

# LTE

проф. д-р инж. Венета Алексиева

# ОСНОВНИ МОМЕНТИ

- LTE- дефиниция, предназначение
- История, факти
- Архитектура
- LTE стек – downlink/uplink
- LTE формат на съобщенията
- QoS в LTE

# LTE - предназначение

- Целта на LTE е да повиши капацитета и скоростта на безжичните мрежи, като използва новите DSP (Digital Signal Processing) технологии и модулации, разработени в началото на новото хилядолетие.
- Друга цел е ре-дизайн и опростяване на мрежовата архитектура на IP-базирана система със значително намалена латентност на предаване в сравнение с 3G архитектурата.
- LTE безжичният интерфейс е несравним с 2G и 3G мрежите и се управлява чрез отделен радио спектър.

# Скорости

- Скоростите за LTE са по стандарт 3GPP:
  - Downlink до 150Mbps
  - Uplink до 50Mbps.
- честотната лента за всеки потребител зависи от :
  - наличната ширина на честотната лента
  - как носещите честоти разгръщат мрежата
- Поддържането на високи скорости, при минимална мощност е ключово предизвикателство на дизайна.
- Скоростите за LTE-Advanced са от 300Mbps с 3-band агрегиран пренос

# История

- LTE е регистрирана търговска марка собственост на ETSI(European Telecommunications Standards Institute) за технология за безжична комуникация и развитие на стандартите за GSM/UMTS.
- LTE за първи път е предложен от NTT DoCoMo в Япония през 2004г.
- Проучванията за новия стандарт официално започват през 2005г.
- LTE стандартът се публикува през декември 2008г.
- Първата публично достъпна LTE услуга се стартира от TeliaSonera в Осло и Стокхолм на 14 декември 2009г., под формата на свързаност чрез USB модем.
- В Канада, Rogers Wireless е първият, който стартира LTE мрежа на 7 юли 2011г., като предлага Sierra Wireless AirCard 313U USB мобилен широколентов модем, известен като „LTE Rocket stick“
- Появяват се по негово подобие устройства като HTC и Samsung.
- Първоначално операторите планират да преминат към конкурентните стандарти - UMB и WiMAX, но всички големи оператори, като Verizon, Sprint и MetroPCS в САЩ, Bell и Telus в Канада, KDDI в Япония, SK Telecom в Южна Корея и China Telecom/China Unicom в Китай, обявяват, че възнамеряват да преминат към LTE.
- Технологията LTE Advanced е стандартизирана през март 2011г.

# Операторите на LTE

- В края на 2010 г. има 14 действащи LTE мрежи в САЩ, Канада, Япония, Норвегия, Южна Корея и Швеция.
- В края на 2012 г. има вече 31 работещи LTE мрежи в света.
- В края на 2014г. броят на комерсиалните 4G LTE и 4.5G LTE-Advanced мрежи е 45 с близо 411 млн. LTE потребители и 22 млн. LTE-A потребители.
- В света в момента има 337 оператора, които са реализирали тестово покритие.
- Достигнати скорости за LTE-Advanced от 300Mbps с 3-band агрегиран пренос.

# Производителите

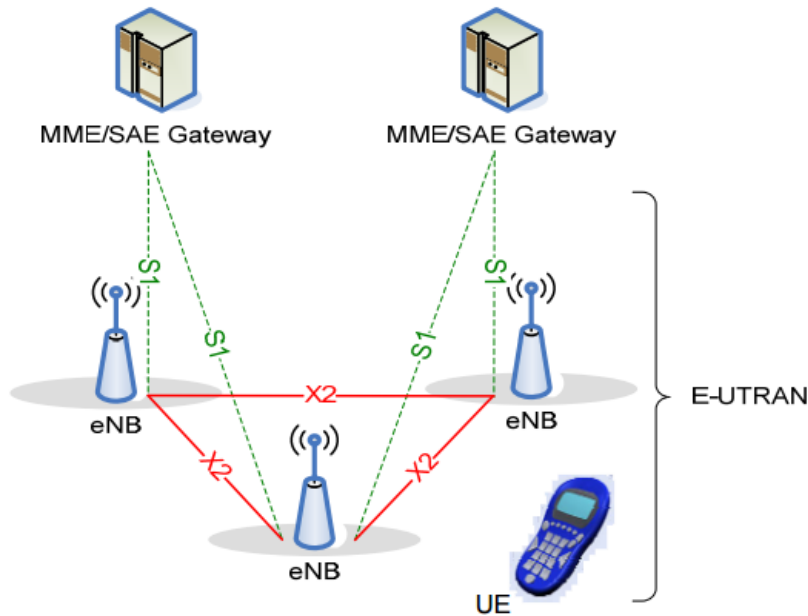
- LTE се възприема като вариант за по-висока пропускателна способност от тази на съществуващите им мрежи.
- Vodafone, Verizon, China Mobile, AT&T, Nokia и Ericsson залагат в оборудването си на LTE.
- Huawei залагат и на двете технологии, прогнозирайки, че в страните от Африка и Латинска Америка дълго време ще господства технологията WiMAX и оборудването им, поддържащо WiMAX/LTE ще доминира именно на тези пазари.
- Началото на хибридните схеми, поддържащи WiMAX/LTE е поставено през 2010г. от компании като Huawei, Vodafone, KDDI, UQ Communication и др.

# Характеристики според 3GPP

- Физическият слой на LTE е уникален, защото има асиметрична модулация и даннови скорости за Uplink и Downlink трафика.
- Стандартът е предназначен за работа в пълен дуплекс с едновременно предаване и приемане.
- Радио предаването е оптимизирано в Downlink посока, защото предавателя на базовата станция има достатъчно мощност.
- В Uplink посока радио предаването е оптимизирано повече по отношение на консумацията на мощност, отколкото по ефективност, защото при обработка мощността се увеличава, а мощността на батерията на мобилните устройства остава по-скоро КОНСТАНТНА.



# LTE архитектура



- Компоненти на LTE мрежа:
- eNB – Enhanced Node B (базова станция);
  - UE – User Equipment (абонат);
  - EPC – Evolved Packet Core:
    - MME – Mobility Management Entity (Control Pane) ;
    - SAE – System Architecture Evolved (User Pane) ;
  - E-UTRAN – Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network.

Параметър	LTE
Duplex	FDD, TDD
Честота	2GHz, 2. 6GHz, 900MHz
Размер на кадъра	10ms
Поддържа мобилност	До 350km/h
Радиус на клетката	Клетка с 6 сектора – 770 meters Клетка с 3 сектора – 730 meters
Широчина на канала	2x20MHz
Покрива скорости при DL/UL	DL- до 300Mbps UL – до 75Mbps
Модулация	64QAM-5/6

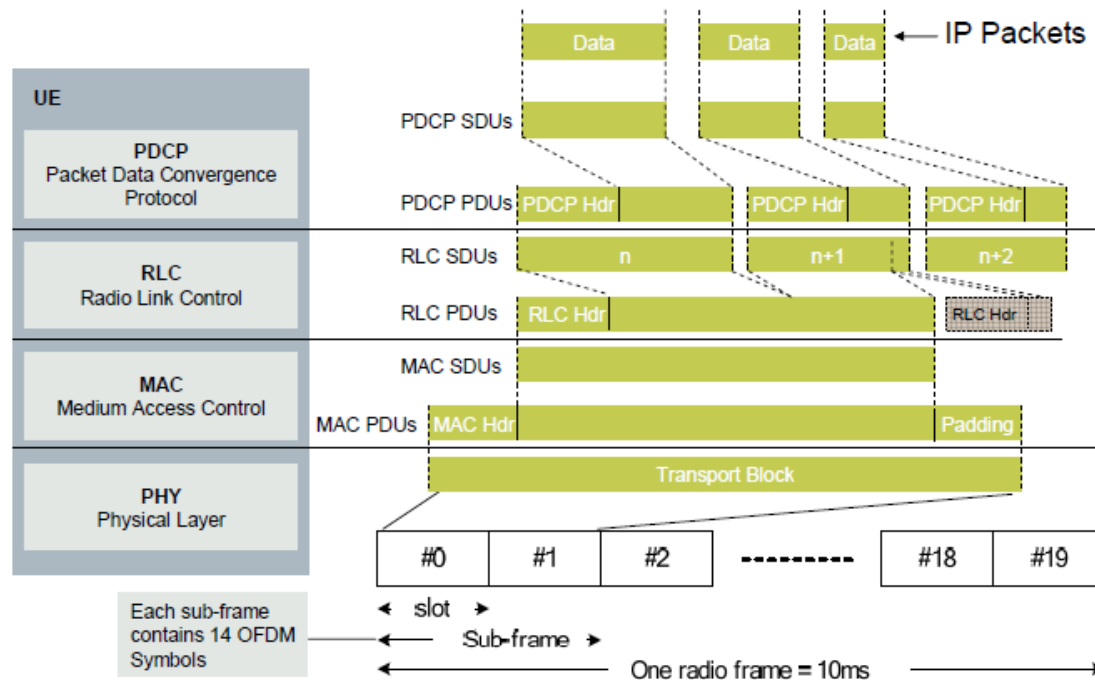
# LTE PHY –физически слой

- LTE PHY обикновено е пълен дуплекс в сдвоен спектър, докато WiMAX работи в полудуплексен режим в несдвоен спектър, където информацията се предава в една посока в даден момент.
- LTE може да поддържа и TDD операции в несдвоен спектър.
- PHY (Physical layer) Downlink каналът работи с непрекъснат поток с разнообразна синхронизация, поддържайки множество канали едновременно с различна модулация.
- LTE използва концепцията за ресурсен блок, който се състои от 12 подносеци в един слот.
- Транспортният блок представлява група от ресурсни блокове с обща модулация (кодиране).
- Физическият интерфейс е транспортен блок, който съответства на данните, предавани в определен период от време на разпределението за конкретния UE.
- Всеки радио подфрейм е с продължителност 1ms; всеки фрейм е 10ms.
- Множество UE могат да бъдат обслужени през Downlink канала в даден момент в един транспортен блок.
- MAC слоя контролира какво да се изпрати в даден момент.

# LTE PHY –каналы

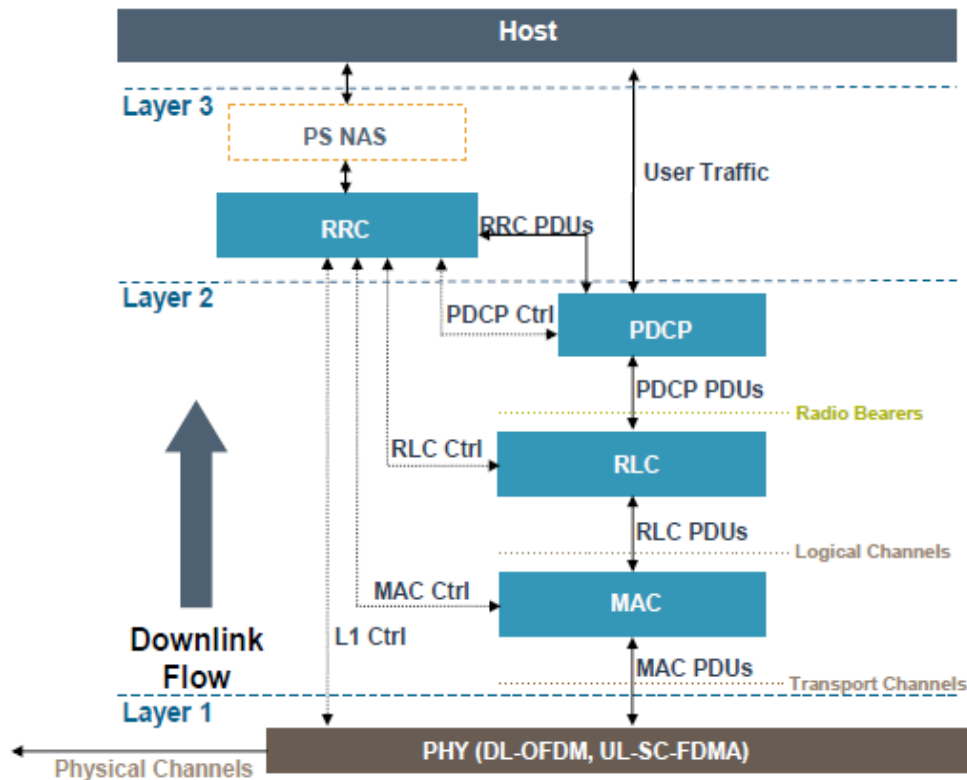
- Physical Broadcast Channel (PBCH)
  - четири подканала в рамките на интервал от 40ms, няма подробна сигнализация;
  - Всеки подфрейм може самостоятелно да бъде декодиран;
- Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH)
  - Информира UE за броя на OFDM символите, използвани за PDCCH, предавани във всеки подфрейм;
- Physical Downlink Control Channel (PDCCH) :
  - Информира UE за разпределянето на ресурсите за PCH и DL-SCH, и Hybrid ARQ информацията, свързана с DL-SCH;
  - Извършва Uplink планиране;
- Physical Hybrid ARQ Indicator Channel (PHICH) –предава Hybrid ARQ ACK/NAK в отговор на Uplink предаване;
- Physical Downlink Shared Channel (PDSCH) – предава DL-SCH и PCH;
- Physical Multicast Channel (PMCH) – предава MCH;
- Physical Uplink Control Channel (PUCCH) :
  - Предава Hybrid ARQ ACK/NAK в отговор на Downlink предаване;
  - Предава Scheduling Request (SR) ;
  - Предава CQI отчет;
- Physical Uplink Shared Channel (PUSCH) – предава UL-SCH;
- Physical Random Access Channel (PRACH) – предава преамбюл за случаен достъп.

# LTE Downlink



- В долната част са радио фреймовете (1 фрейм= 10ms)
- Разделя се в подфреймове с период 1ms (1 транспортен блок).
- В рамките на транспортния блок е MAC хедър, в който е RLC хедър.
- В рамките на RLC фрейма може да има поредица PDCP.
- Връзката между постъпващите IP пакети, които формират SDU-тата и формираните RLS PDU-та е произволна. Ето защо може да се направи максимално ефективно използването на радио ресурсите във фиксиран период от време.

# Изпращане на LTE пакет в Downlink посока

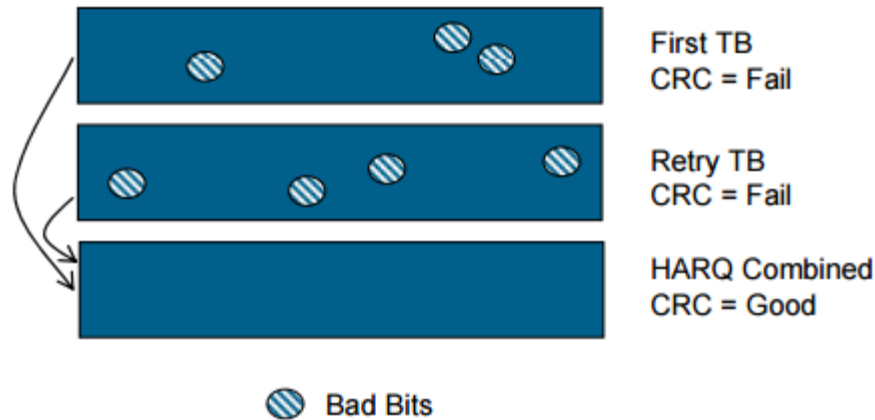


- Downlink потокът тече нагоре през протоколния стек.
- Започва чрез доставяне на транспортния блок от физическия слой на MAC слоя.
- MAC слой декодира информацията от хедъра в предходния подфрейм.
- MAC слой извършва логически планирано предаване – функция, която формира различни логически канали от транспортния блок за по-горните слоеве и избира формат
- MAC слой осигурява информация, необходима за управление на цялата мрежа за контролиране на радио ресурса.
- MAC слой е отговорен за управлението на Hybrid ARQ функцията, която работи на ниво транспортен блок.
- Има и друг механизъм на ARQ процес, работещ при RLC.

# Hybrid Automatic Repeat-reQuest (HARQ)

- HARQ процесът е между MAC и PHY и препредава транспортни блокове (TB) за възстановяване на грешки.
  - PHY изпълнява задържането и рекомбинацията
  - MAC извършва управлението и сигнализацията.
- PHY индицира NACK, когато има неизпълнение на CRC транспортния блок;
- Препредаването се извършва от буфери в eNodeB през Downlink потока с използване на друг тип кодиране.
- Евентуално, след един или два опита, ще има достатъчно данни, за да се реконструира сигнала.
- При HARQ операция препредаването не е нужно да бъде напълно вярно. Достатъчно е да може да се комбинира математически с предходния транспортен блок, за да се получи добър транспортен блок.

# НARQ етапи



- МАС изпраща „NACK“ съобщение, когато ТВ пропусне CRC;
- Транспортните блокове с грешки се запазват;
- РНУ препредава с различен код;
- Препредавания трафик се комбинира със съхранените транспортни блокове;
- Когато правилен транспортен блок е декодиран, МАС изпраща „ACK“;
- Множество HARQ процеси могат да се изпълнят паралелно, за да опитат отново с няколко висящи транспортни блока.

# Логически и транспортни канали

- Логическите канали съществуват над МАС нивото.
  - Те представляват услуги за предаване на данни, предлагани от МАС слоя.
  - Те се определят от това какъв тип информация пренасят.
- Видовете логически канали включват:
  - контролни канали (за контролиране на предаването на данни)
  - канали за предаване (за предаване на потребителски данни).
- Транспортните канали са в транспортните блокове в долната част на МАС слоя.
  - Те представляват услуги за предаване на данни, предложени от РНУ слой.
  - Те се определят от това как се предава информацията, различни модулации на физическия слой и начина, по който те се кодират.



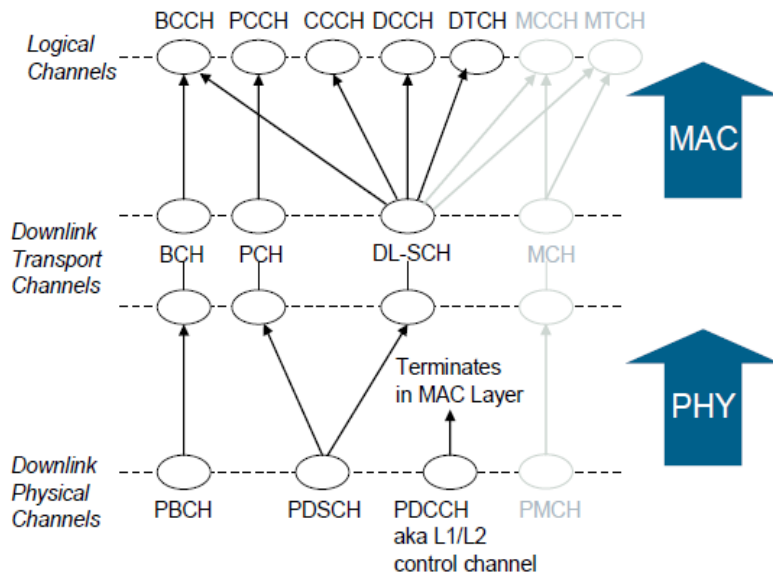
# Подвидове канали

## Логически канали (Logical Channels) :

- PCCH – Paging Control Channel;
- BCCH – Broadcast Control Channel;
- CCCH – Common Control Channel;
- DCCH – Dedicated Control Channel;
- DTCH – Dedicated Traffic Channel;
- MCCH – Multicast Control Channel;
- MTCH – Multicast Traffic Channel.

## Транспортни канали (Transport Channels):

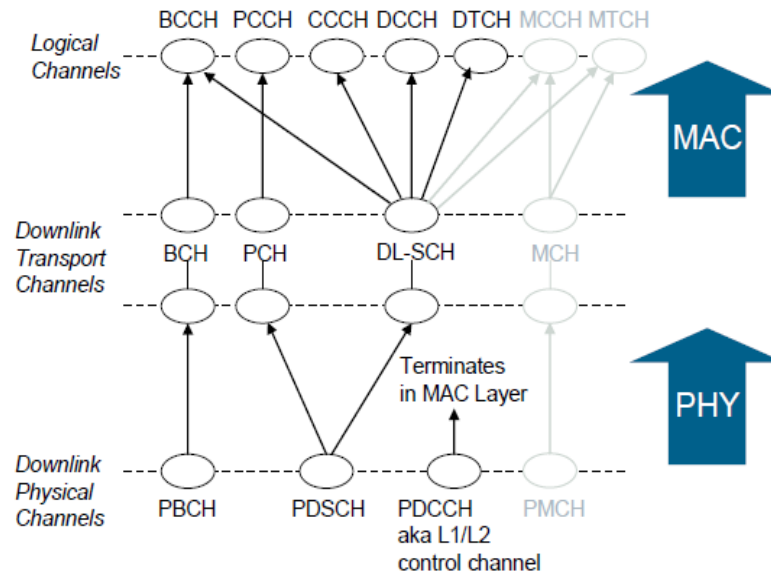
- PCH – Paging Channel;
- BCH – Broadcast Channel;
- DL-SCH – Downlink Shared Channel;
- MCH – Multicast Channel.



# Логически канали

- Dedicated Traffic Channel (DTCH)
  - канал point-to-point, зададен на един UE, за предаване на потребителска информация.
  - DTCH може да съществува както в Downlink, така и в Uplink посока;
- Broadcast Control Channel (BCCH)
  - Downlink канал за бродкастване на системна контролна информация;
- Paging Control Channel (PCCH)
  - Downlink канал, който предава paging информация.
  - Този канал се използва, когато мрежата не знае местоположението на клетката на UE;
- Common Control Channel (CCCH)
  - Uplink канал за предаване на контролна информация между абонатите (UE) и мрежата.
  - Този канал се използва от UE, които нямат RRC връзка с мрежата;
- Dedicated Control Channel (DCCH)
  - двупосочен канал point-to-point, който предава контролна информация между UE и мрежата.
  - Използва се от абонати (UE), които имат RRC връзка.

# MAC Downlink планиране

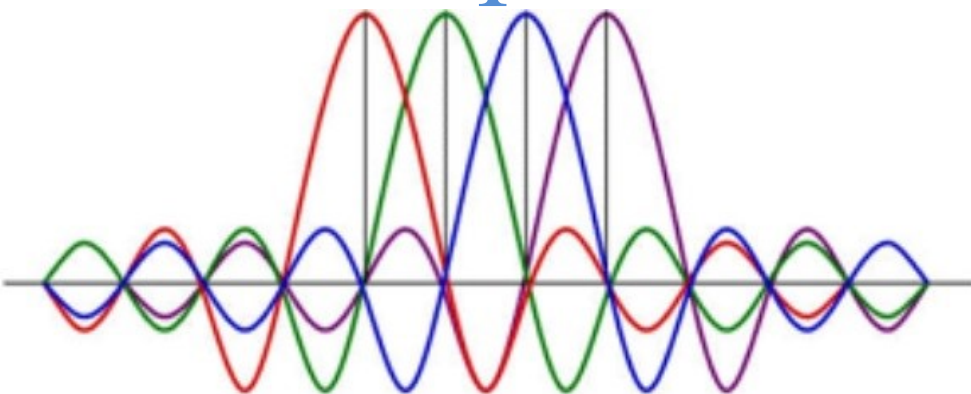


- Обработката се прекратява в MAC слоя, който се използва за планиране, сигнализация и други функции на ниско ниво.
- Downlink споделения канал съдържа както транспортен канал за paging, така и за Downlink.
- Физическият канал за broadcast минава през целия път за broadcast.
- Multicast каналите са неактивни, защото те не са специфицирани в Release 8 на LTE стандарта. Тези канали се преадресират в Release 9.

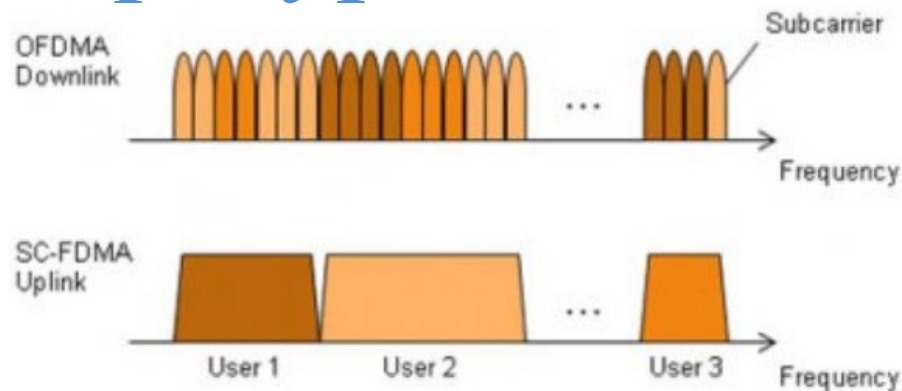
# MAC формат

- Процесът на избор на формат подготвя физическия слой, за да бъде готов за кодиране и модулация на следващия транспортен блок.
- По Downlink канала, MAC слоя в UE интерпретира транспортния формат.
- Форматът се определя с пмодулационна схема за кодиране (MCS – Modulation Coding Scheme) за следващия транспортен блок; това може да се променя динамично.
- MAC координира измерванията за локалния PHY на RRC относно локалния статус и условия.
- RRC контролира локалната PHY модулация на eNodeB и конфигурационните настройки, използвайки контролни съобщения.
- MAC измерванията поддържат Downlink планирането:
  - Скоростите и радио условията на UE се използват от eNodeB.
  - Отчетите за буферните статуси и други видове сигнализация се предават обратно на по-горните слоеве, чрез RRC съобщения.
  - Ако скоростта е висока, са необходими по-малки времеви слотове (таймслотове) за изпращане на данните.
  - Uplink и Downlink трафика се планира изцяло от eNodeB.

# Разпределение на ресурс LTE



OFDM технология при LTE



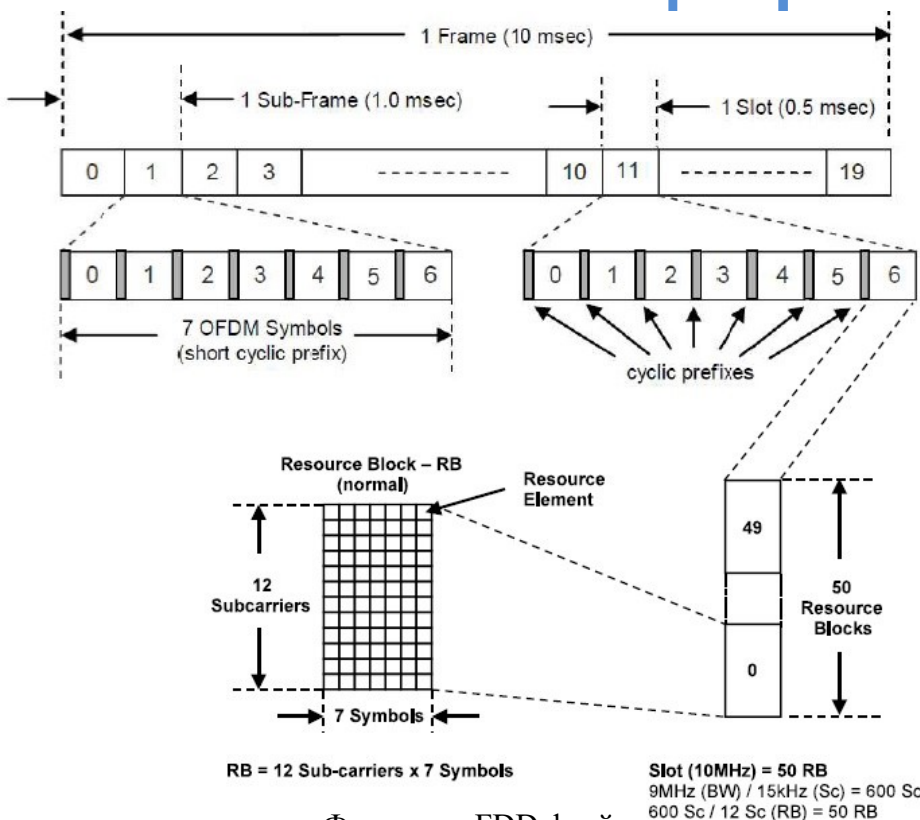
Модулационни схеми за UL/DL при LTE

- LTE използва технология за множествен достъп - OFDM/OFDMA, при която наличната честотна лента е разделена на паралелни теснолентови подносещи честоти с разстояние от 15 KHz, независимо от общата ширина на честотната лента.
- Има редица предимства при използване на OFDM в мобилните системи за достъп:
- удължената продължителност на символа и Guard интервала увеличава устойчивостта към многопосочността на предаване и ограничава междусимволната интерференция (ISI);
- елиминира необходимостта от отмяна на вътрешноклетъчната интерференция;
- позволява гъвкаво използване на честотния спектър;
- увеличава спектралната ефективност поради ортогоналността между подносещите;
- позволява оптимизиране на скоростите на предаване на данни за всички потребители в клетката чрез предаване по най-добрите подносещи за всеки потребител.

# Формат на фрейма при LTE

- Frequency Division Duplex (FDD)
  - радиоресурсите се дефинират във времево-честотния домейн, като се осигурява предаване в пълен дуплекс, т. е. едновременно се предава в Downlink и Uplink посока с различна честота за двата потока.
- Time Division Duplex (TDD)
  - една и съща честота във времевия домейн се споделя за предаване на Uplink и Downlink трафик.

# FDD формат на фрейма

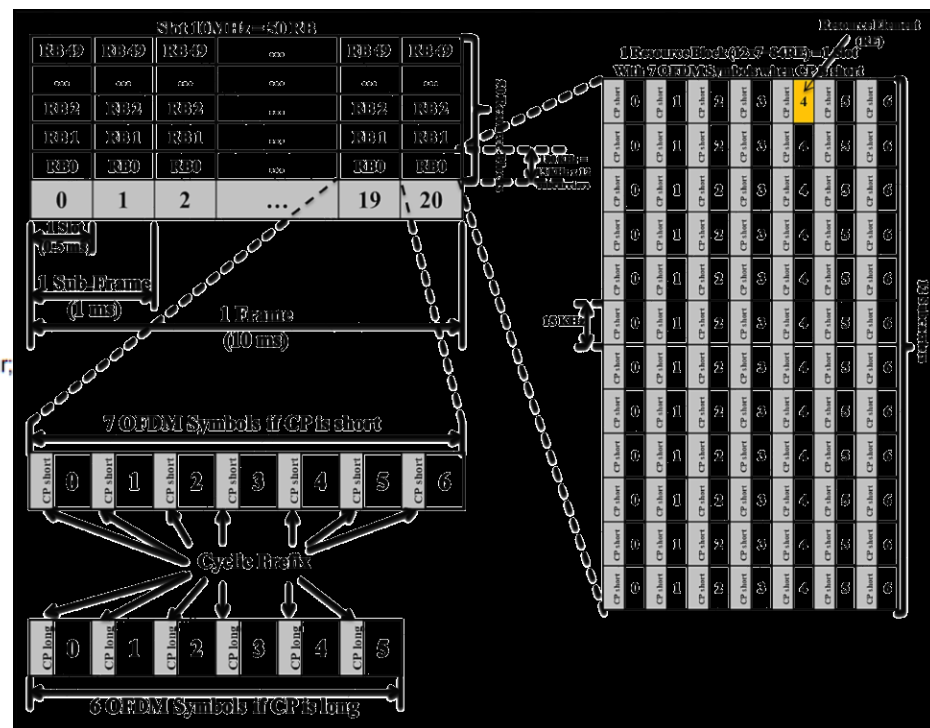
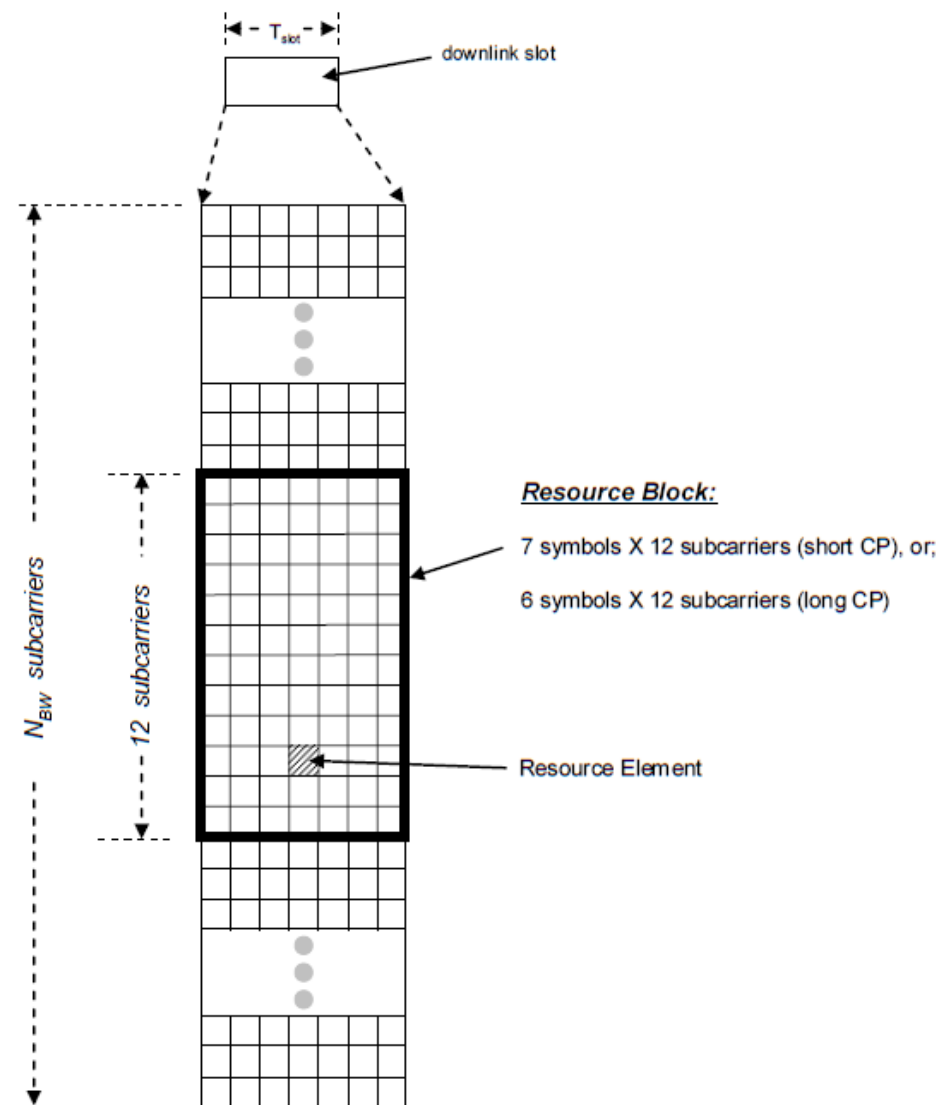


Формат на FDD фрейм

Channel Bandwidth [MHz]	1.25	2.5	5	10	15	20
Frame Duration (ms)	10					
Subframe Duration (ms)	1					
Occupied Sub-carriers	76	151	301	601	901	1201
Timeslot duration	0.5ms					
Subcarrier spacing	15KHz					
Physical resource block (PRB) bandwidth	180KHz					
Number of subcarriers	12					
Number of available PRB	6	12	25	50	75	100

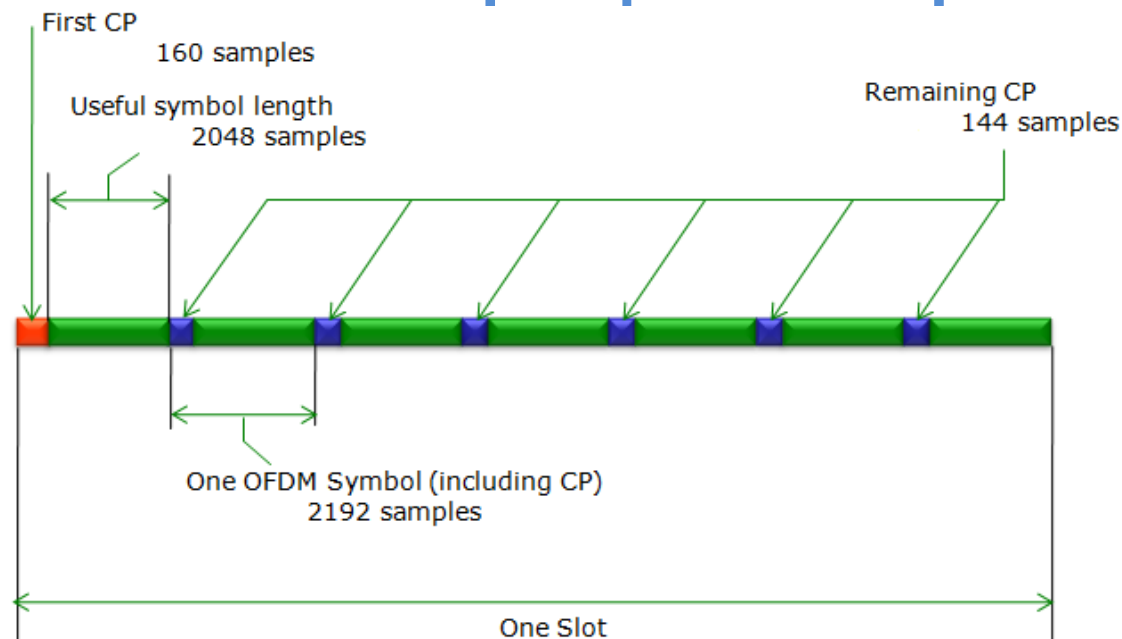
- LTE фреймовете са с продължителност 10ms.
- Те са разделени на 10 подфрейма, всеки подфрейм е с дължина 1.0ms.
- Всеки подфрейм се разделя на два слота, всеки с продължителност 0.5ms.
- Слотовете се състоят от 6 или 7 OFDM символа, в зависимост от това дали се работи с нормален или удължен цикличен префикс.

# Ресурсен блок и ресурсен елемент



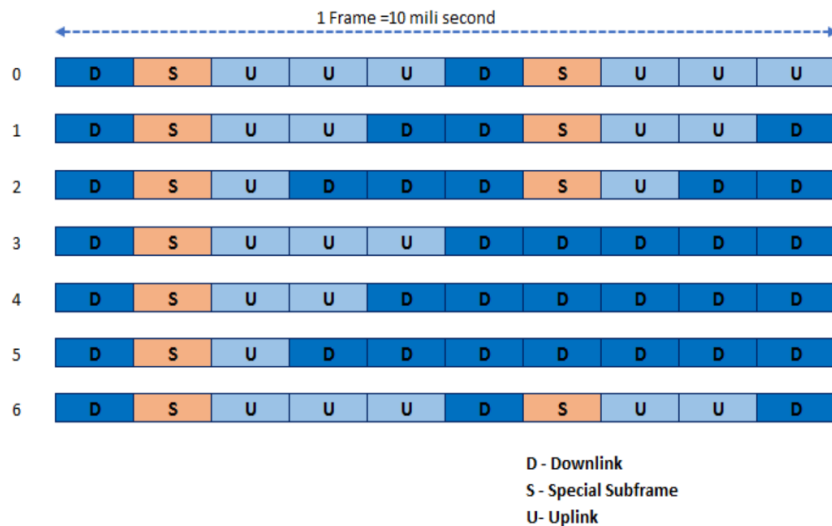
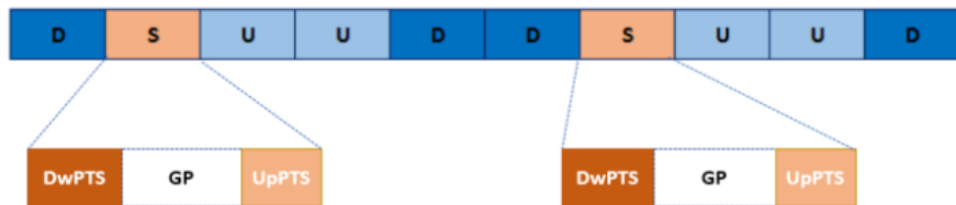


# Цикличен префикс при FDD



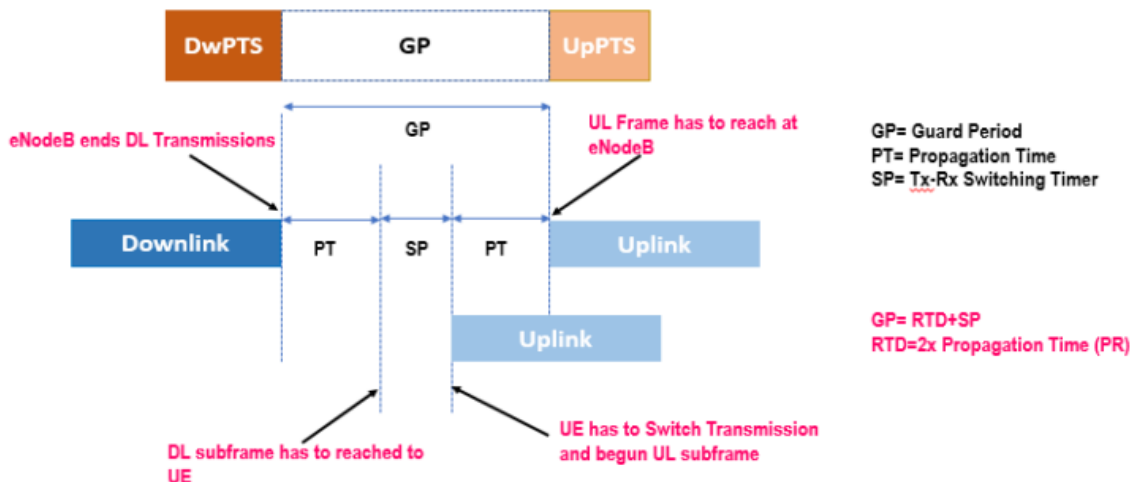
- За да се предотврати припокриването на символите и да се намали интерференцията между символите, в началото на всеки OFDM символ се добавя Guard Interval (T<sub>g</sub>).
- Цикличен префикс (CP) представлява дублиране на част от края на символа:
  - нормален, който осигурява 7 символа в таймслота. Използва в градските клетки и при приложения с високи скорости на предаване на данни.
  - удължен, който осигурява 6 символа в таймслота. Използва се при специални случаи като многоклетъчно излъчване и при много големи клетки (например: селски райони, приложения с ниска скорост на предаване на данни и др.).

# TDD формат на фрейма



- При TDD една и съща честота във времевия домейн се споделя за предаване на Uplink и Downlink трафик.
- Целият LTE фрейм е с продължителност 10ms.
- Според TDD в един LTE фрейм са поместени 10 подфрейма с продължителност 1ms всеки.
- При TDD има 7 вида фреймове, в зависимост от различните DL/UL дялове. Операторът може да избере специфична TDD конфигурация в зависимост от изискванията за обслужване;
- Фреймът започва винаги с Downlink подфрейм, използван за известяване за дескриптора на фрейма.
- Третият подфрейм винаги се използва за Uplink предаване;
- Когато се превключва от Downlink към Uplink се използва Special подфрейм, а при превключване от Uplink към Downlink не се използва.

# Структура на Guard Period

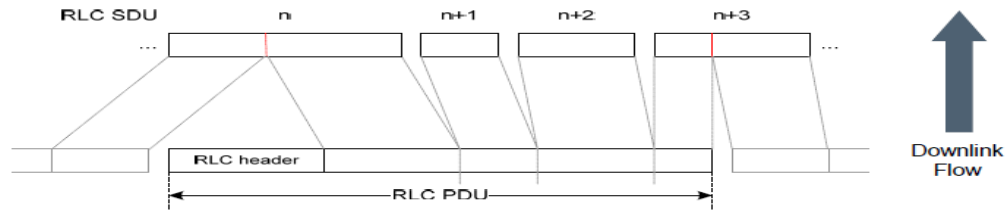


- Специалният подфрейм има три части DwPTS (Downlink Pilot Time Slot), GP (Guard Period) и UpPTS (Uplink Pilot Time Slot) и всички части имат конфигурируема дължина, като сумата от дължините им трябва да бъде 1ms или 14 символа.
- DwPTS носи референтни сигнали и контролна информация, както и данни за конфигуриране на достатъчна продължителност;
- GP се използва за управление на превключването между DL и UL предаване. GP периода трябва да бъде достатъчно голям, за да покрие забавянето от DL разпространението. Неговата дължина определя максималния поддържан размер на кретката;
- UpPTS - основно се използва за предаване по канала с произволен достъп (Random Access Channel - RACH).
- Периодът на защита за превключване от DL към UL е необходим, защото цялото UL предаване от множество UEs трябва да пристигне по едно и също време до приемника на eNodeB. Въпреки това защитният период при превключване от UL към DL не се изисква, защото eNodeB е единственото предаващо устройство.

# RLC слой

- RLC слой извършва сегментиране и сглобяване.
- RLC доставя последователно в реда на следване.
- Работи в три режима:
  - прозрачен режим (TM – Transparent Mode),
  - режим потвърждение (AM – Acknowledge Mode)
  - режим непотвърждение (UM – Unacknowledge Mode).
- Режимите се използват от различни радио носители (bearers) за различни цели.

# RLC сегментация



- Процесът на сегментация включва разопаковане на RLC PDU в RLC SDU, или част от SDU.
- Размерът на RLC PDU се базира на размера на транспортния блок.
- Размерът на RLC PDU не е фиксиран. Той зависи от условията на каналите, които eNodeB присвоява на всеки UE при Downlink трафик.
- Размерът на транспортния блок може да варира в зависимост от :
  - изискванията на честотната лента,
  - разстоянието,
  - нивата на мощностите
  - модулационната схема.
  - размера на пакетите - големи пакети за видео или малки пакети за предаване на глас (VoIP).
- Ако един RLC SDU е голям или наличната скорост за предаване на данните е ниска (в резултат на малки транспортни блокове), RLC SDU може да бъде разделена между няколко RLC PDU.
- Ако RLC SDU е малък или наличната скорост за предаване на данни е висока, няколко RLC SDU може да бъдат пакетирани в един PDU.

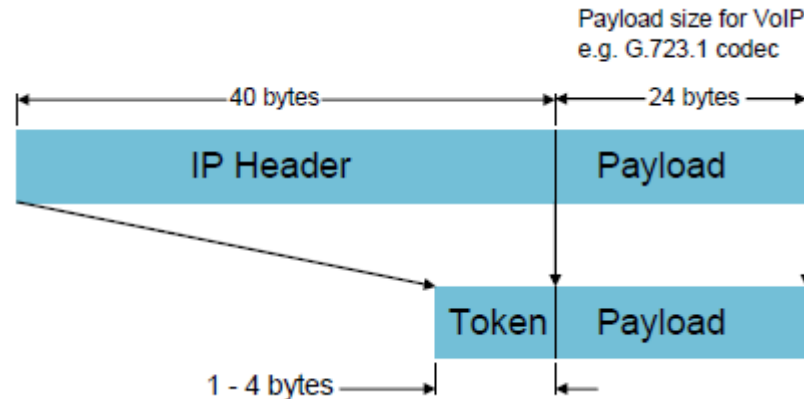
# RLC режими

- **Прозрачният режим** се използва единствено за контролно сигнализиране за няколко RLC съобщения по време на първоначално свързване.
  - Тук за ефективност няма хедър;
  - то преминава просто като съобщение.
- **Режимите непотвърждение и потвърждение** използват RLC хедър и посочват дали могат да участват в ARQ механизма.
- ARQ се отнася до RLC SDU. ARQ може да се използва за:
  - TCP/IP
  - за критична информация;
  - може да използва режим на непотвърждение за предаване на глас (VoIP)
  - когато няма време за повторен опит, заради изискванията за латентност; във VoIP например, пакет, който не достигне първия път е безполезен и по-горните слоеве компенсират разликата.
- HARQ се отнася за транспортния блок.
  - Ако HARQ предавателят открие неуспешна доставка на транспортен блок (ТБ), например максималната граница на препредаване е достигната, съответните предаващи ARQ се уведомяват и потенциалните препредавания и повторните сегментации може да започнат в RLC слоя за всеки от засегнатите PDU.

# Packet Data Convergence Protocol (PDCP) слой

- В по-ранни версии на GSM и 3GPP стандартите, PDCP се използва само за носители (bearer) на пакети от данни, както и circuit-switched bearers, свързани директно от хоста с RLC слоя.
- LTE е изцяло пакетен, затова PDCP е за функции от по-високо ниво.
- PDCP функциите в потребителската страна включват:
  - декриптиране,
  - декомпресия на компресиран (ROHC) хедър,
  - последователно номериране,
  - отстраняване на дублиранията.
- PDCP функциите в контролната част включват:
  - декриптиране,
  - защита на цялостността,
  - последователно номериране,
  - отстраняване на дублиранията.
- Има един PDCP на всеки радио bearer.
- Радио bearer е подобен на логически канал за потребителски контролни данни.

# RDSP компресия на хедъра



- VoIP е критично приложение за LTE.
- Тъй като няма циклично превключване в LTE, всички гласови сигнали трябва да бъдат пренесени по IP и има необходимост от ефективност.
- Различните стандарти са определени за използване в профили за стабилна компресия на хедърите (ROHC – Robust Header Compression. ROHC се определя в IETF RFC 3095, RFC 4815 и RFC 3843.
- Тези протоколи са проектирани да работят със загуба на пакети, което е типично за безжичните мрежи с по-високи нива на грешки и по-дълго време за двупосочна комуникация.



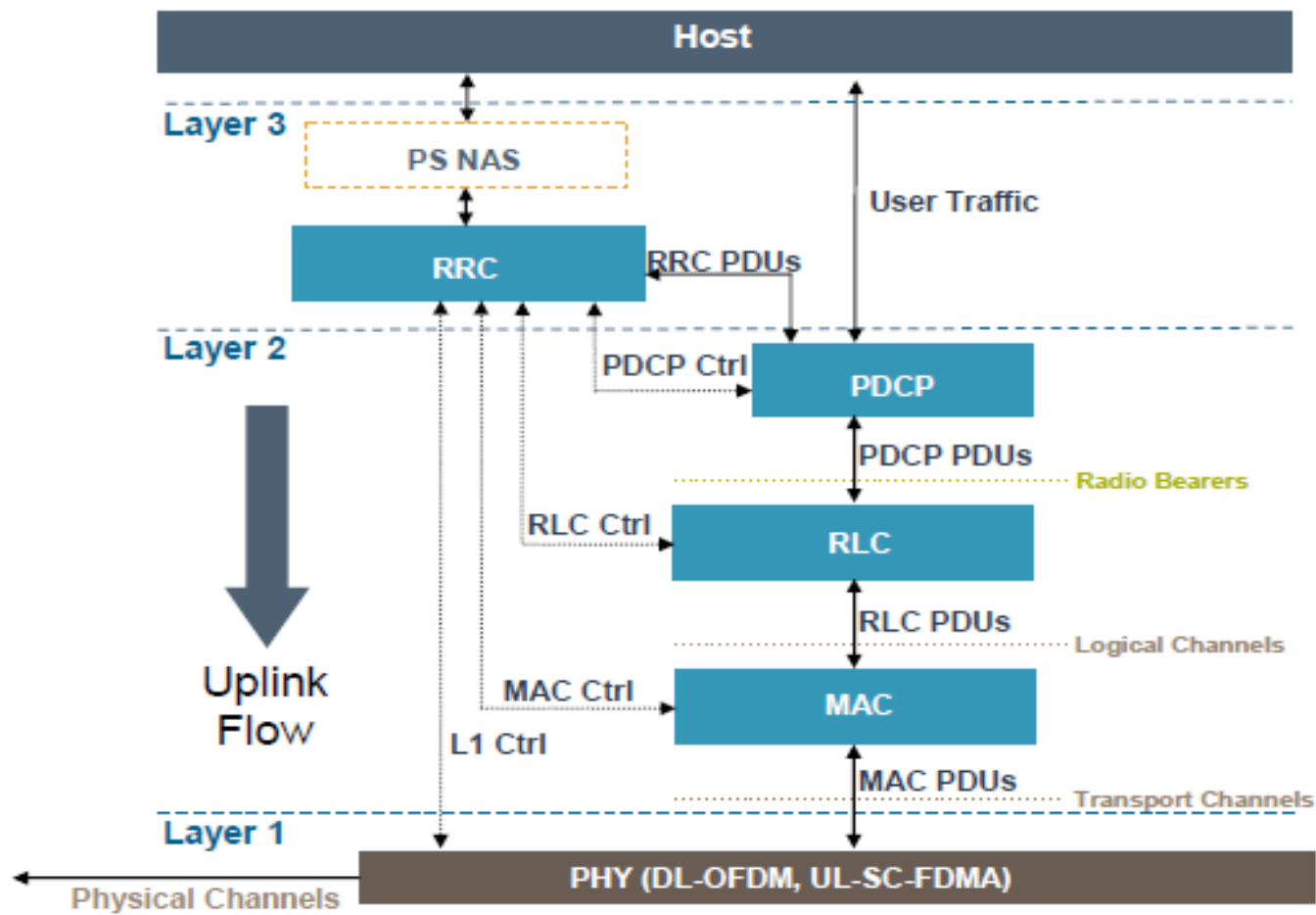
# PDSP сигурност на данните

- Сигурността трябва да стане под RОНС, защото RОНС може да работи само с некриптирани пакети. Той не може да разбере криптиран хедър.
- Шифрирането защитава потребителските данни, управлението на данните в радио ресурса (RRC – Radio Resource Control) и Non Access Stratum (NAS) данните.
- Обработката на заявките в PDSP се извършва по следния начин:
  - за Downlink, декриптирането се извършва първо, а след това RОНС декомпресия.
  - За Uplink, първо се извършва RОНС компресия, след това криптиране.
- 3GPP System Architecture Working Group 3 (SA3) е отговорен за сигурността и използва:
  - Advanced Encryption Standard (AES) - трябва да използва специални режими на работа, за да работи в streaming режим
  - SNOW 3G алгоритми

# LTE пакет в Uplink посока

- LTE процесите в Uplink посока са подобни на процесите в Downlink посока.
- Ключовите разлики са:
  - пиковата скорост на данните е половината на тази при Downlink;
  - достъпът е осигурен от eNodeB;
  - има промени в логическите канали и транспортните канали;
  - произволният достъп се използва за първоначални предавания.
  - РНУ използва SC-FDMA за Uplink, защото позволява по-енерго-ефективен предавател в UE.

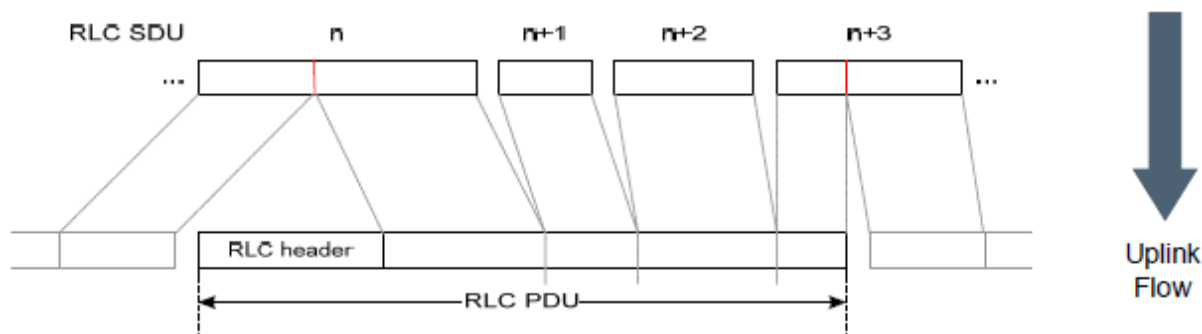
# LTE пакет в Uplink посока



# Разлики и прилики

- **MAC слой**
  - MAC функциите в Uplink посока са различни при Uplink и Downlink.
  - Uplink функциите включват канал за произволен достъп, планиране, изграждане на хедърите и избор на формата за предаване.
- **PDCP слой**
  - PDCP функциите са симетрични за Uplink и Downlink.
  - Uplink обработката включва компресия на хедъра и криптиране.
  - Функциите са същите за компресията на хедърите и криптирането, но те се изпълняват в обратен ред.
- **RLC слой**
  - RLC функциите са симетрични за Uplink и Downlink.
  - Също работи в 3-те режима прозрачен режим, режим непотвърждение и режим потвърждение.
  - Uplink процеса обединява вместо сегменти на SDU, транспортни блокове. Сегментирането се извършва само когато е необходимо, за да се поберат SDU-тата в транспортния блок.

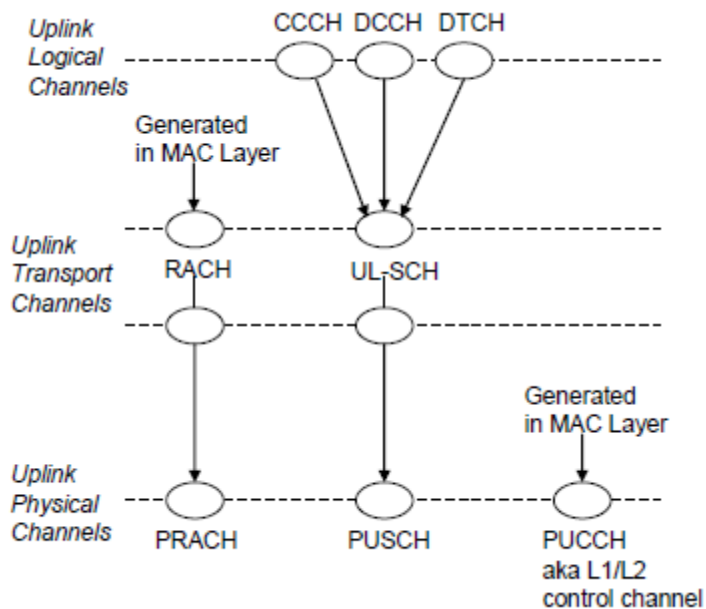
# Конкатенация



- Конкатенацията е процес на пакетиране на RLC SDU в размер, подходящ за транспортни блокове.
- Размерът на RLC PDU се избира въз основа на размера на транспортния блок за радио bearer (носител).
- Ако RLC SDU е голям или наличната скорост за предаване на данните е ниска, RLC SDU може да се раздели на няколко RLC PDU.
- Ако RLC SDU е малък или наличната скорост за предаване на данни е висока, няколко RLCSDU може да се пакетират в един RLC PDU.

# MAC функциите в Uplink

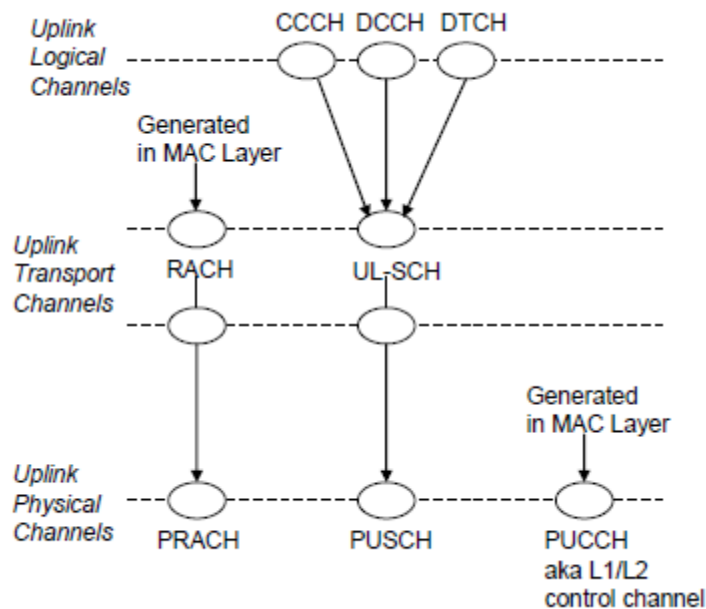
- **Избор на формат за предаване**
  - MAC определя как да се пакетира информацията и каква модулация и кодиране са на разположение,
  - MAC конфигурира PHY, за да бъде готов за предаване.
  - Uplink споделеният канал (ULSCH – Uplink Shared Channel) е основният транспортен канал.
  - Форматните променливи са модулация и кодиране, които определят скоростта на предаване на данните.
  - MAC определя капацитета на транспортния блок на базата на транспортния формат.



# MAC функциите в Uplink

- **MAC планиране на Uplink канала**

- Common Control Channel (CCCH), Dedicated Control Channel (DCCH) и Dedicated Traffic Channel (DTCH) се планират от UL-SCH.
- Всички MAC предавания през UL-SCH трябва да бъдат планирани от процедурата на канала за произволен достъп (RACH – Random Access Channel):



- Когато UE не е свързан, слотове, които не предават са все пак планирани.
- RACH осигурява средства за предаване на отпаднали устройства.
- Предаването по UL-SCH изисква разпределението на ресурсите от eNodeB и времево изравняване, за да бъде актуално предаването. В противен случай RACH процедурата е задължителна.

# Процедура за произволен достъп

- Когато един смартфон се включи за пръв път, той започва да търси мрежа, към която да се свърже. Може да има много мрежи , т.е. много честоти от различни оператори, към които UE може да се свърже.
- Поради това UE трябва да се синхронизира с всяка честота и да се провери дали това е правилния оператор, към който трябва да се свърже абоната. UE прави това, като преминава през начален процес на синхронизация.
- Веднъж синхронизиран UE чете Master Information Block (MIB) и System Information Block (SIB), за да се провери дали това е правилния PLMN.
- Ако PLMN стойността е правилна, UE ще продължи да чете System Information Block 1 и System Information Block 2.
- Следващата стъпка е известна като процедура за произволен достъп (Random Access Procedure), при което мрежата знае, че UE се опитва да получи достъп за първи път.



# Процедура за произволен достъп (2)

- На този етап UE няма никакъв ресурс или канал на разположение, за да информира мрежата за желанието му да се свърже към нея, така че ще изпрати своята заявка по споделена среда.
- Има две възможности:
  - **процедура за произволен достъп базирана на твърдение (Contention based)**- Има много UE в същата област (същата клетка), изпращащи същата заявка, в която има и възможност за колизия между заявките, идващи от други UE.
  - **процедура за произволен достъп без твърдение (Contention Free)** - Мрежата може да информира UE да използва даден уникален идентификатор, за да се предотврати заявката му да изпадне в колизия със заявките от другите UE (абонати).

# RACH процедура

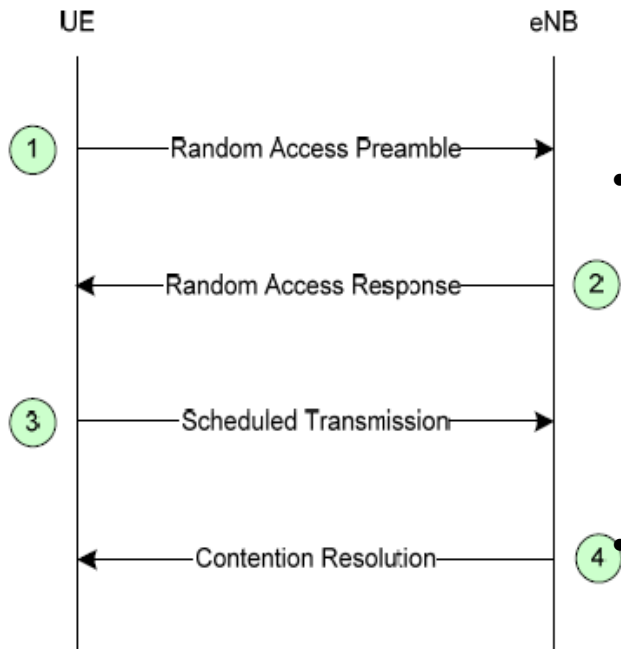
Използва се при четири случая:

- Първоначален достъп от отпаднал от мрежата (RRC\_IDLE) или прекъсване на сигнала;
- Хендовър, изискващ процедура за произволен достъп;
- Downlink или Uplink получаване на данните по време на RRC\_CONNECTED, след като UL PHY е загубила синхронизация;
- Uplink получаване на данните, когато не са по заявка за специално планиране (PUSCH) на наличните канали.

# Форми на RACH процедура

- RACH процедурата има две **форми**:
  - **базиран на твърдение (Contention based)**, която може да се приложи за всички четири събития
  - **произволен достъп без твърдение (Noncontention/Contention Free based)**, която се отнася само за хендовър
- Времето е решаващо, защото UE може да се движи на различно разстояние до базовата станция и LTE изисква прецизност на ниво микросекунди;
- Забавянето при разпространяването може да предизвика достатъчно промени, за да предизвика колизии.
- и получаване на Downlink данни.
- Разликата е дали има или няма възможност за неуспех при използване на RACH преамбюл (първото съобщение на процедурата за произволен достъп до дадена мрежа от UE)
  - Стойностите на преамбюла различават заявките, идващи от различни абонати (UE).
  - Ако обаче два UE използват еднакви RACH преамбюли по едно и също време, тогава може да има колизии.
  - Има общо 64 такива RACH преамбюли (модели, сигнатури) на разположение на UE за първото съобщение на процедурата за произволен достъп и UE ще избере един от тях случайно за процедура за произволен достъп, базирана на колизии, но за процедура, която не е базирана на колизии, всъщност мрежата ще информира UE кое от всичките да избере.

# Contention-based RACH процедура



- Преамбюл за случаен достъп: изпратен на специален набор от ресурси на физическия слой, които са група от подносещи отпуснати за тази цел:
  - Използва Zadoff-Chu последователност, CDMA подобно кодиране, за да се позволи едновременно предаване за декодиране;
  - 6-битово случайно ID;
- Отговор на процедурата за случаен достъп:
  - Изпраща се по Physical Downlink Control Channel (PDCCH) ;
  - Изпраща се във времеви прозорец от няколко TTI;
  - За първоначален достъп, предава поне RA-преамбюл идентификатор, информация за времево изравняване, първоначално UL отпускане и присвояване на временен C-RNTI;
  - Един или повече UE може да бъдат адресирани с един отговор;
- Планирано предаване:
  - Използва HARQ и RLCпрозрачен режим при UL-SCH;
  - Предава идентификатор на UE;
- Contention резолюция – eNodeB използва този етап, който е по избор, за да спре RACH процедурата.

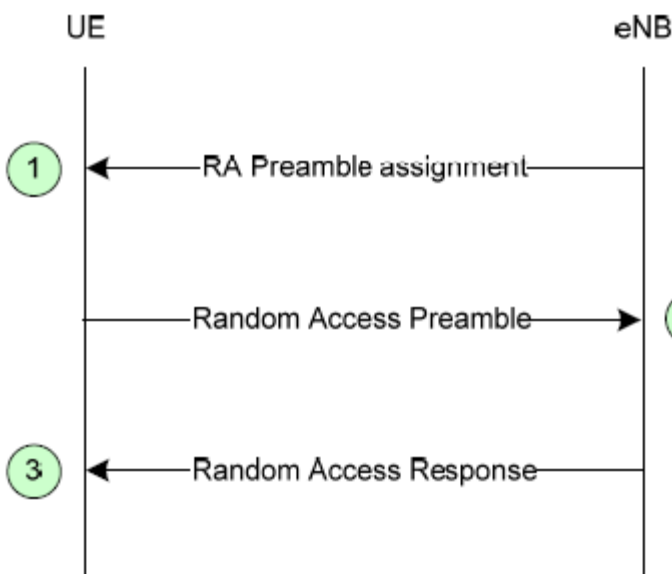
# Non-Contention Based RACH

## процедура

В non-contention based процедурата за произволен достъп, няма шанс за колизии на преамбюлите, защото кодът е предварително зададен от eNodeB.

Стъпки:

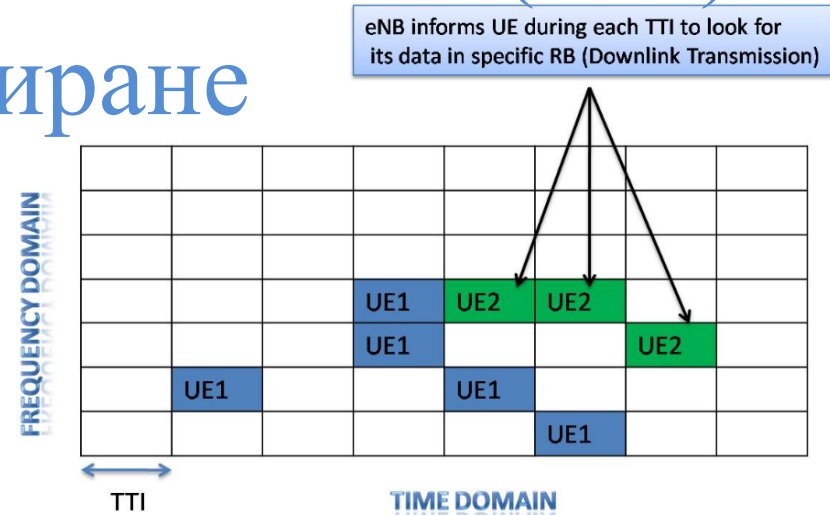
- Задаване на преамбюл за случаен достъп – eNodeB задава 6-битов код на преамбюл;
- Преамбюл за произволен достъп – UE предава назначения преамбюл;
- Отговор на процедурата за случаен достъп:
  - Както при Contention-based процедура;
  - Изпраща се от PDCCH (Physical Downlink Control Channel) ;
  - Изпраща се във времеви фрейм от няколко TTI;
  - Предава поне информация за времево изравняване и първоначално отпускане за UL за хендовър и информация за времево изравняване за DL постъпващи данни. В допълнение идентификатора за RA-преамбюл ако е адресиран до RA-RNTI на L1/L2 контролни канали;
  - Един или няколко UE могат да бъдат адресирани в рамките на един отговор.



# Transmission Time Interval (TTI)

## групиране

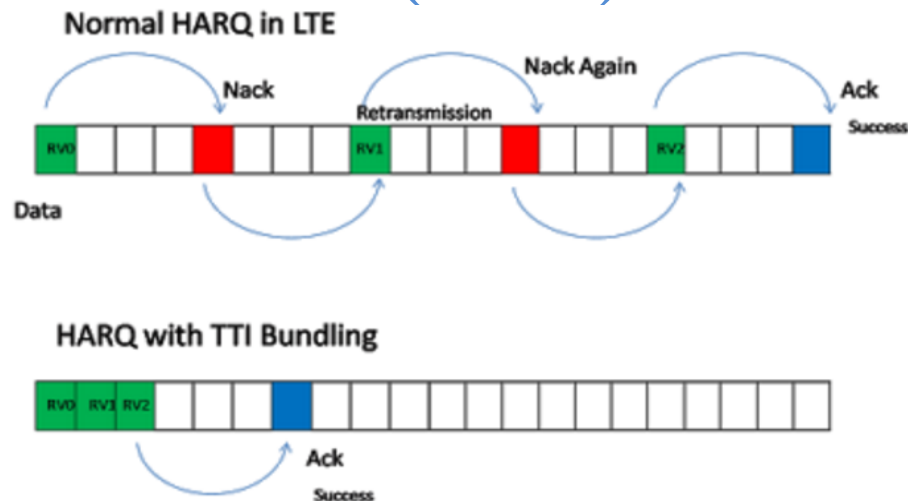
TTI групирането е LTE функция за подобряване на обхвата в периферията на мрежата или при лоши радио условия.



- UE има ограничени мощности при Uplink (23dBm за LTE), което може да доведе до много повторни предавания в периферията на клетката.
- Повторното предаване означава забавяне и контролен план, който може да не е приемлив за някои услуги като VoIP.
- TTI е най-малката единица за време в LTE, в която eNodeB е в състояние да планира за всеки потребител Uplink или Downlink предаването.
- Ако даден потребител получава Downlink данни, тогава при всяка 1ms eNodeB ще задели ресурси и ще информира абоната къде да търси за своите Downlink данни чрез PDCCH канал.

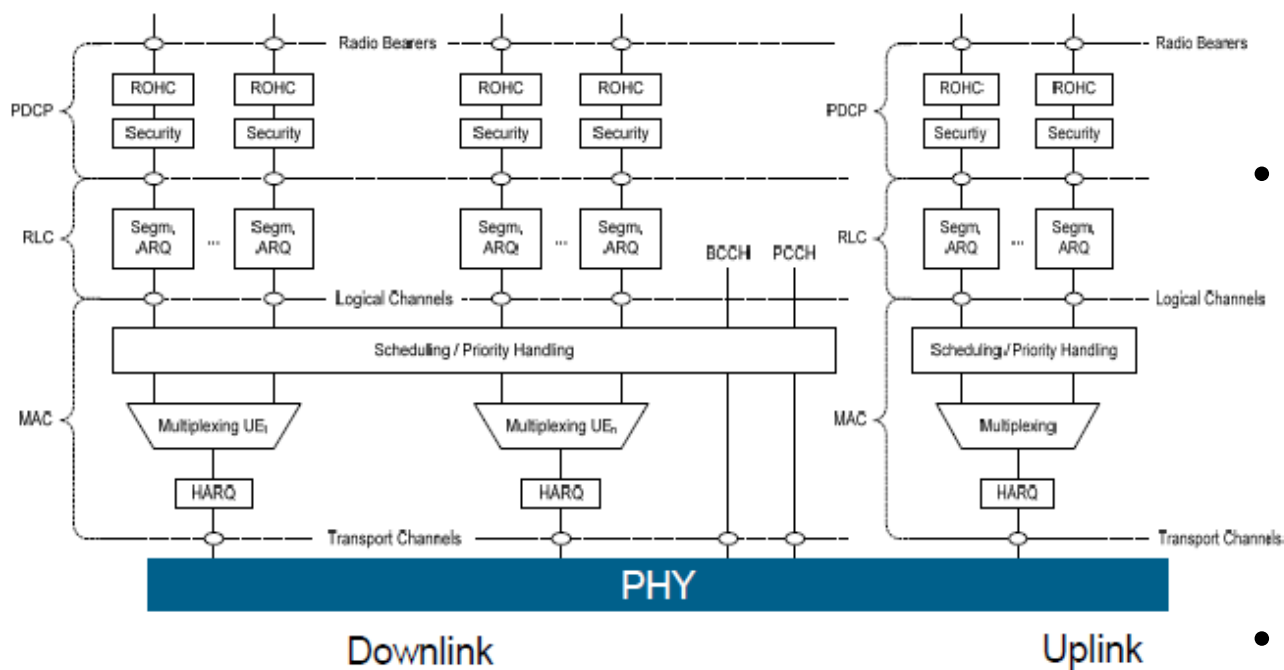
# Transmission Time Interval (TTI)

## групиране



- HARQ е процес, при който получателят комбинира ново получените данни всеки път с предишни данни с грешки.
- Недостатък - това може да доведе до забавяне и твърде много контрол във въздуха в случай на многократно препращане на сгрешените данни. За услуги като VoIP това означава лоша връзка с абоната.
- Има и друг начин на препредаване на сгрешените данни с нов набор от кодирани битове - да се пратят няколко версии на един и същ набор битове в пореден TTI и eNodeB да изпрати ACK, когато успешно се декодират битовете.

# LTE протоколен стек с множество инстанции



- Множество инстанции на RLC и PDCP, които обикновено са различни радио bearers.
- Радио bearers (носители) се характеризират с параметри, описващи типа на информацията и QoS, предавани през радио интерфейса.
- Планирането е глобално, защото контролира относителния приоритет на радио bearers и логическите канали.



# QoS при LTE

- В LTE мрежите управлението на трафика за постигане на QoS е значително по-сложно, отколкото при WiMAX.
- Има приоритизация по потребители и приоритизиране за самите услуги.
- В LTE мрежите QoS се осъществява между крайното потребителско устройство и PDN Gateway като се прилагат „bearers”.
- "Bearers" са набор от мрежови конфигурации за предоставяне на специална обработка на трафика, за да се му се зададе приоритизация.

# Bearers при LTE QoS

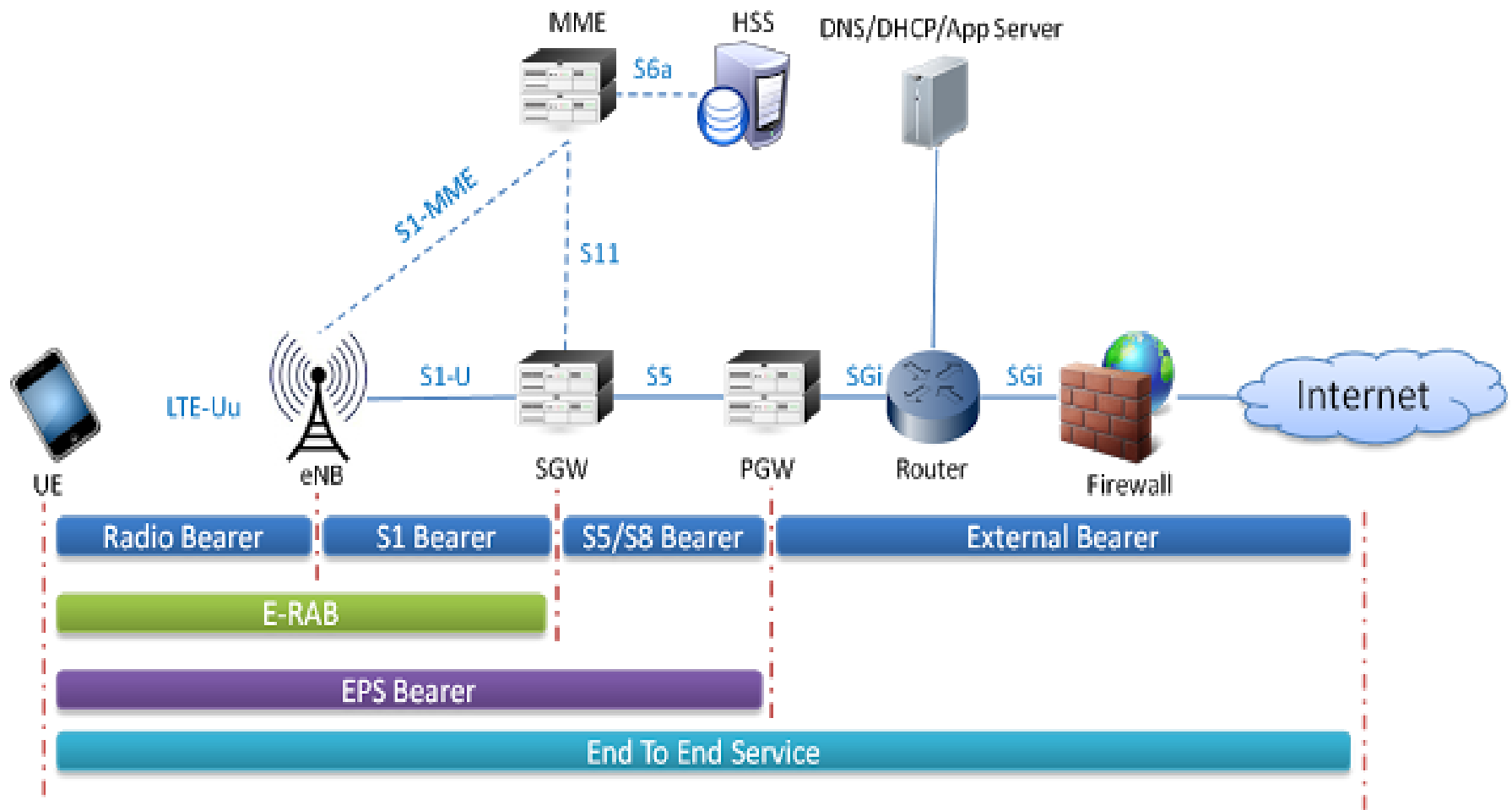
LTE QoS		
Dedicated Bearer		Default Bearer
Non-GBR	GBR	Non GBR
QCI 5-9	QCI 1-4	QCI 5-9
APN-AMBR	GBR	APN-AMBR
UE-AMBR	MBR	UE-AMBR
TFT	TFT	APN
ARP	ARP	IP Address
L-EBI	L-EBI	ARP

- Default bearer се установява, когато потребителското устройство (UE) се свърже с LTE мрежата.
- Dedicated bearer се установяват винаги, когато трябва да се зададе QoS за конкретен тип трафик (услуга) като VoIP, video и др.

# Bearers при LTE QoS

- GBR (Guaranteed Bit Rate) осигурява гарантирана скорост и следи два параметъра в посоки uplink и downlink:
- GBR- минимум GBR за EPS bearer,
- MBR- максимум GBR за EPS bearer.
- Non-GBR bearer не осигурява гарантирана скорост и следи също два параметъра в посоки uplink и downlink:
- A-AMBR- обща максимална скорост позволена за целия non-GBR throughput за конкретно APN (Access Point Name),
- UE –AMBR- обща максимална скорост позволена за целия non-GBR throughput за всички APN на конкретно UE.
- ARP (Allocation and Retention Priority) се използва, за да се реши дали разпределението на ресурса да се модифицира според новия bearer или да се запази текущото разпределение на ресурса.
- TFT (Traffic Flow Template) се асоциира с Dedicated bearer, докато Default bearer може да има или не TFT. TFT дефинира правила, базирани на адрес на източника и получателя или използван протокол, така че UE и мрежата знаят кои IP пакети да пращат по конкретния Dedicated bearer.
- L-EBI (Linked EPS bearer ID). Всеки Dedicated Bearer винаги е свързан към един от Default Bearers и L-EBI уведомява Dedicated Bearer към кой Default Bearer е свързан.

# Bearers при LTE QoS



# Класове при LTE QoS

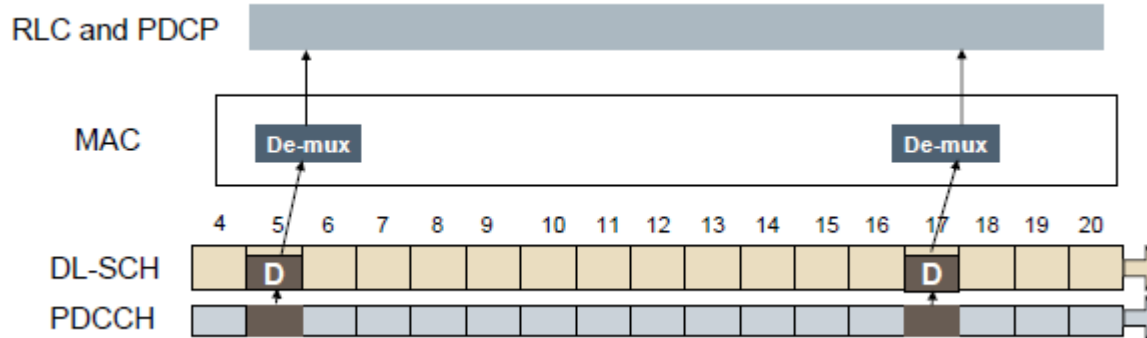
- В LTE мрежите за диференциране на QoS също като при WiMAX се прилагат класове, които тук са наречени QoS Class of Identifier (QCI).
- Те дефинират основно характеристиките на ниво IP пакети.

QCI	Тип Bearer	Приоритет	Закъснение на пакета	Загуби на пакети	Примерен тип трафик
1	GBR	2	100ms	$10^{-2}$	VoIP
2		4	150ms	$10^{-3}$	Видео разговор
3		3	50ms	$10^{-3}$	Игри в реално време
4		5	300ms	$10^{-6}$	Видео поток
5	Non-GBR	1	100ms	$10^{-6}$	IMS Signaling
6, 8, 9		6, 8, 9	300ms	$10^{-6}$	TCP базирани услуги – чат, ftp...
7		7	100ms	$10^{-3}$	Глас, видео, интерактивни игри

# Планиране

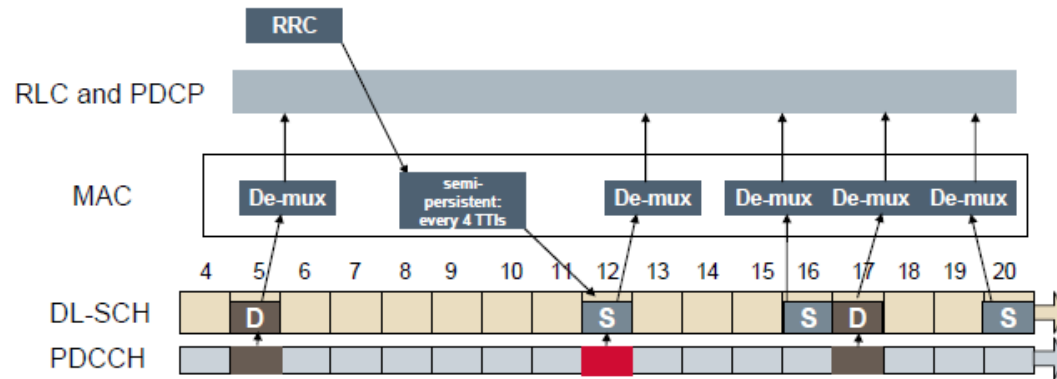
- eNodeB разпределя ресурсите във физическия слой за Uplink и Downlink споделени канали (UL-SCH и DL-SCH).
- Ресурсите са съставени от физически ресурсен блок (PRB – Physical Resource Block) и модулационна схема за кодиране (MCS – Modulation Coding Scheme).
- Модулационната схема за кодиране определя скоростта на предаване и капацитета на физическите ресурсни блокове (PRB).
- Разпределянето може да бъде валидно за един или повече TTI, а всеки TTI интервал е един подфрейм (1ms).
- Полуустойчивото планиране намалява контролния канал за сигнализация.
  - Ако всеки Downlink фрейм се сигнализира поотделно, това ще предизвика много трафик в контролния канал и контролния канал ще се нуждае от по-широка честотна лента, отколкото е необходимо.
  - То позволява да се създаде разпределение, което е постоянно, докато не се промени.
  - То може да бъде конфигурирано както за Uplink, така и за Downlink трафика.

# Downlink динамично планиране



- PDCCH пренася C-RNTI (Cell Radio Network Temporary Identifier), което е динамичен идентификатор на UE.
- C-RNTI показва, че предстоящият Downlink ресурс се демултиплексира от MAC и се предава на по-горните слоеве и е планиран за този UE.
- Периодичността на полуустойчивото планиране е конфигурирано от RRC.
- Дали планирането е динамично или полуустойчиво се определя чрез използване на различни скремблиращи кодове за C-RNTI в PDCCH.
- PDCCH е канал с много ниска пропускателна способност; той не пренася много информация в сравнение с Downlink споделения канал.

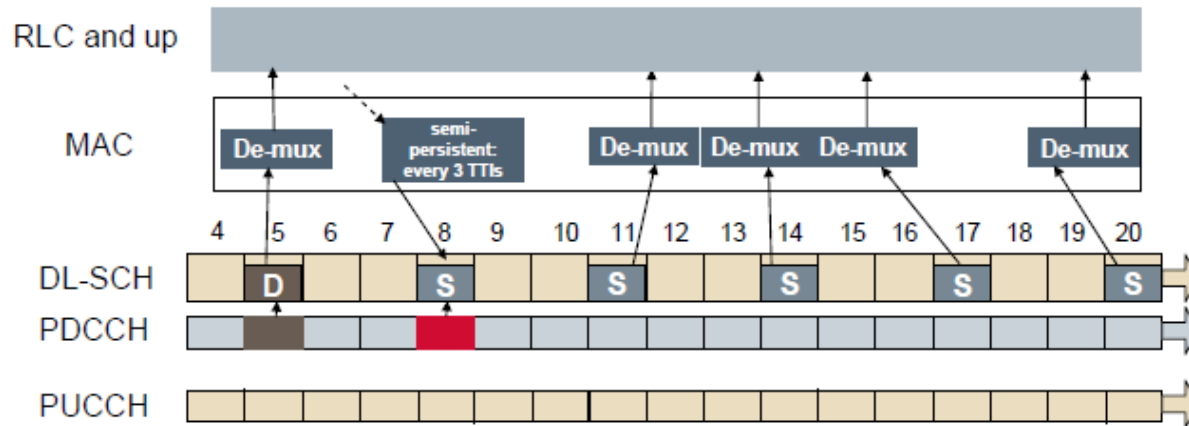
# Downlink планиране- полуустойчиво и динамично



- Тук RRC конфигурира някои елементи от полуустойчивото планиране.
- Това е пример за четири TTIs:
  - Първият път има сигнализация по PDCCH.
  - След това на всеки четвърти TTI има предаване, което става без сигнализиране по контролния канал.
  - Все още може да се използва динамичното планиране по едно и също време за други цели, ако е необходимо; информацията се пренася, докато се промени от друга индикация на контролния канал.

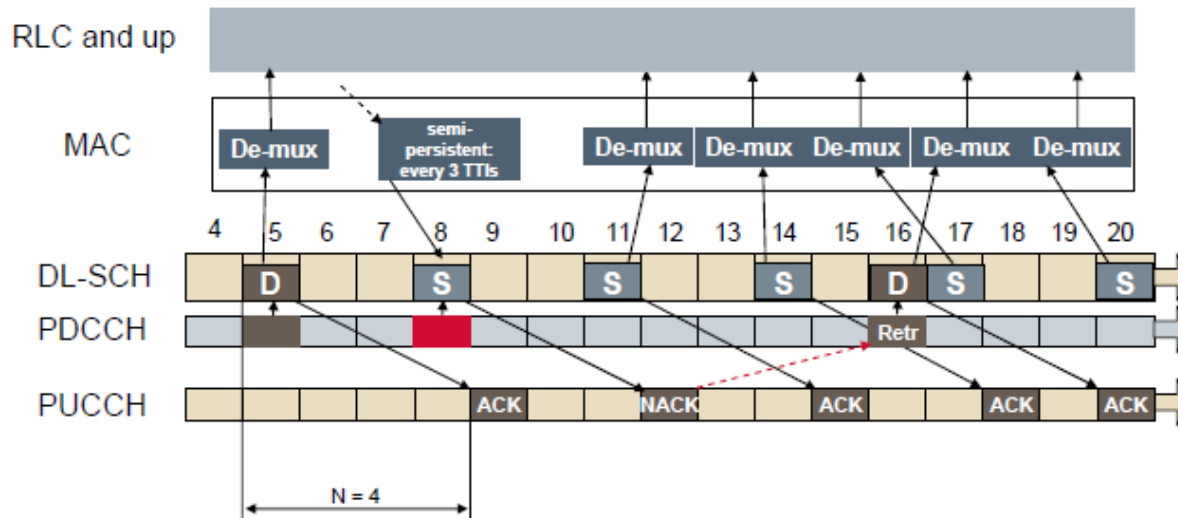


# Downlink планиране с HARQ



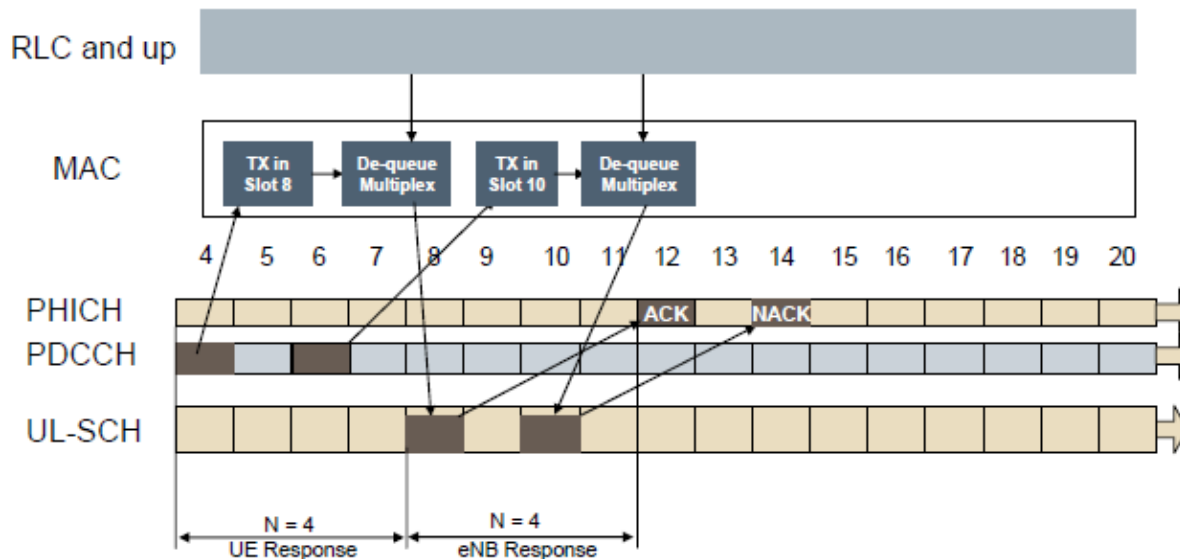
- Отново C-RNTI се намира в PDCCH, което показва, че предстоящият Downlink ресурс е планиран за този UE
-

# Downlink планиране с HARQ и ACK/NACK



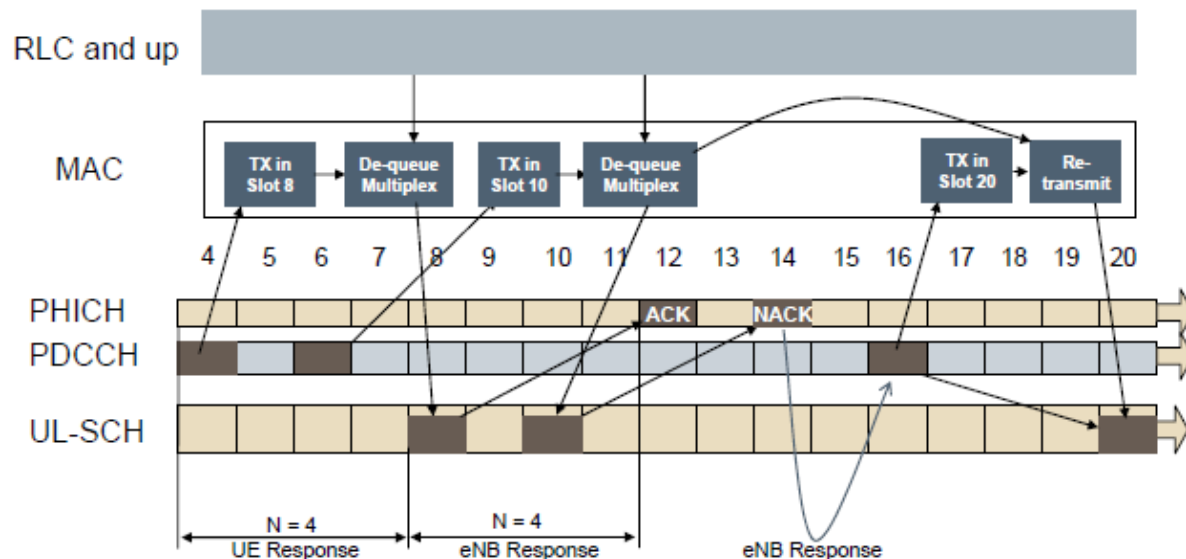
- HARQ генерира ACK или NACK, които се изпращат по L1/L2 контролните канали (PUCCH) на подфрейм  $n+4$ , за всеки Downlink транспортен блок.
- Тук има отрицателно потвърждение (NACK), така подкадърът трябва да се препредаде, като се използва HARQ.
- Препредаването се сигнализира динамично, след което се декодира и предава на по-горните слоеве.
- Накрая подфреймът трябва да се потвърди отново.
- Процесът може да стане доста сложен, когато са включени едновременно потвърждения и полуустойчиво планиране.

# Uplink планиране с HARQ



- Както при Downlink, Uplink информацията за планиране се намира в PDCCH.
- C-RNTI показва, че предстоящият Uplink ресурс е планиран за този UE в рамките на 4 TTI.
- Забавянето между 4 TTI, когато присъства Uplink наличността на слотове, когато всъщност трябва да бъде изпратена дава време на UE да изпразни опашката, да определи правилно приоритета и да определи най-добрия начин да се пакетира транспортния блок с информация, базирана на QoS изискванията на планировчика, който работи локално.

# Uplink планиране с HARQ и ACK/NACK



- Физическият HARQ канал за индикация (PHICH – Physical HARQ Indicator Channel) е специален канал за осигуряване на обратна връзка от eNodeB към UE върху HARQ процеса за Uplink.
- Той пренася ACK/NACK съобщения за Uplink транспортни блокове за данни.
- HARQ е синхронен с фиксирано време от 4TTI на Uplink за ACK/NACK в Downlink от eNodeB. eNodeB отговаря обратно с възможност за препредаване, която е планирана и препредадена.

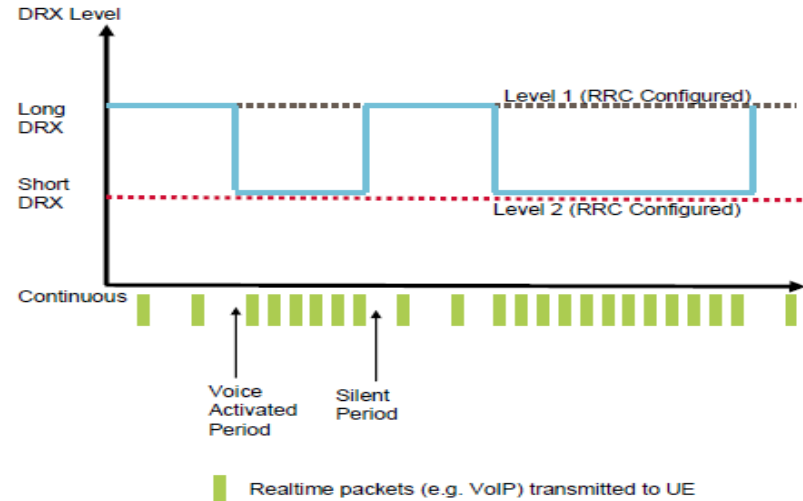
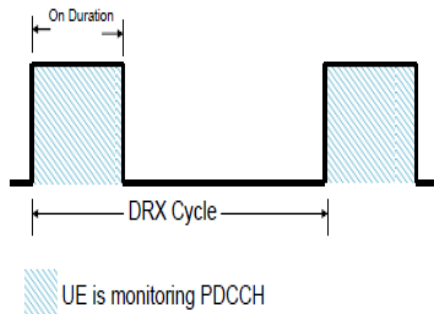
# Хендовър и роуминг

- Хендовърът е важна функция, която поддържа непрекъснатата свързаност при преход от една базова станция към друга.
- Има два вида хендовър:
  - intra-RAT, който е в рамките на една технология за радио достъп (т. е. LTE-до-LTE от една eNodeB до друга)
  - inter-RAT между технологии за радио достъп - Inter-RAT може да бъде между LTE и GSM или 3G WCDMA, 3GPP2, WiMAX или дори безжична LAN. Този не-LTE хендовър е дефиниран за LTE стандарта. Той включва по-високите слоеве и често различни радио модеми, но непрекъснатостта на разговора е гарантирана с до 100 ms прекъсване, когато разговорът се прехвърля, използвайки техники като мобилно IP или операции в софтуерните слоеве над модемния стек.
- Хендовърът се среща в активно състояние; той се контролира от мрежата (eNodeB). Мрежата използва изчисления от UE и своите налични знания за мрежовата топология, за да определи кога да прехвърли UE и на коя eNodeB. Повторното избиране на клетка се контролира от UE.

# Спестяване на мощност

- При безжичната даннова комуникация, приемникът използва значителна мощност за RF приемо-предавател, бързи A/D конвертори, широколентова обработка на сигнала и т. н.
- Целта е да се изключи радио предаването през повечето време, докато устройството стои свързано към мрежата. Радио модемът може да се изключи в по-голямата част от времето, докато мобилното устройство остава свързано към мрежата с намалена пропускателна способност.
- Приемникът се включва през определено време за актуализации. Устройствата могат бързо да преминат към режим на пълна мощност за максимална производителност.

# LTE протоколи за спестяване на енергия



Това са:

- Discontinuous Reception (DRX)
- Discontinuous Transmission (DTX)
- И двете решения намаляват енергията при липса на предаване, но се включват при активна работа.
- Пропускателният капацитет на данните на UE намалява пропорционално на спестяванията на енергия.
- RRC определя цикъла, където UE функционира за определен период от време, когато цялата информация за планирането и страницирането е предадена.
- eNodeB знае, че UE е напълно изключен и не е в състояние да получи нищо. Освен когато в DRXUE радио предаването трябва да бъде активен за наблюдение на PDCCH (за идентифициране на Downlink данните).
- По време на DRXUE радио предаването може да бъде изключено.

# Въпроси ?

Благодаря за вниманието !



# За справка:

- LTE: capacity and cell-edge performance improvements, February 2014, <http://www.3gpp.org/>
- Raj Jain, Subharthi Paul, Jianli Pan, “Future wireless networks: key issues and a survey (ID/locator split perspective)”, Int. J. Communication Networks and Distributed Systems, Vol. 8, Nos. 1/2, 2012.
- LTE (telecommunication), [https://en.wikipedia.org/wiki/LTE\\_\(telecommunication\)](https://en.wikipedia.org/wiki/LTE_(telecommunication))
- Freescale Semiconductor, “Long Term Evolution Protocol Overview”, Freescale Semiconductor, Inc. 2008
- Random Access Procedure in LTE, <http://www.simpletechpost.com/2013/04/random-access-procedure-rach-in-lte.Html>
- Default Bearer, Dedicated Bearer ... What exactly is bearer?, <http://www.simpletechpost.com/2012/05/default-bearer-dedicated-bearer-what.Html>
- Quality of Service (QoS) in LTE, <http://www.simpletechpost.com/2013/01/quality-of-service-qos-in-lte.Html>
- TTI Bundling, <http://www.simpletechpost.com/2012/05/tti-bundling-in-lte.Html>
- Freescale Semiconductor, “Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer”, Freescale Semiconductor, Inc. 07/2007
- The advantages and disadvantages of the use of 4G LTE Technologie, <http://geekswithblogs.net/bookmarkinglist/archive/2016/01/05/170875.aspx>
- Advantages of LTE | Disadvantages of LTE | Long Term Evolution, <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-LTE.Html>
- WiMAX vs LTE – What is a Better 4G Technology, <http://thebestwirelessinternet.com/wimax-vs-lte.Html>
- 3G, 4G, 5G... време е за единен стандарт, [http://networkworld.bg/1029\\_3g\\_4g\\_5g\\_vreme\\_e\\_za\\_edinen\\_standart](http://networkworld.bg/1029_3g_4g_5g_vreme_e_za_edinen_standart)
- 4G LTE World Coverage Map – LTE, WiMAX, HSPA+, 3G, GSM Country List, <http://www.worldtimezone.com/4g.Html>

# Въпроси за самопроверка

- Какво е характерно за 3GPP стандарта?
- Какво съдържа LTE протоколния стек?
- Опишете процеса на downlink/ uplink предаване
- Какво представлява HARQ? За какво се използва?
- Какви видове RACH процедури познавате? Начертайте и обяснете.
- Какво представлява TTI групиране и кога се ползва?
- Какви са функциите на PDCP /RLC/MAC слоя?
- Какво представляват bearers? За какво се ползват?
- Какви класове LTE QoS услуги познавате?
- Какво представлява Scheduler-а в downlink/uplink предаване? Как се реализира?
- Как се спестява енергия при тази технология?