

文章编号: 1001 - 893X(2011)08 - 0001 - 05

基于 TD - LTE 系统的新型 SNR 和 CQI 映射方案^{*}

陈发堂, 游 杰, 楚 杨

(重庆邮电大学 重庆市移动通信技术重点实验, 重庆 400065)

摘 要: 为了在链路自适应、混合自动重传、快速调度过程中最大程度地满足长期演进(LTE)系统的性能和吞吐量, 提出了一种新型的信噪比(SNR)和信道质量指示(CQI)映射方案。这种新的方案通过系统链路级仿真得到信噪比和误块率之间的仿真曲线, 然后通过区域拟合的方式得到 SNR 和 CQI 之间的关系。和传统的映射方案相比, 它不仅易于实现和存储而且具有很好的自适应能力。结合仿真曲线可以看出这种新型的方案能够满足协议规定误块率和吞吐量的要求。该方案已应用于 TD - LTE 无线综合测试仪表的开发中。

关键词: 长期演进; 链路自适应; 信噪比; 信道质量指示; TD - LTE; 综合测试仪表

中图分类号: TN929.5 **文献标识码:** A doi: 10.3969/j.issn.1001 - 893x.2011.08.001

A Novel SNR and CQI Mapping Scheme Based on TD - LTE Systems

CHEN Fa-tang, YOU Jie, CHU Yang

(Chongqing Key Lab of Mobile Communications, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: In order to satisfy the performance and throughput extremely in the process of link adaptive, hybrid automatic repeat request(HARQ) and fast scheduling in LTE(Long Term Evolution) system, this paper proposes a new mapping scheme of Signal to Noise Ratio(SNR) and Channel Quality Indicator(CQI). This new scheme gets the simulated curve between SNR and block error rate(BER) through the link simulation system, then get the relationship between SNR and CQI through regional fitting. Compared with traditional mapping scheme, it is easier to implement and store, and has good adaptive capacity. The simulation curve of this new scheme shows that it can meet the requirement of throughput and BER ruled in specification. This new scheme has already been used in TD - LTE wireless integrated test instrument development.

Key words: LTE; link adaptive; signal to noise ratio; channel quality Indicator; TD - LTE; integrated test instrument

1 引 言

长期演进(LTE)是 3GPP 提出的具有高速数据业务的宽带通信系统, 在 20 MHz 带宽下必须满足 300 Mbit/s 的下行峰值速率和 150 Mbit/s 的上行峰值速率。为了满足其目标需求, LTE 上行链路采用

单载波频分多址技术(SC - FDMA), 下行链路采用了正交频分复用(OFDM)接入技术在内的一些关键技术^[1]。

链路自适应技术能够改善频谱利用率, 调整传输数据的调制编码方式和编码速率, 补偿由于信道变化对接收信号造成的影响。在 LTE 系统中, 如何反馈当前的信道质量给网络端是链路自适应的关键

^{*} 收稿日期: 2011 - 03 - 22; 修回日期: 2011 - 05 - 09

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2009ZX03002 - 009)

Foundation Item: The National Science & Technology Major Project (2009ZX03002 - 009)

技术所在。这些技术都需要用户根据当前接收到的信号来获得信噪比(SNR),然后根据一定的规律将 SNR 映射成信道质量指示(CQI),反馈给网络端。其中 UE 只有通过 PUSCH 或者 PUCCH 上承载 CQI 的几个比特上报给网络端,所以如何将当前的信道环境质量转化为 CQI 是非常重要的。

本文采用了互信息有效 SINR 映射(MI-ESM)算法来测量 SNR,并且合并 TD-SCDMA 的 CQI 计算和映射的思想,提出了一种新的 CQI 序号和 SNR 的区域映射关系,解决了不同的编码速率和调制方式形成的 CQI 组合较多的情况。通过大量的仿真得到吞吐量曲线,表明该方案不仅满足性能要求而且使得 DSP 实现非常的简单,极大地节省了工作量。

2 LTE 系统链路自适应框架

LTE 链路自适应过程如图 1 所示,下行发送的数据经过添加循环冗余校验(CRC)、信道编码、速率匹配、加扰、调制、资源映射、基带信号生成等过程^[2]。在接收端,要经过发送端的所有逆过程。而链路自适应调制编码方案则是在信道估计之后计算 SNR、映射 CQI、选择 MCS 然后再反馈给网络端的过程^[3-4]。

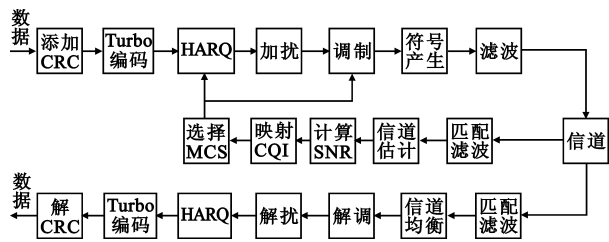


图 1 链路自适应框架
Fig.1 LTE adaptive system model

其中链路信道模型的时域满足：

$$h(\tau,t) = P_l \sum_{l=0}^{L-1} h_l(t) \delta(\tau - \tau_l) \tag{1}$$

式中, L 是多径数目, τ_l 代表第 l 条路径的延时, h_l 代表第 l 条路径的衰减, P_l 代表第 l 条路径的功率, 必须满足 $\sum_{l=0}^{L-1} P_l = 1$ 。本文采用两种信道进行仿真, AWGN 用来仿真 CQI 和误块率(BLER)之间的映射关系, EPA 用来求实际上求得的 SNR。其中 EPA 信道模型的信道环境参数^[5]见表 1。

表 1 LTE 系统中 EPA 信道环境参数
Table 1 EPA channel parameters in LTE systems

路径	相对时延/ns	平均功率/dB
1	0	0
2	30	-1
3	70	-2
4	90	-3
5	110	-8
6	190	-17.2
7	410	-20.8

3 SNR 映射方法

在 OFDM 系统中,由于频率选择性的影响,各子载波上的衰落经过都不同,致使两条具有同样信噪比的链路也可能产生不同的误块率。在多载波移动通信系统中主要有两种链路级和系统级映射方法^[6,7]: 指数有效 SNR 映射(EESM)和互信息有效 SNR 映射(MI-ESM)。这两种算法建立一个从多状态信道到等效单状态信道的映射函数,并使该映射函数只依赖于编码调制方式,而与信道类型无关。这两种方法的主要差别就是使用的信息测度函数不一样。

3.1 EESM 方法

EESM 方法的主要优点是可以提供精确的即时 BLER 估计,而且该方法与信道类型无关。基本思想是把即时信道状态映射为一个有效的 SNR,通过把这个标量值从 AWGN 性能曲线上得到该信道状态的 BLER。文献[7]使用压缩函数 $I(x)$ 也叫信息测度函数来反映 SNR。 $I^{-1}(x)$ 是 $I(x)$ 的反函数,其表达式为

$$I(x) = \exp(-\frac{x}{\beta}) \tag{2}$$

$$I^{-1}(x) = -\beta \ln(x) \tag{3}$$

这样通过式(2)和式(3)得到 SNR 的映射函数：

$$r_{ef}^i = -\beta \ln[\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M e^{-\frac{\gamma_i}{\beta}}] \tag{4}$$

式中, M 为用户分得的子载波个数, γ_i 为每个子载波上的 SNR。为了满足式(4),每一种 MCS 都有一个对应的尺度因子 β ,用于性能曲线与估计性能曲线不匹配时的调节。 β 是一个渐进优化过程,其目标是使多态信道下的性能曲线都可以逼近 AWGN 信道的性能曲线。依据“最小适配准则”优化 β 值,其公式如下：

$$\beta = \arg \min_{\beta} \{ \sum_{i=1}^M ((BLER_i - BLER_R(r_{ef}^i))^2 \} \tag{5}$$

在 EESM 方法中, 一个 UE 所有的子载波都使用相同的 β 值, 使得每个子载波使用相同的调制和编码方式, 这样就限制了自适应调制编码方式的使用, 在某种程度上 EESM 会影响其性能。

3.2 MI-ESM 映射方法

和 EESM 相比, 当使用 MI-ESM 的时候, 自适应调制和编码的性能会更容易得到体现, 因为这种映射方法不要求每一个用户的所有子载波都使用相同的调制和编码方式, 公式如下:

$$SNR_{eff} = I_{mref}^{-1}(\frac{1}{P_u} \sum_{p=1}^P I_{m_p}(SNR_p)) \tag{6}$$

式中, I_{mref}^{-1} 是 I_{m_p} 的反函数, P_u 是子载波的个数, 其中 I_{m_p} 是信息测度, 其表达式如下:

$$I_{m_p}(x) = m_p - E_{\gamma} \left\{ \frac{1}{2^{m_p}} \sum_{i=1}^{m_p} \sum_{b=0}^1 \sum_{x \in X_i} \lg \frac{\sum_{x \in X} \exp(-|Y - \sqrt{x/\beta}(x-z)|^2)}{\sum_{x \in X_i} \exp(-|Y - \sqrt{x/\beta}(x-z)|^2)} \right\} \tag{7}$$

式中, m_p 是每个调制符号的比特数, X 是数据符号的集合, Y 是零均值单位方差复高斯变量, β 是只和调制编码方式有关的自由参数。因为 β 只和 MCS 有关, 而 MCS 和 SNR 又对应着 CQI, 所以我们根据系统链路级仿真, 可以得出 β 和 CQI 是对应的, 其对应关系如表 2 所示。

表 2 β 和 CQI 的关系
Table 2 The relationship between β and CQI

CQI index	β
1	1.80
2	1.54
3	1.35
4	1.78
5	1.74
6	1.58
7	4.62
8	5.35
9	4.57
10	4.43
11	5.42
12	4.98
13	9.55
14	16.32
15	28.94

对比 EESM 算法, 每一种调制方式 X 下的互信息量 $I(x)$ 都需要预先实现并存储在一个表格里面, 然

后再通过系统查表来完成 SNR 映射的操作, 这样就会加快仿真的速度。而且在使用 MI-ESM 的时候, 自适应调制和编码的性能能够得到更好的体现, 因为这种映射方法不要求一个用户的所有子载波都使用相同的调制编码方式, 这样我们就有更大的自由度和时间去设计自适应多载波资源的分配。根据这些优点本文在系统仿真中采用的是 MI-ESM 方法。

4 SNR 到 CQI 的映射方法

在 SNR 到 CQI 映射的过程中, 首先介绍了一种传统的映射方法, 然后提出了一种新的 SNR 到 CQI 的映射关系。按照协议的要求, 我们上报给网络端的调制编码方式必须满足 $BLER \leq 10\%$ 。

4.1 传统的映射方法

文献[8]提出了一种 SNR 到 CQI 的直接映射关系, 这种映射关系的环境是在 AWGN 环境下固定 $BLER = 0.1$ 的情况下, 通过系统仿真曲线来确定 SNR 和 CQI 的线性对应关系。其表达式如下:

$$V_{SNR_i} = -4.5 + V_{CQI_i} \tag{8}$$

式中, V_{SNR_i} 代表第 i 个 SNR 的值, V_{CQI_i} 表示的是第 i 个 CQI 的值。而其中使用的编码块是 PDSCH 的传输块大小(I_{TBS})。这种方法虽然简单, 存储方便, 但是在 I_{TBS} 很小的时候, SNR 基本不随 I_{TBS} 的变化而变化; 而当 I_{TBS} 很大的时候, SNR 和 I_{TBS} 的变化不成线性关系, 这样会导致上报时选择不能够负荷 I_{TBS} , 导致吞吐量下降。所以下面介绍一种改进的映射方法。

4.2 新型的映射方法

结合区域拟合可以优化 DSP 存储的思想, 本文提出了一种新型的映射方法。

(1) 计算每一个 I_{TBS} 对应的物理资源块的编码速率, 其中编码速率 = (数据块大小 + CRC 冗余比特)/PDSCH 分配的物理资源比特数, 而编码效率 = 编码速率 $\times$ 调制编码方式, CRC 固定比特数位 24。

(2) 计算每一个 I_{TBS} 所对应的物理资源块的平均编码速率。

(3) 通过大量的仿真得出 CQI 和 I_{TBS} 之间的关系, 如表 3 所示。其中仿真包括改变数据块大小、改变调制编码方式、改变信道环境等来得出其关系。

(4) 对下行共享信道 PDSCH 的不同数据块在 AWGN 信道环境下进行系统级仿真, 其仿真结果如图 2 所示。

表 3 CQI 和 I_{TBS} 的关系

Table 3 The relationship between CQI and I_{TBS}			
CQI index	调制编码方式	编码速率 × 1024	编码效率
1	QPSK	78	0.152 3
2	QPSK	120	0.234 4
3	QPSK	193	0.377 0
4	QPSK	308	0.601 6
5	QPSK	449	0.877 0
6	QPSK	602	1.175 8
7	16QAM	378	1.476 6
8	16QAM	490	1.914 1
9	16QAM	616	2.406 3
10	64QAM	466	2.730 5
11	64QAM	567	3.322 3
12	64QAM	666	3.902 3
13	64QAM	772	4.523 4
14	64QAM	873	5.115 2
15	64QAM	948	5.554 7

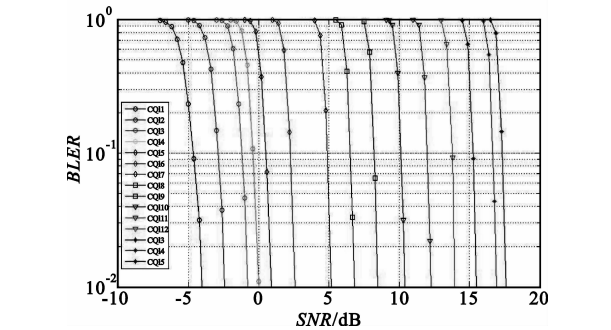


图 2 误块率和 SNR 曲线
Fig.2 The curve of BLER and SNR

(5)采用近似直线拟合方式进行拟合。根据步骤 3,拟合 SNR 和 CQI 之间的关系,在这里我们把 SNR 划分为 3 个不同的区域,而在这 3 个区域之中, SNR 和 CQI 都拟合成线性的关系,其 CQI 和 SNR 的线性表达式如下:

$$V_{CQI_i} = \begin{cases} \lfloor V_{SINR_i} + 4.5 \rfloor, & V_{SINR_i} < 3 \\ \lfloor V_{SINR_i} + 1.5 \rfloor, & 3 \leq V_{SINR_i} \leq 10 \\ \lfloor V_{SINR_i} - 1.5 \rfloor, & V_{SINR_i} > 10 \end{cases} \quad (9)$$

TMS320C64x 系列在 TMS320C6000 DSP 芯片中处于领先水平,它不但提高了时钟频率,而且在体系结构上采用了 Velocity 甚长指令集 (Very Long Instruction Word, VLIW) 结构^[9]。本文在 TMS320C64x DSP 芯片中进行实现。在 DSP 软件实现中,通过指令并行执行,尽量优化程序循环体,减少或消除程序

中的“NOP”指令,通过在 CCS3.3 上仿真运行程序,此时 TMS320C64x 芯片的主频一般为 1 GHz,即在 1 ms 内可以完成 1.0×10^6 cycle,一个指令周期耗时为 1 ns 左右,在理想信道情况下,新型的映射算法在整个实现过程耗时 8 496 个指令周期,而且这种映射方法在 DSP 中所占有的内存非常少。

通过这种映射关系,我们在实现中不仅易于存储和实现,而且适用于不同的信道环境、调制编码方式、数据块大小等,对比传统的方法有更好的自适应性能。

5 MATLAB 仿真

本文采用 MATLAB 7.0 对 TD-LTE 下行链路进行系统级仿真,映射方法则采用 MI-ESM 算法,经过系统框架中的所有流程处理,无线信道为高斯信道。分别对不同的调制方式、SINR、BLER 和频谱利用率进行了仿真。仿真采用统一的条件和参数,如表 4 所示。

表 4 仿真条件和参数

Table 4 Simulation condition and parameters	
参数	取值
系统带宽	20 MHz
帧长	10 ms
无线信道模型	AWGN(高斯噪声)/EPA(3 km/h)
信道编码方式	Turbo 编码
发射天线数	1 天线
接收天线数	2 天线
调制编码格式	QPSK/16QAM/64QAM
CP 属性	正常 CP
UE Category	1
载波频率	2 GHz
载波间隔	15 kHz
信道估计算法	最小二乘法
解调方式	软解调
MIMO 预处理模式	发射分集
传输模式	模式 2
FFT 点数	2 048
映射方法	MI-ESM
TTI 中 OFDM 符号	14

我们用 15 种调制编码方式和 15 传输块大小来对应 15 种 CQI 的序号,由仿真知,随着 SNR 的增加, CQI 序号也增加。从这里我们可以看出,信道质量越好 CQI 序号就越大,由此所对应的调制编码方式的阶数也就越高,传输块就越大。根据 3GPP 提出

的要求即 CQI 的取值必须满足误块率小于等于 10% 的情况下才能选取, 本文取误块率等于 10% 的条件下取 CQI。然后根据本文 4.2 节提出来的改进映射方法来映射出 CQI 和 SNR 之间的关系, 对比传统的 CQI 和 SNR 映射关系, 改进方法具有良好的自适应能力, 而且从图 3 中可以看到不同的 CQI 所对应的吞吐量曲线都能够满足协议上规定的要求。

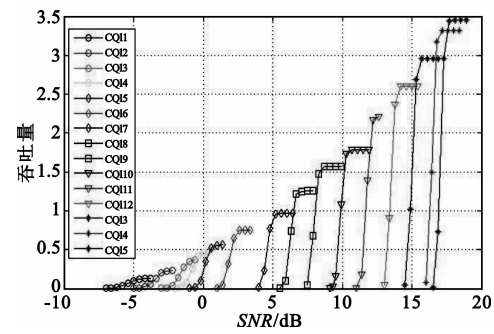


图 3 吞吐量和 SNR 曲线
Fig.3 The curve of throughput and SNR

通过以上分析可知, 改进的映射方法不仅可以有效地解决不同调制编码方式和编码速率形成的 CQI 组合情况较多的情况, 而且易于存储, 因此非常适合 TD-LTE 系统的要求, 可以应用于该系统的实现。

6 结束语

针对 TD-LTE 系统中的高效实时性要求和复杂的 CQI 上报过程, 本文介绍了两种常用的 SNR 映射方法, 在理论和实际过程中都能够应用到。同时本文提出了一种基于 TD-LTE 系统的新型 CQI 和 SNR 映射关系, 并且用 TMS320C64x DSP 芯片进行 cycle 的计算。这种映射关系可以很好地反应出当前的信道质量, 而且适用于各种系统仿真参数的变化, 在 DSP 实现中易于存储和实现。从仿真图可以看出新的映射方法在性能吞吐量方面得到了完美的体现, 具有实际的应用价值, 值得推广使用。

参考文献:

[1] 沈嘉, 索士强, 全海洋, 等. 3GPP 长期演进(LTE)技术原理与系统设计[M]. 北京: 人民邮电大学出版社, 2008: 1-17.
SHEN Jia, SUO Shi-qiang, QUAN Hai-yang, et al. 3GPP Long Term Evolution (LTE) Principle and System Design [M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2008: 1-17. (in Chinese)

[2] GOLDAMITH A J, CHUA S G. Adaptive coded modulation

for fading channels[J]. IEEE Communication Magazine, 1998, 46(5): 595-602.

[3] 3GPP. TS36.212 v9.0.0, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Multiplexing and channel coding (Release 9) [S].

[4] 3GPP. TS 36.211 v9.0.0, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Physical Channels and Modulation (Release 9) [S].

[5] 3GPP. TS 36.101 v9.0.0, Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA) User Equipment(UE) radio transmission and reception (Release 9) [S].

[6] 张金宝, 郑洪明, 谈振辉, 等. MIMO MLD 物理层抽象技术[J]. 通信学报, 2009, 30(11): 1-7.
ZHANG Jin-bao, ZHENG Hong-ming, TAN Zhen-hui, et al. Physical layer abstraction for MIMO MLD[J]. Journal on Communications, 2009, 30(11): 1-7. (in Chinese)

[7] 汪海明, 艾萨·图玛拉. 多载波通信系统仿真中的 EESM 和 MI-ESM 方法[J]. 电讯技术, 2006, 46(1): 26-30.
WANG Hai-ming, ESA Tuomaala. Effective SINR Approach of Link to System Mapping in OFDM/Multi-Carrier Mobile Network[J]. Telecommunication Engineering, 2006, 46(1): 26-30. (in Chinese)

[8] Motorola. Revised CQI Proposal(R1-02-0675) [R]. Paris: Motorola, Ericsson, 2002.

[9] Texas Instruments Incorporated. TMS320C6000 系列 DSP 编程工具与指南[M]. 田黎育, 何佩琨, 朱梦宇, 译. 北京: 清华大学出版社, 2006: 32-50.
Texas Instruments Incorporated. TMS320C6000 series DSP programming tools and guidelines[M]. Translated by TIAN Li-yu, HE Pei-kun, ZHU Meng-yu. Beijing: Tsinghua University Press, 2006: 32-50. (in Chinese)

作者简介:

陈发堂(1965—), 男, 重庆人, 1999 年于北京邮电大学获硕士学位, 现为副教授、硕士生导师, 主要研究方向为 LTE 的物理层算法;

CHEN Fa-tang was born in Chongqing, in 1965. He received the M.S. degree in 1999. He is now an associate professor and also the instructor of graduate students. His research direction is physical layer algorithm in LTE systems.

游杰(1987—), 男, 江西宜春人, 2008 年于河南工业大学获学士学位, 现为硕士研究生, 主要研究方向为 LTE 系统物理层关键技术;

YOU Jie was born in Yichun, Jiangxi Province, in 1987. He received the B.S. degree from Henan University of Technology in 2008. He is now a graduate student. His research concerns physical crucial technology in LTE systems.

Email: youjie87@yahoo.com.cn

楚杨(1986—), 女, 河南郑州人, 硕士研究生, 主要研究方向为下一代移动通信技术。

CHU Yang was born in Zhengzhou, Henan Province, in 1986. She is now a graduate student. Her research direction is the next generation mobile communication system.