Изследване качествените параметри на възходящите транспортни канали в стандарта LTE

Григор Михайлов, Теодор Илиев

Study of channel quality parameters in uplink transport channels in LTE standard: *In modern wireless networks, the signal quality in wireless channel is estimated based on the channel quality measurements. The measurement results are used to select appropriate modulation and coding scheme for each transmission. In the downlink of Long Term Evolution (LTE) systems, feedback and processing delays cause a mismatch between the current channel state and the Channel Quality Information (CQI) at the base station. This CQI aging leads to inaccurate channel adaptation and can, thus, highly degrade the cell capacity.*

Key words: *mobile network, LTE, channel quality.*

ВЪВЕДЕНИЕ

В стандарта LTE един от основните параметри във възходящите транспортни канали е т.н. индикатор за качеството на канала (*CQI*) съдържа информация, изпратена от потребителското устройство към базовата станция, за определяне на подходящ режим за предаване, т.е. подходяща стойност на модулационната и кодираща схема (*Modulation and Coding Scheme* (*MSC*)). Индикаторът за качеството на канала е четири битово число и е базирано на отношението на сигнала към интерференцията и шума (*SINR*) при потребителското устройство. В процеса на определяне на индикатор за качеството на канала CQI се взема под внимание възможностите на потребителското устройство, като броя антени и типа приемник, използван за детектиране. Това е от голямо значение, тъй като за една и съща стойност на *SINR*, нивото на модулационната и кодираща схема, което може да бъде поддържано от потребителското устройство зависи от съответните му възможности. От друга страна трябва да бъде взето под внимание от базовата станция, за да бъде избрана най-подходящата варианти на схемите на модулация и кодиране за съответното предаване на информация. Стойности на индекса CQI се използват от базовата станция за адаптиране на връзката, което е важна характеристика на LTE стандарта.

Стандарта LTE поддържа, както широколентово изпращане на доклади, така и изпращане на доклади за отделните подленти. Широколентовия CQI индекс е четирибитово число, което представлява ефективната стойност на SINR за цялата честотна лента на системата. С широколентовата стойност на CQI се замаскира промяната на SINR през канала, тъй като канала е с честотно избираем характер. Поради тази причина, с широколентов CQI доклад не може да се направи честотно избираемо планиране, където потребителското устройство е разположено само в ресурсните блокове с най-голям коефициент на SINR.

Един от важните аспекти при проектирането на CQI механизъма е търсенето на компромис между представянето на системата при низходящо предаване и консумираната от CQI механизъма честотна лента във възходяща посока. Широколентовия CQI е най-ефективен, от гледна точка на използвана честотна лента, тъй като за него са необходими само 4 бита информация. Въпреки това, не е оптималния механизъм, тъй като с широколентовия CQI доклад не може да се направи честотно избираемо планиране. От друга страна, CQI доклада с избор на подлента изисква по-широка честотна лента от възходящия канал, но позволява да се осъществи честотно избираемо планиране, което увеличава многопотребителското разнообразие при OFDMA системата. Широколентовия CQI доклад е предпочитан при много високи скорости, където канала се променя много бързо и използването на CQI с избор на подлента би заел голяма част от използваната възходяща честотна лента. Широколентовия CQI също така е

предпочитан за услуги с ниска информационна натовареност, като VoIP например, където има голям брой едновременно участващи потребителски устройства и точно определено закъснение. LTE стандарта не определя как точно да се избира между широколентов CQI и CQI с избор на подлента, в зависимост от скоростта на потребителското устройство или изискванията за качество на услугата от използваното приложение. Тази задача е оставена на производителите за развитие и внедряване в устройствата.

МЕТОДИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА CQI

Низходящите референтни сигнали се използват от всяко потребителско устройство за определяне на MIMO канала на базовата станция. След като се определи съответния канал, заедно с вече известните референтни сигнали се определя нивото на интерференция от другите базови станции. Потребителското устройство използва определения канал и промяната в интерференцията и шума за да изчисли SINR за физическия ресурсен елемент (PRE), пренасящ референтните сигнали. Потребителското устройство изчислява няколко на брой SINR проби за множество OFDM символи и подносещи, които се използват след това за определяне на ефективното отношение SINR:

$$SINR_{eff} = \alpha_1 I^{-1}\left(\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} I\left(\frac{SINR_k}{\alpha_2}\right)\right) \quad (1)$$

където N е броя на изчислените проби. Функцията $I(.)$ преобразува SINR в коефициент, който е усреднен измежду всички отчети и $I^{-1}(.)$ е неговата инверсен образ. Параметрите α_1 и α_2 спомагат за адаптирането към различните модулационни и кодиращи схеми. Най-често използваните функции за I са:

$$I(\gamma) = \gamma \quad (2)$$

$$I(\gamma) = \log_2(1+\gamma) \quad (3)$$

$$I(\gamma) = e^{-\gamma} \quad (4)$$

$$I(\gamma) = \log_2(M) + \frac{1}{2\pi M}\sum_{m=1}^{M-1}\int e^{-\gamma(y-x_m)^2}\log_2\left\{\frac{e^{-\gamma(y-x_m)^2}}{\sum_{k=0}^{M-1} e^{-\gamma(y-x_k)^2}}\right\}dy \quad (5)$$

където M е индекса на модулация.

При широколентовия CQI доклад, потребителското устройство определя SINR от сигналите за справка от всички физически ресурсни елементи, след което изчислява неговото CQI, на база ефективното отношение SINR в цялата честотна лента на канала. От друга страна при CQI с избор на подлента, потребителското устройство определя SINR от физически ресурсен елемент в съответната подлента, след което изчислява съответното CQI. Подлента е набор от k на брой съседни физически ресурсни елементи, където k е полу-статистично конфигуриран от по-високите слоеве. Набора от подленти (S), който потребителското устройство трябва да определи за CQI доклада, обхваща цялата низходяща честотна лента на системата. Последната подлента от S може да има по-малко от k на брой съседни физически ресурсни елементи, в зависимост от N_{RB}^{DL}. Броя подленти за честотната лента на системата, дадена от N_{RB}^{DL} се определя като $N = \left[N_{RB}^{DL}/k\right]$.

На база на определения ефективен SINR, потребителското устройство избира CQI индекса, показващ най-високото MCS ниво (модулация и степен на кода), което може да се поддържа при 10% BLER за първото HARQ предаване на информация. CQI доклада се използва от базовата станция за избор на оптимален PDSCH транспортен блок с комбинация от модулационна схема и големина на блока, отговарящи на CQI индекса, който ще бъде получен заедно с желаната стойност за вероятността за блокова грешка след първото HRAQ предаване. Тази желана

стойност на вероятността за поява на блокова грешка не е точно определена и варира в диапазона 10-25%. Трябва да се отбележи, че желаната стойност на BLER 10% не е същата като BLER 10%, от която стойност се изчислява CQI. По този начин базовата станция трябва да вземе това предвид, докато избира оптималната големи на транспортния блок. Ако получената стойност на BLER не е равна на желаната, то тогава се добавя допълнителен коефициент към CQI, чрез който е възможно избирането на подходящата големина на блока, като по този начин се получава желаната стойност за BLER. Положителна стойност на този допълнителен коефициент предполага по-агресивен избор на големината на блока, докато отрицателната стойност – по-консервативен избор.

В таблица 1 са дадени поддържаните CQI индекси. Общо са 16 стойности, за които е необходим 4 битов CQI доклад.

Табл. 1 - 4 битови CQI индекси

CQI индекс	Модулация	Степен на кода R x 1024	Ефективност
0	-		
1	QPSK	78	0,1523
2	QPSK	120	0,2344
3	QPSK	193	0,3770
4	QPSK	308	0,6016
5	QPSK	449	0,8770
6	QPSK	602	1,1758
7	16QAM	378	1,4766
8	16QAM	490	1,9141
9	16QAM	616	2,4063
10	64QAM	466	2,7305
11	64QAM	567	3,3223
12	64QAM	666	3,9023
13	64QAM	772	4,5234
14	64QAM	873	5,1152
15	64QAM	948	5,5547

Ефективността *E* се определя посредством следния математически израз:

$$E = Q_m \times R \qquad (6)$$

където Q_m е броя битове от модулационното съзвездие. При QPSK модулация $Q_m = 2$ и следователно за ефективността се получава:

$$E = 2 \times \frac{308}{1024} \approx 0{,}6016 \ \textit{бит/символ} \qquad (7)$$

РЕЖИМИ НА CQI ДОКЛАДИТЕ

Информация за CQI индексите се изпраща по възходящия канал за контрол (*PUSCH* или *PUCCH*) заедно с индикатора на предварително кодиращата матрица (*PMI*) и ранк индикатора (*RI*). Това докладване може да се категоризира в два класа за времевата област:

- ***Периодично*** – Потребителското устройство изпраща периодично доклади за CQI, PMI и RI като периода е определен от по-горните слоеве на PUCCH. Ако потребителското устройство е планирано във възходящия канал, то периодичния канал се пренася от PUSCH.
- ***Апериодично*** – Потребителското устройство изпраща доклади за CQI, PMI и RI, посредством PUSCH, след получаването на DCI формат 0 или позволение за произволен достъп. Обратната връзка посредством PUSCH може да се използва за изпращане на по-подробен доклад, за

единично докладване, в сравнение с периодичното докладване.

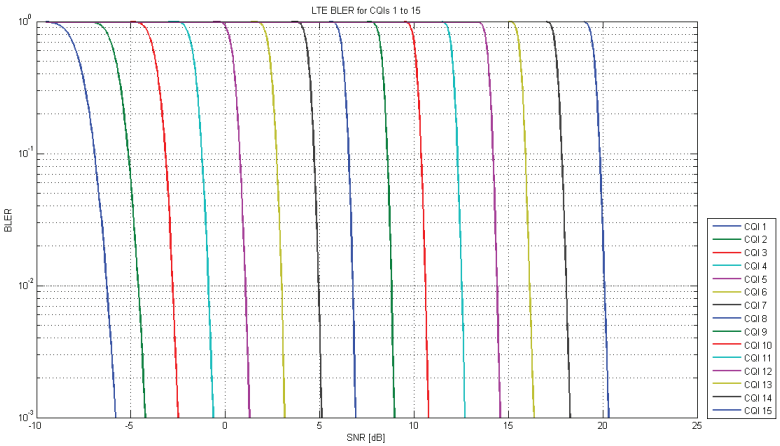
В случаи на едновременно изпращане на периодични (по PUCCH канала) и апериодични (по PUSCH канала) доклади в една подрамка, потребителското устройство игнорира периодичните и приема само апериодичния доклад.

И двата режима – периодичен и апериодичен поддържат изпращането на широколентов и подлентов доклад. Единственият проблем е, че може да отнеме време докато базовата станция започва да използва ефективно събраната информация. При апериодичните доклади, потребителското устройство може да изпраща подлентов CQI доклад през всичките честотни ленти. Това е възможно, тъй като честотната лента на PUSCH е много по-голяма от тази на PUCCH. В LTE стандарта съществуват два механизъма за изпращане на подлентови CQI доклади при апериодичния режим:

- ***Доклад с конфигурирана от по-високите слоеве подлента*** – потребителското устройство изпраща доклад за всяка подлента, чиято големина се определя от по-високите слоеве.
- ***Доклад с подлента, избрана от потребителското устройство*** – потребителското устройство изпраща доклади за “M“ на брой честотни ленти с най-високите CQI стойности, като останалите не се докладват. Стойността на M и големината на честотните ленти се задават от по-високите слоеве.

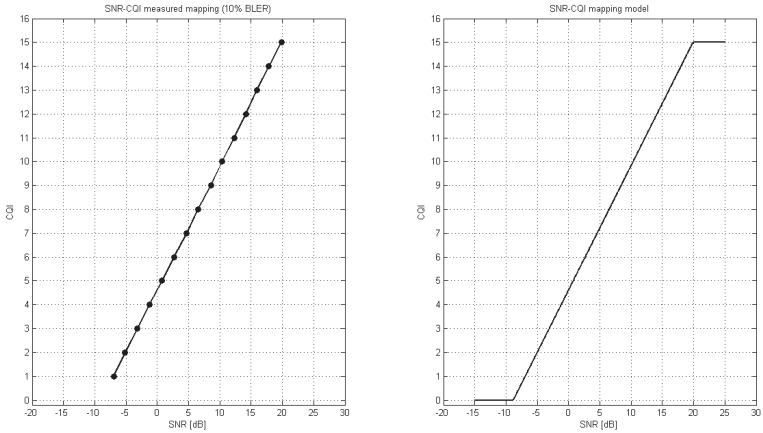
СИМУЛАЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Направените симулационни изследвания са осъществени с помощта на програмния продукт MATLAB с допълнително интегриран LTE модул. На първата фигура е показана вероятността за поява на блокова грешка (BLER), в зависимост от отношението сигнал-шум (SNR) при различните CQI индекси.



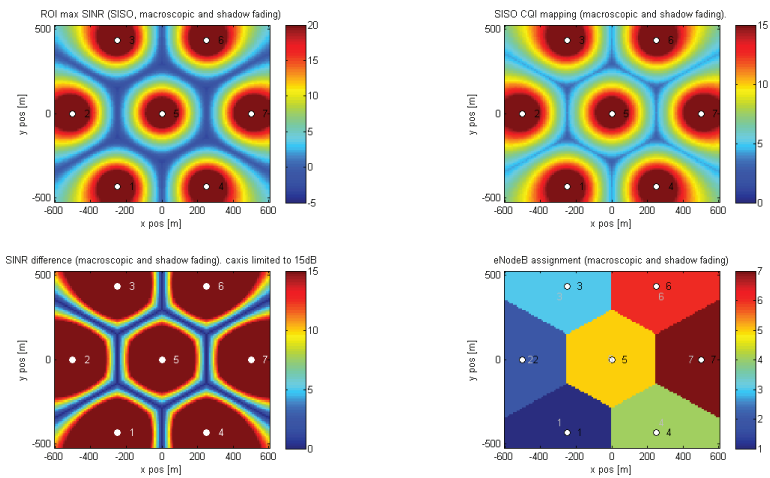
Фиг. 1 - Вероятност за поява на блокова грешка

На фигура 2 е показано необходимото отношение сигнал-шум за правилно детектиране на информационното съобщение при различните CQI индекси.



Фиг. 2 - Зависимост на SNR от CQI индекса

На фигура 3 са показани макроскопичните и затихванията от отражение на базовите станции при различни стойности на SINR.



Фиг. 3 - Макроскопични и затихвания от отражение

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Потребителското устройство изпраща CQI доклади за определяне на информационния поток, който може да бъде предаден през низходящия канал, което помага на базовата станция да избере подходящата модулационна и кодираща схема (MCS). По този начин, базирано на отношението сигнал/шум на низходящия канал, потребителското устройство трябва да определи CQI индекса, който отговаря на най-добрата MCS схема, което от своя страна предпазва коефициента за блокова грешка (BLER) да не надвишава 10%.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящият документ е изготвен с финансовата помощ на Европейския социален фонд. Русенският университет „Ангел Кънчев" носи цялата отговорност за съдържанието на настоящия документ, и при никакви обстоятелства не може да се приеме като официална позиция на Европейския съюз или Министерството на образованието и науката.

Проект:№ BG051PO001-3.3.06-0008 „ Подпомагане израстването на научните кадри в инженерните науки и информационните технологии"

ЛИТЕРАТУРА

[1] A. Gosh, J. Zhang, J. Andrews, R. Muhamed, Fundamentals of LTE, Prentice Hall, 2011

[2] M. Poikselka, H. Holma, J. Hongisto, J. Kallio, A. Toskala, Voice over LTE, John Wiley & Sons Ltd, 2012

[3] N. Kolehmainen, J. Puttonen, P. Kela, T. Ristaniemi, T. Henttonen, M. Moisio, Channel Quality Indication Reporting Schemes for UTRAN Long Term Evolution Downlink, IEEE Magazine, 2008

[4] M.Kawser, N. Hamid, M. Hasan, M. Alam, M. Rahman, Downlink SNR to CQI Mapping for Different Multiple Antenna Techniques in LTE, International Journal of Information and Electronics Engineering, Vol. 2, No. 5, 2012

[5] 3GPP TR 25.913, "Requirements for Evolved UTRA (EUTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN)," v.8.0.0, 2008

За контакти:

ас. инж. Григор Михайлов, Катедра "Телекомуникации", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел: 082/888 836, e-mail: gmihaylov@uni-ruse.bg

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

Докладът е рецензиран.