



LTE-Hi 系统室内场景下 256QAM 性能研究

刘珊,陶成,刘留

(北京交通大学宽带无线移动通信研究所,北京 100044)

摘要:为解决室内及热点地区流量激增的问题,3GPP 标准组织在 Release12(R12)中提出了 LTE-Hi,由于其覆盖场景的特殊性可以考虑引入 256QAM 调制提升系统性能。根据标准给出的 256QAM 编码表,推导了一种基于判决边界的软解调算法。通过仿真 LTE-Hi 场景下终端 SINR 的分布说明 256QAM 的可行性,并根据针对 256QAM 调制而改变的 CQI/MCS/TBS 信令配置链路仿真,得到不同 EVM 下 256QAM 相较于 64QAM 的吞吐量。最后,比较了 LTE-Hi 在不同室内场景中引入 256QAM 之后系统的性能。

关键词: LTE-Hi; 256QAM; EVM; 性能增益

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016004

Performance of 256QAM in LTE-Hi indoor scenario

LIU Shan, TAO Cheng, LIU Liu

Institute of Broadband Wireless Mobile Communications, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

Abstract: In order to solve the traffic explosion of indoor and hotspots, LTE-Hi was put forward by 3GPP organization in Release12. Due to the coverage particularity of indoor and hotspots scenarios, the organization introduced 256QAM to improve system performance. According to the 256QAM constellation given in the standard, a soft demodulation algorithm based on border distance decision was deduced. Through a simulation of the UE SINR distribution in the LTE-Hi scenario, the feasibility of the 256QAM was proved and according to the CQI/MCS/TBS signaling table changed for 256QAM, link level simulation showed the 256QAM and 64QAM throughput in comparison under different EVM index. Finally, the system performance with and without the introduction of 256QAM under different scenarios was evaluated.

Key words: LTE-Hi, 256QAM, EVM, performance gain

1 引言

随着无线通信技术的迅速发展,智能终端的种类以及业务需求越来越多样化。根据预测,未来无线通信会呈现两大趋势:一方面,从业务场景看,无线数据流量的需求主要发生在室内和热点地区^[1];另一方面,从频率看,未来无

线通信数据需求的潜在频率主要集中在 3 GHz 以上的高频段,而高频段损耗大、覆盖能力差,如只采用传统的宏基站加分站点解决 LTE 的覆盖和热点数据流量问题难度大,且效果不好。

为了解决全球无线数据业务流量飞速增长的问题,国际标准组织 3GPP 在 2012 年 9 月启动的 R12 标准化

收稿日期:2015-07-06;修回日期:2015-12-29

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(No.2015JBM011)

Foundation Item: The Fundamental Research Funds for the Central Universities (No.2015JBM011)



工作中提出了 LTE 的演进技术 LTE-Hi (LTE hotspot/indoor)^[2], 此项技术是通过在热点以及室内部署低功率小基站, 小基站的工作频率为 3.5 GHz 甚至更高, 并应用合适的增强技术(比如高阶调制、小小区开关、动态 TDD 等)来使得 LTE-Hi 系统具备更高速率、更低成本、更高的频谱效率^[3]。

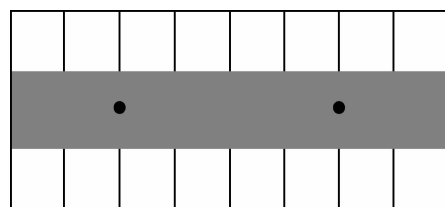
在 LTE 物理层标准 TS36.211^[4]中, 定义了业务信道可以支持的调制方式, 包括 QPSK、16QAM 和 64QAM。LTE-Hi 是针对室内以及热点地区的小范围覆盖, 覆盖场景与传统 LTE 宏基站差异很大, 无线信号传输经历的信道条件也大不相同。在 LTE-Hi 中, 基站距离用户较近, 多径时延相对宏基站覆盖较小, 信道的频率选择性较弱。同时, 用户在室内及热点的移动速度很低, 多普勒效应不明显, 信道的时间选择性衰落也较弱^[6]。另外, LTE-Hi 场景传播经历的路径损耗相对缓慢, 虽然存在相邻小区干扰, 但在周围干扰基站分布密度不是太大的情况下, 用户距离基站较近, 接收到信号的 SINR (signal to interference plus noise ratio, 信干噪比)分布比更理想, 基于以上提到的较好的信道条件, 可以引入更高阶调制 256QAM 来提升编码效率以及系统容量。在最新 LTE 物理层标准中, 已经将 256QAM 作为最大可支持的调制方式写入。

理论上, 256QAM 的引入能够显著提升频谱效率, 但是高阶调制星座点密集, 对误差的灵敏度增加, 除了对信噪比的要求增高, 同时对发射机 EVM (error vector magnitude, 误差矢量幅度)的要求也增高。同时, 由于 LTE 现有的关于编码调制的信令都最大支持到 64QAM, 引入 256QAM 后, 需要对现有的信令进行修改。

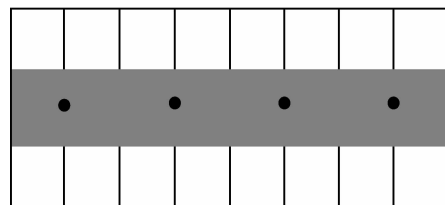
本文首先根据标准中给出的 256QAM 的星座图确定了其编码方式, 并推导相应的解码模块。根据 LTE 下行数据发送流程^[4,5], 搭建了 LTE-Hi 物理层下行链路仿真平台, 仿真了在高斯信道中 256QAM 调制不同编码效率时误块率跟信噪比的关系, 并把误块率为 0.1 作为阈值, 计算相应的频谱效率, 得到 256QAM 的增益范围, 同时根据系统模型仿真了 LTE-Hi 室内场景用户的 SINR 分布, 说明了 256QAM 在 LTE-Hi 场景中的可行性。最后, 根据标准中与 256QAM 对应的新的 CQI/MCS/TBS 信令表的设计, 在链路中评估了 256QAM 在发送和接收端有无 EVM 时相较于 64QAM 的吞吐量, 并在 LTE-Hi 两种不同的室内场景中, 根据 SINR 选择对应的调制方式以及传输块大小, 评估引入 256QAM 对系统吞吐量的影响。

2 系统模型

本文按照 3GPP 标准^[7,8]中定义的 LTE-Hi 室内热点场景建立了系统模型, 室内场景的部署如图 1 所示, 分为室内稀疏模型与密集模型, 稀疏模型是在建筑物走廊部署两个 LTE-Hi 基站, 两个基站相隔 60 m, 走廊两边各有 8 个房间, 每个房间长宽都为 15 m, 走廊总长为 120 m, 宽 45 m。密集模型则是在走廊布置 4 个 LTE-Hi 基站, 每个基站相隔 30 m, LTE-Hi 基站采用的载波频率为 3.5 GHz, 与宏基站异频。宏蜂窝场景如图 2 所示, 为现有的正六边形蜂窝小区, 小区半径为 500 m, 小区个数为 7, 基站采用定向天线, 每个宏蜂窝分为 3 个扇区。LTE-Hi 以及传统蜂窝系统模型的用户都以随机撒点的方式分布在房间以及扇区内。



(a)室内稀疏场景



(b)室内密集场景

图 1 LTE-Hi 室内场景

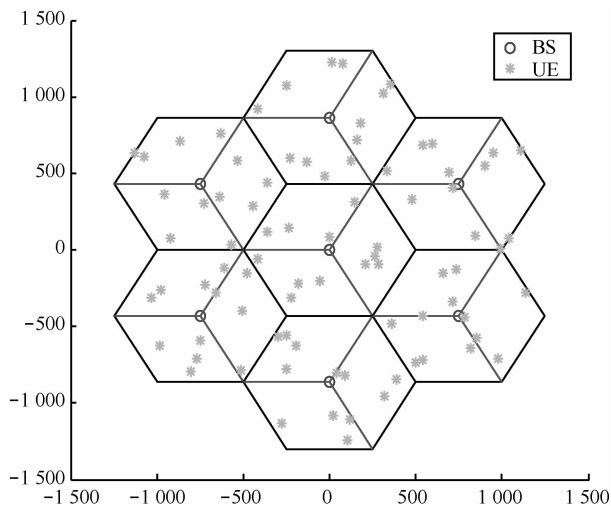


图 2 宏蜂窝场景

在LTE系统中,用户终端体积小,发送功率往往受限,所以上行链路数据处理并未考虑引入256QAM调制,本文的仿真以及讨论都是基于LTE下行链路。图3是根据LTE物理层标准TS36.211^[4]以及TS36.212^[5]搭建的基站到终端的下行业务数据处理流程,由上层传递的数据流在发送端经过一系列处理形成OFDM符号并由发射天线发出,在经过信道衰落后,接收端按步骤将信号解调并进行校验,确定此数据流是否正确传输。

LTE-Hi链路处理流程中的QAM调制模块将最大支持的64QAM扩展到256QAM,数据块的大小以及QAM调制的阶数都是基站根据用户反馈的信道质量进行调度。协议TS36.213^[9]中,终端会将信道质量映射成4 bit的CQI(channel quality indicator,信道质量指示)信令并通过上行信道传给基站,基站CQI再对应5 bit的MCS(modulation and coding scheme,调制编码方案)选择合适的调制编码方式,本文仿真链路处理涉及选择调制阶数以及传输块大小则根据信噪比映射的信令来配置传输块大小和调制阶数。

3 256QAM 调制

256QAM为8阶QAM调制,每8位二进制数规定了256种状态中的一种。标准TS36.213^[9]给出的256QAM编码表,也就确定了256QAM的星座图,采用格雷码编码,编码后信号 s 可以表示为:

$$s = ((1-2b_1)(8b_3+1+4I(b_5, b_3)) + 2Q(b_5, b_7) + j \times (1-2b_2)(8b_4+1+4I(b_6, b_4) + 2Q(b_6, b_8)) / \sqrt{170} \quad (1)$$

其中, b_i 代表8 bit数据中的第 i 个比特,最后信号乘以标量 $1/\sqrt{170}$ 将能量归一化。 I 函数和 Q 函数分别定义如下:

$$I(b_m, b_n) = \begin{cases} 1, & b_m = b_n \\ 0, & b_m \neq b_n \end{cases} \quad (2)$$

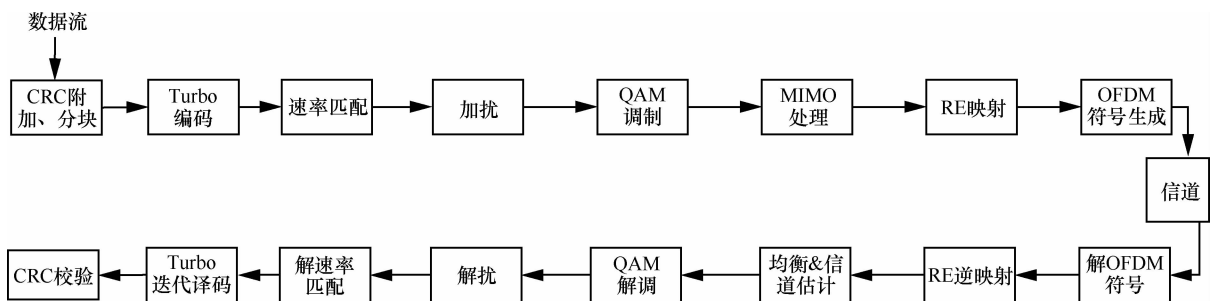


图3 LTE-Hi物理层下行链路处理流程

$$Q(b_m, b_n) = \begin{cases} b_{\min(m,n)-2}, & b_m = b_n \\ b_{\min(m,n)-2}, & b_m \neq b_n \end{cases} \quad (3)$$

LTE的信道编码有两种,分别为Turbo编码和咬尾卷积码,除物理广播信道外,其他信道都采用Turbo编码方式,由于Turbo码在进行迭代译码时,为了提高信道解码增益,需要软输入信息,所以在解调端对QAM编码进行解调时,不能进行硬判决^[11]。LLR(log likelihood ratio,对数似然比)用来计算QAM信号软判决度量值。假设发射信号经过高斯信道或多径衰落信道被均衡,接收信号可以表示为 $r=a+n/H=r_l+r_o$, n 为均值为0、方差为 σ^2 的复高斯随机噪声。以256QAM为例,同相分量的LLR值可以表示为:

$$LLR_i = \ln \frac{P(b_i=1|r_i)}{P(b_i=0|r_i)}, i=1,3,5,7 \quad (4)$$

其中, LLR_i 表示接收信号同相分量中第 i 个比特的软比特值,可以由式(4)看出 LLR 为正值时,取1的后验概率大于取0的后验概率, LLR 值越大,取1的后验概率就越大。式(4)经过化简可等价于:

$$LLR_i = \ln \frac{\sum_{s_l \in C_1} e^{-\frac{|r_l - s_l|^2}{\sigma^2}} |H|^2}{\sum_{s_l \in C_0} e^{-\frac{|r_l - s_l|^2}{\sigma^2}} |H|^2} \quad (5)$$

其中, C_1 表示 $b_i=1$ 的 s_l 集合, C_0 表示 $b_i=0$ 的 s_l 集合。上述方法运算复杂并且包含指数运算,本文基于参考文献[12]提出了16QAM边界法的软解调算法,推导了256QAM的边界法解调,在保证性能的同时大大减少了解调复杂度。

图4为256QAM的星座点及信号同相分量的判决边界,可以看出 C_0 、 C_1 都有一个边界,将此边界作为判决边界。接收信号越远离判决边界,判决准确性就越高。同相分量第一位比特 b_1 的判决边界为 $I=0$,因为 $I=0$ 的右边 b_1 全部为0,而左边 b_1 全部为1,所以 r_l 的值距离判决边界 $I=0$ 的右边越远, b_1 为1的可能性越大。 b_3 的判决边

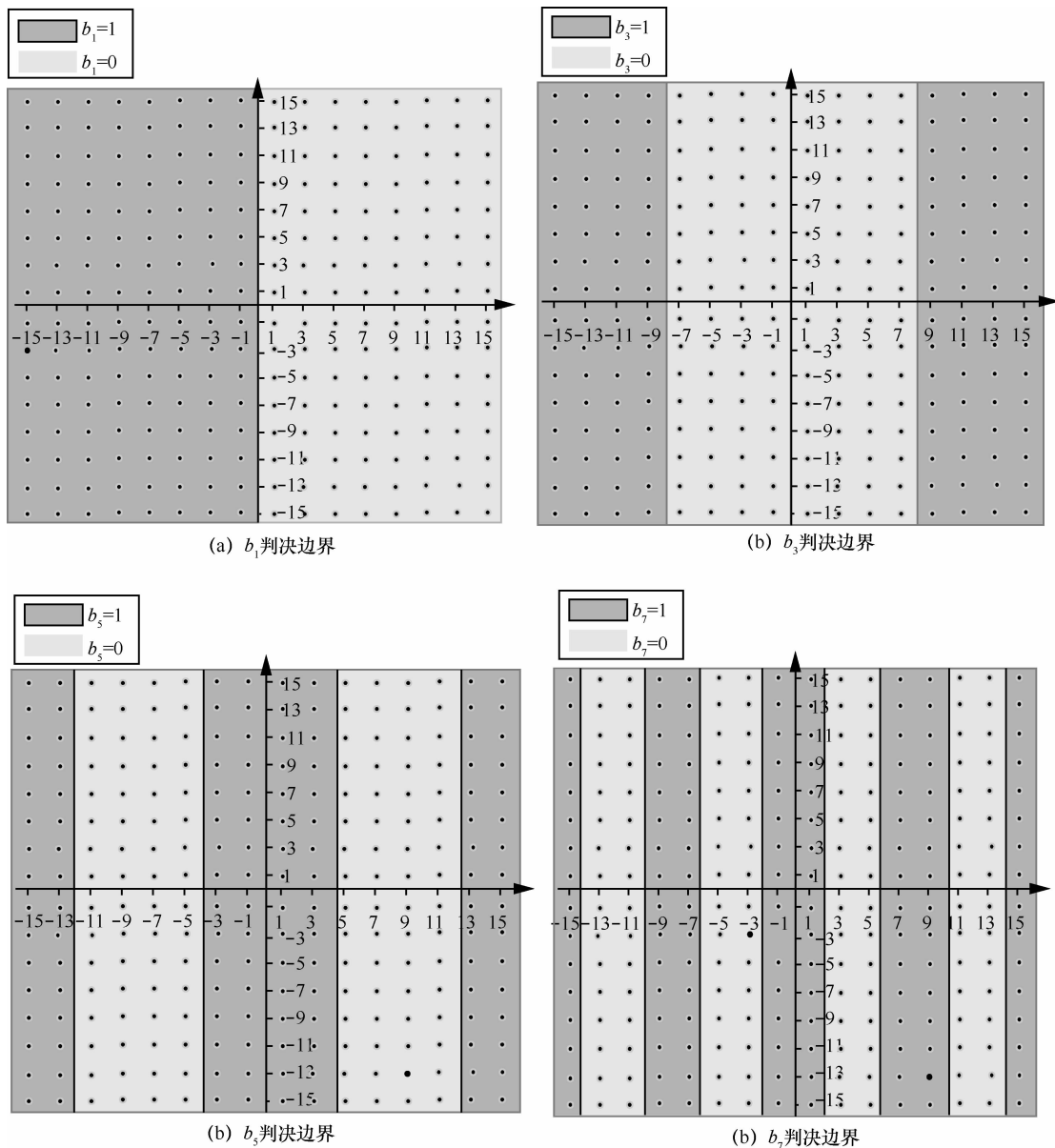


图4 256QAM调制信号同相分量的判决边界

界 $I=8d$ 和 $I=-8d$, 当 $|r_I| > 8d$ 判为 1, 越大于 $8d$, 为 1 的似然度越高, b_5 的判决边界为 $\pm 4d$ 和 $\pm 12d$, 在 $4d < |r_I| < 12d$ 时判为 0, b_7 的判决边界为 $\pm 2d, \pm 6d, \pm 10d, \pm 14d$, 在 $2d < |r_I| < 6d$ 或 $10d < |r_I| < 14d$ 时判为 0, 其他情况判为 1。根据上述描述, 同相分量每位的 LLR 值如式(6)所示, 同样方法可以得到正交分量的 LLR 值, 信号的软比特信息就被完全解调出来。

$$\begin{cases} LLR_1 = r_I \\ LLR_3 = |r_I| - 8d \\ LLR_5 = ||r_I| - 8d| - 4d \\ LLR_7 = |||r_I| - 8d| - 4d| - 2d \end{cases} \quad (6)$$

4 256QAM 可行性分析

误块率是传输数据块经过 CRC 校验后的错误概率, 它可以反映系统的服务质量, 尤其对于链路级系统而言, 是一个非常重要的性能指标。一般情况下, 通信系统以 10% 的误块率作为判断传输成功率的最大容忍界限^[3], 下面将分析不同码率下 256QAM 在误块率为 10% 时所需要达到的信噪比。

假设待传输数据块占据一个 LTE 子帧中的 PDSCH, 可用资源块个数为 5, 除去 PDCCH (物理下行控制信道) 占据的 3 个 OFDM 符号以及两天线端口的小区专用参考信号, 可用于信息传输的资源粒子数 $RE=600$, 若采用

256QAM 调制,可传输的比特数为 4 800 bit,码率 $CR=TBS/4\ 800$,表 1 是根据可传输比特数在标准中选取的传输块大小,每个传输块对应一个码率,按照 LTE 下行链路的数据处理流程,在 AWGN 信道下经过多次仿真得到图 5 的结果。

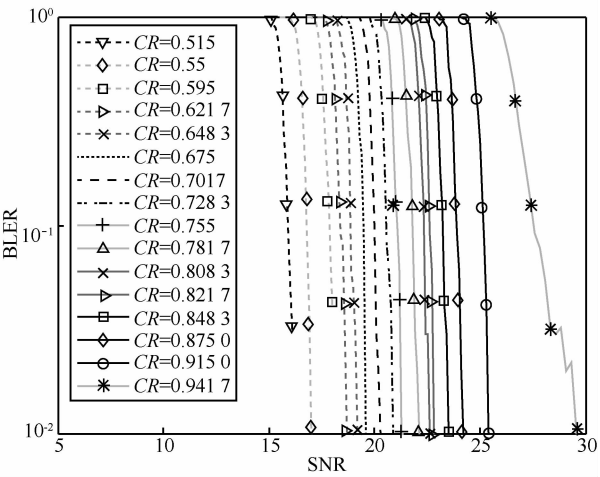


图 5 256QAM 调制方式下不同码率的误块率跟信噪比关系

从图 5 可以看出,随着码率的增加,要达到 10% 的容忍界限所需要的信噪比条件越高,码率大于 0.701 7 时,达到容忍界限的信噪比开始超过 20 dB。在图 5 中可以得到误块率为 10% 时每个码率的信噪比,代表应用此码率传输所需的最小信噪比,这个信噪比作为图 6 中数据点的横坐标,再通过码率换算出 256QAM 所对应的频谱效率作为图 6 的纵坐标。频谱效率 $SE=Q_m \times CR$,其中 Q_m 为调制阶数,CR 为编码效率。按照此方法对 QPSK、16QAM、64QAM 的多种码率进行仿真,在误块率为 10% 时得到它们的信噪比跟频谱效率的对应关系,可以画出不同调制方式信噪比与频谱效率的关系,如图 6 所示。

从图 6 可以看出,4 种调制方式的曲线斜率依次增大,并且每一个更高阶的调制方式都比前一较低阶调制方式有频谱效率上的突破和增长,但同时对比信噪比的要求也

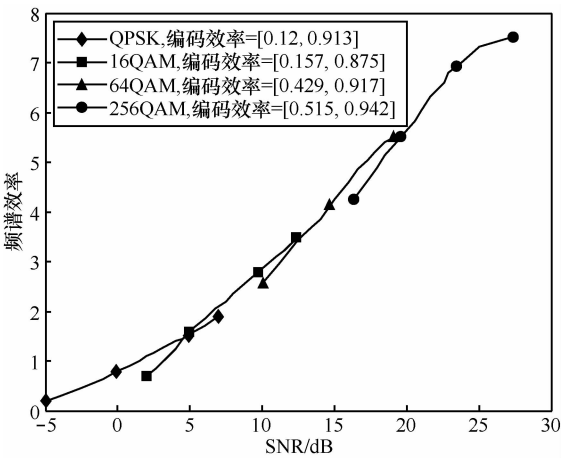


图 6 不同调制方式误块率为 0.1 时信噪比与频谱效率关系

相应地变高。就 256QAM 调制而言,相比于 64QAM 调制,它能够带来频谱效率上大约 33% 的提高。同时,256QAM 调制也需要增加 8 dB 左右信噪比,才能带来这种增益。从仿真得出的曲线来看,当信噪比大于 20 dB 时,256QAM 调制的频谱效率高于 64QAM 调制,所以在本文之后的讨论中,将 20 dB 作为使用 256QAM 调制的阈值,若在 LTE-Hi 的应用场景中,信道条件比较优良,满足信噪比为 20 dB 这个阈值的用户比较多,则可以采用 256QAM 调制方式。

利用系统模型中给出的 LTE-Hi 的室内场景以及 LTE 宏蜂窝场景的模型,随机撒点模拟用户分布,室内模型均匀分布在房间内,宏蜂窝模型均匀分布在扇区内,宏基站发射功率为 46 dBm,载波频率为 2 GHz,LTE-Hi 小基站发送功率为 30 dBm,载波频率为 3.5 GHz。室内场景建模采用标准 [14] 中针对 LTE-Hi 的 InH(indoor and hotspot)信道模型,宏蜂窝则采用 Uma(urban macro)信道模型,经过仿真得到图 7 用户信干噪比的分布情况。

可以看出,在室内基站稀疏部署场景下,大概有 40% 的用户能够达到信噪比 20 dB 以上,可以使用 256QAM 获得增益,而室内密集模型由于干扰比室内稀疏模型严重,

表 1 不同 TBS 以及对应的编码效率

传输块大小(TBS)	编码效率(CR)	频谱效率(SE)	传输块大小(TBS)	编码效率(CR)	频谱效率(SE)
2 472	0.515 0	4.12	3 624	0.755 0	6.04
2 600	0.550 0	4.33	3 752	0.781 7	6.25
2 856	0.595 0	4.76	3 880	0.808 3	6.47
2 984	0.621 7	4.97	3 944	0.821 7	6.57
3 112	0.648 3	5.19	4 072	0.848 3	6.79
3 240	0.675 0	5.40	4 200	0.875 0	7.00
3 368	0.701 7	5.61	4 392	0.915 0	7.32
3 496	0.728 3	5.83	4 520	0.941 7	7.53

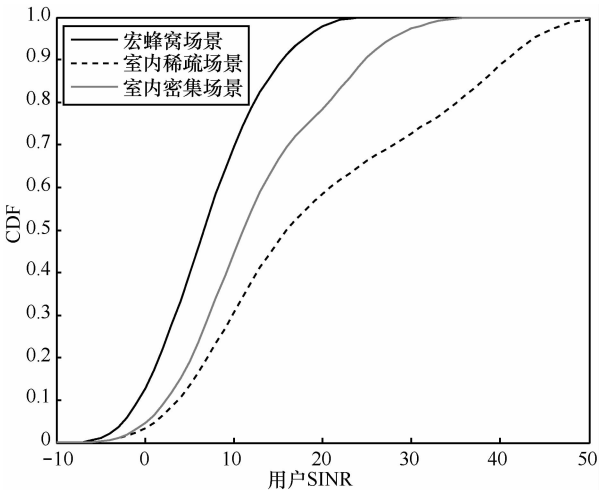


图 7 不同场景下用户 SINR 的分布

本仿真又并未采取干扰协调的相关技术,用户信噪比超过阈值 20 dB 的只有 20%,但性能还是优于宏蜂窝场景下用户的信干噪比分布,若考虑在实际系统中加入干扰协调的机制,用户可达到的信干噪比条件会更好,由此可以说明,在 LTE-Hi 场景中可以引入 256QAM 作为信道条件较好时的调制方式来提高系统性能。

5 256QAM 性能分析

5.1 256QAM 的调制信令

在 LTE-Hi 系统下行链路中支持 256QAM 调制,需要对现有的调制编码信令进行修改,为了保证兼容性,保持信令的比特数不变,CQI 仍然为 4 bit,其他仍为 5 bit,但 CQI 表中最大频谱效率需要扩展,支持到 64QAM 的 CQI 表格中效率最高为 5.554 7,256QAM 的引入使得效率最大增加到 $5.554 7 \times 8/6 = 7.406 3^{[9]}$,根据图 6 所示结果,256QAM 的频谱效率在 SNR=27 dB 左右趋近饱和。参照 CQI 的制定准则,256QAM 的 CQI 指示的效率应该在 5.554 7~7.406 3 中取一个比较平均的效率间隔,在 R12 标准最新版本的 TS36.213 协议中,用最后 4 个 CQI 来支持 256QAM 调制,见表 2,最小的频谱效率为 64QAM 的最大频谱效率 5.554 7,256QAM 最大频谱效率为 7.406 3,对应最大的 CQI 指示 15。

表 2 256QAM 的 CQI 指示

CQI	调制方式	CR×1 024	SE
12	256QAM	711	5.554 7
13	256QAM	797	6.226 6
14	256QAM	885	6.914 1
15	256QAM	948	7.406 3

相应的,MCS 指示表格以及 TBS 指示表格也加入了 256QAM 调制部分,MCS 从序号 20,TBS 从序号 25 开始变为对应 256QAM 调制的部分,4 个 CQI 指示以及每两个指示之间插入一种指示对应表 3 中 20~27 的调制编码方案,相应的 TBS 指示为 25~33,表 4 为资源块数量小于 5 时,为适用 256QAM 调制改变的 TBS 数,本文在评估 256QAM 在链路以及系统中的性能时需要根据用户的信噪比参照 256QAM 的信令指示配置调制编码方案以及传输块大小。

表 3 256QAM 对应的 MCS 以及 TBS 指示

MCS 指数 I_{MCS}	调制阶数 Q_m	TBS 指数 I_{TBS}
20	8	25
21	8	27
22	8	28
23	8	29
24	8	30
25	8	31
26	8	32
27	8	33
28	2	reserved
29	4	
30	6	
31	8	

表 4 不同 RB 数对应的传输块大小

I_{TBS}	N_{PRB}				
	1	2	3	4	5
27	648	1 320	1 992	2 664	3 368
28	680	1 384	2 088	2 792	3 496
29	712	1 480	2 216	2 984	3 752
30	776	1 544	2 344	3 112	3 880
31	808	1 608	2 472	3 240	4 136
32	840	1 672	2 536	3 368	4 264
33	968	1 992	2 984	4 008	4 968

5.2 仿真结果

在真实系统中,由于发射机射频器件存在一定的误差,导致发射的信号星座点存在偏移。理想无误差基准信号与实际发射信号的向量差定义为 EVM。EVM 是衡量发射机信号稳定度的关键指标^[15]。如果发射机本身误差矢量幅度过大,再加上传播空间信道的干扰和噪声,则很可能导致接收机解调失败,因此在 LTE 标准规范中明确定义了对发射机 EVM 指标的要求,QPSK 为 17.5%,16QAM 为 12.5%,64QAM 为 8%。由于调制阶数越高,码率越高,待传输星座点的抗干扰能力越低,256QAM 作为高阶调制,对

发射机灵敏度要求很高,标准中初步定以 $EVM \leq 4\%$ 作为 256QAM 对发射器件灵敏的要求。

首先利用搭建的下行链路处理模型,根据信噪比选择不同的码率以及传输块大小,比较 256QAM 与 64QAM 可达到的吞吐量。链路中具体的仿真参数见表 5,载波频率为 LTE-Hi 小基站专用的 3.5 GHz,带宽为 10 MHz,承载数据的资源块为 5 个。为了评估 EVM 对不同调制方式的影响,同时仿真了在发射端和接收端添加一定比例的 EVM 时不同信噪比的吞吐量,最终得到图 8。

表 5 仿真参数

参数	设定值
载波频率/GHz	3.5
带宽/MHz	10
信道模型	EPA
传输模式	STBC
MIMO	2x2
循环前缀	正常
UE	MMSE
信道估计	理想
RB 数目	5
负载	3 个 PDCCH 符号,2 端口的 CRS
评估指标	吞吐量

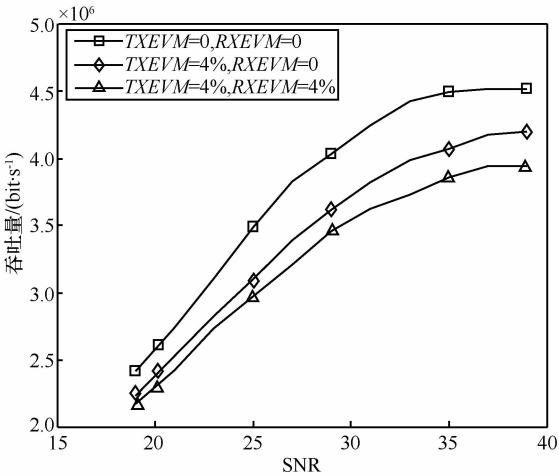
根据提案^[9]给出的 CQI 与信噪比对应准则以及针对 256QAM 的信令表,当反馈的用户信噪比大概为 20 dB 时,下行链路的数据信息使用 256QAM 调制,而开始使用 64QAM 调制的信噪比为 11 dB,所以图 8(a)和 8(b)信噪比的起始点不同,根据吞吐量曲线可以看出,相较于 64QAM 调制,256QAM 对 EVM 更敏感,256QAM 调制在链

路中加入 EVM 后吞吐量的变化要远大于 64QAM 加入 EVM 后吞吐量的变化,这是因为 256QAM 的星座点十分密集,少许干扰就会造成解调错误。根据图 8 中的曲线计算得到表 6,在信噪比为 25 dB,发送端、接收端都没有加 EVM 时,使用 256QAM 调制得到的吞吐量增益为 13.4%,信噪比为 35 dB 时,吞吐量增益增加到 28.6%。发送端 $EVM=4\%$,信噪比为 25 dB 时吞吐量增益为 3.4%,信噪比为 35 dB 时增益为 17.2%。发送端、接收端都加 4%的 EVM 时,信噪比在 25 dB 时吞吐量不存在增益,信噪比为 35 dB 时吞吐量增益为 14.2%。吞吐量随着信噪比增加而增加,但增加幅度越来越小,是由于受到 TBS 以及码率的制约,比如 64QAM 调制在 30 dB 之后吞吐量几乎不再增加,是因为信噪比达到足够大时,已经选用了最大的 TBS 作为码字的长度来传输,并且误码率几乎为 0,吞吐量也就不再增加。

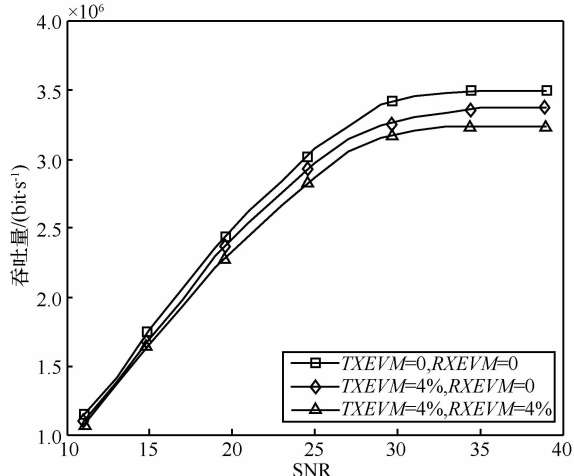
表 6 256QAM 的吞吐量增益

EVM		吞吐量增益	
发送端	接收端	SNR=25 dB	SNR=35 dB
0	0	13.4%	28.6%
4%	0	3.4%	17.2%
4%	4%	-1.5%	14.2%

评估了链路中 256QAM 及 64QAM 在不同的信噪比下吞吐量的情况之后,下面对 LTE-Hi 系统的吞吐量进行评估,通过系统仿真得到室内场景用户的 SINR,根据信令表选择不同的 SINR 对应的调制方式以及传输块大小,最终得到整个系统中吞吐量的情况,室内稀疏场景以及密集场景在未引入 256QAM 以及引入 256QAM 之后的吞吐量变化如图 9 所示。



(a) 256QAM 吞吐量



(b) 64QAM 吞吐量

图 8 不同调制方式吞吐量对比

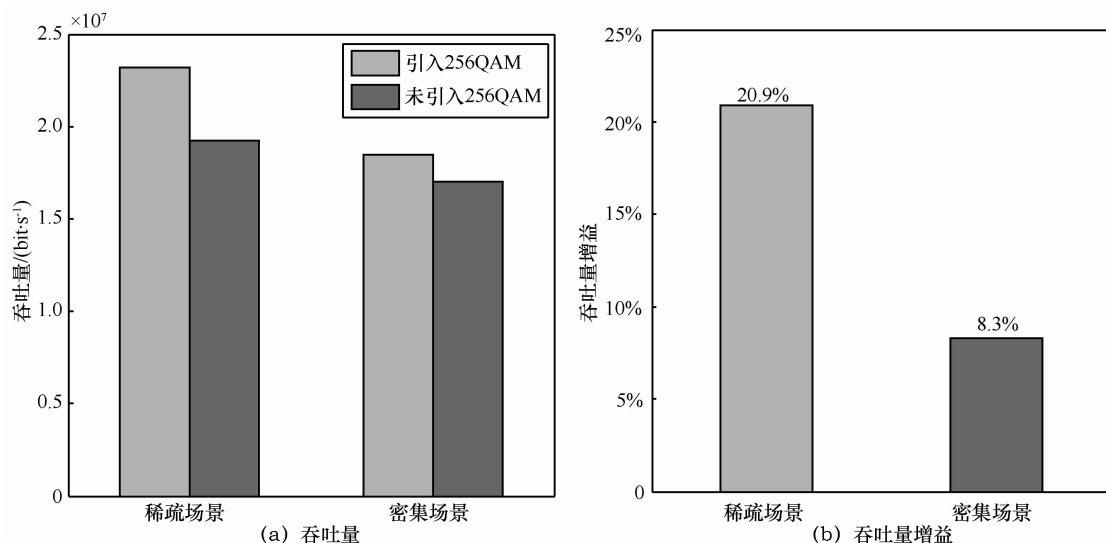


图9 LTE-Hi室内场景下引入256QAM吞吐量增益

可以看出,在室内稀疏场景中,引入256QAM之后系统吞吐量由原来的19.1 Mbit/s变为23.2 Mbit/s,增益为20.9%,而在室内密集场景中,引入256QAM调制后系统吞吐量由原来的17.1 Mbit/s变为18.4 Mbit/s,增益为8.3%,这是因为在室内密集场景中,用户受到的干扰要比稀疏场景大,稀疏场景中有40%的用户达到信噪比阈值,可以使用256QAM调制,而密集场景只有20%的用户可以使用256QAM调制,总体来说,引入256QAM可以给LTE-Hi系统带来较为显著的吞吐量的增益,在实际应用时,若加入相应的干扰协调方案,256QAM带来的增益会更加明显。

6 结束语

LTE-Hi作为一种解决室内以及热点地区流量激增问题的LTE演进技术,在R12标准中一提出就受到很大关注,而256QAM高阶调制作为一种提高频谱效率的增强型技术,也受到广泛研究。本文根据协议中提出的256QAM星座图,推导了复杂度低的基于判决边界的软解调算法,并将此用在下行链路数据传输的QAM解调模块,通过对现有宏蜂窝以及LTE-Hi室内小蜂窝建模得到的用户SINR分布,分析了256QAM的可行性。在链路中仿真对比256QAM以及64QAM的吞吐量与SNR的关系,并在发送端和接收端加入了一定比例的EVM,得出256QAM在高信噪比时吞吐量比64QAM高近30%,但EVM对256QAM的影响较大。最后,根据LTE-Hi室内两个场景中用户的信道情况,选择不同的调制编码方式,得到了系统中引入256QAM带来的增益,仿真结果表明,在室内稀疏场景下引入

256QAM会给LTE-Hi系统带来较显著的性能提升。

参考文献:

- [1] Cisco. Cisco visual networking index: global mobile data traffic forecast update, 2009-2014(White Paper)[R/OL]. [2015-02-03]. http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html.
- [2] CHEN S, WANG Y, QIN F, et al. LTE-Hi: a new solution to future wireless mobile broadband challenges and requirements[J]. IEEE Wireless Communications, 2014, 21(3):70-78.
- [3] 焦慧颖. 未来室内热点增强技术的研究[J]. 电信网技术, 2012, 38(8): 34-38.
- [4] JIAO H Y. Study on enhanced indoor hotspot in future[J]. Telecommunications Network Technology, 2012, 38(8): 34-38.
- [5] Physical channels and modulation(Relase 9): 3GPP. TS36.211: 2010[S/OL]. [2010-12-16]. http://www.3gpp.org/ftp/Specs/2010-12/Rel-9/36_series/.
- [6] Multiplexing and channel coding(Relase 9): 3GPP. TS36.212: 2010 [S/OL]. [2010-12-05]. http://www.3gpp.org/ftp/Specs/2010-12/Rel-9/36_series/.
- [7] 何立峰, 刘建军, 沈晓冬. 256QAM在LTE-Advanced标准中的应用[J]. 现代电信科技, 2012, 42(12): 47-52.
- [8] HE L F, LIU J J, SHEN X D. The application of 256QAM in LTE-Advanced [J]. Modern Science & Technology of Telecommunications, 2012, 42(12): 47-52.
- [9] Scenarios and requirements for small cell enhancements for E-URTA and E-UTRAN (Release 12): 3GPP. TR 36.932: 2013 [S/OL]. [2013-03-18]. http://www.3gpp.org/ftp/Specs/2013-09/Rel-12/36_series/.

- [8] Small cell enhancements for E-UTRA and E-UTRAN — physical layer aspects (Release 12): 3GPP.TR 36.872: 2013[S/OL]. [2013-09-20]. http://www.3gpp.org/ftp/Specs/2013-09/Rel-12/36_series/.
- [9] Physical layer procedures (Release 12): 3GPP. TS36.213:2014 [S/OL]. [2014-12-17]. http://www.3gpp.org/ftp/Specs/2014-12/Rel-12/36_series/.
- [10] 汤剑彬, 王亚峰. LTE-Hi 高阶星座调制性能研究 [J]. 移动通信, 2014, 38(16): 44-47.
TANG J B, WANG Y F. Research on performance gain of higher order modulation in LTE-Hi [J]. Mobile Communications, 2014, 38(16): 44-47.
- [11] 张长青. TD-LTE QAM 仿真和误码率性能研究[J]. 移动通信, 2013, 37(24): 26-30.
ZHANG C Q. Research on simulations of TD-LTE QAM and BER performance[J]. Mobile Communications, 2013, 37(24): 26-30.
- [12] 罗祖栋, 祁万军. LTE 中 16QAM 解调算法的研究[EB/OL]. [2011-03-17]. <http://www.paper.edu.cn/html/releasepaper/2011/03/784/>.
LUO Z D, QI W J. Study on demodulating algorithms for 16QAM in LTE. system [EB/OL]. [2011-03-17]. <http://www.paper.edu.cn/html/releasepaper/2011/03/784/>.
- [13] 陈宇, 魏克军. 面向室内热点的高阶调制技术研究 [J]. 电信网技术, 2013, 39(7): 49-52.
CHEN Y, WEI K J. Research on higher order modulation based on indoor and hotspot scenario [J]. Telecommunications Network Technology, 2013, 39(7): 49-52.
- [14] Further advancements for E-UTRA physical layer aspects: 3GPP. TR 36.814: 2010[S/OL]. [2010-03-30]. http://www.3gpp.org/ftp/Specs/2011-09/Rel-9/36_series/.
- [15] IWAMOTO M, MATSUOKA S, IWASAKI H. Transmission

performance of OFDM with 1024-QAM in the presence of EVM degradation[C]//Proceedings of IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile, August 28-30, 2014. New Jersey: IEEE Press, 2014: 12-16.

- [16] CQI/MCS table design for 256QAM: R1-140034: 2014 [S/OL]. [2014-02-01]. http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/WG1_RL1/TSGR1_76/Docs/.

[作者简介]



刘珊(1991-),女,北京交通大学硕士生,主要研究方向为 LTE-Hi 物理层关键技术。



陶成(1963-),男,北京交通大学教授、博士生导师,主要研究方向为时变信道物理层信号处理、高铁无线通信系统关键技术等。



刘留(1981-),男,北京交通大学副教授,主要研究方向为宽带无线信道测量与建模。