

## Един подход за подобряване на производителността при мобилния широколентов достъп

Теодор Илиев

*An approach for performance improvement of the mobile broadband wireless access: This paper highlights potentials and limitations of current and future mobile radio systems for area-wide mobile broadband access. It describes and thoroughly analyzes the physical layer of the current Release 8 of the UMTS LTE mobile radio standard implemented as single-antenna system. Different novel modifications and alternative concepts are introduced and analyzed which aim at either increasing the physical layer performance or at decreasing the computational complexity*

**Key words:** Broadband Wireless Access, UMTS, LTE.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Два факта ускоряват бързото развитие на технологиите за широколентовия мобилен достъп: постоянно нарастващо търсене на висока скорост на данните в мобилни устройства и приложения и търсене на широколентов достъп, на приемлива цена, в райони, където радиовръзката се използва като заместител на фиксирания кабелни мрежи.

Термина широколентов достъп има своя корен от термина широчина на лентата. В [9] се описва терминът широколентов в контекста на цифрово предаване на данни, където се специфицира точното количество предадена информация. Обаче, точното количество е обект на постоянна промяна варираща по време, място и контекст.

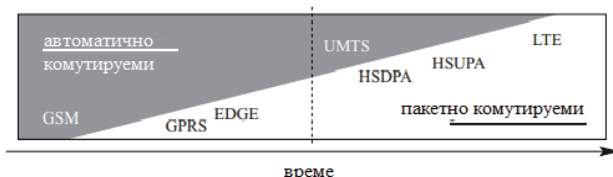
Имайки предвид опита потребителите, дефиницията на широколентов достъп в независими потребителско-ориентирани приложения е използвано от различни групи и организации. Широколентовите мрежи трябва да разрешат достъпа към широколентови услуги, съдържание и приложения. Така, че дефиницията за широколентов достъп нараства с търсенето на приложения и по тази причина не може да бъде числено оценена. Обаче е много добре формулирано като насока за изследователите и индустрията, които трябва да се съобразяват с непрестанно нарастващото търсене за по-високи скорости на предаване на данните за новосъздадените приложения и услуги в интернет.

### АСПЕКТИ НА МРЕЖОВАТА АРХИТЕКТУРА

Две успоредни разработки са повлияли върху развитието на радио достъпа. Мрежи за информационен достъп са разгледани, за да разрешат взаимната връзка между различните видове обекти, като например: компютри, терминали, информационни сървъри или принтери. По своята природа тези мрежи са фиксирани или в случай на радио достъп, безжични. Приложението на тези мрежи е за бързо разпределение на информационните пакети без значение каква е самата информация и е обект на разнообразни ограничения, като например закъснение, загуба на пакети или различен размер на пакетите. В предвид препоръките на ITU, закъснението от един потребител към друг (еднопосочно закъснение) не трябва да превишава 400 ms за услуги в реално време. Протоколите на тези мрежи трябва да позволяват създаването на връзка и трябва да поддържат нейното постоянство, което е трудна задача в мобилните комуникации.

Въпреки сходството на достъпа до информация и мобилните радиомрежи, разликата между автоматична комутируема мрежа (CS) и обществена комутируема мрежа (PS) все още съществува. Пакетната комутация е добавена към GSM, известна като Обща радио услуга за предаване на данни с пакетна комутация (*General packed radio service - GPRS*), който GPRS е развит към Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE). Универсална мобилна телекомуникационна система

(Universal Mobile Telecommunication System) е проектирана да поддържа както CS, така PS трафик. С въвеждането на предаването на глас през IP базирани мрежи (VoIP) и IP мултимедийна подсистема (IMS) [1], гласовата комуникация в пакетно комутируемите мрежи става възможна. Известно е, че пакетно комутируемите мрежи ще са доминиращите в бъдещите мобилните радиосистеми, понеже осигуряват гъвкавост на поддръжката на различни изисквания отнасящи се до закъснение, скорост на данните и сигурност. На фигура 1 е показан прехода от автоматично комутируемите към пакетно-комутируеми системи.

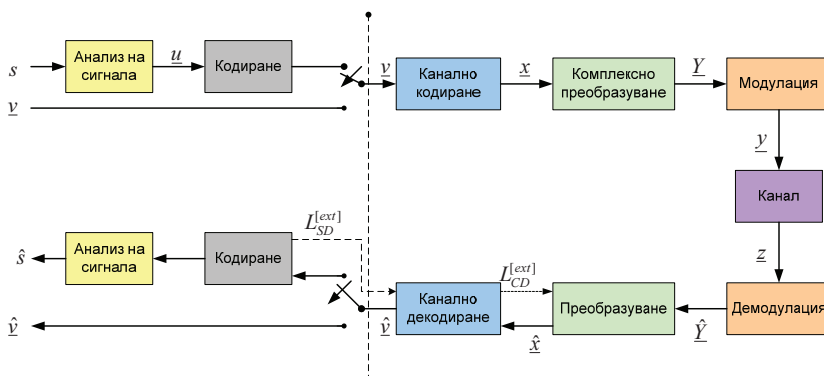


Фиг. 1 – Развитие от автоматично комутируеми към пакетно комутируеми системи

Версия 8 на UMTS стандарт въвежда настоящото разширение на UMTS LTE. Предаването на данни ще бъде единствено IP базирано използвайки технология за пакетно предаване [7]. Различни възможности за автоматично комутируеми услуги като гласови повиквания, видеотелефония са в процес на развитие. Трета версия е стандартизирана от предаване на глас по стандарта LTE (Voice over LTE Generic Access-VoLGA), където задачата е била да се специфицират и разпространят основните изисквания за разширение на традиционните GSM и UMTS автоматично комутируеми услуги на LTE мрежи за достъп [8].

### КОНЦЕПЦИЯ ЗА ФИЗИЧЕСКИЯ СЛОЙ

Физическия слой на предавателна система, както е дефинирана от ISO (International Organization for Standardization) в OSI модела, който може да се приложи за всички стандартизирани комуникационни системи. В него физическия слой е означен като слой първи.



Фиг. 2 – Основен модел на система

Предвид предназначението на системата, входът на предавателя може да съдържа както мултимедийен сигнал  $s$ , така и информационен сигнал  $\underline{v}$ . Използвайки модела основан на кодиране на източника, мултимедийния сигнал е преобразуван в

сигнал  $\underline{u}$ , съдържащ множество дискретни параметри с реални стойности. Сигналят  $\underline{u}$  след това е кодиран в информационни битове в кадъра  $\underline{v}$ , в зависимост от методите за кодиране използвани в определената телекомуникационна система. Елементите  $v^{(i)}$ , като  $i \in \{0, \dots, l_v - 1\}$  от кадъра на информационните битове  $\underline{v} = [v^{(0)}, v^{(1)}, \dots, v^{(l_v-1)}]$  с дължината  $l_v$ , представена в двоичен вид, т.е.  $v^{(i)} \in \{0, 1\}$ .

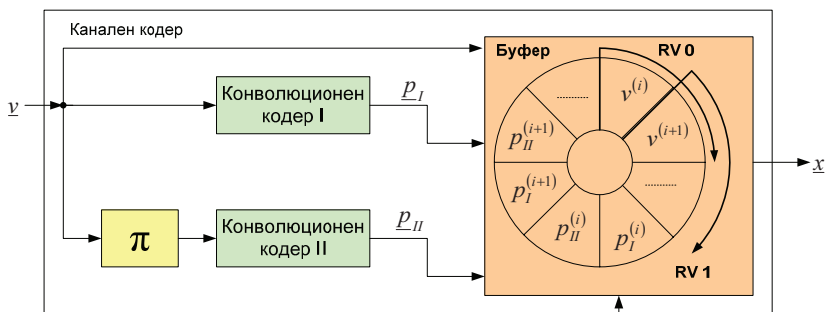
Приетият информационен сигнал е обозначен с  $\hat{v}$  и в зависимост от вида на системата съдържа или битовете  $\hat{v}^{(i)} \in \{0, 1\}$ ,  $i \in \{0, \dots, l_v - 1\}$  или логаритмично отношение на функцията на правдоподобие (*LLR*, *L-стойности*)  $\hat{v}^{(i)} \in R$   $i \in \{0, \dots, l_v - 1\}$  отразявайки вероятностите на предаден бит  $\hat{v}^{(i)}$  да бъде 1 или 0 [4]. Ако в предавателя се използва кодиране на източника, то декодерът преобразува параметъра на кадъра  $\hat{u}$  от битове определени на базата на твърдо вземане на решение за приетия кадър  $\hat{v}$ . По този начин сигналят  $\hat{s}$  от първоначално предадения сигнал  $s$  може да бъде възстановен на базата на анализ на сигнала. За повтарящо се декодиране декодера на източника може да генерира външна информация  $L_{SD}^{[ext]}$  на информационните битове  $\hat{v}$  под формата L-стойности.

В частта за връзка на предавателя битовете в кадър  $\hat{v}$  са защитени от грешки при предаването благодарение на използването на канално кодиране в системата, т.е. битовете са сегментирани на кадри  $\underline{v}$  с дължина  $l'_v$ . Обикновено дължината на  $l'_v$  на каналния кодер се различава от дължината на  $l_v$  на кадрите на кодирането на източника. Всеки кадър  $\underline{v}$  е преобразуван в двоичен код  $\underline{x}$  с дължина  $l_x$ , като обикновено се изпълнява условието  $l_x \geq l'_v$ . Получената степен на кода  $r$  се дефинира по следния начин:

$$r = \frac{l'_v}{l} \quad (1)$$

Принципите на каналното кодиране по стандарта LTE са описани в [10]. Информационните кадри  $\underline{v}$  от MAC слоя са защитени посредством CRC кодиране при което се добавят 24 бита на всеки кадър. Тези информационни кадри са с променлива дължина, в случай че MAC кадъра включва CRC кодиране то той надвишава 6144 бита, т.е.  $l_v > 6120$ , тогава кадъра е разделен на по – малки кадри, за да се спази това ограничение. Както е показано на фиг. 3 този информационен кадър е кодиран със систематичен турбо код със степен 1/3, който съдържа два паралелно свързани конволюционни кода с полиномен генератор  $G = \{1, 15/13\}_8$  и блок за разместване на битовете  $\pi$ , който при стандарта LTE е изпълнен като блок за разместване на битовете с квадратична пермутация, позволявайки лесно изпълнение за различни размери на кадрите  $l_v$ . Всеки конволюционен код генерира един проверовъчен бит за всеки информационен бит, което води до образуването на три различни потока: първият съдържа систематичните, т.е. некодирани информационни битове, докато втория и третия съдържат проверовъчните битове от двата съставни кодера  $p_1$  и  $p_{11}$  съответно.

За по – ефикасно и лесно изпълнение на съчетаването на скоростта, тези три потока са индивидуално разместени и записани в буфера [3]. Кадър от кодираните битове  $l_x$  е избран за предаване от буфера с резултатна степен на кода  $r = l'_v / l_x$ . Големината на  $l_x$  се определя в съответствие с моментното качество на комуникационния канал, пропускателната способност, максималното закъснение, търсеното отношение BER/FER и настоящата натовареност на радио клетката.



Фиг. 3 – Турбо кодиране при стандарта UMTS LTE

Размерът на блока  $l_x < 3l_v$  съответства на степен на кода  $r = 1/3$ . Степента на кода може да заема и по-малки стойности от  $1/3$  при повторение на систематичните и проверовъчните битове.

В допълнение към турбо кодирането схемата на стандарта LTE HARQ позволява до четири предавания на различни комбинации от систематични и проверовъчни битове. За първоначалното предаване RV 0 (*Redundancy version*) първо се избират систематичните битове и след това останалото пространство на кадъра на кода  $\underline{x}$  се запълва с проверовъчни битове. Трябва да се отбележи, че първият бит в RV 0 не винаги е първия систематичен бит, т.е. обикновено  $x^{(0)} \neq v^{(0)}$ . Всяко следващо повторно предаване (RV 1 ÷ RV 3), което може да се изиска от приемника започва с различна позиция в буфера, т.е. съдържа различни комбинации от систематични и проверочни битове и понякога единствено проверочни битове. Вземането на решение за повторно предаване се базира на декодирания кадър  $\hat{y}$ , след което се изпраща сигнал по обратния канал към MAC слоя на предавателя, който в резултат препредава съответното RV. Всяко препредаване довежда до намаляване на ефективната степен на кода, загуби при предаването и закъснение.

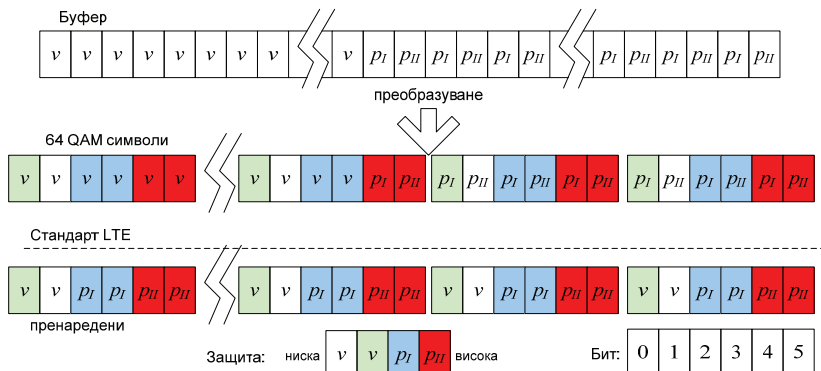
### КОНЦЕПЦИЯ ЗА ПОДОБРЯВАНЕ НА ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА ПРИ UMTS LTE 64 QAM

Основната идея се заключава в подобреното преподреждане на кодираните битове от LTE турбо кодера, като се отчита различната защита от грешки (*UEP*) и свойството на преобразуването на Грей при 64 QAM. [5, 6]

Съществуват различни начини за използване на *UEP* в комуникационните системи, като например неравномерната защита от грешки на различните кодери за кодирана аудио информация или неравномерното енергийно разпределение на комплексно преобразуваните символи  $Y$ . [2]

Описаната концепция използва *UEP* посредством неравномерна защита на систематичните битове и проверовъчни битове. Въвеждането на *UEP* за систематичните и проверовъчни битове на използваната турбо кодиращата система с цел по-бърза конвергенция между избраната схема за кодиране и процеса за преценка на канала се постига, при условие че систематичните битове са с по-добра защита от грешки за разлика от проверовъчните битове. Това довежда до увеличение на вероятността за поява на грешки BER в случаите на фиксиран брой итерации при декодирането. Подходът при използването на *UEP* е следният: с помощта на обикновено пренареждане на кодираните битове систематичните битове

се поставят в добре защитени позиции на комплексния символ в сигналното съзвездие, а проверовъчните битове са асиметрично разположени в по-слабо защитени позиции, както е показано на фиг.4.



**Фиг. 4 – Преобразуване и подреждане на кодираните битове в комплексни 64QAM символи при стандарта LTE**

Степента на кода е  $1/3$  с който са кодирани информационните битове, за да се образуват систематичните битове  $v$  с техните проверовъчни битове  $p_{I1}$  и  $p_{I2}$ . При стандарта LTE тези битове се прочитат последователно от буфера и преобразувани в шест битови позиции на 64 QAM символ. В резултат комплексните модулационни символи съдържат или 6 систематични бита  $v$  или 6 проверовъчни бита  $p_{I1}$  и  $p_{I2}$ . При пренареждането се отчита нивото на защита (фиг.4): систематичните битове  $v$  са разположени в битове 0 и 1 от символа, проверовъчните битове  $p_{I1}$  от първия съставен кодер са разположени в битове 2 и 3 респективно, оставяйки битове 4 и 5 за проверовъчните битове на втория съставен кодер. По този начин систематичните битове получават по – високо ниво на защита за разлика от проверовъчните битове.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Може да се каже, че два фактора ускоряват развитието на мобилния широколентов достъп: нарастващото търсене на високи скорости на предаването на данни, използването на мобилни устройства и приложения, както и търсенето на лесен широколентов достъп за по – гъстонаселени области, където радиотехнологиите се приемат за заместител на фиксираните услуги. Осма версия на стандарта UMTS LTE дава възможност за по – високи скорости на предаване на данните, осигурена от съответната системна IP архитектура. С предложената концепция за подобряване на производителността на стандарта LTE може да се постигне различно ниво на защита от грешки: битовете предаващи полезната информация са по-добре защитени за разлика от контролните битове.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bertrand G.. The IP Multimedia Subsystem in Next Generation Networks. May 2007.
- [2] Brüggem T.. Unequal Error Protection by Source-Controlled Digital Modulation, IND, RWTH Aachen, Aachen, 2006.

[3] Cheng J., Nimbalkar A., Blankenship Y., Classon B., and Blankenship T.. Analysis of Circular Buffer Rate Matching for LTE Turbo Code. In Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), Calgary, Canada, Sept. 2008.

[4] Hagenauer J., Offer E., and Papke L.. Iterative Decoding of Binary Block and Convolutional Codes. IEEE Transactions on Information Theory, 42(2):429–445, March 1996.

[5] Lüders H., Minwegen A., Eschbach B., and Vary P.. An Improvement of UMTS LTE 64QAM Performance. to appear in European Transactions on Telecommunications (ETT), Special Issue on MC-CDMA, (5), 2010.

[6] Lüders H., Minwegen A., and Vary P.. Improving UMTS LTE Performance by UEP in High Order Modulation. In 7th International Workshop on Multi-Carrier Systems & Solutions (MC-SS 2009), pages 185 – 194, Herrsching, Germany, May 2009. Springer.

[7] UMTS Forum. Towards Global Mobile Broadband; Standardising the future of mobile communications with LTE (Long Term Evolution). White Paper, February 2008.

[8] VoLGA Forum. Voice over LTE via Generic Access; Requirements Specification; Phase1. VoLGA - Requirements V1.3.1, June 2009.

[9] International Telecommunication Union (ITU). digital.life – ITU Internet Report 2006. December 2006.

[10] 3rd Generation Partnership Project (3GPP); Technical Specification Group Radio Access Network. Evolved Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and Channel Coding. TS 36.212, Version 8.2.0, Rel. 8, March 2008.

**За контакти:**

доц. д-р Теодор Илиев, Катедра “Телекомуникации”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 839, e-mail: tiliev@ecs.uni-ruse.bg

**Докладът е рецензиран.**