



Беспроводные системы передачи данных: Эволюция архитектуры

Доп. Главы компьютерных сетей
чл.-корр РАН Смелянский Р.А.
Доцент кафедры Терентьев С.В.



EVOLUTION OF WIRELESS SYSTEMS

Global Mobile Data Traffic, 2015 to 2020



CISCO, "Cisco Visual Networking Index: Mobile Data Traffic Forecast Update, 2015-2020," 2016

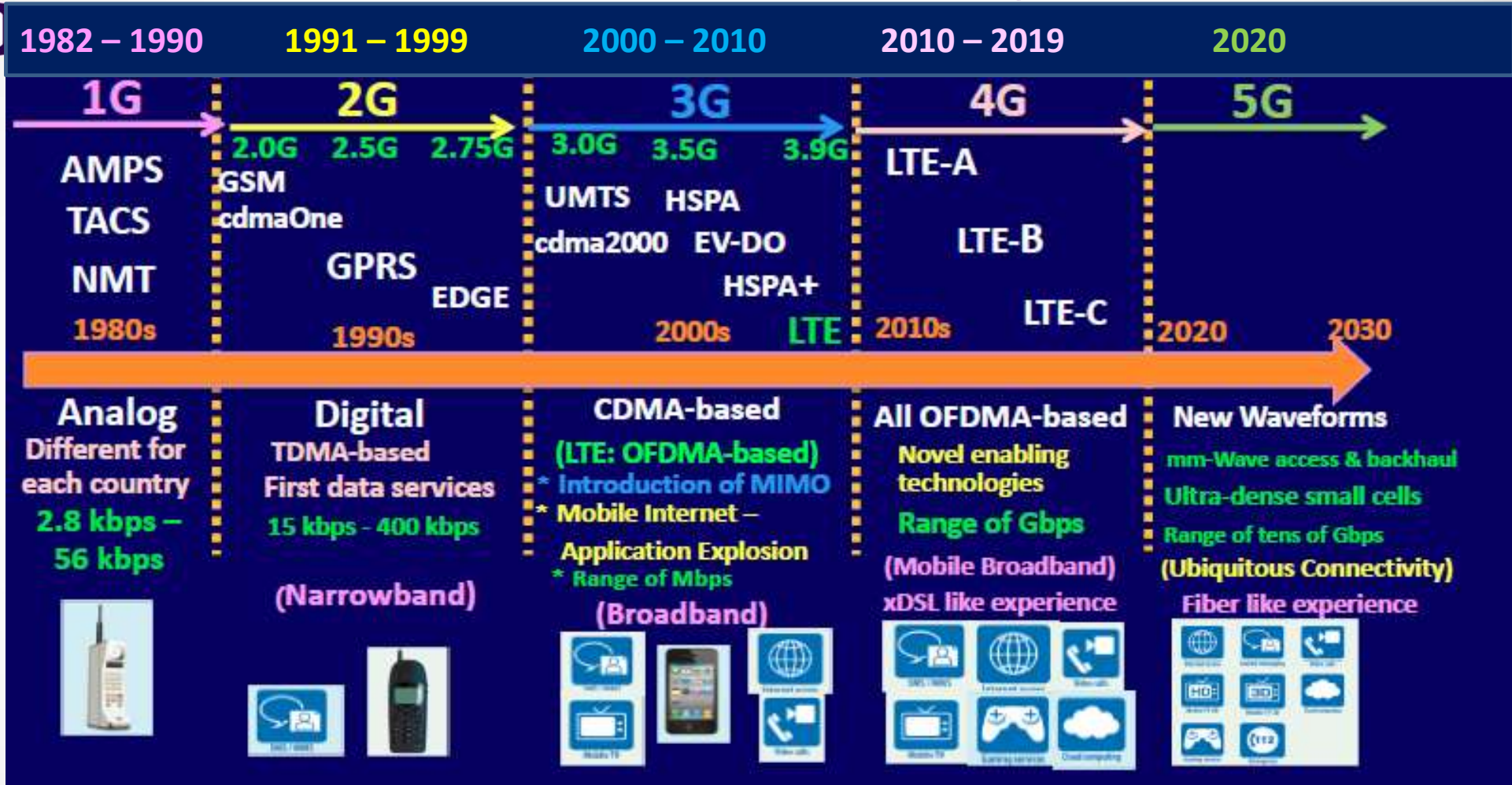
1 Exabyte = 10^{18} Bytes



Pictures taken at St. Peter's Square for papal inauguration ceremonies of Pope Benedict (2005) and Pope Francis (2013)



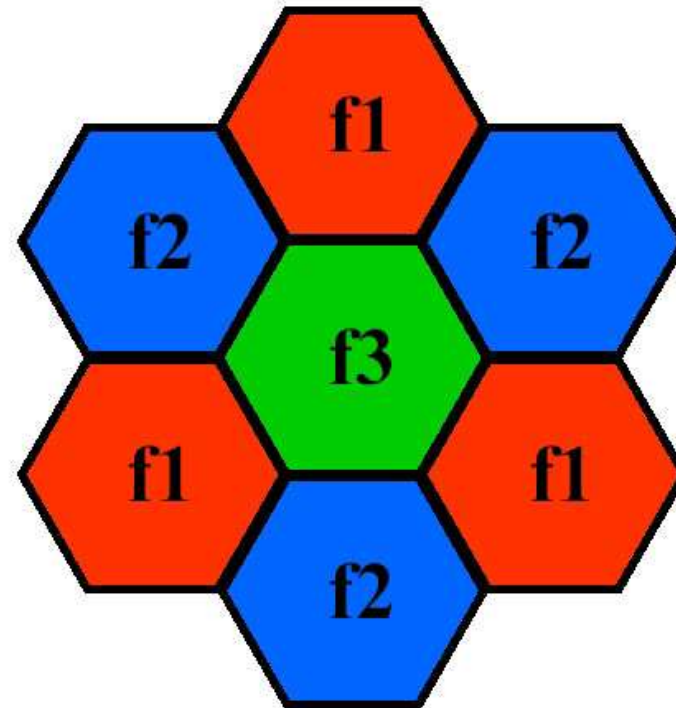
Evolution of cellular systems





Сотовая радиотелефония – немного истории

- Аналоговая сотовая телефония
 - IMPS (1964 г.)
 - AMPS(1982 г.)





Развитая мобильная телефонная система – AMPS (1G)

- В 1982 году компания Bell Labs предложила систему AMPS (Advanced Mobil Telephone System)
- Принципы организации сотовой связи
 - Базы (BS)
 - Центры мобильной коммутации (MSC)
 - Перемещение между сотами
 - Распределение каналов в сотах
 - В системе AMPS используется метод FDMA – разделения частот. Весь диапазон частот 824-894 МГц разделены на 832 дуплексных канала: 824 - 849 МГц для передачи и 869 – 894 МГц - для приема. Каждый канал шириной в 30 КГц. Все каналы делятся на четыре категории: Управляющие, Для сообщений, Установки доступа и распределения каналов, Данные - голос, данные или факс.
- Управление вызовом
- Основной недостаток – незащищенность от подслушивания



Цифровая сотовая телефония

Цифровая сотовая телефония

- GSM (Global System for Mobil communication)
- Основная цель стандарта GSM была обеспечить людям возможность, свободно передвигаясь, как внутри страны, так и между странами, поддерживать связь с любыми абонентами сети. При этом в каждой стране может быть одна или несколько функционирующих сетей.

1991 г. Представлен первый стандарт цифровой сотовой связи (GSM).

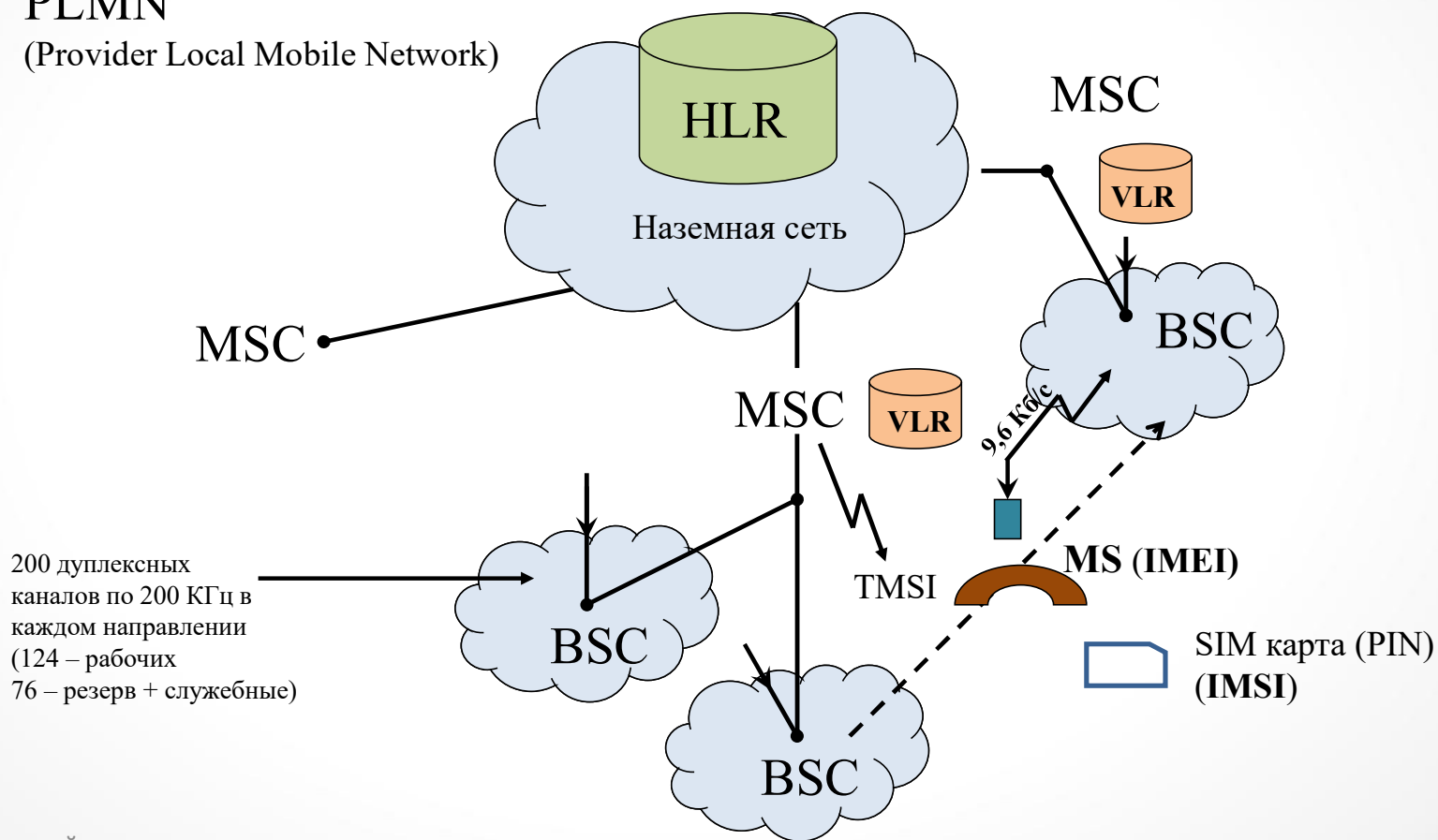
1998 г. Число абонентов мобильной связи по всему миру достигло 200 миллионов.



Схема работы GSM-сети

MSISDN-Mobile Subscriber ISDN, IMSI, IMEI и многое другое

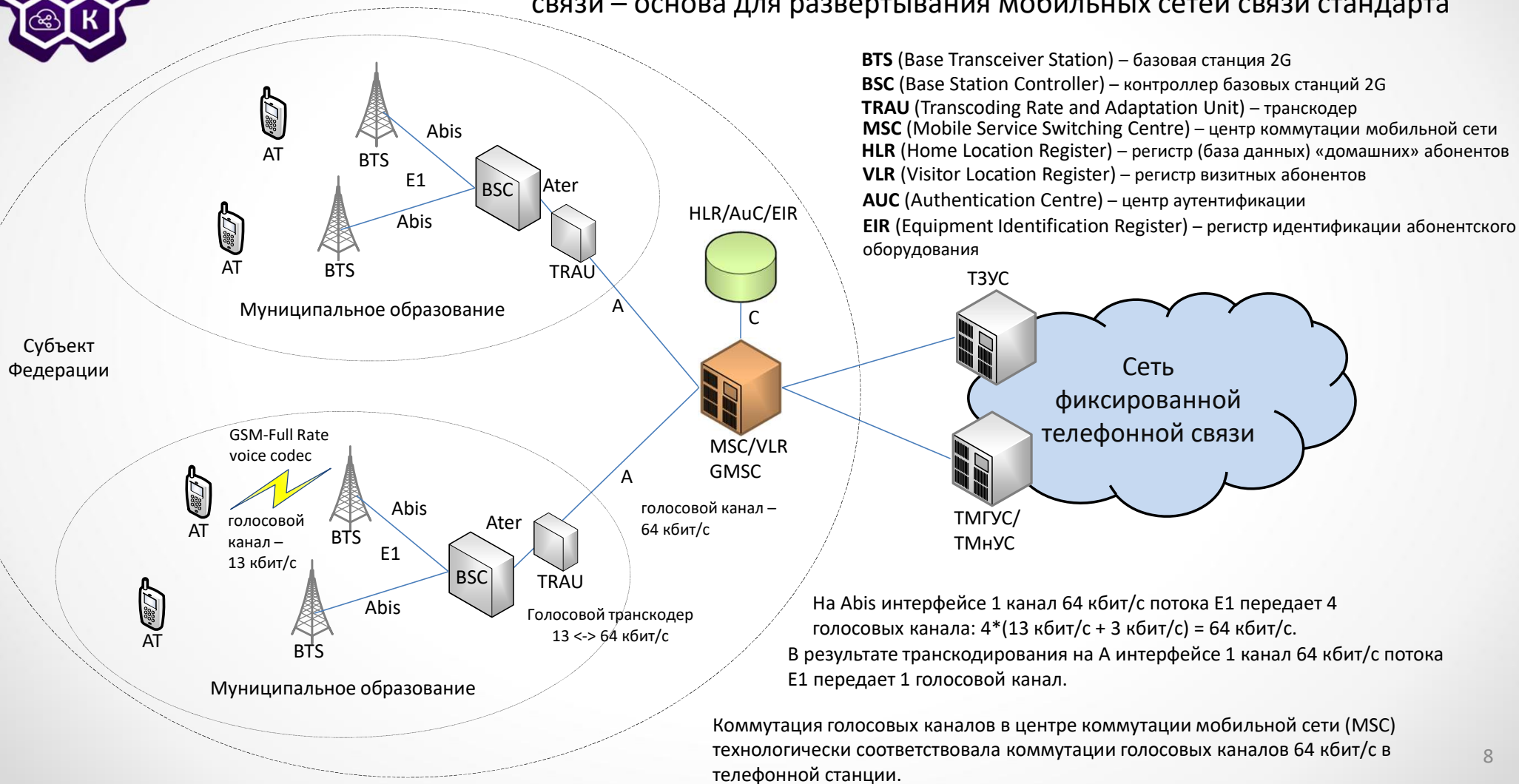
PLMN
(Provider Local Mobile Network)





4. Архитектура сети GSM.

Ранее существующая архитектура TDM сетей фиксированной телефонной связи – основа для развертывания мобильных сетей связи стандарта

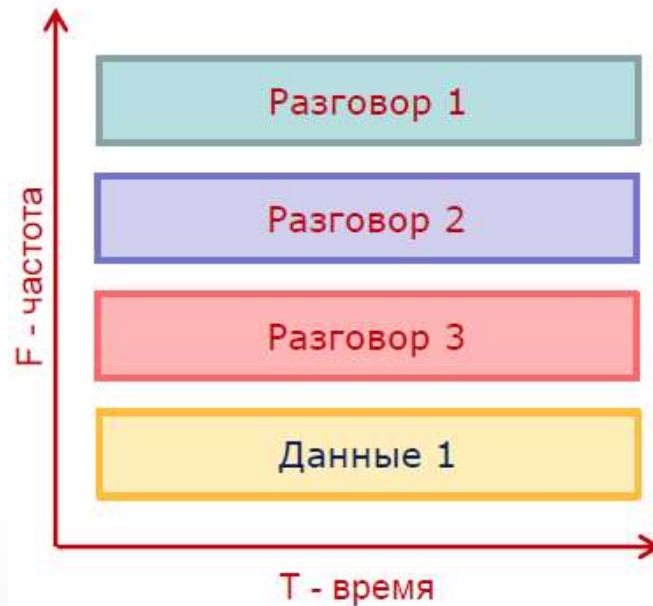




Стандарт GSM - Методы мультиплексирования

FDMA

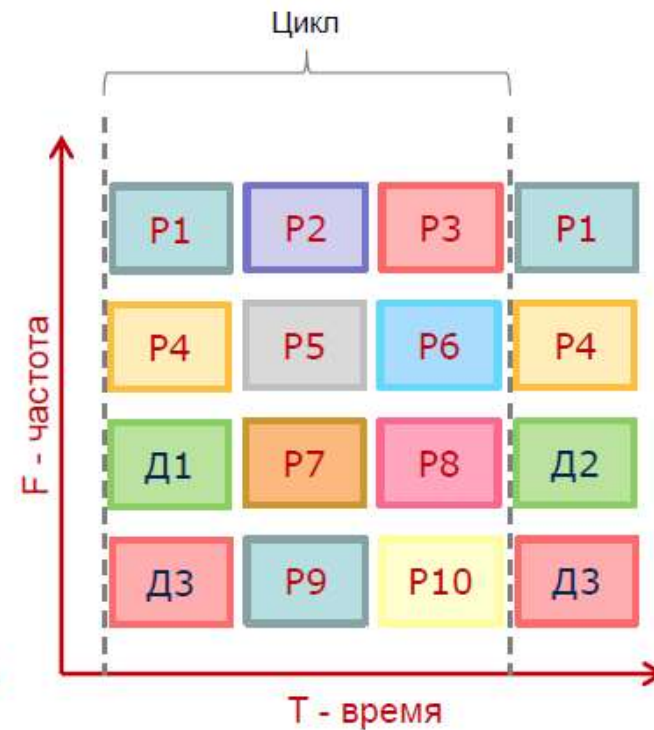
Frequency Division Multiple Access



Один разговор занимает всю частоту.

TDMA

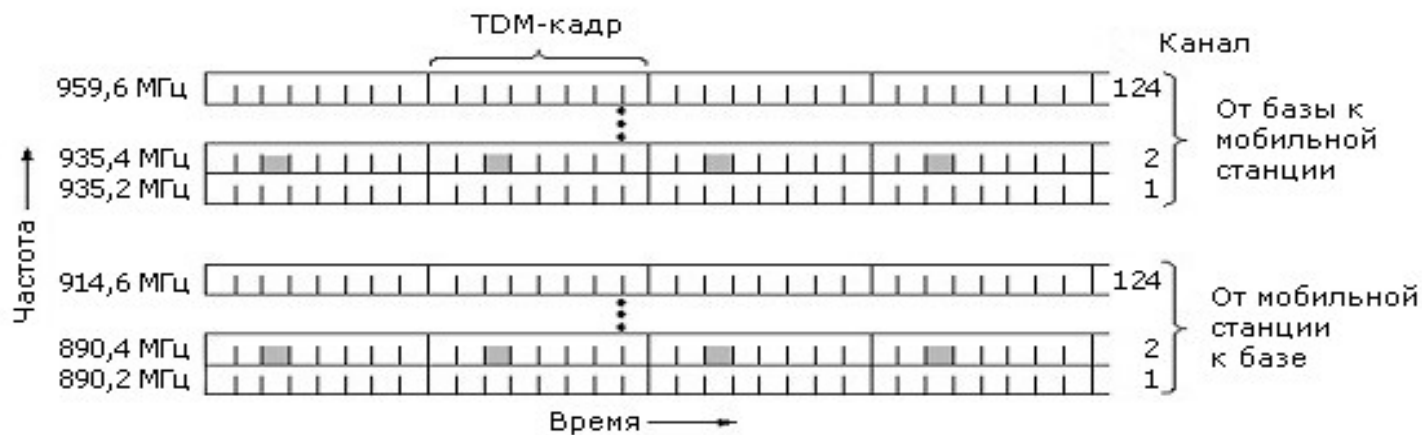
Time Division Multiple Access



Уплотнение радио каналов за счёт разделения частот на тайм-слоты.



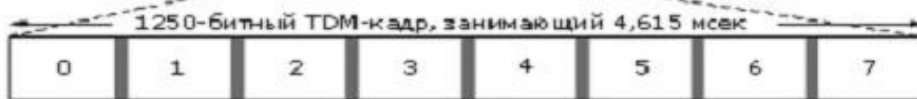
Стандарт GSM – GSM каналы



Мультикадр

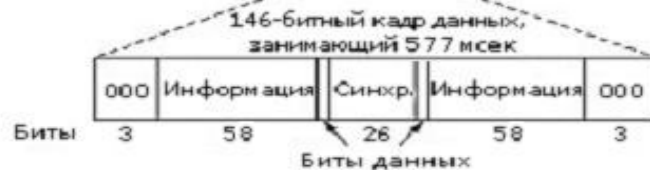


TDM-кадр



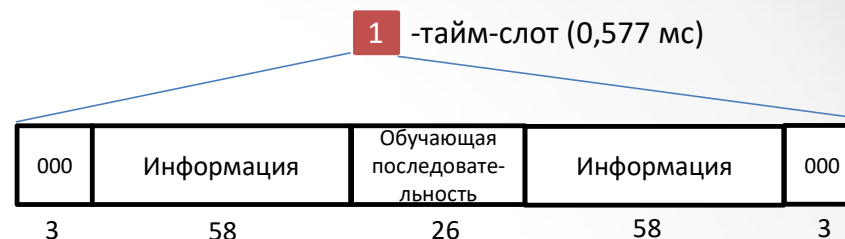
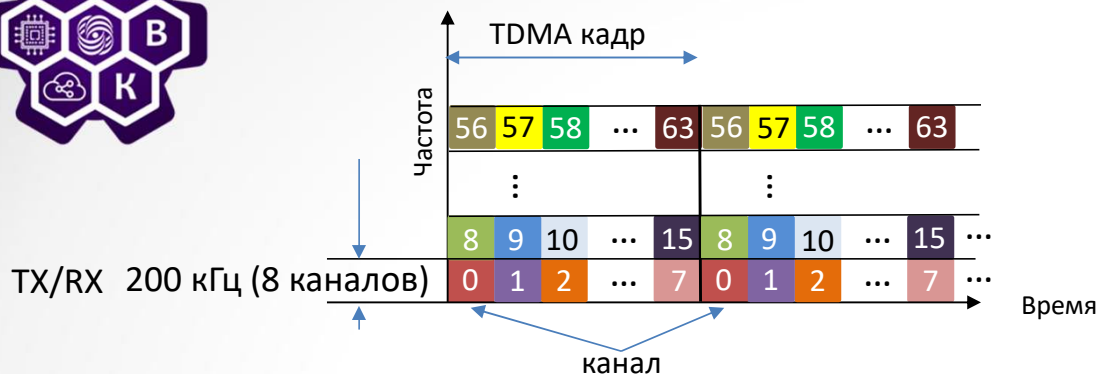
Для последующего использования

Тайм-слот





2.1. Особенности радиointерфейса GSM. Основные характеристики.



Характеристики	GSM-850	GSM-900	GSM-1800	GSM-1900
Частоты передачи MS и приёма BTS, МГц	824 - 849	890 - 915	1710 - 1785	1850 - 1910
Частоты приёма MS и передачи BTS, МГц	869 - 894	935 - 960	1805 - 1880	1930 - 1990
Дуплекс	FDD	FDD	FDD	FDD
Многостанционный доступ	TDMA	TDMA	TDMA	TDMA
Дуплексный разнос частот приёма и передачи, МГц	45	45	95	80
Вид модуляции	GMSK	GMSK	GMSK	GMSK
Количество частотных каналов связи с шириной 1 канала связи в 200 кГц	124	124	374	299
Ширина полосы канала связи, кГц	200	200	200	200
Количество речевых каналов на несущую	8/16			



Стандарт GSM - Базовая Станция

Назначение BS:

- Обеспечение радио покрытия.
- Создание соединения между мобильным аппаратом и системой мобильной связи.

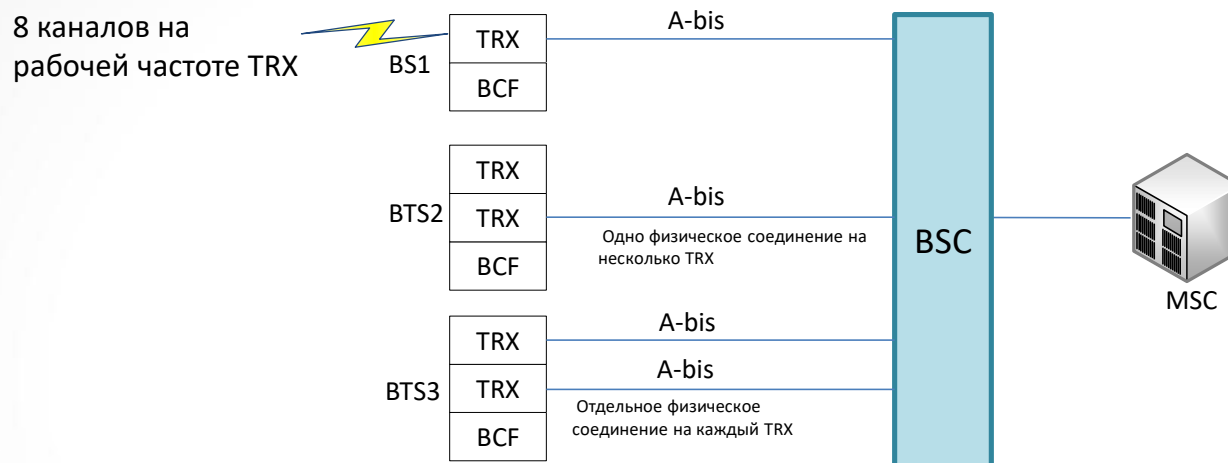


BS – Base Station



Стандарт GSM - Контроллер Базовых Станций

Совокупность базовых станций **BTS** и контроллеров **BSC** образуют подсистему базовых станций **BSS**.



Назначение функции контроля базовой станцией BCF (Base Control Function):

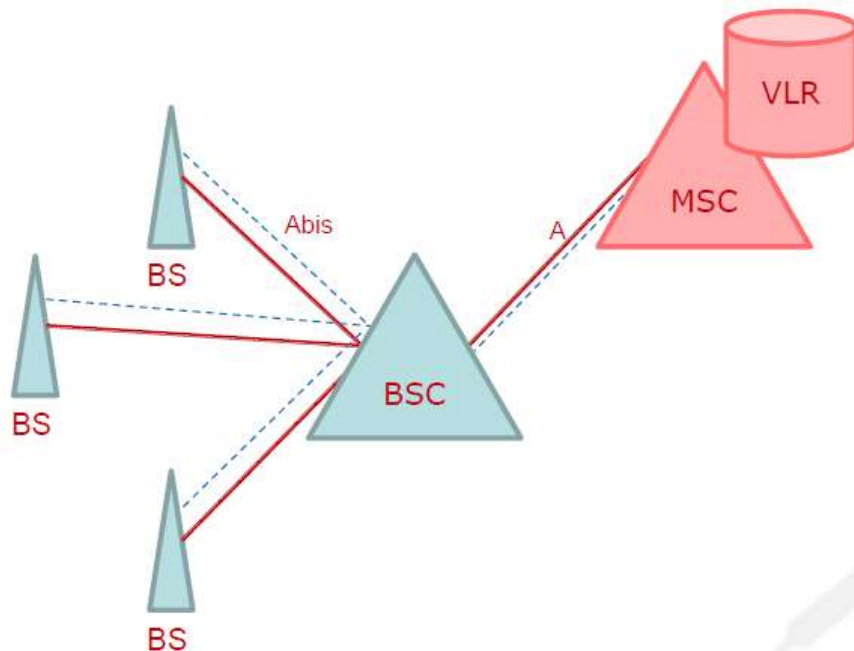
- реализацию общих функций для TRX, например, псевдослучайную перестройку рабочей частоты (ППРЧ), временную синхронизацию
- формирование аварийных сообщений
- управление электропитанием (включение/выключение) приемо-передатчиков

Назначение контроллера BSC подсистемы базовых станций BSS:

- **управление каналами** базовых станций (тайм-слотами каналов BCCH/CCCH, TCHs, SDCCH и др.) в соответствии с настроенной на BSC конфигурацией
- **управление радиоресурсами** базовой станции и **соединениями** с абонентскими терминалами (установление, завершение) на радиоинтерфейсе
- **управление мощностью** излучения базовой станции и абонентского терминала
- **шифрование** передаваемых сообщений
- **управление хендовером**
- **транскодирование голосовых потоков**
- **управление пейджингом**



Стандарт GSM – Мобильный Коммутатор и Регистр Визитных Абонентов



Назначение VLR:

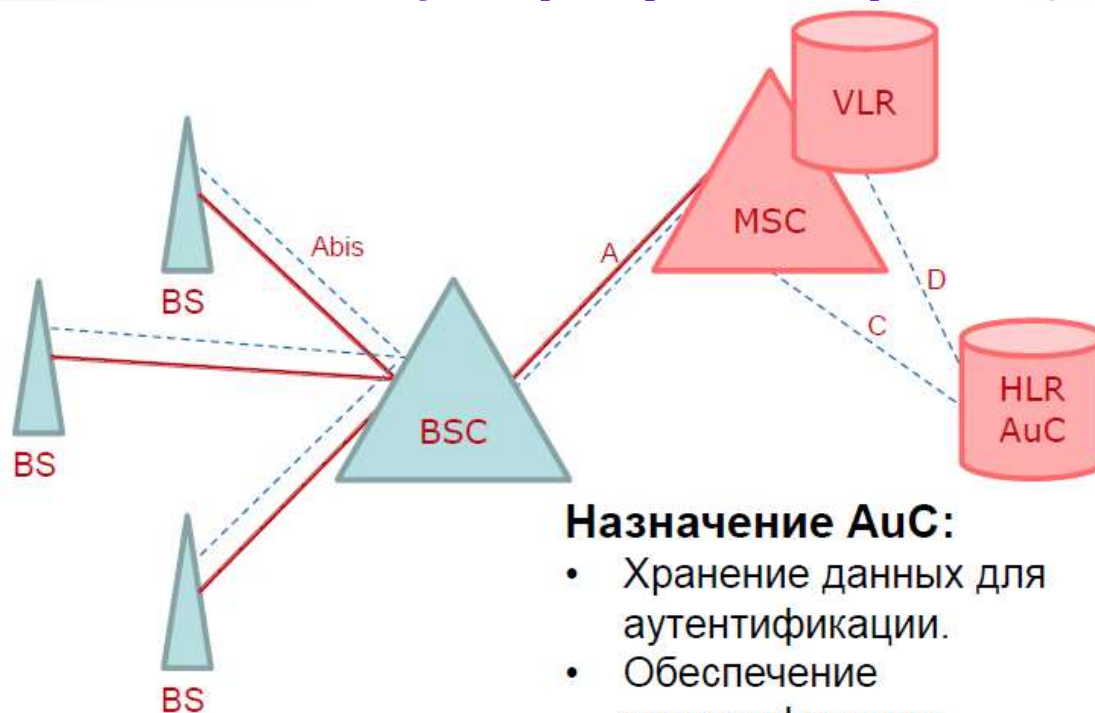
- Хранение информации об активных абонентах, находящихся в зоне действия своего MSC (местоположение, временные идентификаторы, разрешенные услуги и пр.)
- Участие в аутентификации абонентов.

BS – Base Station
BSC – Base Station Controller
MSC – Mobile Switching Center
VLR – Visited Location Register

— Голос / данные
- - - - - Сигнализация



Стандарт GSM – Регистр Домашних Абонентов и Центр Аутентификации



Назначение AuC:

- Хранение данных для аутентификации.
- Обеспечение аутентификации абонентов.

Назначение HLR:

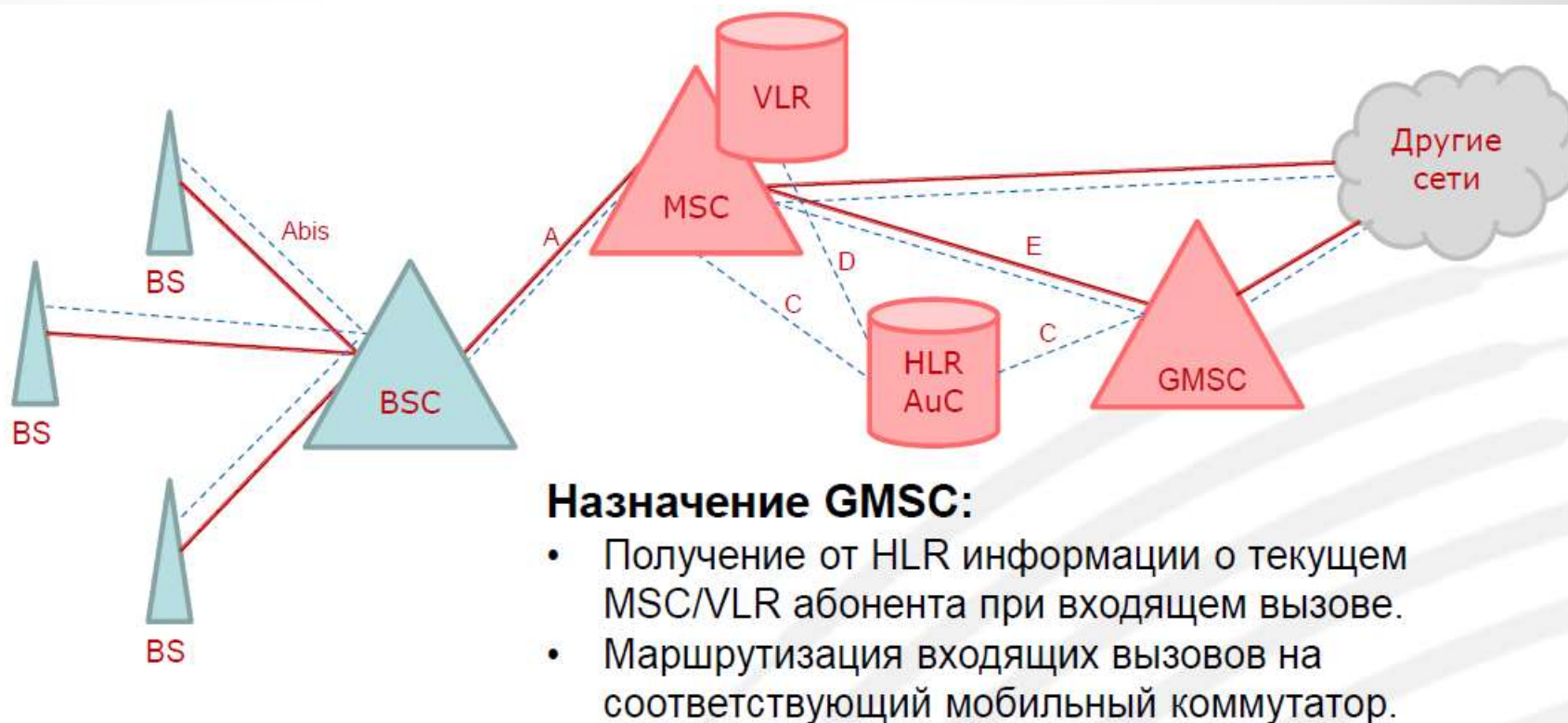
- Хранение информации обо всех зарегистрированных абонентах своей сети (текущий MSC/VLR, идентификаторы, все разрешенные услуги и пр.)
- Обеспечение вызывающей стороны информацией о текущем MSC/VLR вызываемого абонента.
- Принимает решение о разрешении или запрете услуги для абонента.

BS – Base Station
BSC – Base Station Controller
MSC – Mobile Switching Center
VLR – Visited Location Register
AuC – Authentication Center

HLR – Home Location Register



Стандарт GSM – Шлюзовой Мобильный Коммутатор



Назначение GMSC:

- Получение от HLR информации о текущем MSC/VLR абонента при входящем вызове.
- Маршрутизация входящих вызовов на соответствующий мобильный коммутатор.

BS – Base Station
BSC – Base Station Controller
MSC – Mobile Switching Center
VLR – Visited Location Register
AuC – Authentication Center

HLR – Home Location Register
GMSC – Gateway MSC

— Голос / данные
- - - - - Сигнализация



Стандарт GSM – GPRS служба

- GPRS (General Packet Radio Service) - служба пакетной передачи данных по радиоканалу.
 - повышения скорости (максимум в 2G составлял 48 Кбит/с),
 - при использовании GPRS службы расчеты производятся пропорционально объему переданной информации, а не времени использования канала.
 - "пакеты" данных передают одновременно по многим каналам только в паузах - голосовой трафик имеет безусловный приоритет перед данными.



Стандарт GSM - Структура GPRS службы



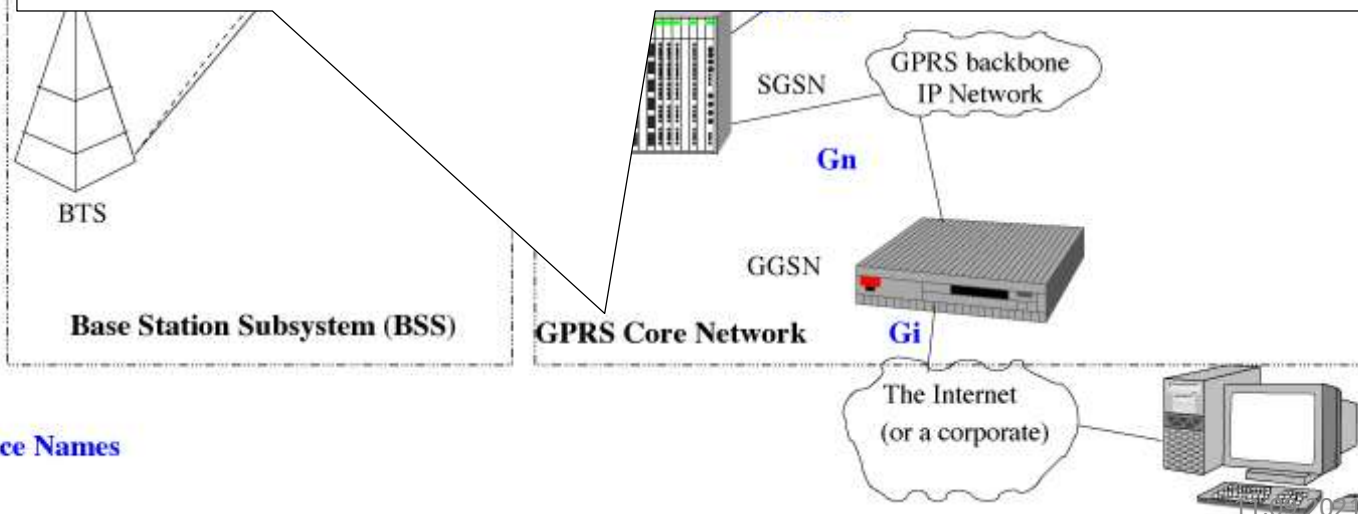
GGSN – шлюз между сотовой и внешними информационными магистралями.

Функции GGSN-узла:

- коммутация данных между абонентом и внешней сетью.
- адресация данных, динамическая выдача адресов в Интернет (IP-адресов),
- отслеживание информации о внешних сетях
- тарификация услуг.

Оператор может увеличивать число SGSN-узлов, добавлять в систему новые GGSN-узлы. PCU-блок (Packet Control Unit) – устройство контроля пакетной передачи). PCU-блок стыкуется с контроллером базовых станций BSC и отвечает за направление трафика данных непосредственно от BSC к SGSN.

Interface Names





Стандарт GSM – Узлы Поддержки Сервиса Packetной Коммутации

Назначение GGSN:

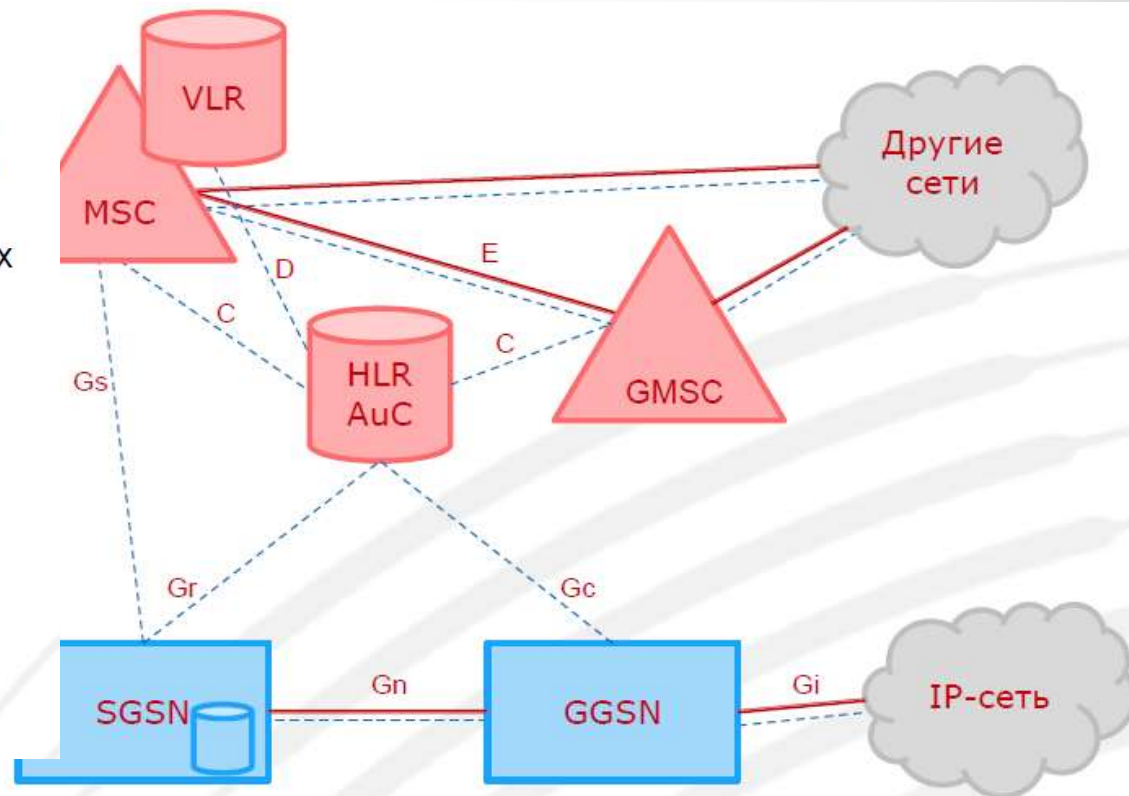
- Шлюз во внешние IP сети.
- Динамическая раздача IP адресов.
- Обеспечение запросов на аутентификацию к RADIUS серверу.
- Хранение баз данных маршрутизации, адресов и фильтров.

Назначение SGSN:

- Маршрутизация пакетов между подсистемой базовых станций и внешними сетями.
- Обеспечение мобильности абонентов во время пакетных сервисов (интернет, MMC).
- Участие в аутентификации абонентов.
- Регистрация абонентов для обеспечения пакетных сервисов.
- Обработка первичной биллинговой информации и передача её в биллинговый центр.

BS – Base Station
 BSC – Base Station Controller
 MSC – Mobile Switching Center
 VLR – Visited Location Register
 AuC – Authentication Center

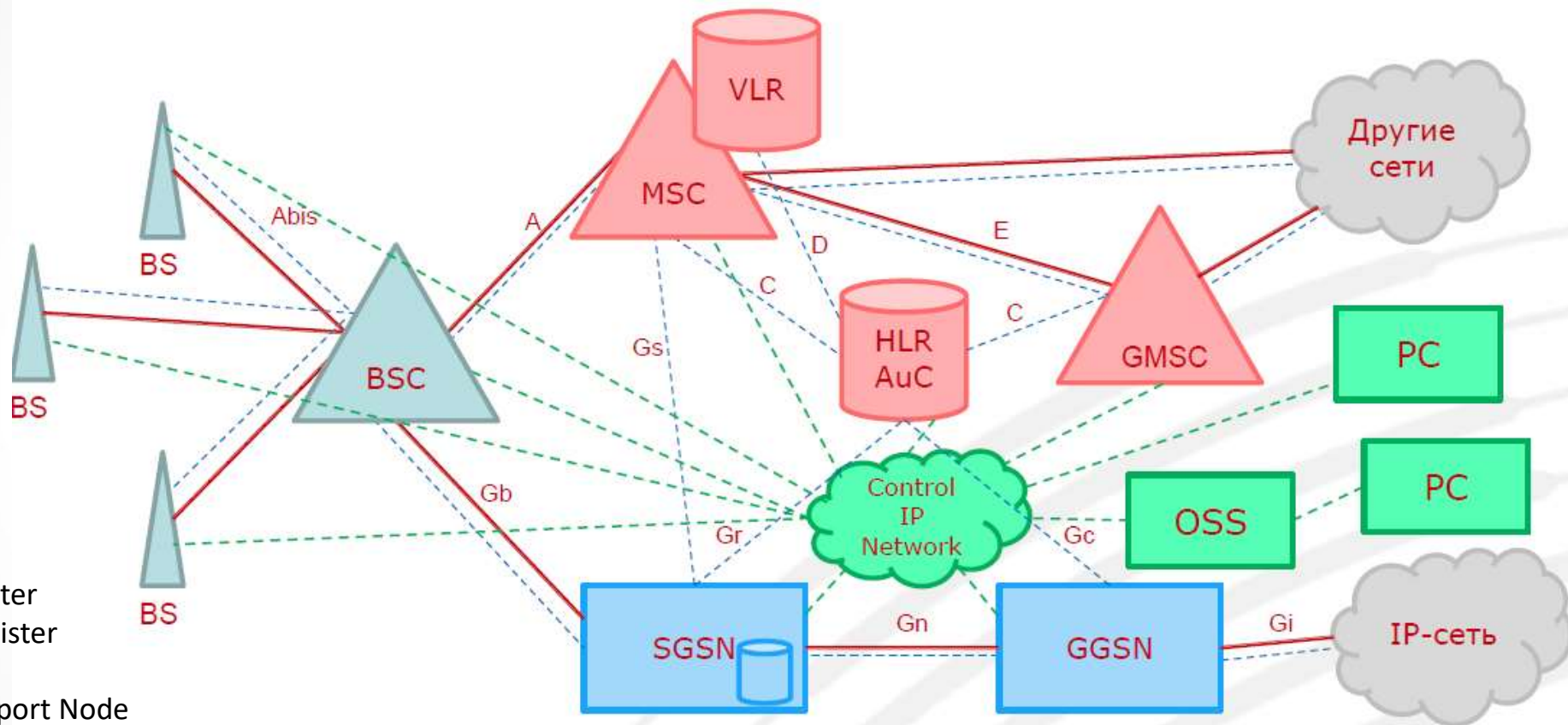
HLR – Home Location Register
 GMSC – Gateway MSC
 SGSN – Serving GPRS Support Node
 GGSN – Gateway GPRS Support Node



— Голос / данные
 - - - - - Сигнализация



Стандарт GSM – Подсистема Поддержки Управления



— Голос / данные
- - - - - Сигнализация
- - - - - Управление оборудованием

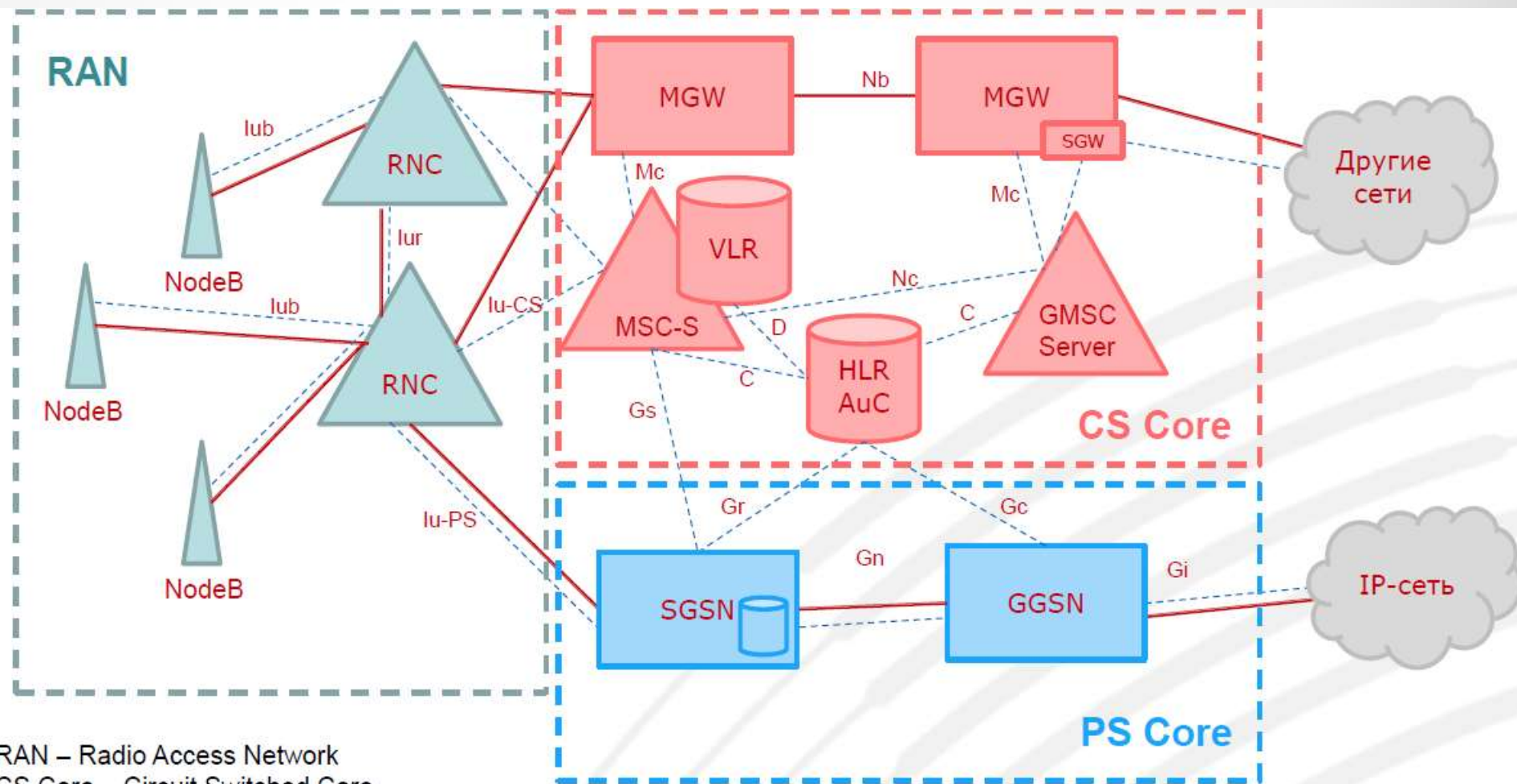
AuC – Authentication Center
HLR – Home Location Register
GMSC – Gateway MSC
SGSN – Serving GPRS Support Node
GGSN – Gateway GPRS Support Node
OSS – Operation Support System

BS – Base Station BSC – Base Station Controller
MSC – Mobile Switching Center
VLR – Visited Location Register

Доп. главы компьютерных сетей
чл.-корр. РАН Смелянский Р.Л.



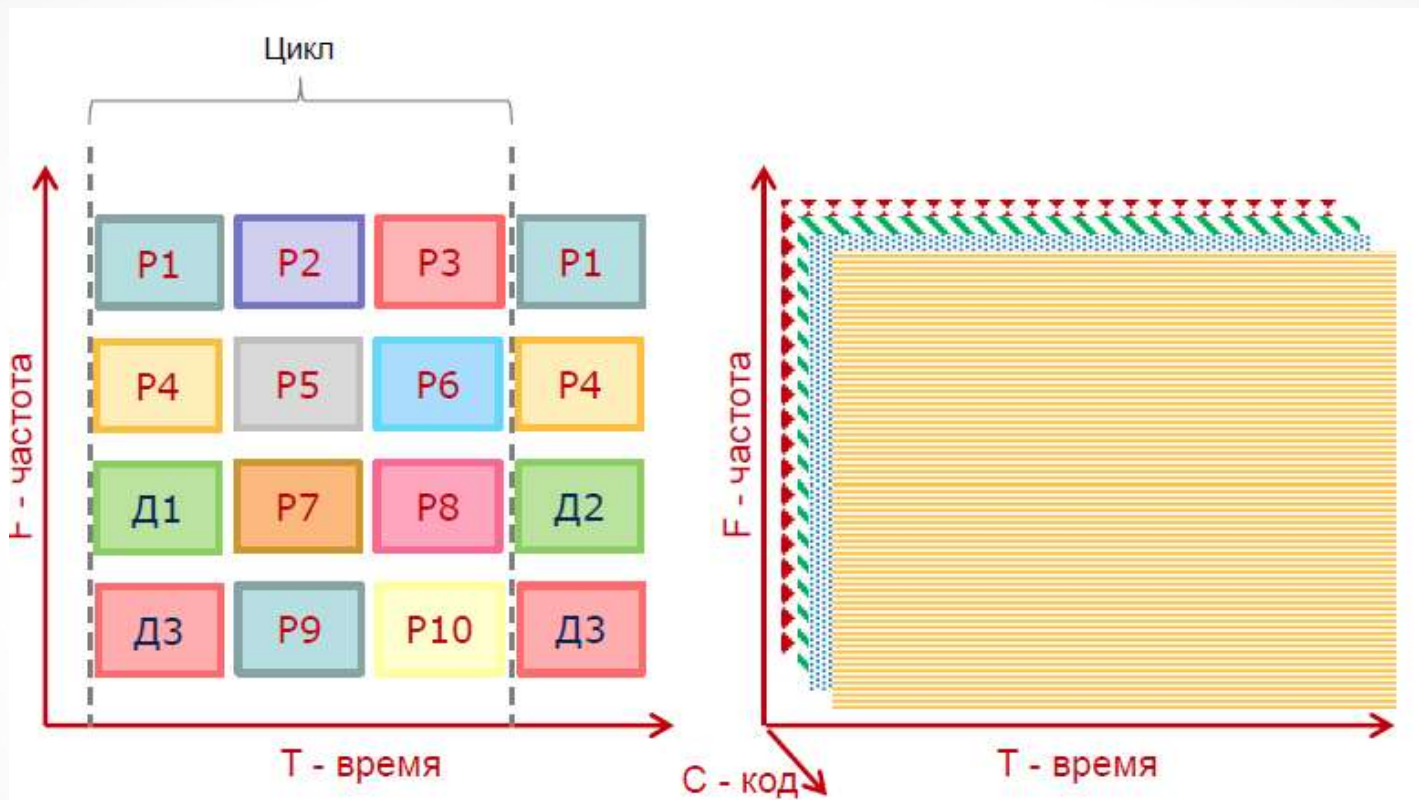
Стандарт 3G (UMTS) – подсистемы



RAN – Radio Access Network
CS Core – Circuit Switched Core
PS Core – Packet Switched Core



Стандарт UMTS – методы модуляции



TDMA Time Division Multiple Access

CDMA Code Division Multiple Access

Разделение радио каналов за счёт ортогональных кодов (функции Уолша), - ресурс, не имеющий ограничения.



Функции Уолша

Функции Уолша равны произведениям функций Радемахера $r_j(\theta)$

$$wal_0(\theta) \equiv 1; \quad wal_i(\theta) = \prod_{j=1}^n [r_j(\theta)]^{i_j}, \text{ где}$$

$$r_0(\theta) \equiv 1, \quad r_i(\theta) = \text{sign}[\sin(2^i \pi \theta)], \quad i = 1, 2, \dots$$

Здесь $\theta = t/T$, где T – период функций, и $0 \leq \theta < 1$. Символом sign обозначается сигнум-функция

$$\text{sign} x = \begin{cases} 1 & \text{при } x > 0, \\ -1 & \text{при } x < 0. \end{cases}$$

Код Грея для двоичного числа i

$$i = a_n a_{n-1} \dots a_2 a_1,$$

то в коде Грея это число записывается в виде

$$i = b_n b_{n-1} \dots b_2 b_1,$$

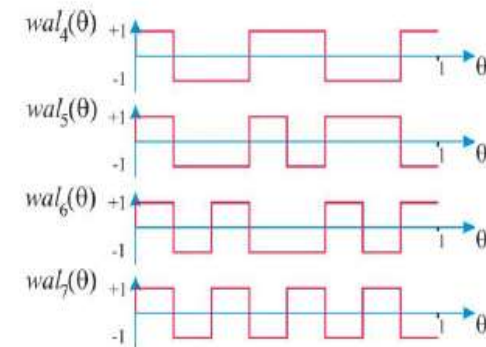
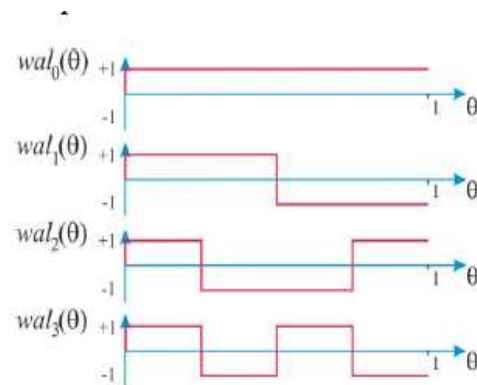
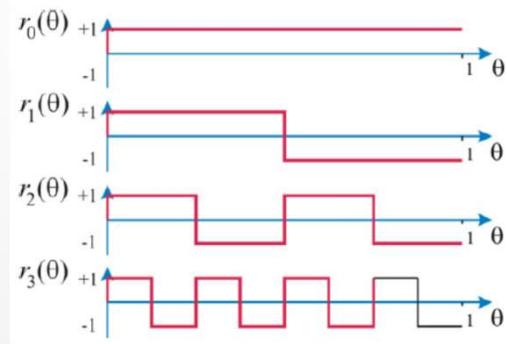
где $b_1 = a_1 \oplus a_2, b_2 = a_2 \oplus a_3, \dots, b_{n-1} = a_{n-1} \oplus a_n, b_n = a_n$;

\oplus – знак суммирования по модулю 2 ($0 \oplus 0=0; 0 \oplus 1=1; 1 \oplus 0=1; 1 \oplus 1=0$).



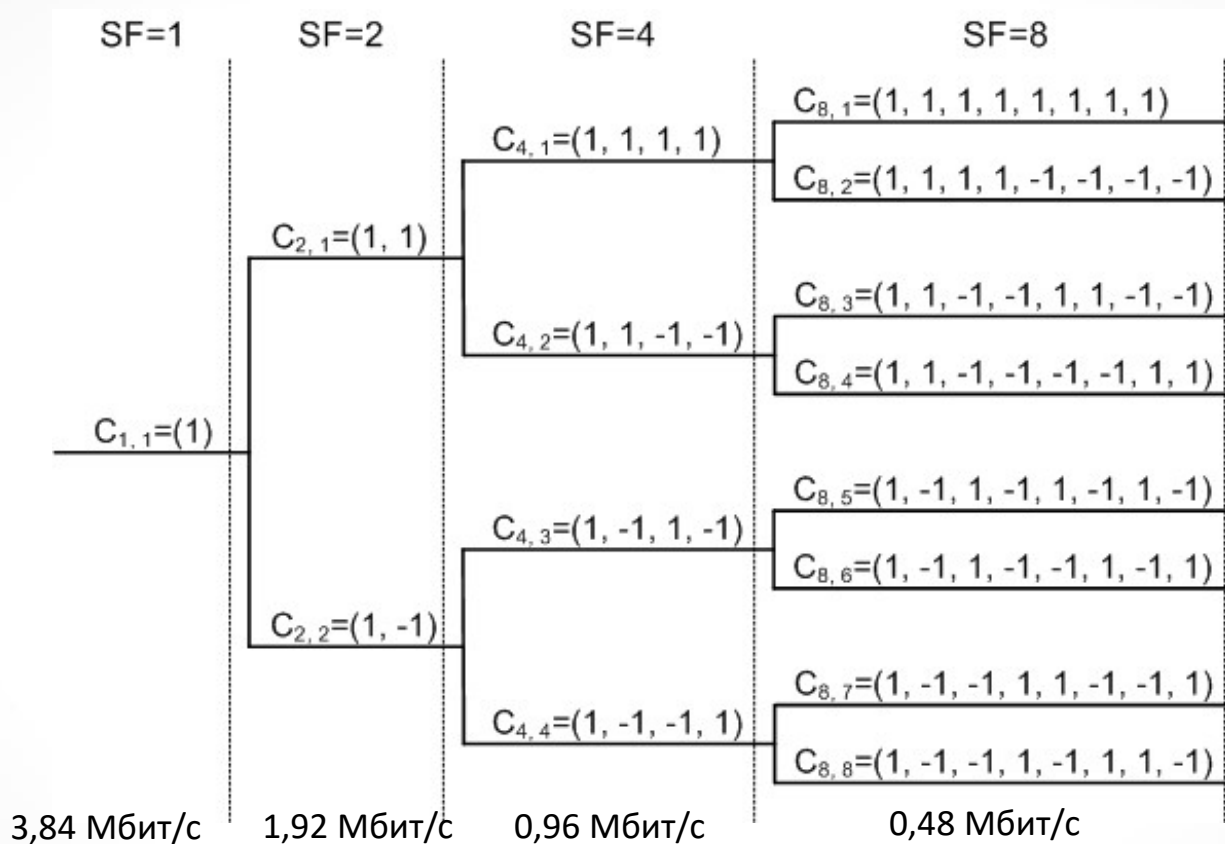
Разложение по функциям Уолша

Номер i функции Уолша	Представление числа i в двоичном коде	Представление числа i в коде Грея	Формула образования функции Уолша $wal_i(\theta)$
0	000	000	$wal_0(\theta) = 1$
1	001	001	$wal_1(\theta) = r_1(\theta)$
2	010	011	$wal_2(\theta) = r_1(\theta)r_2(\theta)$
3	011	010	$wal_3(\theta) = r_2(\theta)$
4	100	110	$wal_4(\theta) = r_2(\theta)r_3(\theta)$
5	101	111	$wal_5(\theta) = r_1(\theta)r_2(\theta)r_3(\theta)$
6	110	101	$wal_6(\theta) = r_1(\theta)r_3(\theta)$
7	111	100	$wal_7(\theta) = r_3(\theta)$





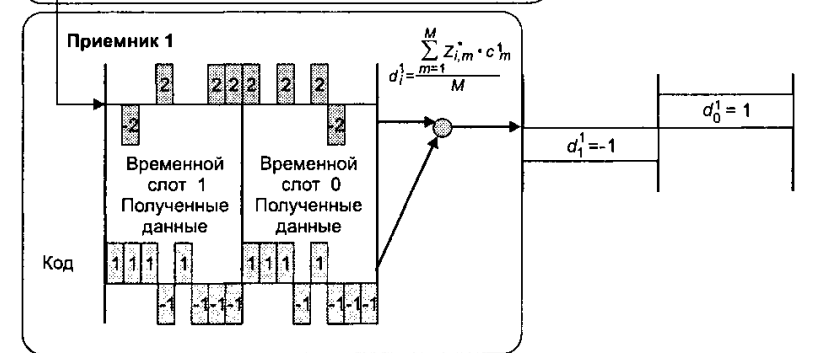
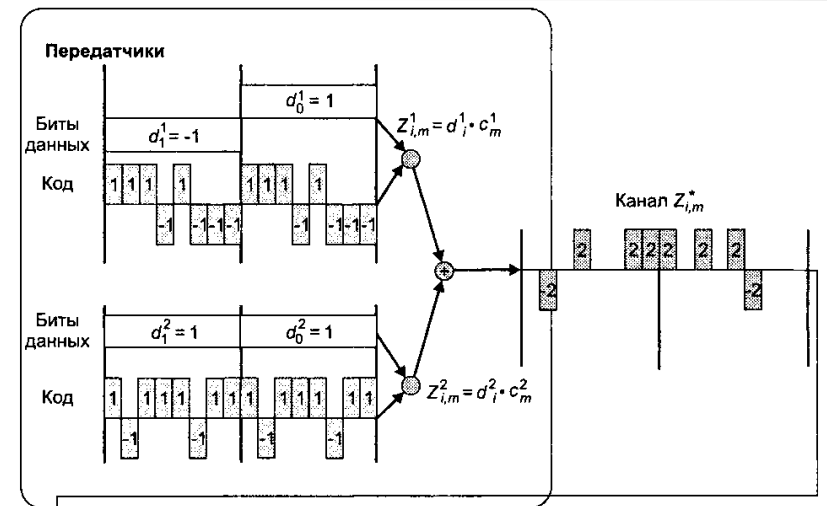
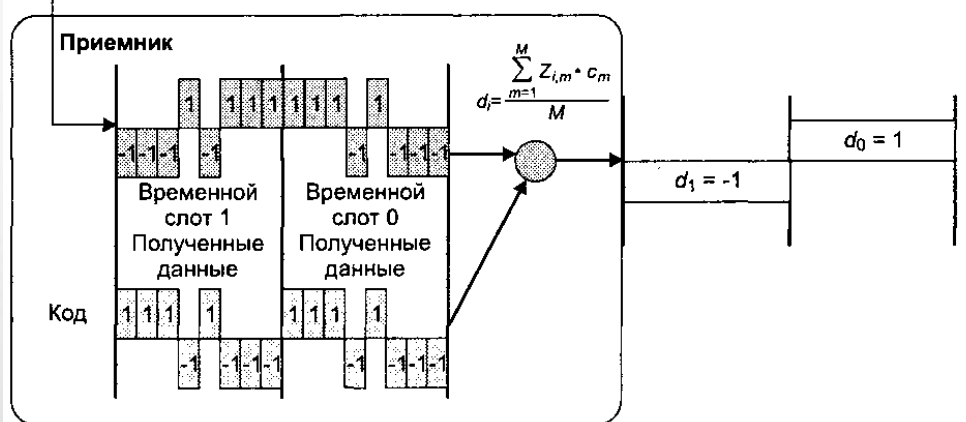
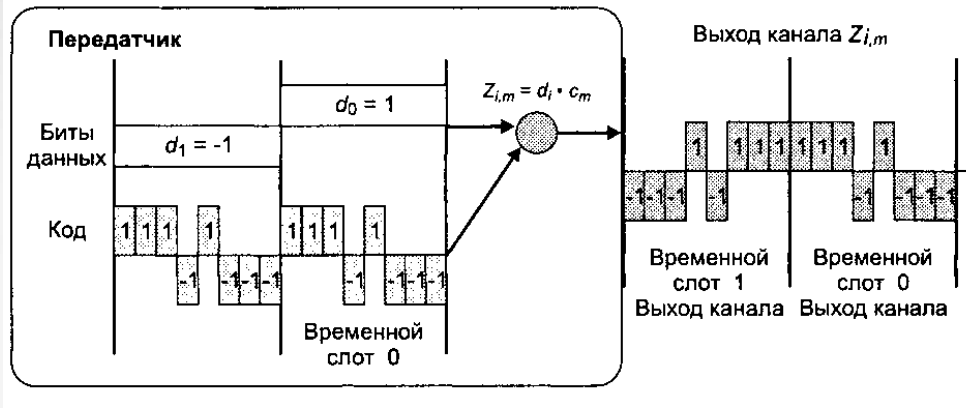
Формирование ортогональных кодов (OVSF)



Ортогональные коды OVSF (Orthogonal variable spreading factor) представляют собой коды Уолша

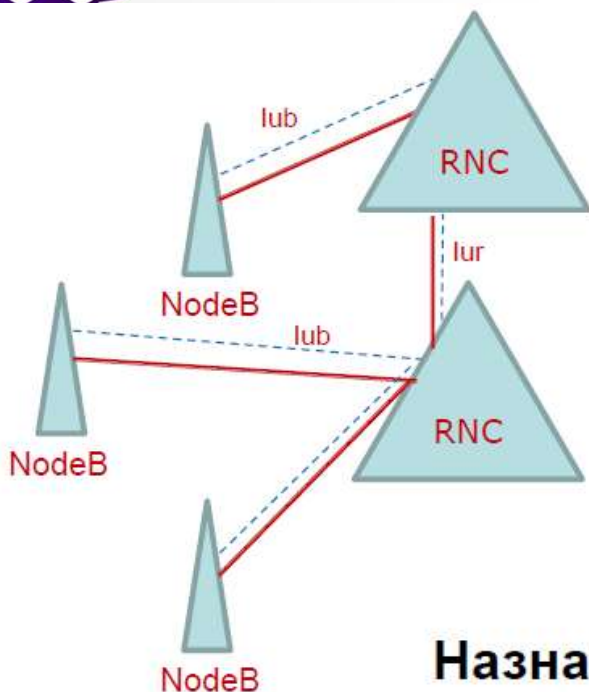


CDMA – доступ с разделением кодов





Стандарт UMTS – Подсистема Радио Доступа



NodeB – 3G Base Station
RNC – Radio Network Controller

— Голос / данные
- - - - - Сигнализация

Назначение RNC:

- Управление радиоканалами.
- Управление транспортными каналами между NodeB и RNC.
- Управление транспортными каналами между RNC и Core Network.
- Управление безразрывной передачей соединения между NodeB во время разговора или интернет-сессии.

Назначение NodeB:

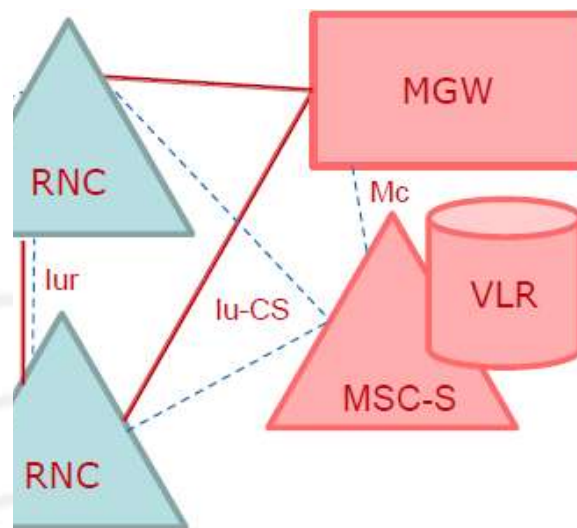
- Обеспечение радио покрытия.
- Создание соединения между мобильным аппаратом и системой мобильной связи.



Стандарт UMTS – Распределенный Коммутатор

Назначение VLR:

- Хранение информации об активных абонентах, находящихся в зоне действия своего MSC-S (местоположение, временные идентификаторы, разрешенные услуги и пр.)
- Участие в аутентификации абонентов.



Назначение MSC-S:

- Обработка сигнализации, установление соединений.
- Управление медиа-шлюзом (MGW).
- Управление хендоверами между двумя RNC, между коммутаторами, между разными системами доступа.
- Преобразование управляющей информации (сигнализации) между двумя телекоммуникационными системами.

Назначение MGW:

- Коммутация голосовых каналов под управлением MSC-S.



NodeB	– 3G Base Station
RNC	– Radio Network Controller
MSC-S	– MSC Server
VLR	– Visited Location Register
MGW	– Media GateWay

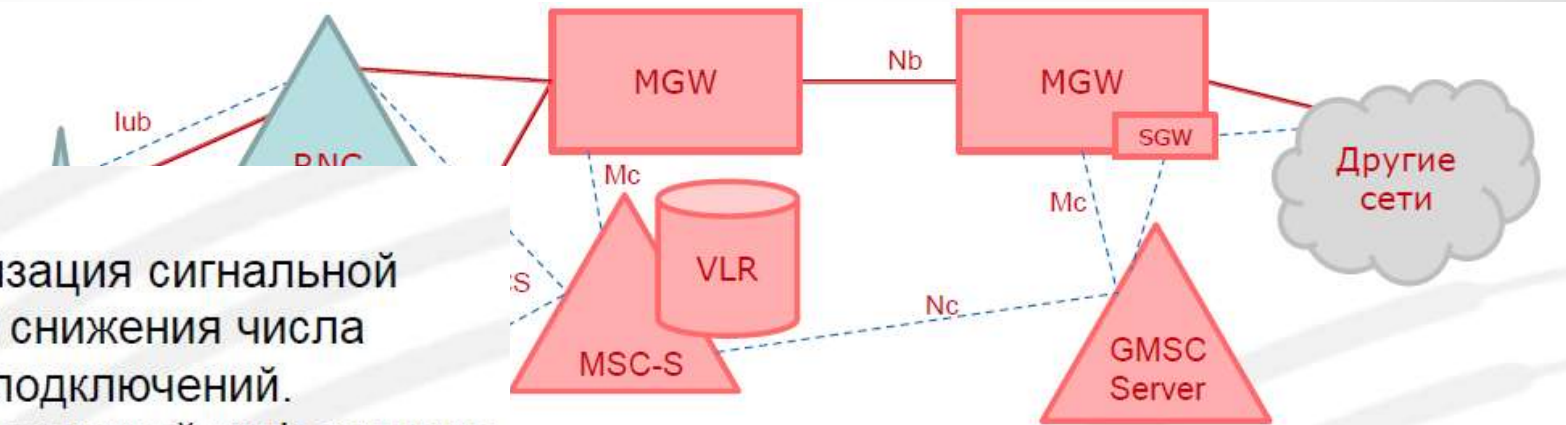
— Голос / данные
 - - - - - Сигнализация



Стандарт UMTS – Распределенный коммутатор

Назначение SGW:

- Прозрачная маршрутизация сигнальной информации, с целью снижения числа внешних физических подключений.
- Преобразование управляющей информации (сигнализации) между двумя телекоммуникационными системами.



NodeB

NodeB – 3G Base Station
RNC – Radio Network Controller
MSC-S – MSC Server
VLR – Visited Location Register
MGW – Media GateWay
GMSC – Gateway MSC

SGW – Signaling GateWay

— Голос / данные
- - - - - Сигнализация

Назначение GMSC-Server:

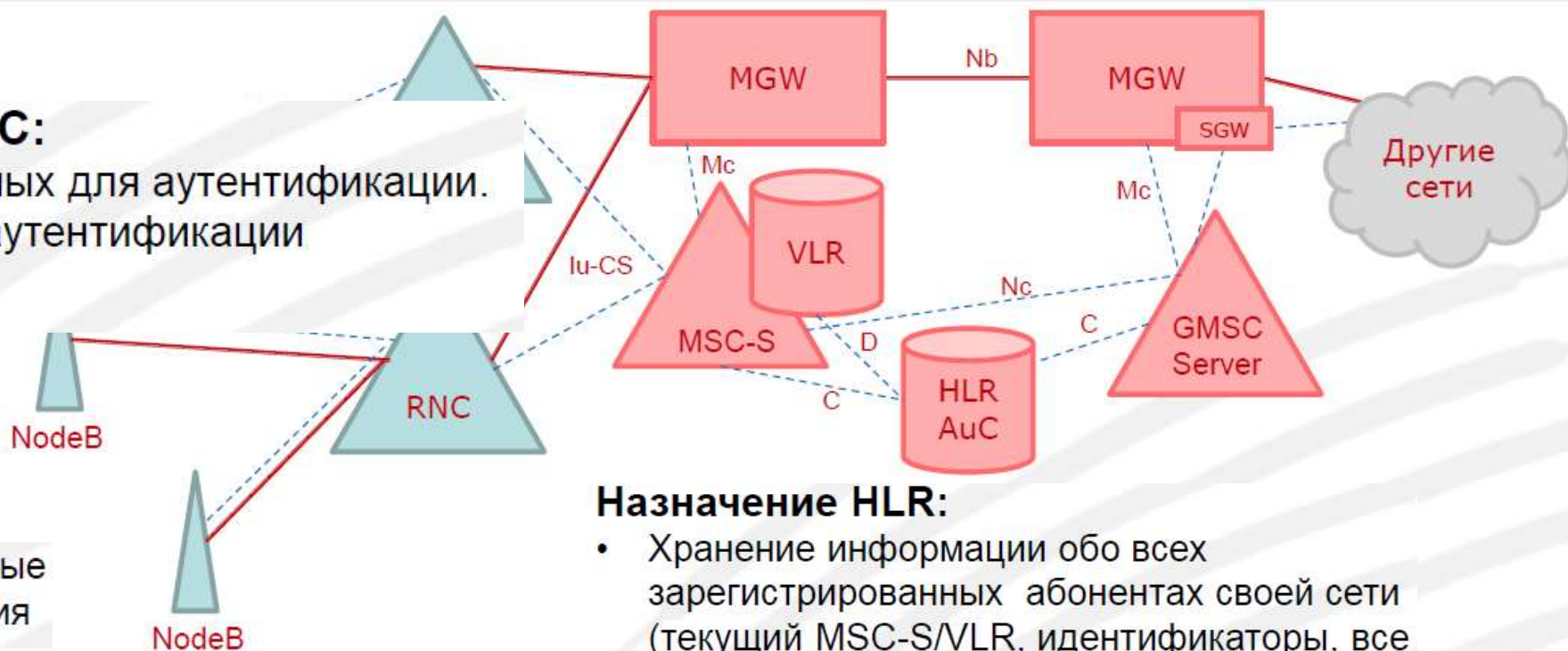
- Получение от HLR информации о текущем MSC-S/VLR абонента при входящем вызове.
- Маршрутизация входящих вызовов на соответствующий MSC-Server.
- Управление медиа-шлюзом (MGW).



Стандарт UMTS – Регистр Домашних Абонентов и Центр Аутентификации

Назначение AuC:

- Хранение данных для аутентификации.
- Обеспечение аутентификации абонентов.

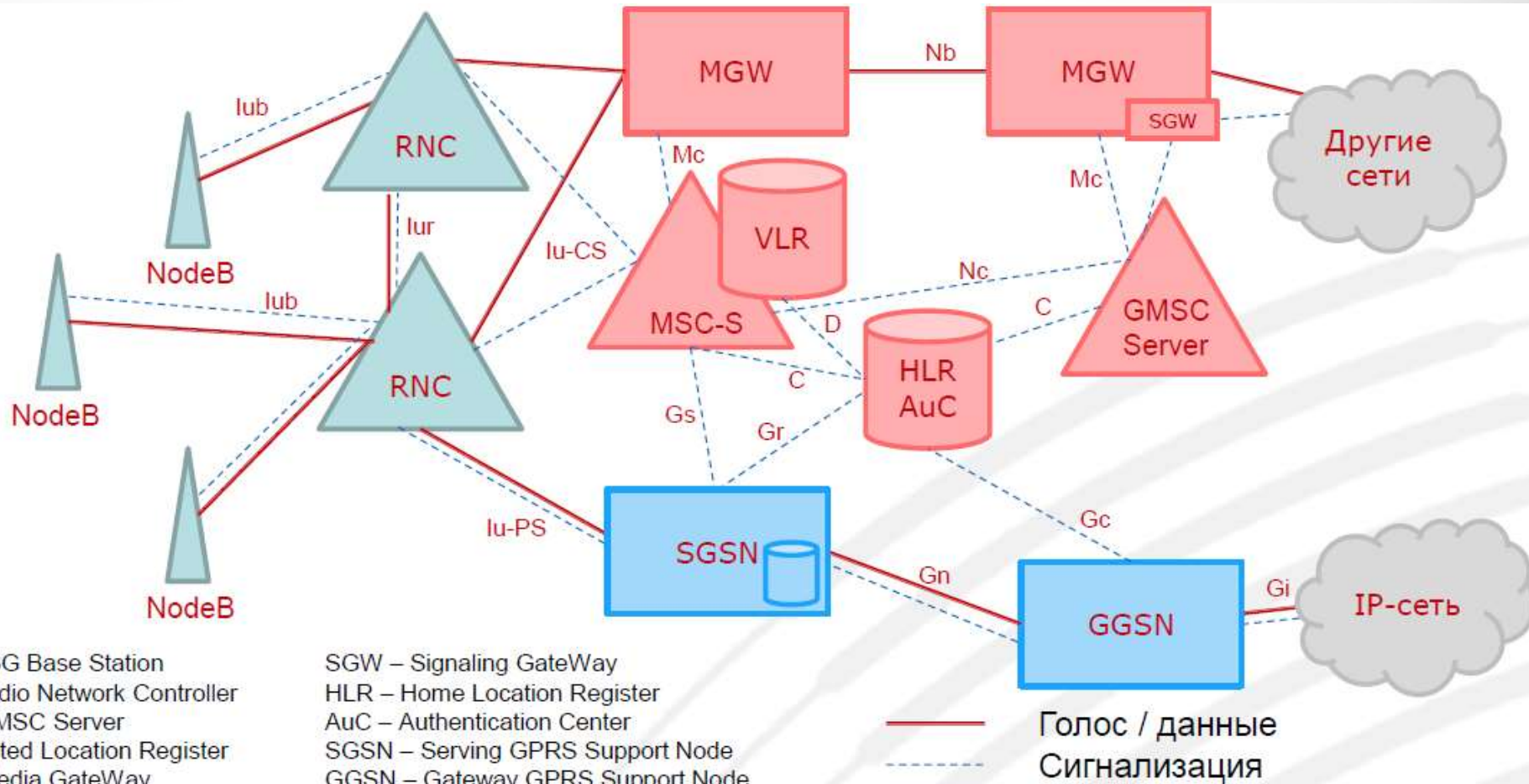


Назначение HLR:

- Хранение информации обо всех зарегистрированных абонентах своей сети (текущий MSC-S/VLR, идентификаторы, все разрешенные услуги и пр.)
- Обеспечение вызывающей стороны информацией о текущем MSC-S/VLR вызываемого абонента.
- Принимает решение о разрешении или запрете услуги для абонента.



Стандарт UMTS – Узлы Поддержки Сервиса Пакетной Коммутации



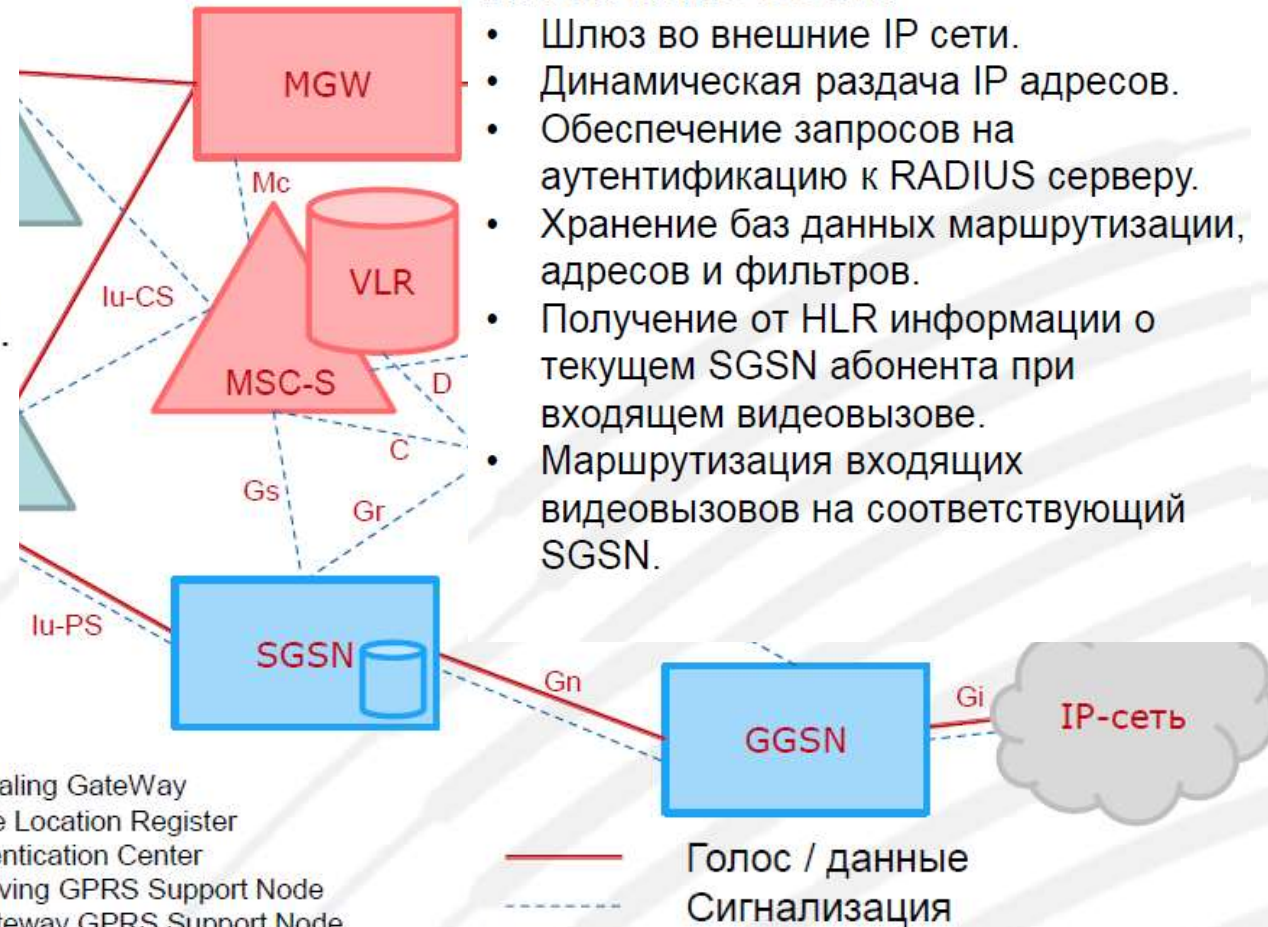
NodeB – 3G Base Station
 RNC – Radio Network Controller
 MSC-S – MSC Server
 VLR – Visited Location Register
 MGW – Media GateWay
 GMSC – Gateway MSC

SGW – Signaling GateWay
 HLR – Home Location Register
 AuC – Authentication Center
 SGSN – Serving GPRS Support Node
 GGSN – Gateway GPRS Support Node

Стандарт UMTS – Узлы Поддержки Сервисной Коммутации

Назначение SGSN:

- Маршрутизация пакетов между подсистемой базовых станций и внешними сетями.
- Маршрутизация видеовызовов.
- Обеспечение мобильности абонентов во время пакетных сервисов (интернет, ММС, видеовызовы).
- Участие в аутентификации абонентов.
- Регистрация абонентов для обеспечения пакетных сервисов.
- Обработка первичной биллинговой информации и передача её в биллинговый центр.



Назначение GGSN:

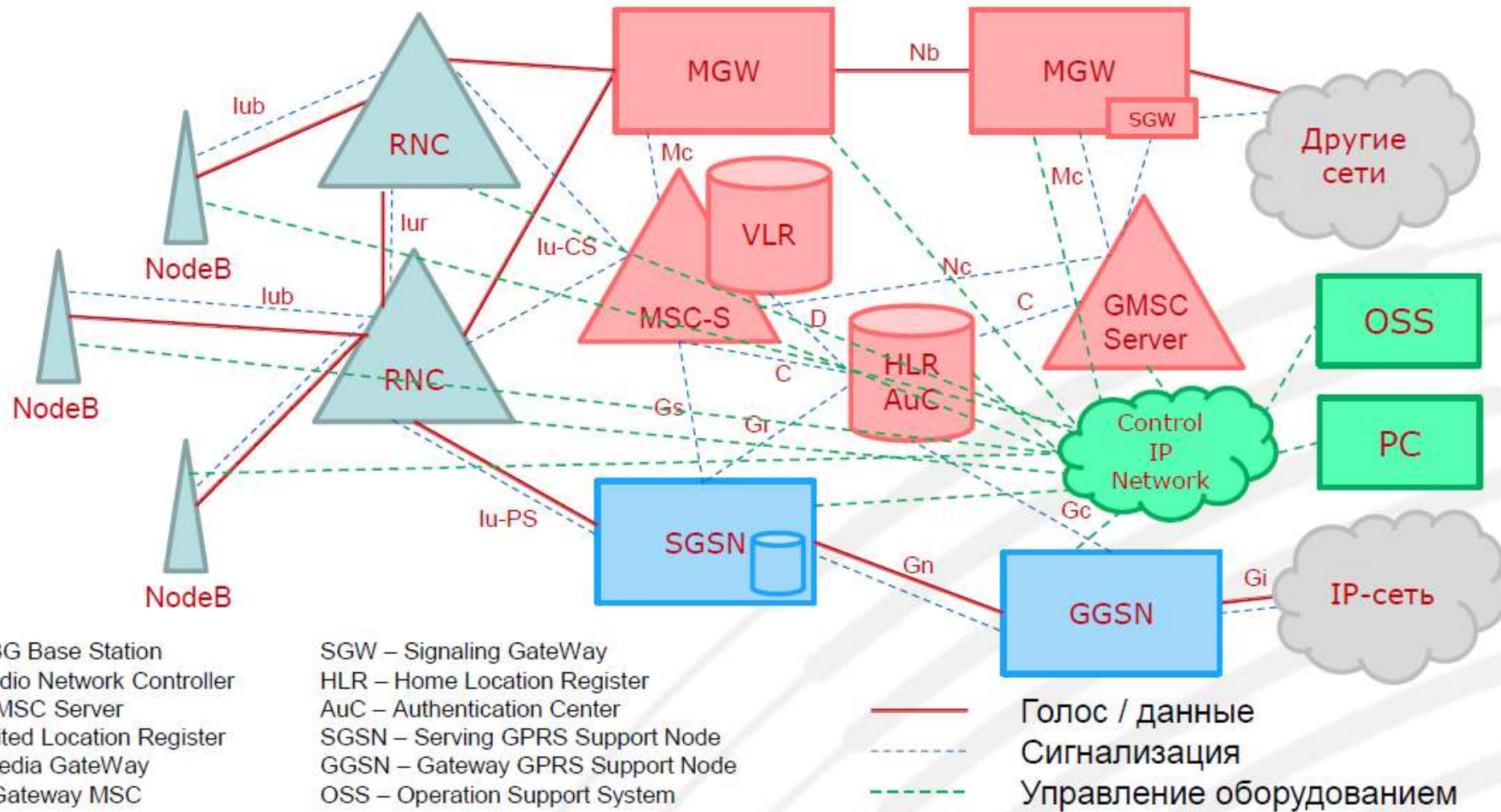
- Шлюз во внешние IP сети.
- Динамическая раздача IP адресов.
- Обеспечение запросов на аутентификацию к RADIUS серверу.
- Хранение баз данных маршрутизации, адресов и фильтров.
- Получение от HLR информации о текущем SGSN абонента при входящем видеовызове.
- Маршрутизация входящих видеовызовов на соответствующий SGSN.

NodeB – 3G Base Station
RNC – Radio Network Controller
MSC-S – MSC Server
VLR – Visited Location Register
MGW – Media GateWay
GMSC – Gateway MSC

SGW – Signaling GateWay
HLR – Home Location Register
AuC – Authentication Center
SGSN – Serving GPRS Support Node
GGSN – Gateway GPRS Support Node



Стандарт UMTS – Подсистема Поддержки Управления

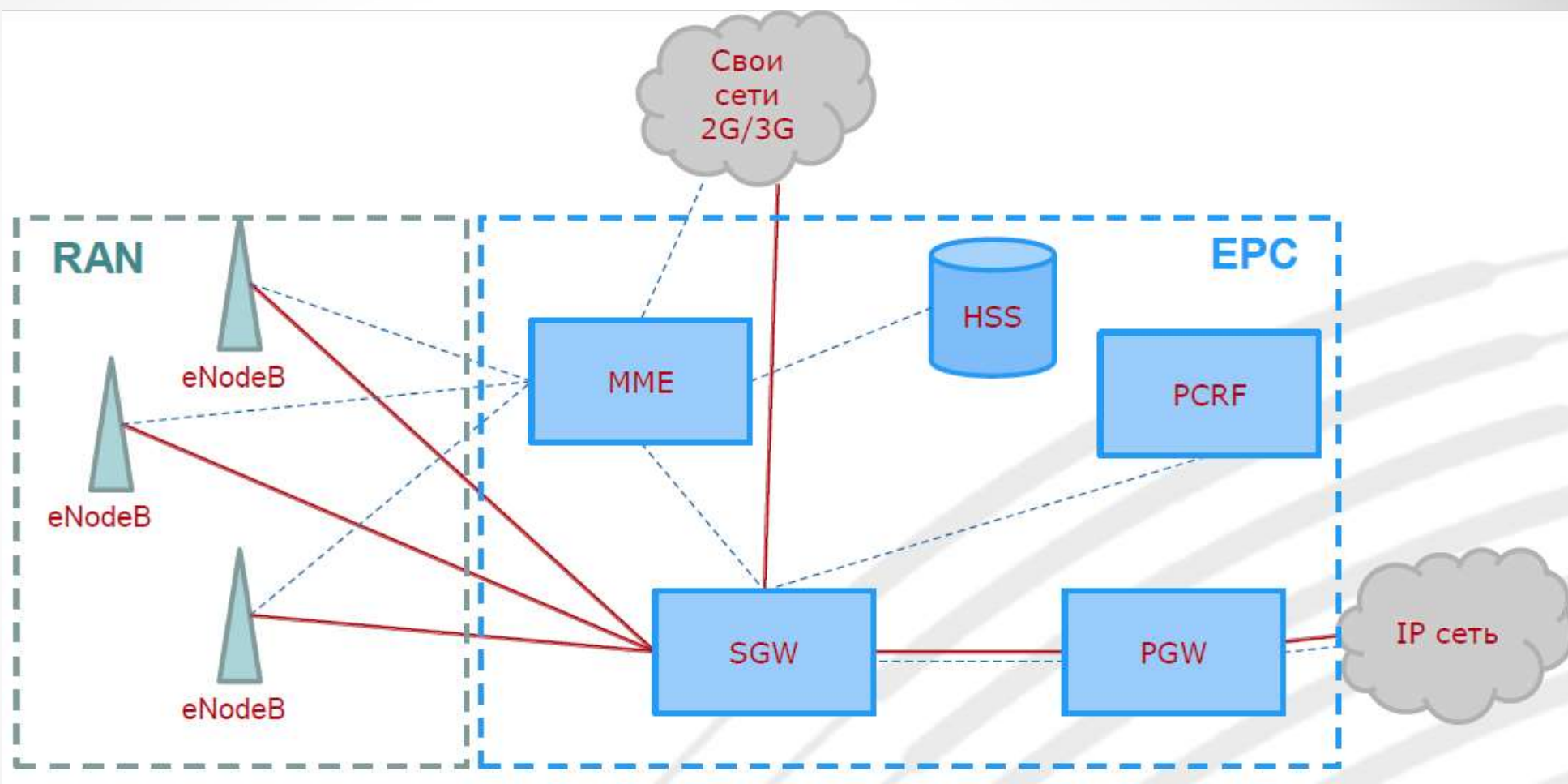


NodeB – 3G Base Station
 RNC – Radio Network Controller
 MSC-S – MSC Server
 VLR – Visited Location Register
 MGW – Media GateWay
 GMSC – Gateway MSC

SGW – Signaling GateWay
 HLR – Home Location Register
 AuC – Authentication Center
 SGSN – Serving GPRS Support Node
 GGSN – Gateway GPRS Support Node
 OSS – Operation Support System



Стандарт LTE – основные подсистемы



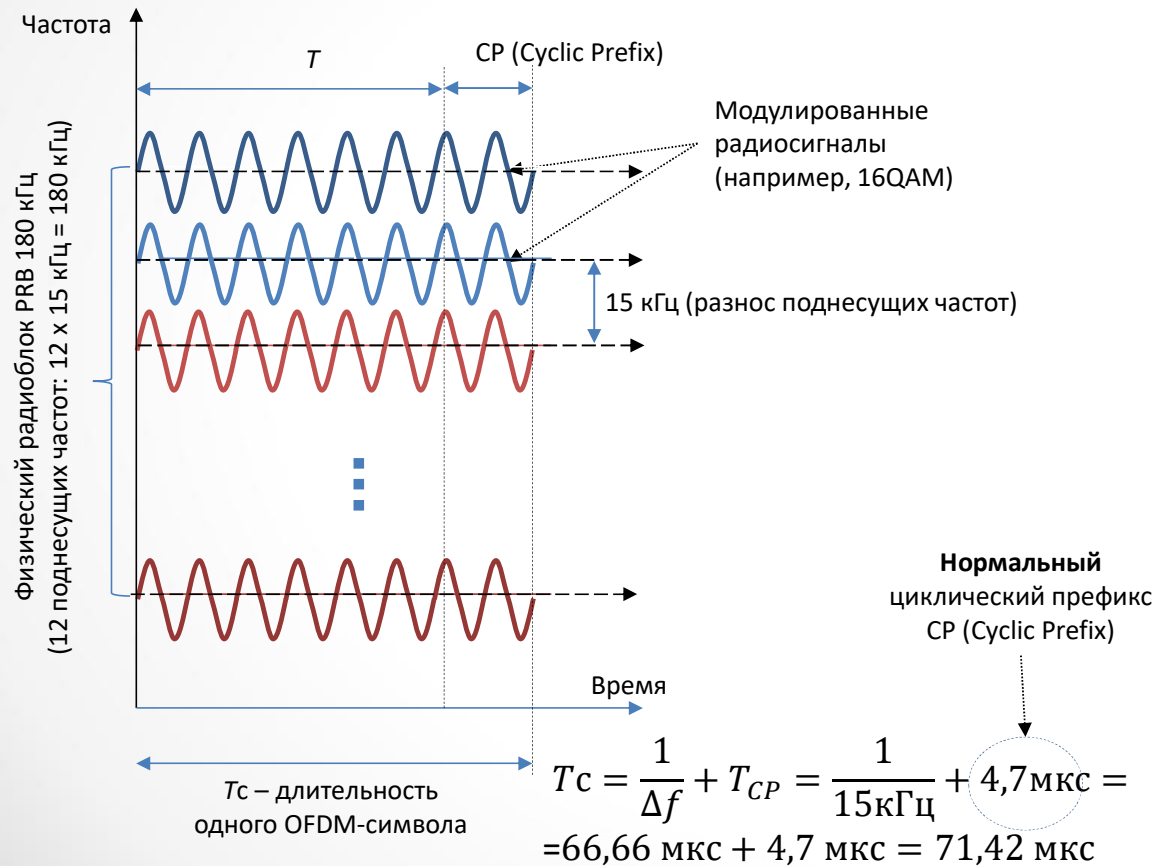
RAN – Radio Access Network
EPC – Evolved Packet Core

Все элементы взаимодействуют через IP сети.



Особенности радиointерфейса LTE. Принцип ортогональных поднесущих в радиосигнале

Групповой радиосигнал в широкополосном канале LTE – совокупность отдельно модулированных радиосигналов на ортогональных поднесущих частотах, распределенных.



Разнос поднесущих частот

$$\Delta f = \frac{1}{T}$$

длительность полезного OFDM-символа

Параметры физического радиоблока PRB (Physical Radio Block)

Тип циклического префикса	Количество поднесущих частот в PRB	Количество OFDM-символов в PRB
Нормальный CP	12	7
Расширенный CP	12	6

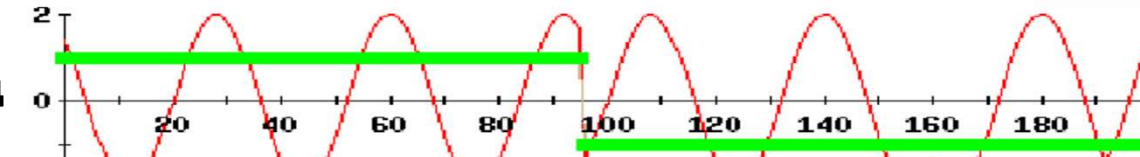
71,42 мкс x 7
= 0,5 мс – длительность одного физического радиоблока PRB



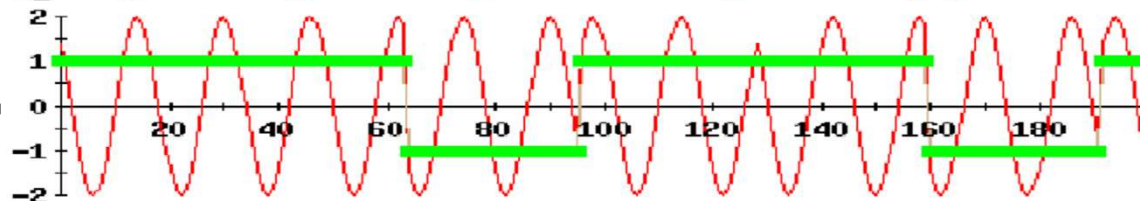
OFDM - пример

Первые несколько бит 1, 1, -1, -1, 1, 1, 1, -1, 1, -1, -1, -1, -1, 1, -1, -1, -1, 1, ...

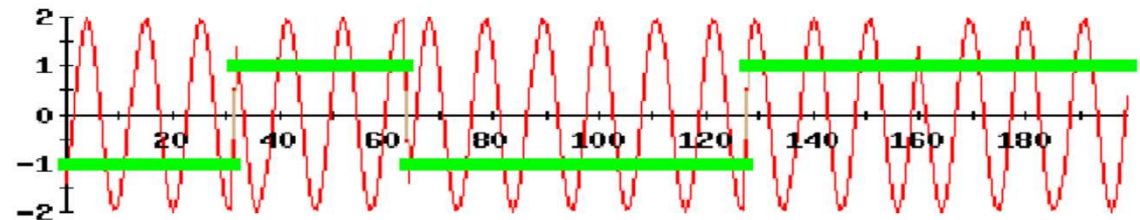
1-я поднесущая 1Гц



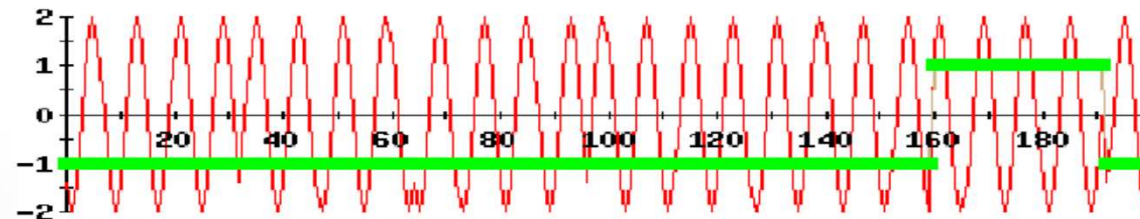
2-я поднесущая 2Гц



3-я поднесущая 3Гц



4-я поднесущая 4Гц



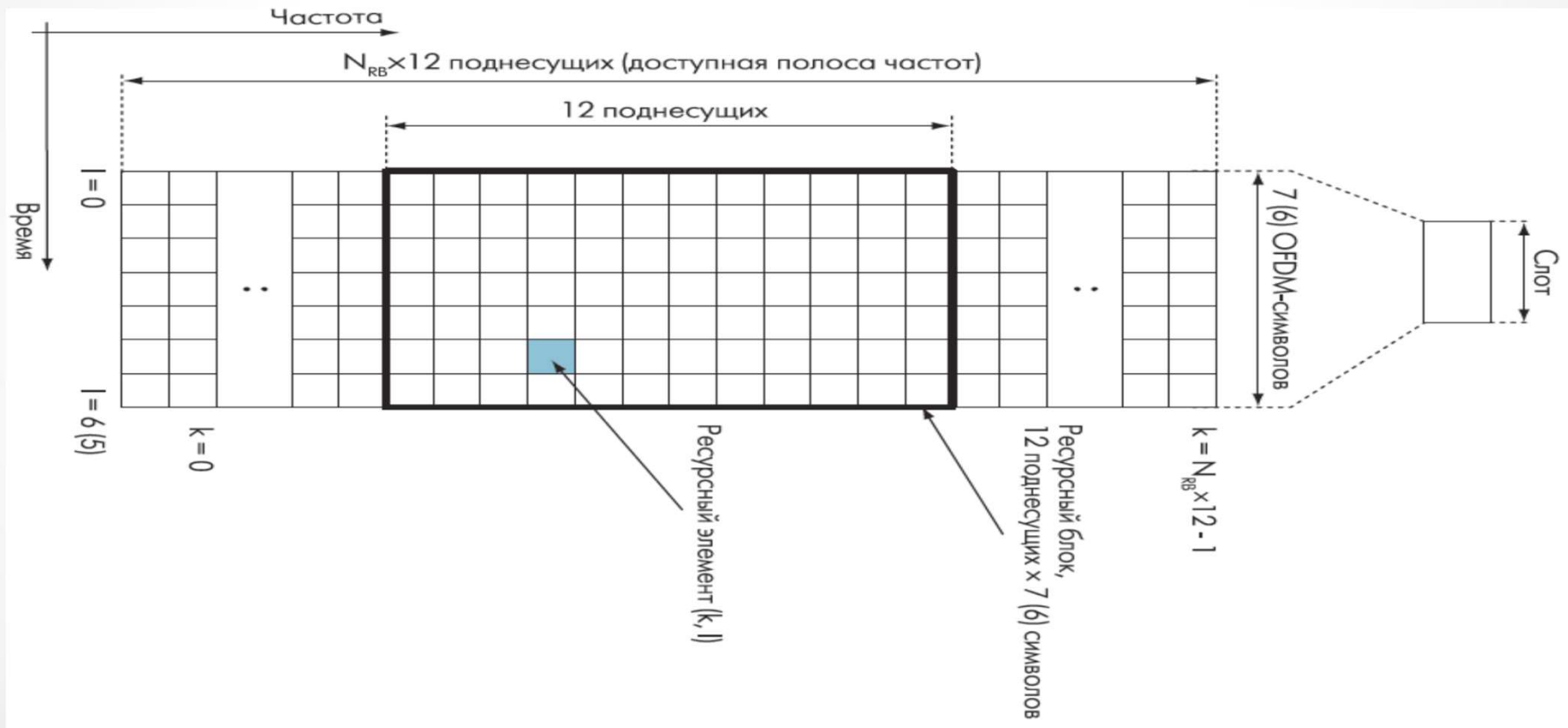
c1	c2	c3	c4
1	1	-1	-1
1	1	1	-1
1	-1	-1	-1
-1	1	-1	-1
-1	1	1	-1
-1	-1	1	1



Стандарт LTE - Ресурсная сетка

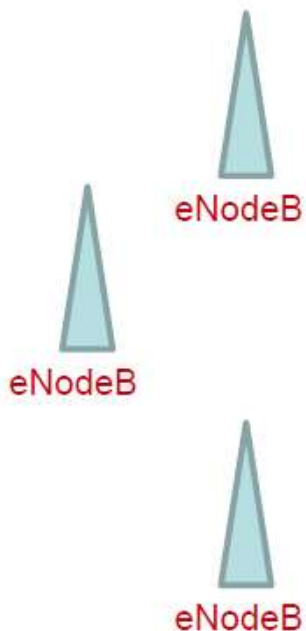
(шаг поднесущих $\Delta f = 15$ кГц)

длительности OFDM-символа 66,7 мкс

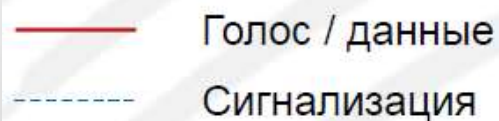




Стандарт LTE – Базовая станция eNodeB



eNodeB – Evolved NodeB



Назначение eNodeB:

- Обеспечение радио покрытия.
- Создание соединения между мобильным аппаратом и системой мобильной связи.
- Управление радиоканалами.
- Управление транспортными каналами между eNodeB и Core.
- Управление безразрывной передачей соединения между eNodeB во время разговора или интернет-сессии.

Все элементы взаимодействуют через IP сети.



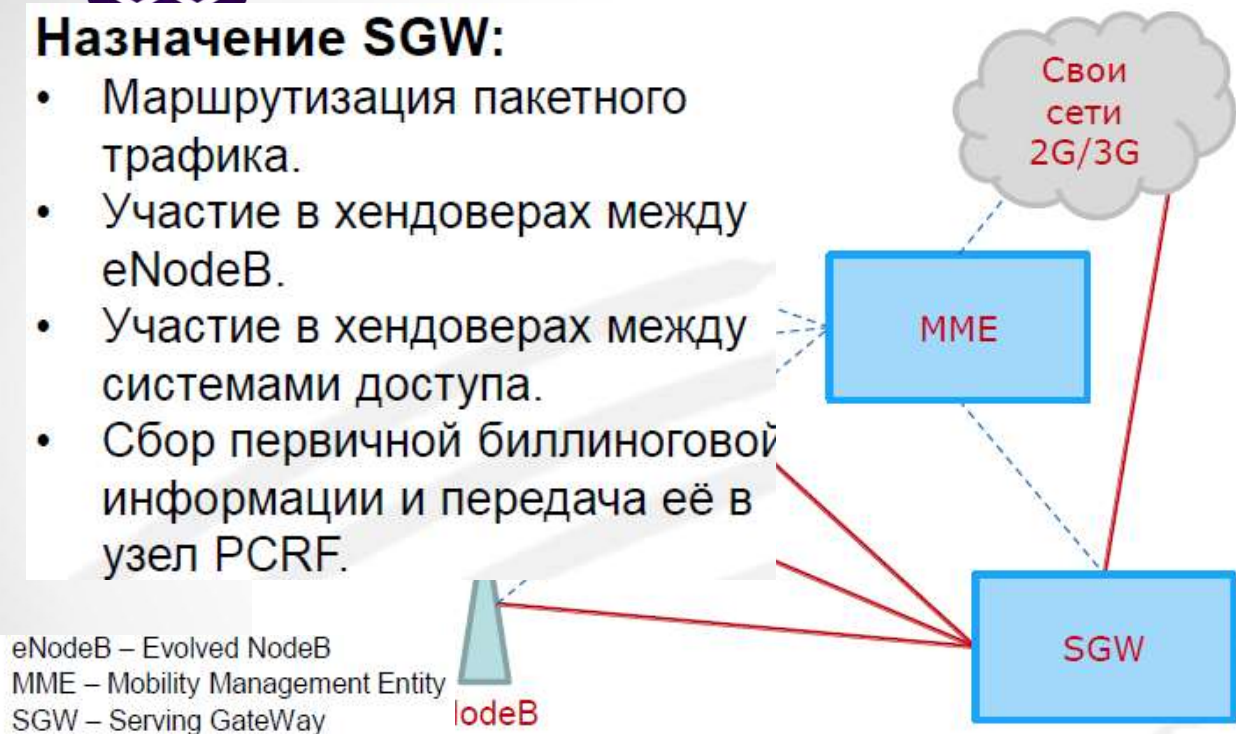
Стандарт LTE – Узлы Маршрутизации (SGW) и Управления Мобильностью (MME)

Назначение SGW:

- Маршрутизация пакетного трафика.
- Участие в хендоверах между eNodeB.
- Участие в хендоверах между системами доступа.
- Сбор первичной биллинговой информации и передача её в узел PCRF.

Назначение MME:

- Управление мобильностью абонентов.
- Обработка сигнализации.
- Управление хендоверами между системами доступа.
- Аутентификация.
- Выбор SGW и PGW.



Все элементы взаимодействуют через IP сети.



Стандарт LTE – Шлюз во внешние сети



Назначение PGW:

- Маршрутизация пакетного трафика во внешние сети.
- Фильтрация пакетов по пользователям.
- Распределение IP адресов по мобильным аппаратам.
- Управление скоростью соединения.

eNodeB – Evolved NodeB
MME – Mobility Management Entity
SGW – Serving GateWay
PGW – Public Data Network GateWay

Все элементы взаимодействуют через IP сети.



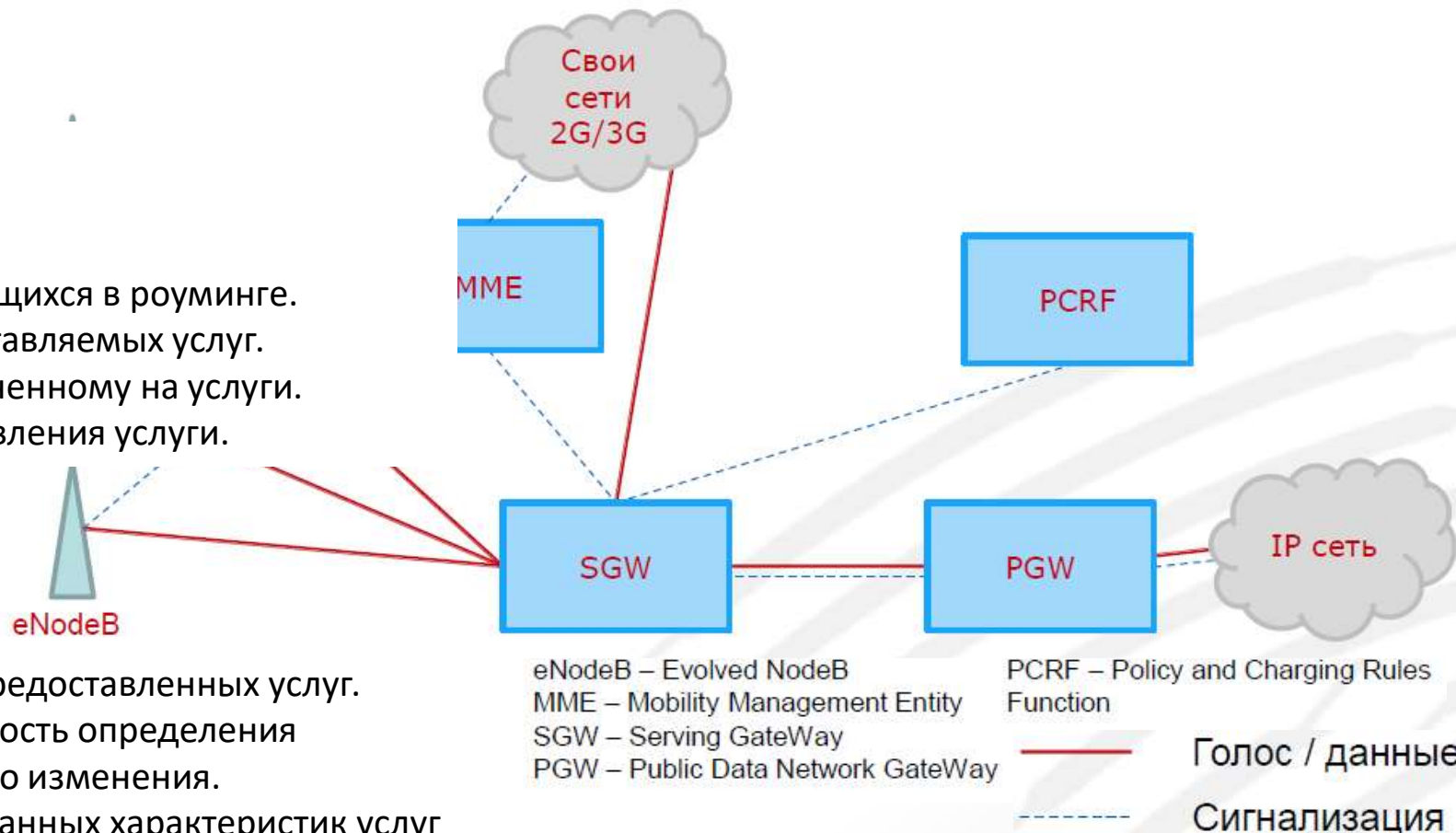
Стандарт LTE – Узел расчета оплаты и Обеспечения политик

Функции расчета оплаты

- Онлайн тарификация.
- Тарификация абонентов, находящихся в роуминге.
- Тарификация по объёму предоставляемых услуг.
- Тарификация по времени, затраченному на услуги.
- Тарификация по факту предоставления услуги.

Функции обеспечения политик

- Фиксация начала и окончания предоставленных услуг.
- Своевременность и безошибочность определения параметров услуг и их возможного изменения.
- Мониторинг и поддержание заданных характеристик услуг (качество сервиса – QoS).



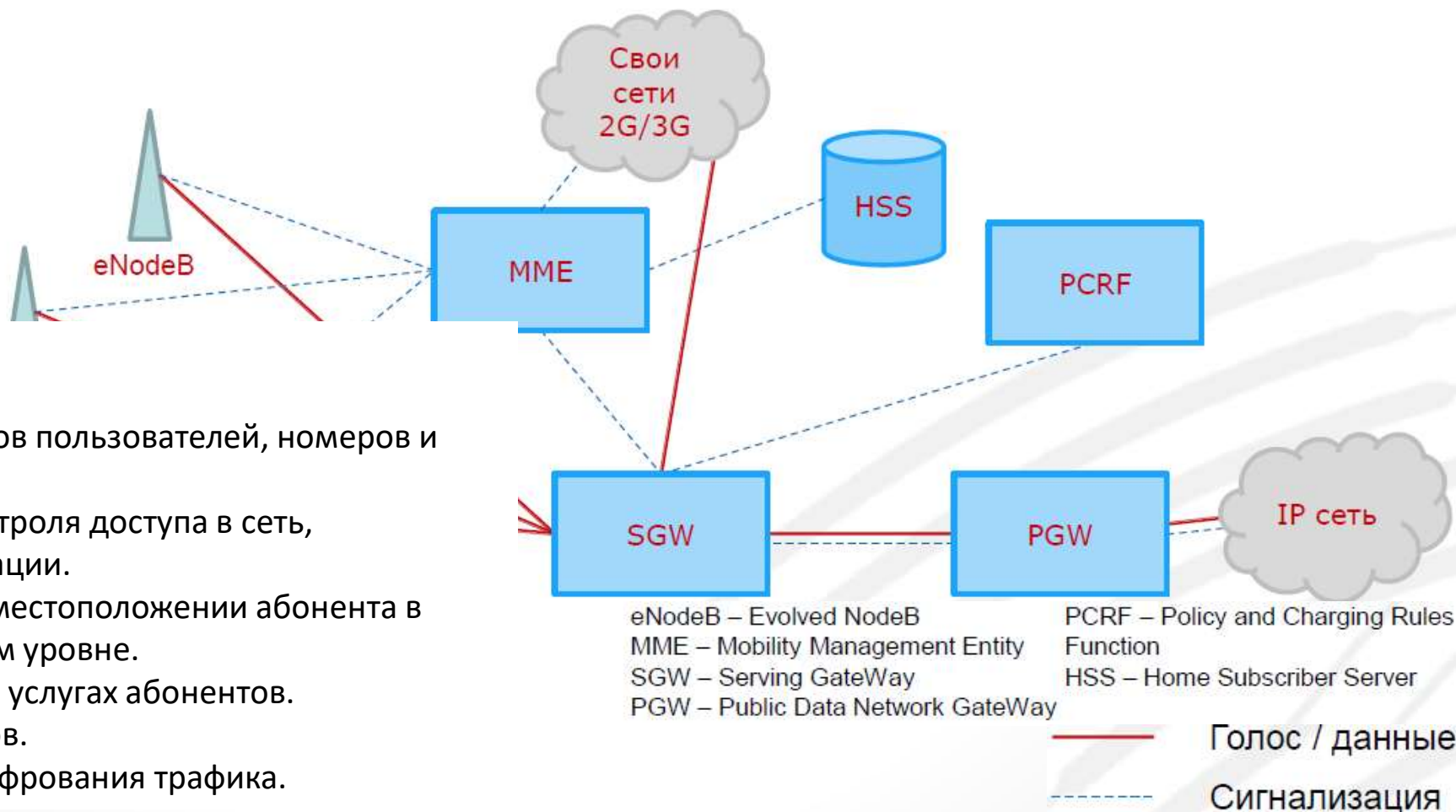
eNodeB – Evolved NodeB
MME – Mobility Management Entity
SGW – Serving GateWay
PGW – Public Data Network GateWay

PCRF – Policy and Charging Rules Function

Все элементы взаимодействуют через IP сети.



Стандарт LTE – Сервер абонентских данных



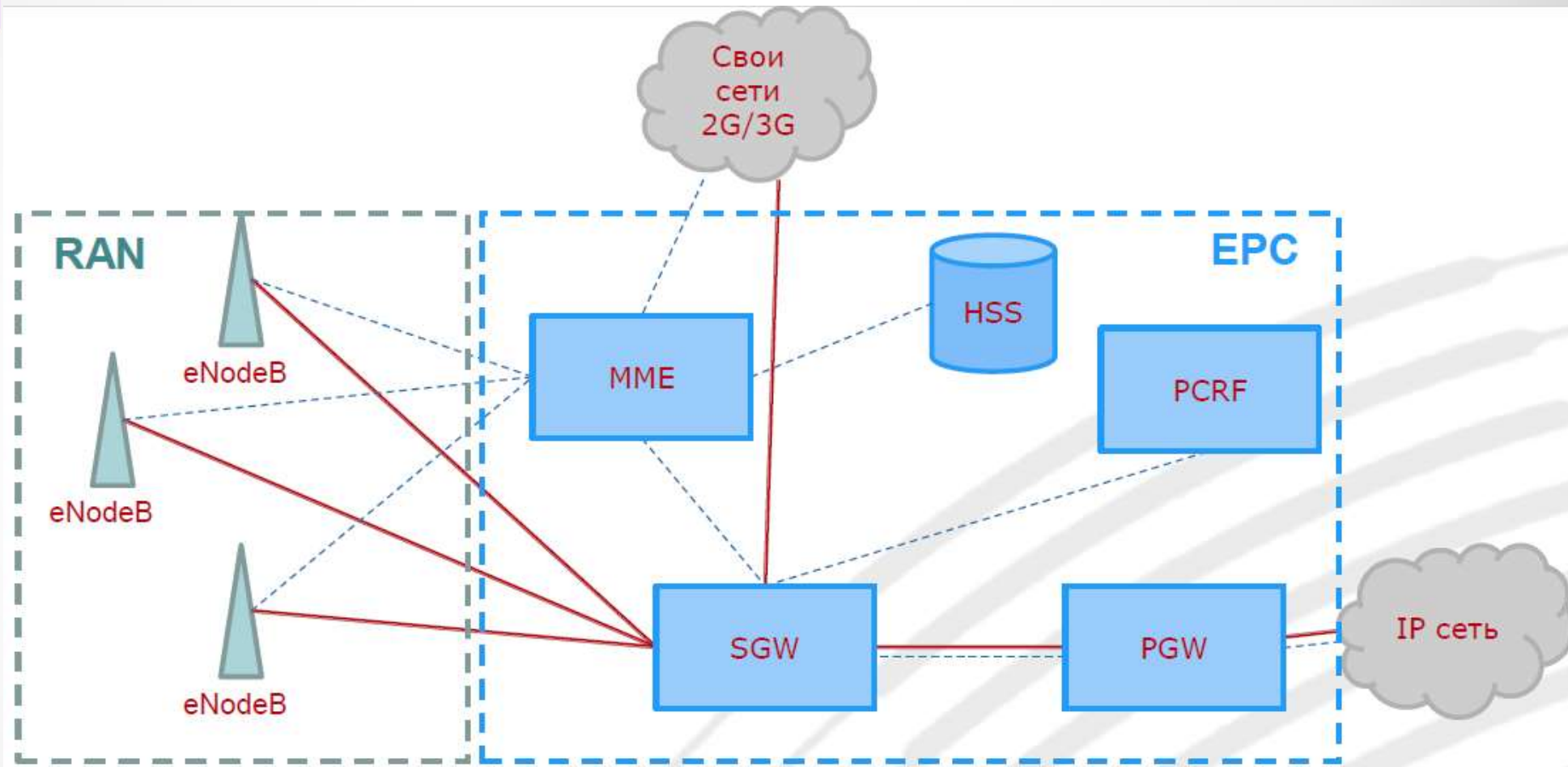
Назначение HSS:

- Хранение идентификаторов пользователей, номеров и адресной информации.
- Хранение данных для контроля доступа в сеть, аутентификации и авторизации.
- Хранение информация о местоположении абонента в своей сети и на межсетевом уровне.
- Хранение информации об услугах абонентов.
- Аутентификация абонентов.
- Генерация данных для шифрования трафика.

Все элементы взаимодействуют через IP сети.



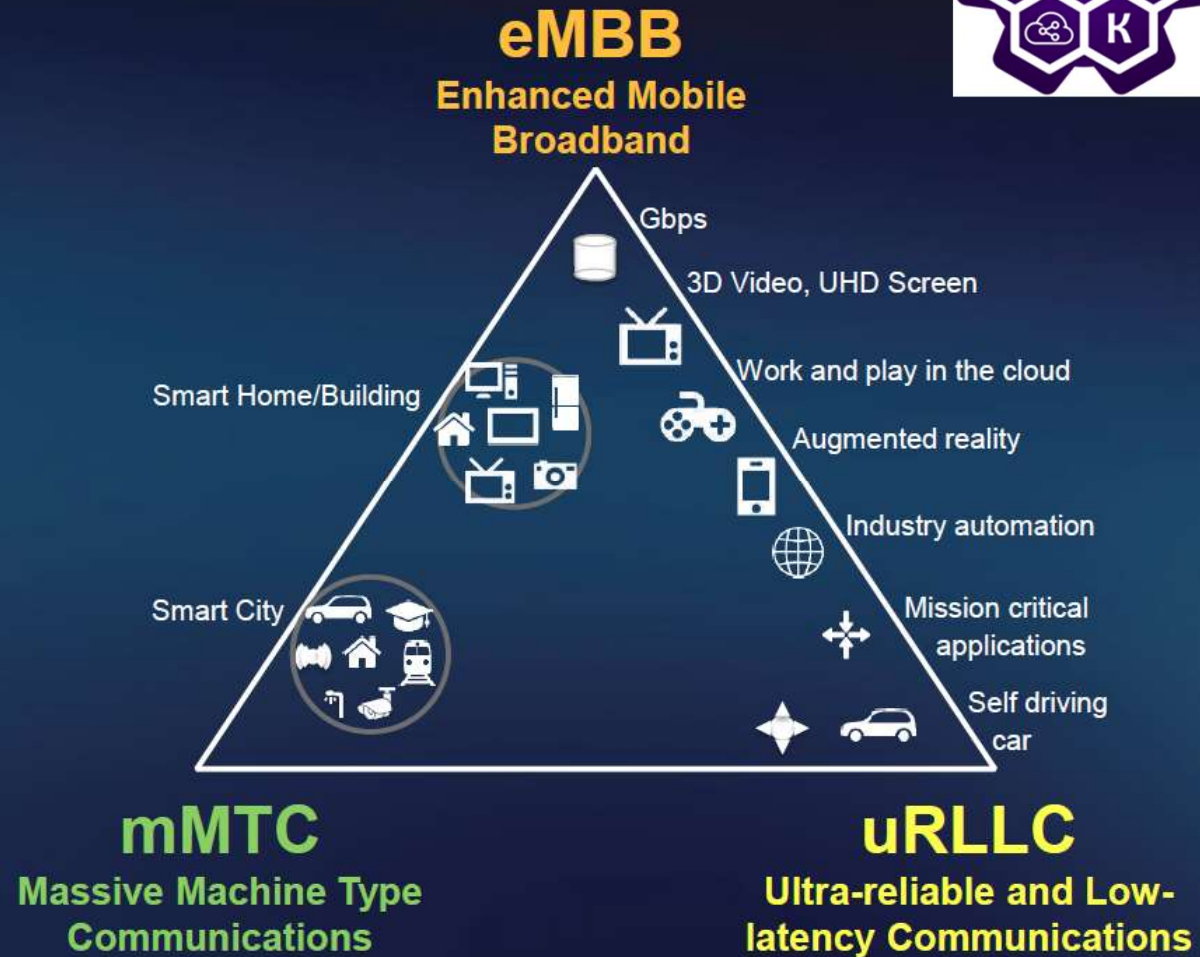
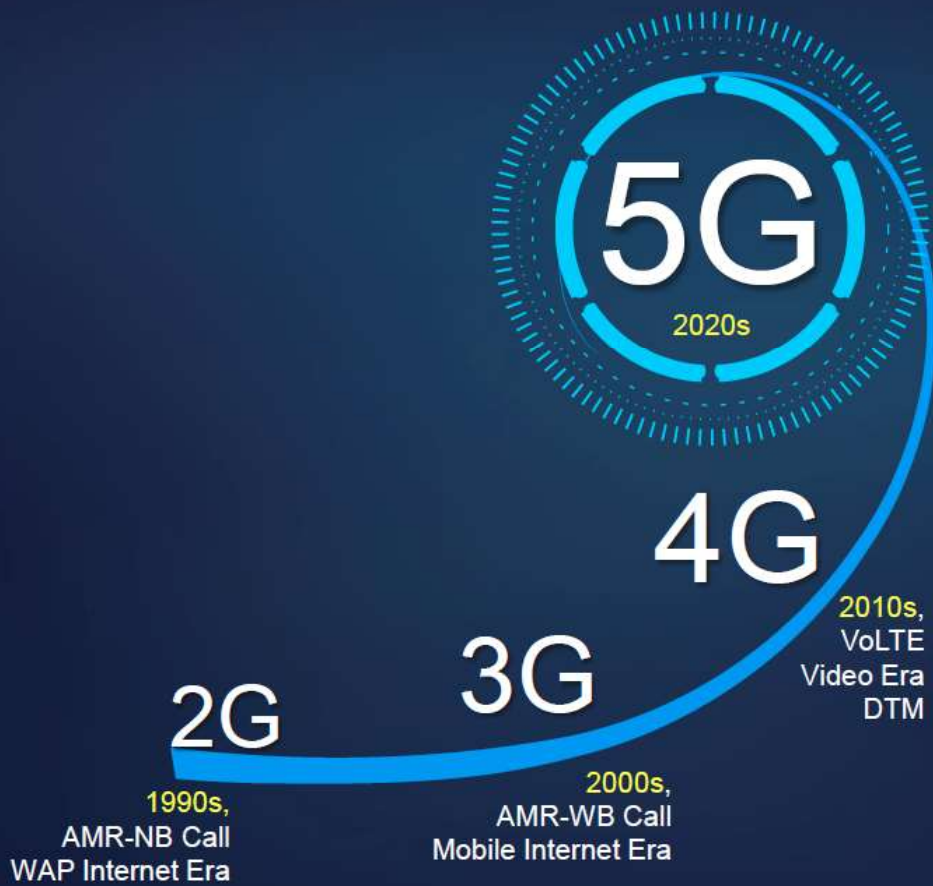
Стандарт LTE – основные подсистемы



RAN – Radio Access Network
EPC – Evolved Packet Core

Все элементы взаимодействуют через IP сети.

What is 5G?



5G @ Redefining Telco B2X Possibilities

5G eMBB, uRLLC, mMTC Services



@B2C



High Bit Rate & Low Latency

@B2B



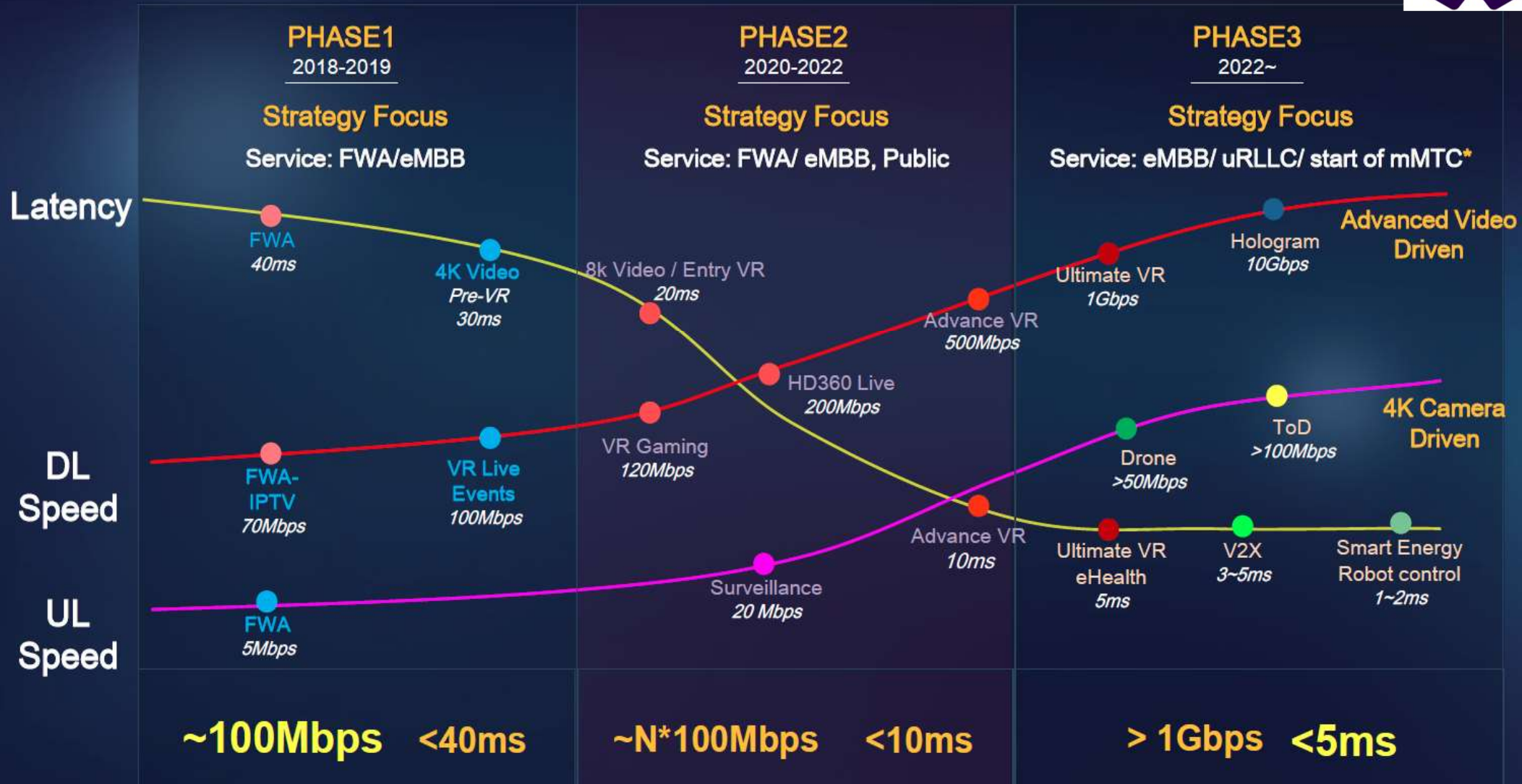
Industrial IoT
US\$ 195Bi @ 2022

@B2B2X



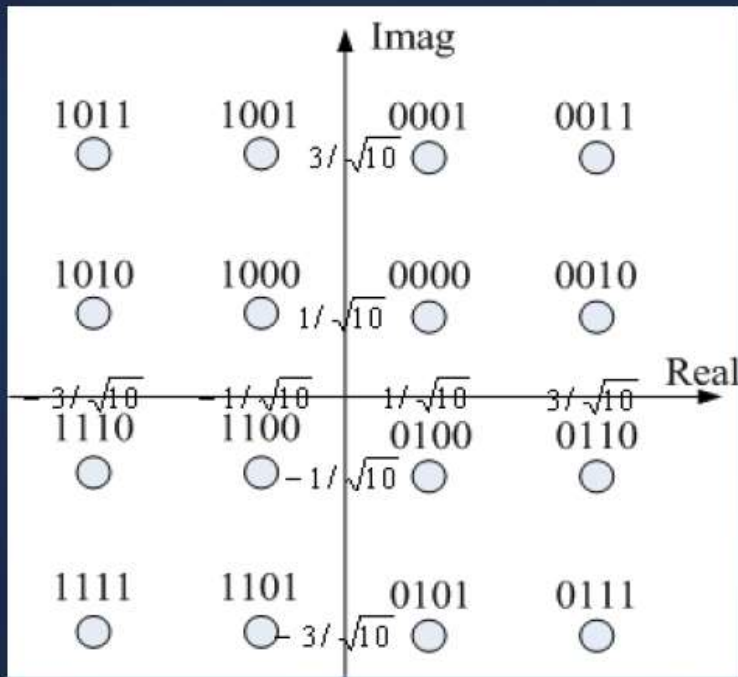
V2X
US\$ 145Bi @ 2022

Service Experience Requirement Evolution





Стандарт 5G – новая модуляция

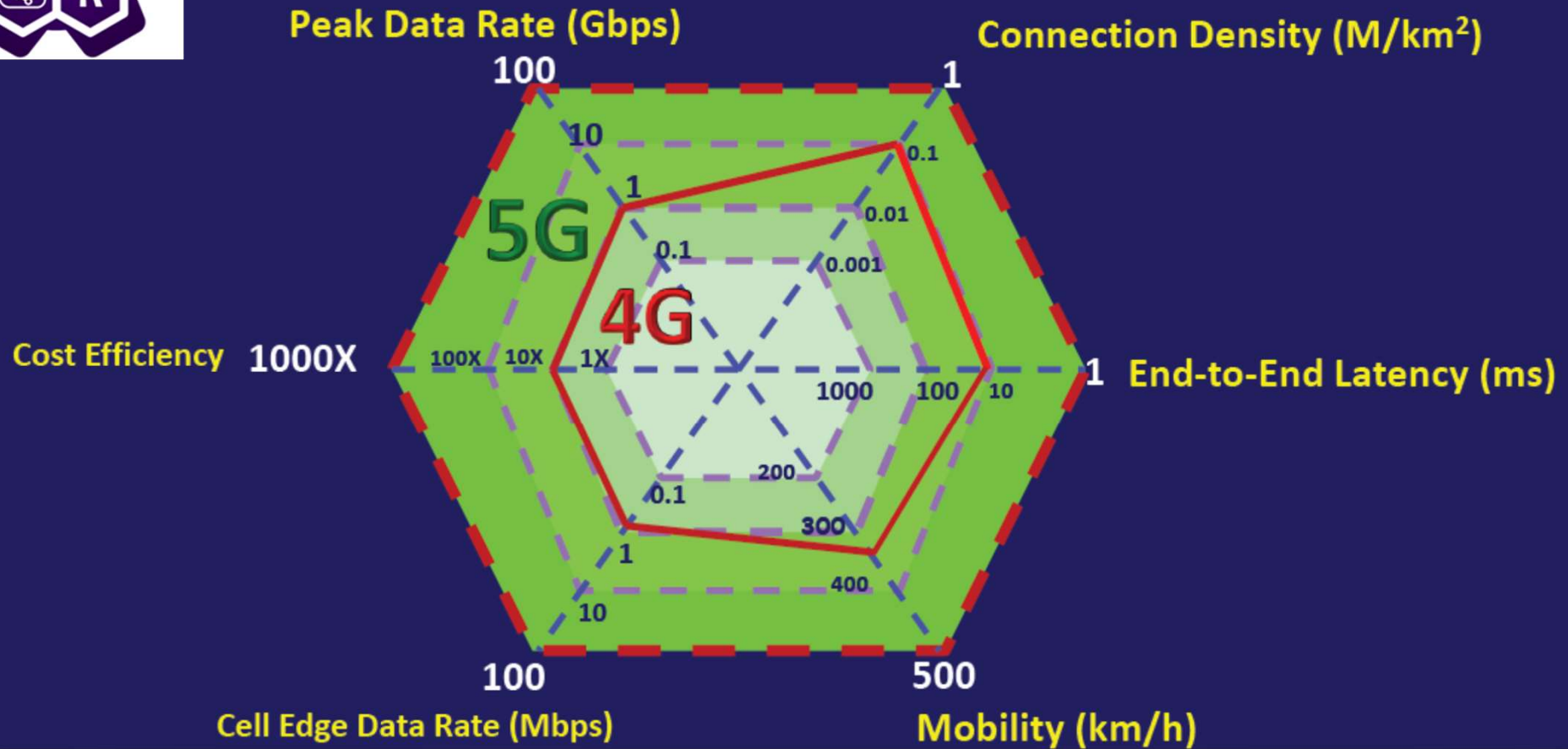


Например, при 16QAM, 1 символ может содержать 4 бита информации

	LTE	5G
UL	QPSK 16QAM 64QAM	QPSK 16QAM 64QAM 256QAM
DL	QPSK 16QAM 64QAM 256QAM	QPSK 16QAM 64QAM 256QAM 1024QAM

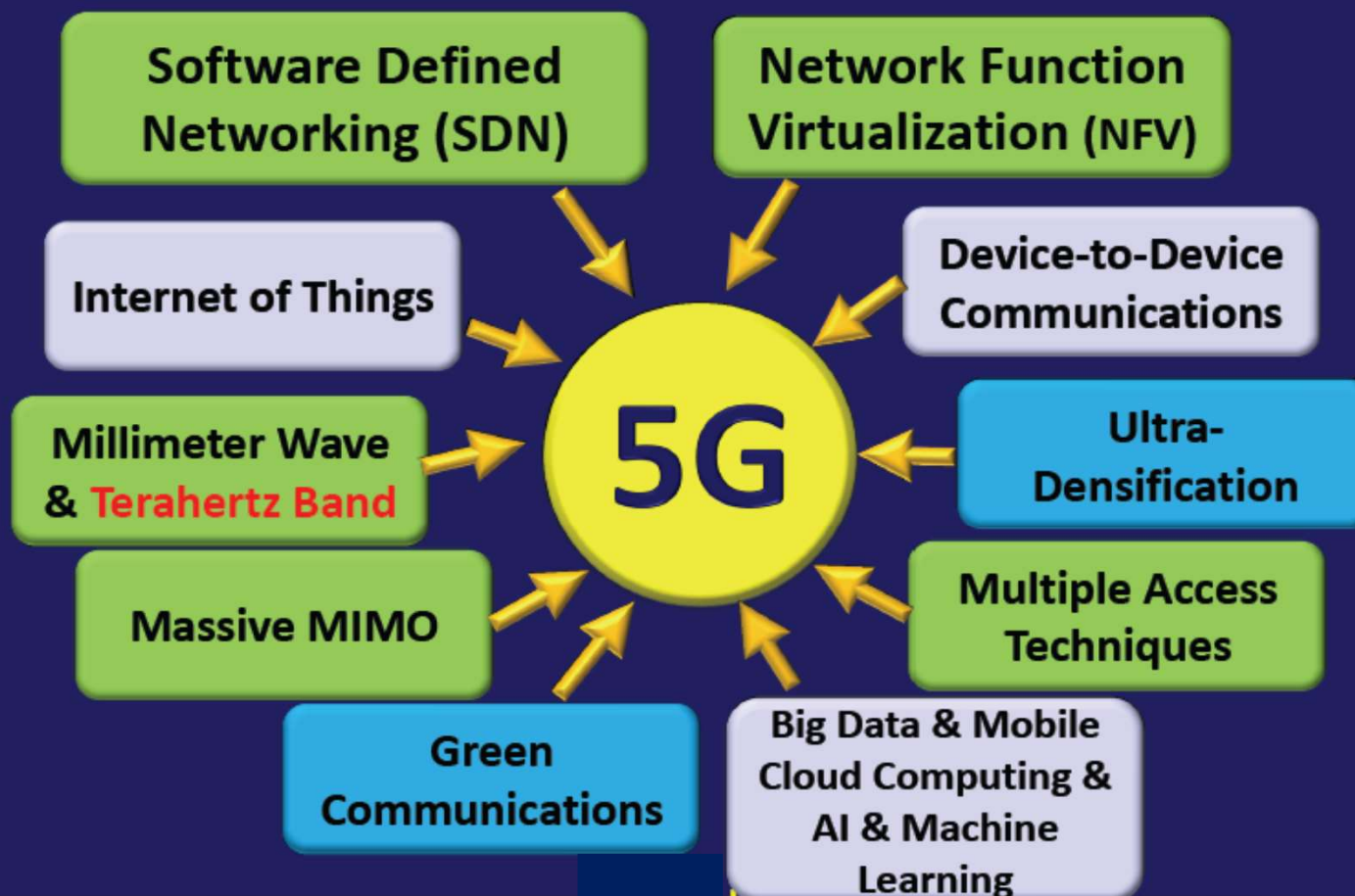


EVOLUTION FROM 4G TO 5G



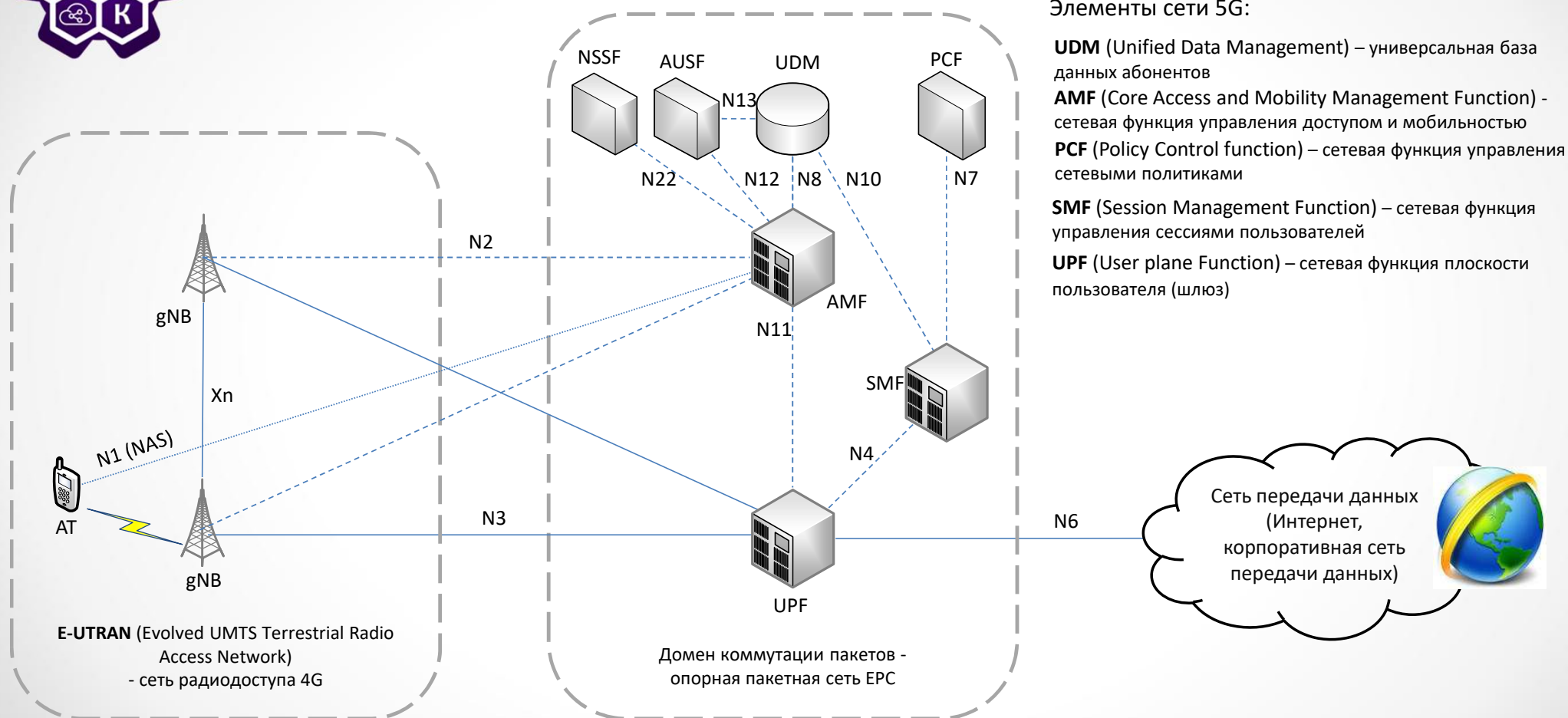


10 KEY ENABLING TECHNOLOGIES FOR 5G





Архитектура сетей 5G



Элементы сети 5G:

UDM (Unified Data Management) – универсальная база данных абонентов

AMF (Core Access and Mobility Management Function) - сетевая функция управления доступом и мобильностью

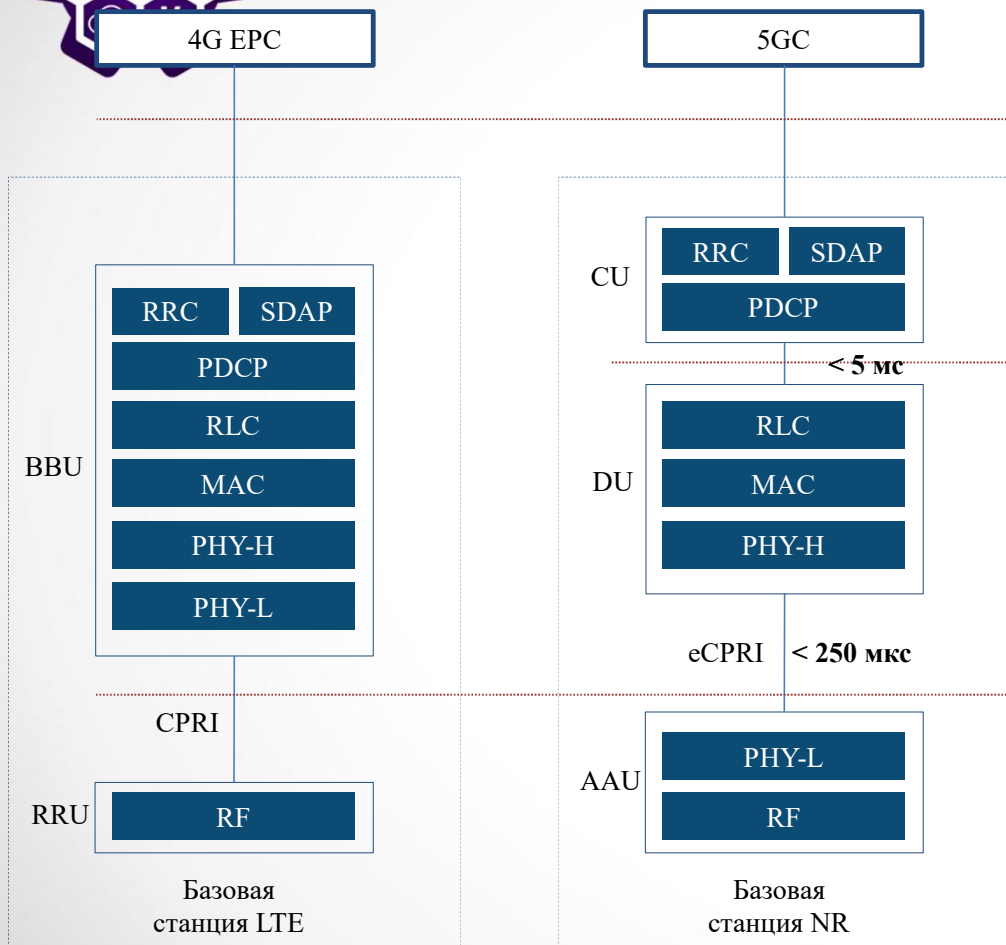
PCF (Policy Control function) – сетевая функция управления сетевыми политиками

SMF (Session Management Function) – сетевая функция управления сессиями пользователей

UPF (User plane Function) – сетевая функция плоскости пользователя (шлюз)



Структура базовых станций 4G/5G



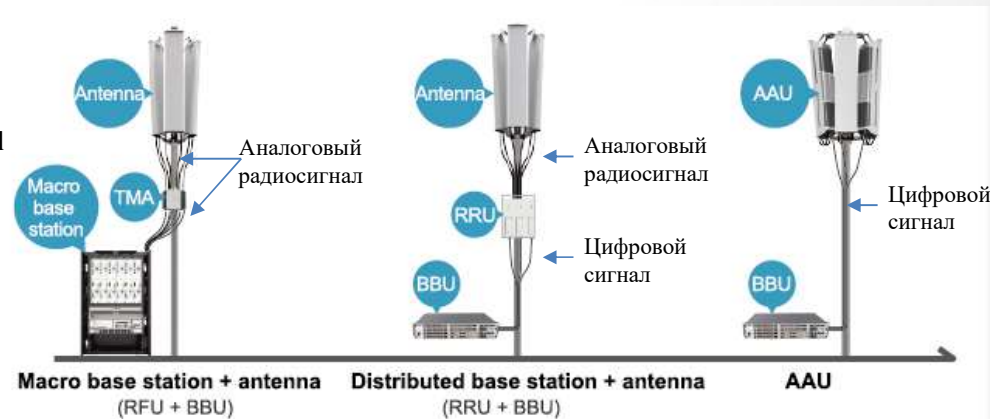
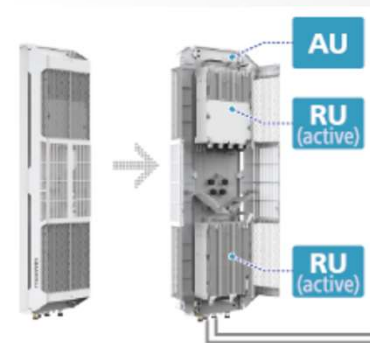
Backhaul Transport

Виртуализация CU (Архитектура CloudRAN)

Midhaul Transport

Виртуализация CU и DU (Архитектура Full CloudRAN)

Fronthaul Transport





5G Network -> Service Oriented Network



2/3/4/5 G



Wi-Fi



NB-IoT



Fixed



Indirect



Unlicensed

Enable All Access



Voice



Video



Autonomous Car



Manufacture



Smart City



Remote Medical

Enable All Services



5G Транспорт - Конвергенция с традиционными сетями

