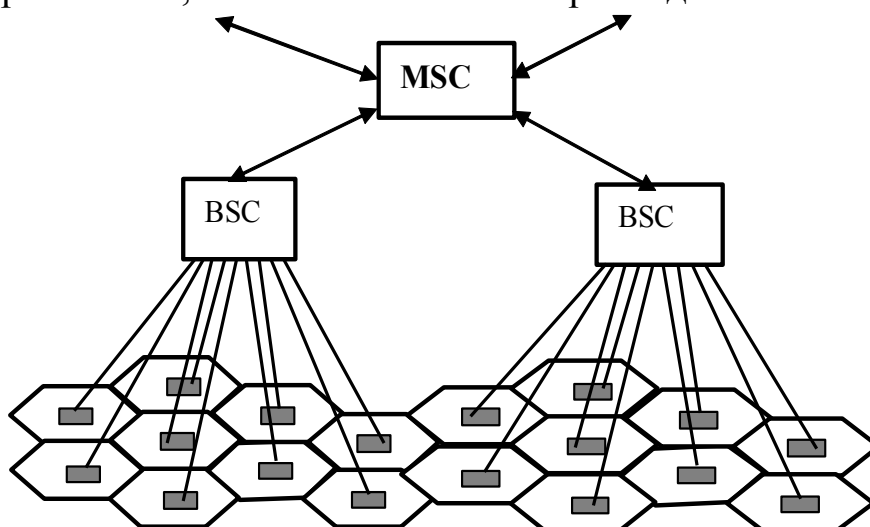
1. Канал за контрол (сигнални канали). Всяка клетка използва поне един канал като канал за контрол. По него базовата станция предава непрекъснато информация, необходима на мобилните телефони в клетката, за да се свържат с нея. Тези канали се използват и за търсене на абоната при повикване. Ако виканият абонат е в клетката, той също отговаря по контролен канал. Броят на сигналните канали зависи от метода за достъп и очакваната интензивност на повикванията. Системата от сигнални канали е аналогична на сигнализацията в телефонните мрежи.

2. Трафични канали, по които се водят разговорите. След изграждането на връзката между MS и BS за разговора се отделя друг канал - трафичен, по който тече полезната (потребителската) информация. Броят на трафичните канали може да варира в зависимост от очакванията за интензивност на трафика.

Подсистема на мрежите и комутацията NSS

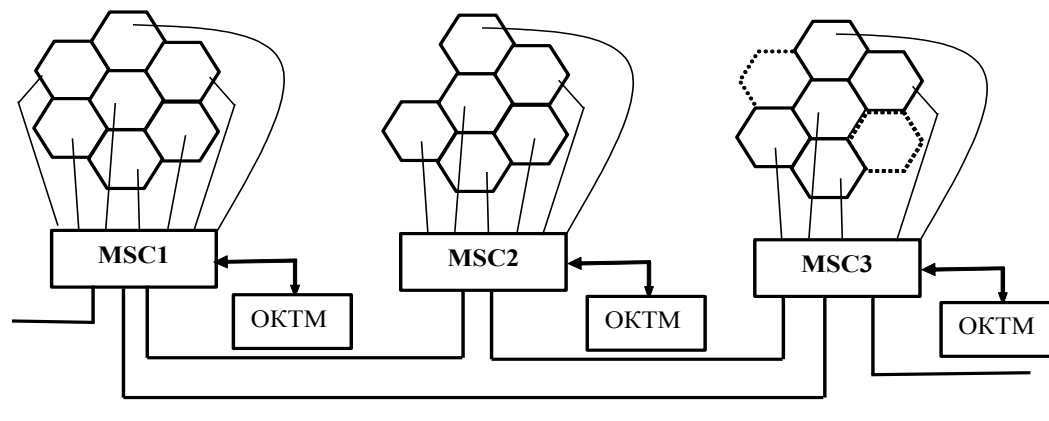
Мрежовата подсистема NSS е ядро на GSM-системата. Тя съединява RSS-подсистемата със стандартните мрежи за общо ползване и може да определи местонахождението на абоната във всяка точка от планетата. Тя осигурява таксуването на потребителя, заплащането на услугите и роуминга на потребителите между различни оператори в различни страни. Към нея се отнасят:

1. Мобилна телефонна централа (Mobile Switching Center) MSC, която обслужва стационарната магистрална мрежа на GSM. Това е високопроизводителна цифрова телефонна централа, която управлява изграждането, наблюдението и разпадането на връзките от своята област, обработва SMS-съобщенията, таксува услугите, комуникира с HLR и VLR, и др. Чрез А-интерфейса MSC установява връзки с контролерите BSC от принадлежащата ѝ географска област. Чрез О-интерфейс (Сигнализация No7) мобилната телефонна централа управлява комутациите с други MSC-централи, мрежи X-25, OKTM и ISDN и извършва допълнителни функции.



Мобилна централа MSC и връзките ѝ с базовите станции

За да може да обслужва един абонат, MSC трябва да има необходимите данни за неговия абонамент. Тези данни съдържат правата му за достъп до услугите на мрежата. Тук се съдържа и информацията за оказаните услуги - техния вид, часа и продължителността на разговора и вида на повикването (местно, международно, входящо, изходящо). На тази основа се формира и таксуването на абонатите. Очевидно, не е възможно всяка мобилна централа MSC да разполага с данните за всички абонати. Тези данни се съдържат в специални информационни възли – HLR и VLR. Връзката между елементите на мобилната мрежа както помежду им, така и с обществената комутируема телефонна мрежа, е показана по-долу (без BSC). MSC са свързани с ОТКМ чрез оптични кабели.



Клетъчна телефонна мрежа и връзките ѝ с ОКТМ

2. Регистърът за домашните абонати (Ноше Location Register) HLR съхранява статичната информация за всички потребители на мобилния оператор: абонатния номер, идентификационните номера, абонатния профил, информация за идентичността (ключът за автентикация Ki), сметката за платените услуги, информация за мобилната централа, която обслужва и др. Тъй като мобилното оборудване може да бъде загубено или откраднато, а информацията по канала – подслушана, се налага въвеждане на защита против кражба и нарушаване на анонимността, която включва:

1. проверка на автентичност, т.е. дали е ползвателят е този, за който се представя;
2. криптиране на разговора;
3. идентификация на оборудването и нейната защита.

Всяко изходящо повикване на абоната минава през проверка на автентичността му в HLR, както и на абонатния му профил. При запитване HLR трябва да е достъпен възможно най-бързо, защото колкото по-бързо се обработва информацията за абоната, толкова по-скоро се валидират неговите права, толкова по-незабавно се осъществява повикването. Голямото значение на този възел налага да се вземат специални мерки за предпазване от загуба на данните и за защита от неправомерен достъп.

3. Регистър за временно пребиваващите абонати (Visitor Location Register) VLR, който е свързан с всяка MSC-централа. Предназначението му е да съхранява временна информация за абонатите, предвижващи се през мрежата. За да маршрутизира повикването и да му предостави обслужване, мрежата трябва да знае всеки момент къде е съответния абонат. Когато абонатът се придвижва от една на друго място, данните се предават от VLR на старото място към VLR на новото местонахождение. Обикновено един VLR се свързва с една централа, но може да обслужва и няколко централи. Дори и да е в домашната си област, където е регистриран, VLR е този, който управлява динамично променящите се данни за абоната. Тези данни се ползват от мобилната централа. Докато

HLR решава задачи, които са независими от мястото на абоната, то VLR се свързва с неговото текущо местоположение.

Операционна подсистема

Подсистемата OSS изпълнява функциите по експлоатация и обслужване на мрежата. Към нея се отнасят следните обекти:

1. Център за експлоатация на обслужването (Operation and Maintenance Center - OMC), който чрез O-интерфейс (SS7) управлява и контролира всички обекти на мрежата, наблюдава информационния обмен, безопасността на абонатите и техните сметки. Тук се регистрират (откриват и закриват) абонаментите и услугите, наблюдават се и се регистрират отказите.

2. Център за автентикация (AuC), който съдържа алгоритми за автентикация и ключове за шифрите. Тъй като радиоинтерфейса и мобилните станции, за разлика от фиксираните мрежи и терминали, са много уязвими, за защита на предаването на данните и конфиденциалността на абонатите се налага те да се идентифицират по метода на автентикацията.

3. Регистър за опознаване (проверка) на мобилното оборудване (Equipment Identifier Register - EIR), който е база данни за идентификация на мобилните телефони и техния статут в мрежата (правоспособен, неправоспособен). Тъй като мобилните станции са портативни, те лесно могат да бъдат изгубени или откраднати. Всеки, който има действаща SIM-карта, може да използва откраднат апарат. В EIR има "черен списък" на откраднатите или блокирани устройства. Достатъчно е собственикът да заяви за кражбата, мобилния телефон става безполезен, тъй като не може да се активира.

4. Центърът за кратки съобщения (SMS), който се грижи за съхранение и пренасочване на SMS-съобщенията. Той следи, дали съобщението е доставено, и препредава съобщения, които не са приети коректно. Когато мобилния телефон е изключен или няма покритие, всички съобщения се запазват и ще му се доставят, щом апаратът се регистрира отново в мрежата.

Основни функции и действие на система GSM

Най-характерно за една мобилна мрежа е обслужването на абонати, които се придвижват в мрежата. Да се управлява мобилността, значи мобилния телефон регулярно да се регистрира и непрекъснато да се следи къде се намира.

Инициализация, регистрация и режим на очакване

Мобилната телефонна централа и базовите станции работят непрекъснато през цялото денонощие. По контролните канали базовите станции им изпращат служебна информация, която се приема от всички мобилни телефони в съответните клетки.

За разлика от базовите станции, мобилните телефони (радиотелефоните) MS могат да се изключват. Това става по желание на абоната или за подмяна на батерията им.

Абонатът включва захранването със специалния за това бутон или поставя SIM-картата и мобилният телефон започва да работи. В този момент той още не принадлежи към никоя клетка, макар физически да е в някоя от тях. Етапът на идентификацията му и настройката му към системата (инициализацията) трае няколко секунди и става автоматично, без участието на абоната.

По време на **инициализацията** мобилният телефон MS сканира всички достигащи до него радиосигнали, по които в режим на радиоразпръскване се изпраща служебна информация, и избира онази базова станция, чийто сигнал се оказва най-силен. По получената от контролния ѝ канал информация разбира коя е **областта на идентификация** (Location Area Identity - **LAI**), т.е., към кой контролер принадлежи (в случая на чертежа - LAI1). Свързва се с централата и докладва за адреса си. MSC1 записва местоположението на мобилния телефон в своя регистър VLR и докладва в регистъра за домашни абонати HLR, че мобилният телефон е включен в нейната област на обслужване. След това по обратния сигнален канал мобилният телефон получава потвърждение за своята регистрация, синхронизира се, регулира нивото на сигнала и се "захваща" към базовата станция.

Но и базовата станция трябва да знае, че този мобилен телефон се намира на територията на нейната клетката. Това тя разбира чрез идентификационният му код, който се предава по обратния сигнален канал.

Мобилният телефон остава в "режим на очакване" (**standby mode**) и инициализацията завършва. Сега входящите повиквания към MS могат да се насочват към клетката, в която се намира.

Когато абонатът е извън зоната на радиопокрытие, той не може да влезе в контакт с мрежата и на дисплея на MS се показва съответно съобщение (напр. «Гърсене»).

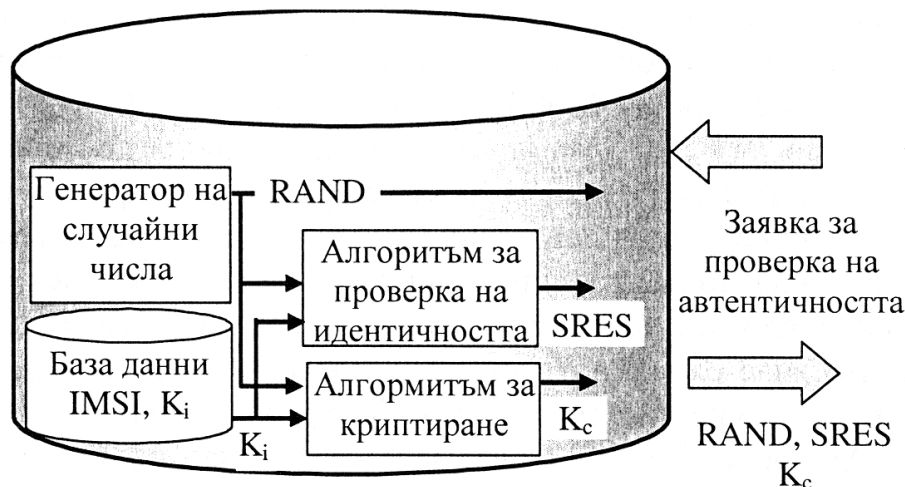
През цялото време, докато връзката между MS и BS е установена, чрез контролните сигнали мобилният телефон периодично обменя служебни съобщения с базовата станция. Чрез тях следи както нейната работа, така и собственото си преместване. Ако MS не потвърждава регистрацията си, системата го приема за изключен.

При преместването си в съседна област за идентификация MS се регистрира в новата област, а оттам - във VLR-регистъра. Там се изтрива старото му местоположение и се запомня новото. Когато мобилният телефон влезе в област за индефикация на друга мобилна централа, тя приема регистрацията. За нея той е нов обект и неговата поява се докладва в домашната база данни, която информира старата централа, че този

телефон е влязъл в територията на съседната централа. Тогава старата централа изтрива неговия номер от своята VLR-база данни.

Функции за защита

1. Проверка за автентичност



Проверка на автентичност

Когато при мобилния оператор се регистрира нов абонамент, освен телефонния си номер, абонатът получава SIM-карта, в която като двоични числа са записани секретен ключ K_i и уникална международна идентификация на абоната (**IMSI** - International Mobile Subscriber Identity). С IMSI е свързана цялата информация за него. Тези данни се съхраняват на две места - в SIM картата и в AuC-центъра и се използват за неговата идентификация.

Когато се проверява идентичността, AuC генерира случайно число RAND и го изпраща по контролните канали към абоната. Чрез ключа K_i се изчислява ново число, т.нар. **белязан резултат SRES**, който се връща към AuC. Центърът, който знае случайното число и има ключа K_i , е изчислил същия белязан резултат. Ако резултатите (двата SRES) са еднакви, мобилния абонат е автентичен. Ако резултатът не е един и същ, абонатът не е този, за който се представя. Изграждането на връзката е невъзможно без да се установи идентичността.

2. Криптиране

За да остане обменената информация конфиденциална и да не бъде подслушван разговора, както трафичните, така и контролните канали се криптират. В GSM речта се криптира по следния начин

Освен белязания резултат SRES, използвайки случайното число RAND и ключа K_i центърът AuC изчислява и друг ключ за криптиране K_c , който, заедно със SRES и RAND, се съхранява в домашната база данни. При проверката на автентичност мобилният телефон, като използва ключа K_i от SIM картата си и полученото случайно число RAND, също изчислява ключ за криптиране K_c . Ако резултатът от проверката на автентичност е

положителен, през контролера на базовата станция мобилната централа изпраща на абоната ключа Kc. След това контролерът дава команда за преминаване към режим на криптиране. Всички сигнали оттук нататък, включително речта, са криптирани.

3. Проверка на оборудването

Целта на тази проверка е да се предотврати използването на нямащи право на обслужване и откраднати мобилни телефони. Всеки мобилен телефон си има свой международен номер IMEI. При изграждане на връзка мобилната централа иска от мобилния телефон този номер. Ако номерът е непознат или забранен, връзката се отхвърля.

Уникалната международна идентификация се предава в свободното пространство, само когато се включи мобилния телефон.

Локализация и повикване

1. Номера за локализация и идентификация

Една от ключовите особености на GSM е автоматичната всемирна локализация на абонатите. Телефонните номера са валидни в коя да е точка на планетата и GSM знае кой абонат къде се намира. В регистър HLR непрекъснато се съдържат данни за текущото му местонахождение, а чрез VLR непрекъснато се следи неговото движение.

За да се определи местонахождението на мобилния апарат, са необходими следните номера:

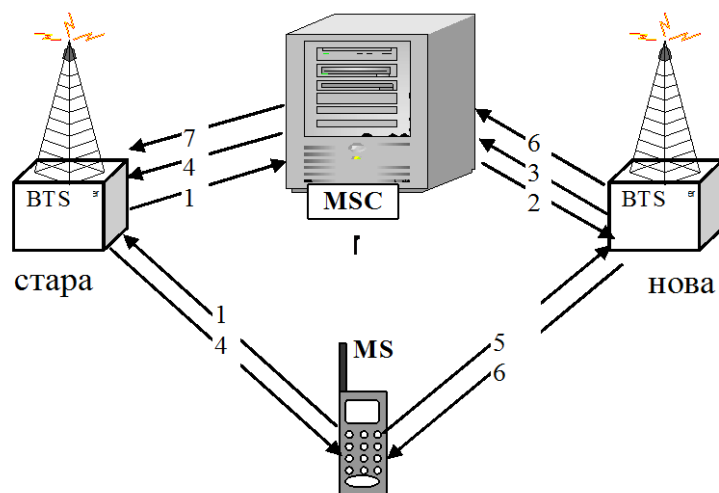
- **Международния номер MSISDN.** Структурата на номера се определя по стандарт E.164 на ITU-T. Състои се от телефонния код на страната, националния код на мобилния оператор (неговия регистър HLR) и абонатния номер. Съдържа се в SIM-картата на потребителя. Този стандарт се използва и в стационарните мрежи ISDN.
- **Международната идентификация на мобилния абонат (International Mobile Subscriber Identity - IMSI)** (вж. ОНР 7).
- **Временната идентификация на мобилния апарат Time Mobile Subscriber Identity - TMSI.** За локално опознаване на абоната в система GSM не се използва директно IMSI, а временна идентификация TMSI (кодов вектор 4 байта). Това число се избира от VLR и действа временно в зоната на неговото местонахождение. За да се скрие личността на абоната, регистърът периодично изменя идентификацията, поради което тя е временна.
- **Номера на роуминга на мобилната станция (MSRN).** Този адрес се генерира от VLR след запитване от мобилната телефонна централа и се помни в регистър HLR. Той включва кода на страната, където абонатът гостува, кода на мобилния оператор, на който гостува, кода на MSC, от която се обслужва, и номера на абоната.

2. Установяване на връзка с мобилния телефон

Проблем тук е намирането на абоната. Това е търсене, принципно различно от фиксираните терминали, където маршрутът на връзката е известен от телефонния номер. Къде е абонатът тук не се знае. Преди да се изгради връзката чрез последователни запитвания, трябва да се разбере неговото местонахождение и се установи направлението на търсене.

Процедура по предаване на обслужването (превключване, *handover*)

Тази процедура (американският термин е **handoff**, европейският **handover**) се отнася до случаите, когато мобилният абонат, разговаряйки, се премества от една в друга клетка. Когато такова преместване стане в режим на очакване, чрез контролните сигнали мобилният телефон автоматично се пререгистрира в другата клетка. Когато обаче той води разговор, пререгистрацията не е достатъчна. Превключването трябва да стане без разговорът да се прекъсва и без абонатът да почувства.



Опростена схема на процедурата по предаване на обслужването (handoff)

Както базовата станция BS, така и мобилният телефон MS, непрекъснато измерват нивото на изходящия, съответно, низходящия сигнал и по броя на грешките оценяват качеството на сигналите. В мобилния телефон едновременно се приемат контролните сигнали както от собствената базова станция, така и от BS на съседните клетки. Така получените данни за нивата на сигналите се предават на мобилната станция MSC всяка 1/2 секунда (1). Към коя клетка принадлежи в даден момент мобилният телефон в режим на очакване не се определя непосредствено от неговото физическо местоположение, а от това, на коя клетка сигналят се приема като най-силен. Неговото ниво е критерий за принадлежност.

Процедура по предаване на обслужването започва, когато се установи, че сигналят от старата базова станция е по-слаб от някой друг от получаващите контролни сигнали. MSC избира клетката с най-силен сигнал и предава команда на базовата ѝ станция да отдели трафичен канал за връзка (2). Тук са пропуснати транзитиращите сигналите контролери.

Новата базова станция назначава канал и съобщава неговия номер на MSC (3). На свой ред мобилната телефонна централа, чрез старата базова станция, предава на мобилния телефон назначената ѝ нова базова станция и номера на канала за връзка, по който да продължи разговора (4).

Мобилният телефон се настройва към новата си базова станция (5) и чрез нея предава на мобилната телефонна централа своята готовност да завърши предаването на обслужването (6). Накрая MSC предава на старата базова станция команда да освободи канала за връзка, който е бил използван досега (7). На практика има различни случаи на превключване: (а) в рамките на един контролер; (б) превключване от един към друг контролер; (в) превключване от една към друга мобилна телефонна централа.

Роуминг

Думата произлиза от английското **roaming** (roam - бродя, странствам). Тя означава използване на услугите на чужда (не тази, на която е абонат) клетъчна мрежа. За да стане роуминга, е необходимо двете клетъчни мрежи - своята и чуждата - да са съвместими. Това обаче не е достатъчно. Трябва да има и роумингово споразумение между операторите на клетъчните мрежи, което определя техническото взаимодействие между тях, обмяната на необходимите данни за абонатите и взаимните финансови задължения на страните. Един оператор има споразумения с множество клетъчни системи в съседни страни. Благодарение на роуминга всеки абонат става единица от световната комуникационна система и може да бъде открит в коя да е точка от планетата.

Абонатът в чужда клетъчна мрежа инициира повикване по традиционния начин. Ако това е първото повикване в чуждата мрежа, то нейната мобилна телефонна централа, не намирайки сведения за този абонат в своята база данни (HLR), го възприема като гостуващ. По получените при взаимодействието с него отличителни белези тя разбира коя е домашната му система и изпраща до нея запитване за абоната. Получените данни се записват в регистъра VLR за гостуващи абонати на чуждата система, а в "домашната система" се въвеждат сведения за неговото гостуващо местонахождение. След тези подготвителни действия връзката с роумъра се организира по известния от по-горе начин.

Когато повикването на гостуващия абонат не е първо, чуждата система има вече неговите данни и го намира без да "пита" "домашната" система.

След завръщането "у дома" информацията за визитата се изтрива и от двете системи с изключение на сметката, която е направил гостуващият.