

Тема 13. Мобилни комуникации. Общи сведения за мобилните мрежи. Клетъчни мрежи – основни компоненти. Клетъчни структури. HLR и VLR бази данни. Въздушен интерфейс. Обслужване на повиквания. Следващи поколения мобилни мрежи

Общи сведения за клетъчните системи

Ведомствени ⇔ обществени мобилни комуникации, персонални

➤ **Развитие на обществените мобилни комуникации**

- 1947 г. - клетъчната концепция - Bell System, 1971 г. – внедряване
- Първата реално работеща клетъчна система в Япония 1979 г.
- Група за международни стандарти NMT в мобилните комуникации
- 1981 г. - първата клетъчна система аналогов стандарт в Европа NMT 450 (Nordic Mobile Telephone – Скандинавски страни)
- 1991 г. - първият цифров клетъчен стандарт GSM - *Global System for Mobile communication*.

➤ **Достъп:**

- при фиксирани телефони - през *строго определена точка*,
- при мобилните – по *ефира, с проследяване на движението*

➤ **Най-важна характеристика: мобилност на абонатите**

➤ **Поколения:**

Първо поколение (1G) – аналогови системи, които постепенно отмират;

Второ поколение (2G) – цифрови системи за предаване основно на говор;

Трето поколение (3G) – говор+данни с висока скорост;

Четвърто поколение (4G) – широколентови универсални системи (до 1Gbit/s)

➤ **Предпоставки за развитие:**

- достъпът при подвижност на абоната без да го ограничава в услугите
- *Съвместимостта* с всички видове съществуващи комуникации
- Изключителните постижения в интегралната схемотехника
- Изключителни успехи на токозахранващата техника (акумулатори).

➤ **Основни изисквания:**

- Осигуряване на *дуплексен режим*;
- Връзки “*мобилен телефон - мобилен телефон*”;
- Връзки на *мобилни телефони с абонати на ОКТМ*;
- Възможност за обслужване на *много клиенти*;
- *Съвместимост* в национален и глобален мащаб, роуминг;

Съвременно състояние на мобилните комуникации

Мобилни клетъчни системи - в над 170 страни от света

4 милиарда души притежават мобилни телефони през 2008 год. За сравнение – фиксираните телефонни абонати никога не достигнаха 1 милиард. В Европа на 100 души население се падат около 112 мобилни апарата

Принципи на изграждане на клетъчните системи

Изграждането на мобилна мрежа изисква да се решат **три проблема**:

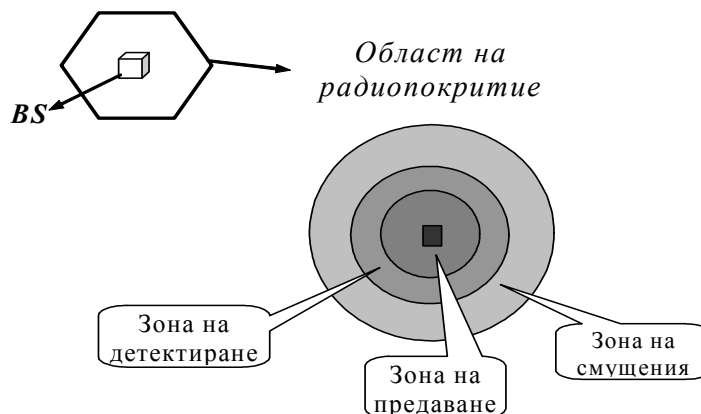
1. Ограничен ресурс на радиоканалите. Ресурсът на радиоканалите за реализиране на въздушния интерфейс е ограничен. Броят на абонатите на една мобилна мрежа може да е няколко десетки хиляди пъти повече от каналите, с които мрежата разполага. Решението на въпроса е чрез:

- 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 (или) **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

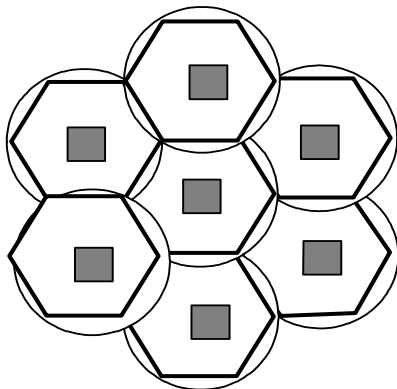


Достъпът е осигурен в зоната на предаване, образуваща „клетка”

Базова станция за мобилни връзки **BS**

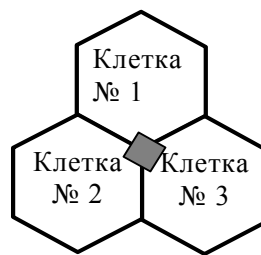
- шестоъгълен модел на клетката

- многократно използване на честотите



■ Базова станция

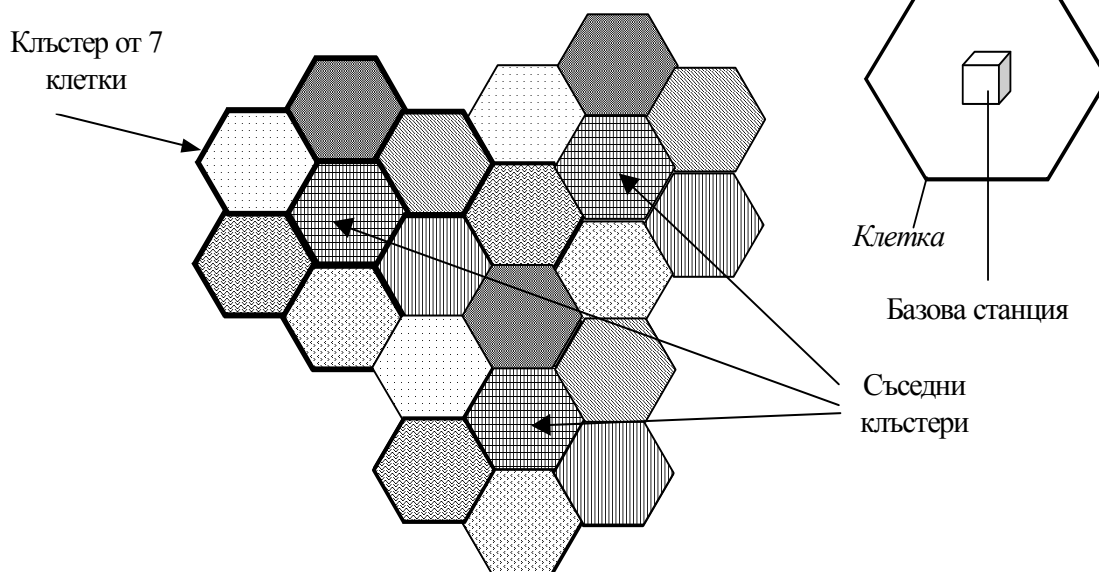
(а) ненасочени антени в центъра на клетките



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 120^0 , 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, изучен в Теми 5, 6. 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. Принципно беше разгледан в Тема 5. 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 4 метода. 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.

Устройство на клетъчната мрежа

Подсистема за радиовръзка

За мобилната телефония се отделят специални честотни обхвати (450 MHz, 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz), които се разделят на честотни канали с различна широчина на честотната лента, в зависимост от използваните модуляции 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)

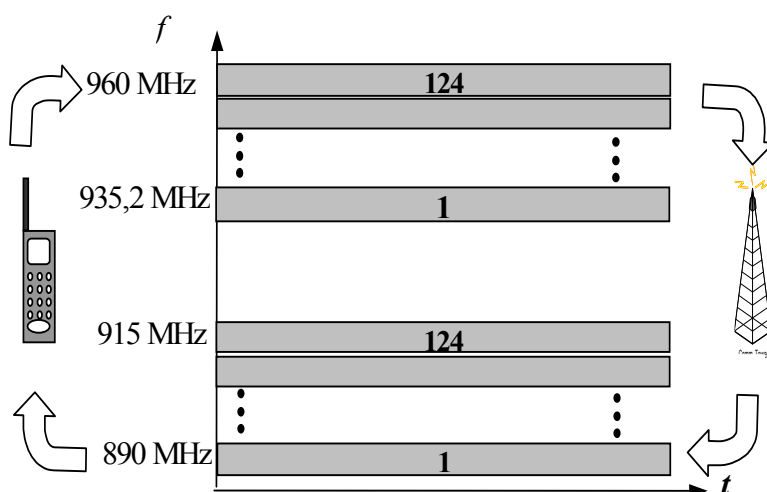
При GSM в обхват 900 MHz, например, за връзка в права посока (down-link от BS към MS) се използва лентата между 935,2 MHz и 960 MHz, а за обратна посока (uplink от MS към BS) – лентата от 890,2 MHz до 915 MHz, както е показано на фигурата по-долу. Устройват се 124 честотни дуплексни канала. Всеки от 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:

$$f_d = f_u + 45\text{ MHz}, \text{ т.е. } f_d = 935\text{ MHz} + n0,2\text{MHz},$$

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:

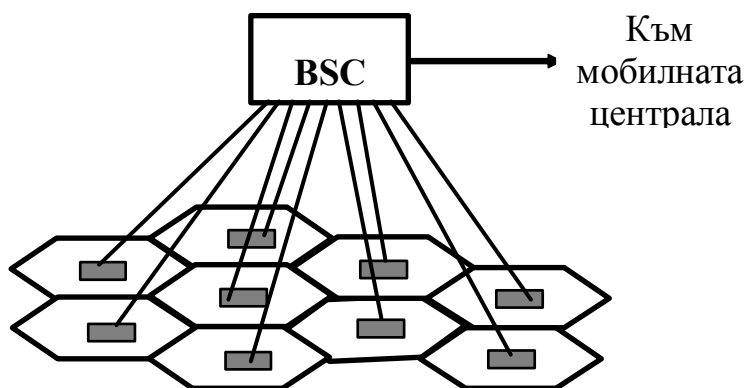
1. Канал за контрол (сигнални канали). Всяка клетка използва поне един канал като канал за контрол. По него базовата станция предава непрекъснато информация, необходима на мобилните телефони в клетката, за да се свържат с нея. Тези канали се използват и за търсене на абоната при повикване. Ако виканият 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 трафич-

ните канали може да варира в зависимост от очакванията за интензивност на трафика. Фиксираното разпределение на честотите в клетъчните клъстери (**Fixed Channel Allocation - FCA**) не е много ефективно и често се налага да се заимстват честоти от съседна, по-свободна клетка, напр. при масови мероприятия. Подобна схема се нарича разпределение на каналите със заимстване (**Borrowing Channel Allocation - BCA**).

Контролер за базови станции

Контролерът за базови станции (**Base Station Controller**) **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.



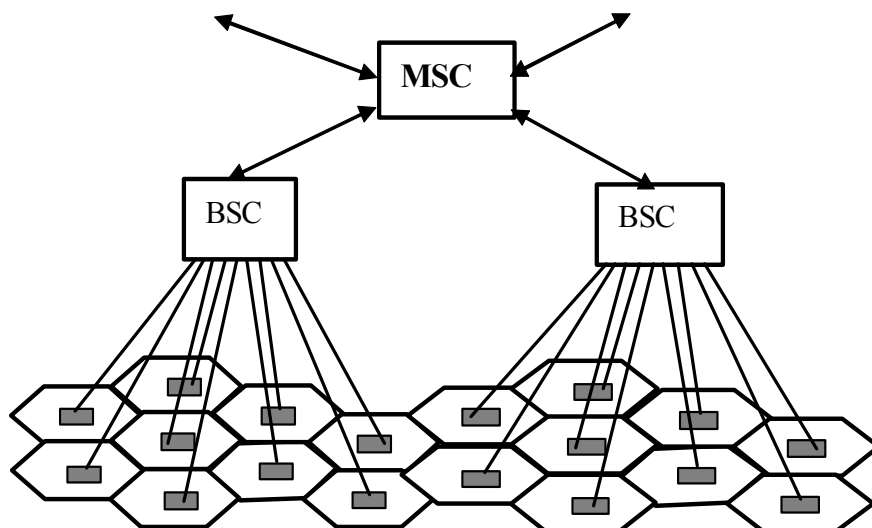
Контролер на базови станции

Чрез **BSC** се търси базовата станция, към чиито абонат е отправено повикване. Ако през това време викащият абонат навлезе в клетката на друга базова станция, **BSC** ще осигури превключването. Всички разгледани функции са описани в следващата таблица

№ по ред	Функция	BS	BSC
1.	Управление на радиоканалите		✓
2.	Управление на проводните канали		✓
3.	Съединение на проводните с радиоканалите		✓
4.	Кодиране и декодиране на каналите	✓	
5.	Криптиране и декриптиране на каналите	✓	✓
6.	Търсене на мобилна станция	✓	✓
7.	Измерване на изходящия сигнал	✓	
8.	Измерване на информационния обмен		✓
9.	Автентикация		✓
10.	Регистрация и обновление на данните за местонахождението на MS		✓
11.	Управление на превключването на BS		✓

Мобилна телефонна централа (Mobile Switching Center) MSC

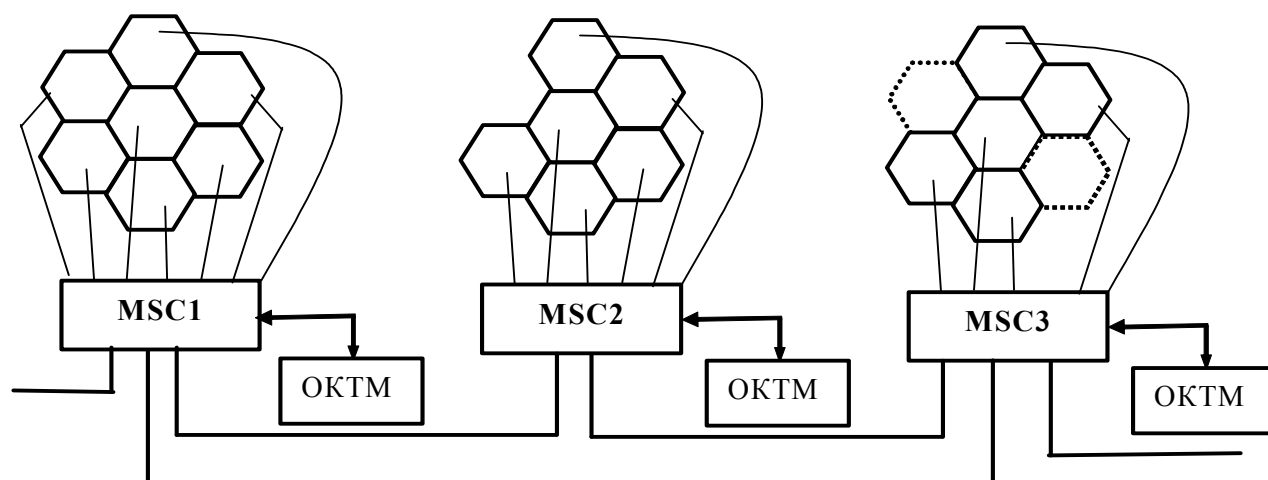
MSC управлява потоците информация между линиите за връзка и се контролира от оператори. Чрез нея се осъществяват връзките ѝ с ОКТМ. Връзката с базовите станции BS мобилната централа MSC осъществява чрез контролера BSC. От техническа гледна точка MSC е една ISDN-централа с възможност да обслужва подвижните абонати, намиращи се в някоя от клетките, които ѝ принадлежат.



Мобилна централа MSC и връзките ѝ с базовите станции

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 ОКТМ чрез оптични кабели.

За да може да обслужва един абонат, MSC трябва да има необходимите данни за неговия абонамент. Тези данни съдържат правата му за достъп



Клетъчна телефонна мрежа и връзките ѝ с ОКТМ

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.

Регистър за домашни абонати (Home Location Register) HLR

HLR е огромна домашна база от данни, която съдържа информация за абонатите и техните терминали (MS). 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.

Регистър за временно пребиваващи абонати (Visitor Location Register) VLR

VLR съдържа информацията за посещаващите мрежата абонати и управлява динамичните абонатни данни. Ако абонатът се придвижва от едно място към друго данните се предават от регистъра VLR на старото му място в съответния VLR на новата клетка, в която абонатът навлиза. 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. Процедурите при хендоувър и роуминг са описани в Тема 14.

Еволюция на стандартите за мобилни клетъчни комуникации

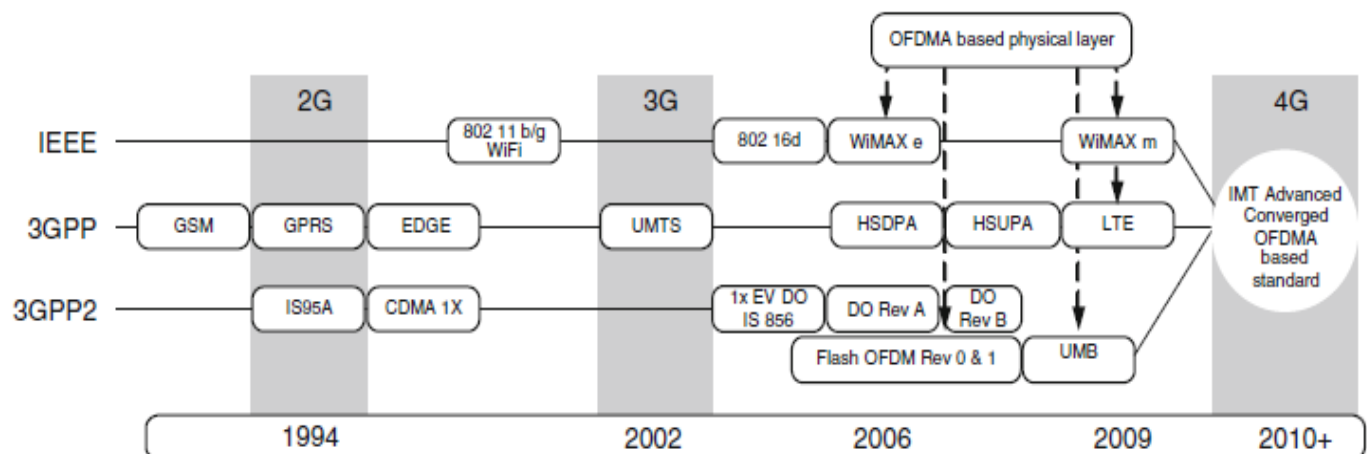
В допълнение към казаното в слайд ОНР1 за поколенията 1G - 4G трябва да се добави, че има три ясни паралелни линии на еволюция на мобилните комуникации:

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 UMD.

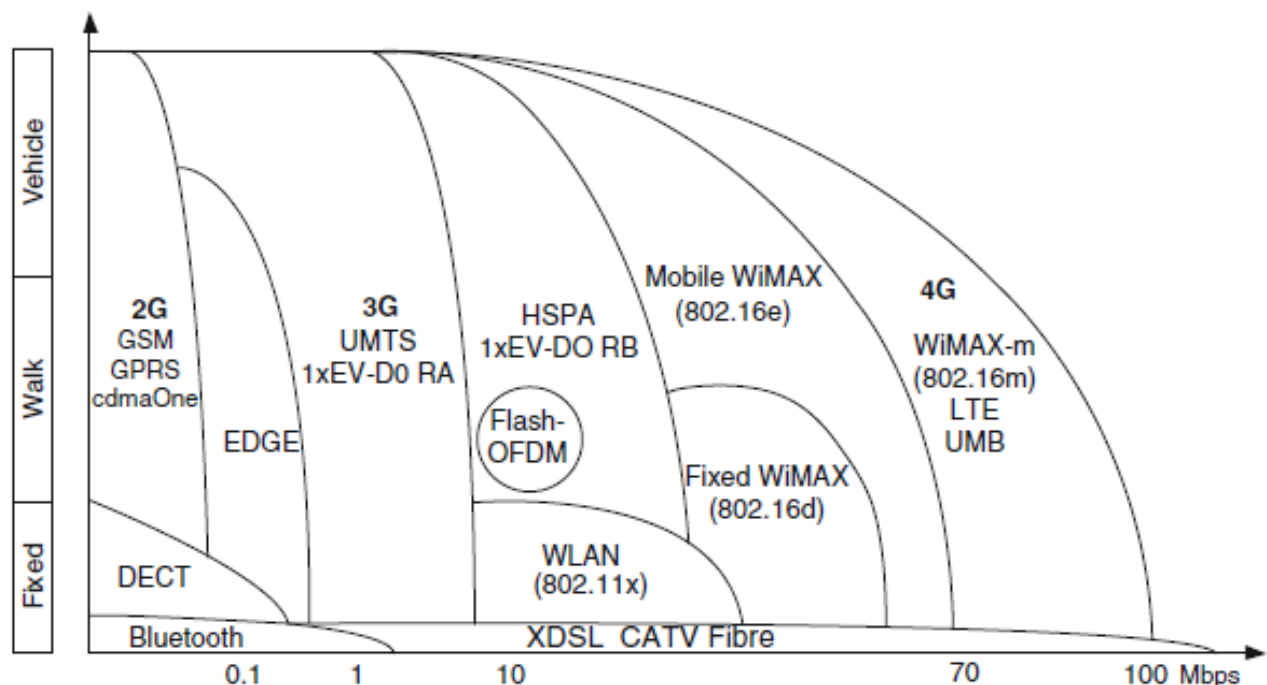
3. WiMAX (IEEE 802-16e)-базирана и отиваща към IEEE 802-16m.

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 (въведена в OHP5)



Еволюция на трите основни групи мобилни стандарти

На следващата фигура са сравнени фиксираните и мобилни технологии от различни поколения и техните възможности.



Приложения и скорости при различните безжични 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.