

LTE-A 系统中基于扩展 CP 的 Rank 3-4 解调参考信号设计^①

孙 乐^{②*} 杨 维^{③*} 许昌龙^{***} 罗宇琳^{**}

(^{*} 中讯邮电咨询设计院有限公司 北京 100048)

(^{**} 北京交通大学轨道交通控制与安全国家重点实验室 北京 100044)

(^{***} Intel 中国研究中心 北京 100020)

摘 要 为了支持先进的长期演进(LTE-A)中更高阶多输入多输出(MIMO)技术,为物理下行链路共享信道(PDSCH)定义了新的解调参考信号(DMRS)。先提出了基于扩展循环前缀(CP)的参考信号设计原则,根据已确定的基于常规 CP 的参考信号设计方案,提出了 4 种基于扩展 CP 的 Rank 3,4 参考信号设计方案。为了验证设计方案的优劣,通过仿真比较了不同参考信号设计方案估计的信道和理想信道的均方误差(MSE)和相应的误块率(BLER),最终确定最佳的扩展 CP 的 Rank 3,4 参考信号设计方案。

关键词 先进的长期演进(LTE-A),多输入多输出(MIMO),扩展循环前缀,参考信号,均方误差(MSE)

0 引言

随着第四代移动通信系统标准化进程的开展,第三代合作伙伴计划(3rd Generation Partnership Project, 3GPP)也于 2008 年 3 月正式立项开始针对先进的长期演进(Long Term Evolution-Advanced, LTE-A)进行研究^[1]。LTE-A 是 LTE 技术的后续演进,其目标是满足未来无线通信市场的更高需求和更多应用,并达到先进的国际移动通信(International Mobile Telecommunications - Advanced, IMT-A)的需求^[2],同时还要保持对 LTE 较好的后向兼容性。因此,LTE-A 增强技术中包括下行更高阶多输入多输出(MIMO)^[3]技术,最高支持 8 层数据传输,这样在 LTE-A 中就需要增加新的参考信号和复用方法以支持更高阶 MIMO 技术。LTE-A 定义了两种下行参考信号^[3],一种是物理下行链路共享信道(PDSCH)的解调参考信号(demodulation reference signal, DMRS),另一种是估计信道状态信息(CSI)的参考信号(CSI-RS)。根据应用场景的不同(无线信道不同的时延扩展),LTE-A 系统支持两种循环前缀(cyclic prefix, CP)的系统配置,即常规 CP 和扩展 CP,

它们的长度分别约为 4.7 μ s 和 16.7 μ s。常规 CP 主要用于单播业务,而扩展 CP 方案用于支持 LTE-A 大范围小区覆盖和多小区广播业务。本文只研究扩展 CP 的 DMRS 的设计方案。

在之前的研究^[4,5]中,已经确定了扩展 CP 的 DMRS 开销,即在 Rank 1,2(即层数为 1 或 2)情况下采用码分复用(CDM)方式,在每个子帧中参考信号共占用 16 个资源粒子(resource element, RE);在 Rank 3-8 情况下采用 CDM + 频分复用(FDM)的混合复用方式,在每个子帧中参考信号共占用 32 个 RE。同时,针对 Rank 1,2 的 DMRS 导频图样设计也在参考文献[6,7]中进行了详尽的研究。基于不同参考信号图样的性能和分析,3GPP 最终选定交错结构作为扩展 CP 下 Rank 1,2 的 DMRS 图样。但是,针对 LTE-A 系统 Rank 3,4 扩展 CP 的具体 DMRS 方案还在研究中^[8]。为此,本文着重对 LTE-A 系统扩展 CP 应用场景下行链路 Rank 3,4 的 DMRS 设计方案进行了研究。首先给出了 LTE-A 系统扩展 CP 参考信号的设计原则,然后针对扩展 CP 的特点重点研究了 Rank 3,4 的 DMRS 设计方案,并通过仿真比较了不同 DMRS 图样的性能,并给出了相关结果。

① 国家科技支撑计划(SQ2012BAJY3504-03),轨道交通控制与安全国家重点实验室(RCS2009ZT014)和东南大学移动通信国家重点实验室开放研究基金(2010D11)资助项目。

② 女,1986 年生,硕士,助理工程师;研究方向:LTE 和 LTE-A 无线通信技术;E-mail: sunle2011@gmail.com

③ 通讯作者, E-mail: wyang@bjtu.edu.cn

(收稿日期:2011-03-29)

1 LTE-A 系统扩展 CP 的参考信号设计原则

常规 CP 主要用于单播业务,而扩展 CP 方案用于支持 LTE-A 大范围小区覆盖和多小区广播业务。因为广播业务的信道时延较大,为了限制信道时延在 CP 范围内,就需要增加 CP 的长度。扩展 CP 是专门为大时延弥散信道或者高频率选择性信道设计的,扩展 CP 有利于克服多径干扰,可以支持大范围覆盖。由于扩展 CP 具有很多不同于常规 CP 的特性,因此有必要针对扩展 CP 进行新的参考设计以满足其特定的应用场景。针对扩展 CP 的特定应用场景,在进行扩展 CP 的 DMRS 图样设计时需要考虑下面的原则:

(1)在低 Rank 情况下,采用比常规 CP 更高的 DMRS 开销(这样可以更好地对抗信道的高频率选择性,从而有效改善 PDSCH 性能,但更高的开销会降低数据速率)。

(2)尽可能采用常规 CP 的 DMRS 设计原则,如低 Rank 用 CDM 技术,高 Rank 用 FDM + CDM 技术(因为目前常规 CP 的 DMRS 图案已经先于扩展 CP 设计完成)。

(3)扩展 CP 性能优化的重点放在低 Rank(如 Rank1,2)这种情况,同时扩展 CP 还要支持高 Rank 传输(扩展 CP 是小区专用行为,而不是终端专用行为,这也就意味着在适当的信道环境下,一些终端还是可能进行高 Rank 传输的,因此,扩展 CP 的 DMRS 图样设计需要支持所有 Rank)。

(4)使下行导频时隙(downlink pilot time slot,

DwPTS)的设计复杂度尽可能低,以降低用户终端的复杂度。而且,在时分双工(time division duplex, TDD)模式下,一个无线帧内的 DwPTS 比率会随着不同的 TDD 配置而变化,这也就意味着 DwPTS 对整个系统的性能影响是不同的,因此,所有的 DwPTS 配置情况需采用统一的图样,同时 DwPTS 和常规子帧支持同样的最大层数。在进行 DwPTS 设计时性能和复杂度的折中需要考虑进去。

(5)选用 Rank 独立的图样,以平衡不同层传输的所需开销。

(6)把 LTE 的影响降低到最小,这也就意味着 DM-RS 的位置要避免与 LTE 中小区专用参考信号(cell-specific reference signal, CRS)及控制信道产生冲突。与此同时,扩展 CP 的 CSI-RS 还要与版本 3GPP Release 10 的 CSI-RS 兼容。

2 基于扩展 CP 的 Rank3,4 参考信号设计

在 LTE-A 系统中,基于扩展 CP 的 Rank 3,4 参考信号设计主要涉及两个问题,一是低复杂度高性能信道估计算法的设计,二是导频图样的选择。

2.1 信道估计算法

构建 LTE-A 系统的基带系统模型,如图 1 所示。LTE-A 物理层的基带信号处理过程包括信道编码、加扰、调制、层映射、预编码、参考符号设计以及资源映射和正交频分复用(OFDM)信号生成的过程。在接收端进行相反的处理过程。数据的相干检测和译码都需要预先知道收发天线间的信道信息,因此信道估计是 LTE-A 系统的关键技术之一。

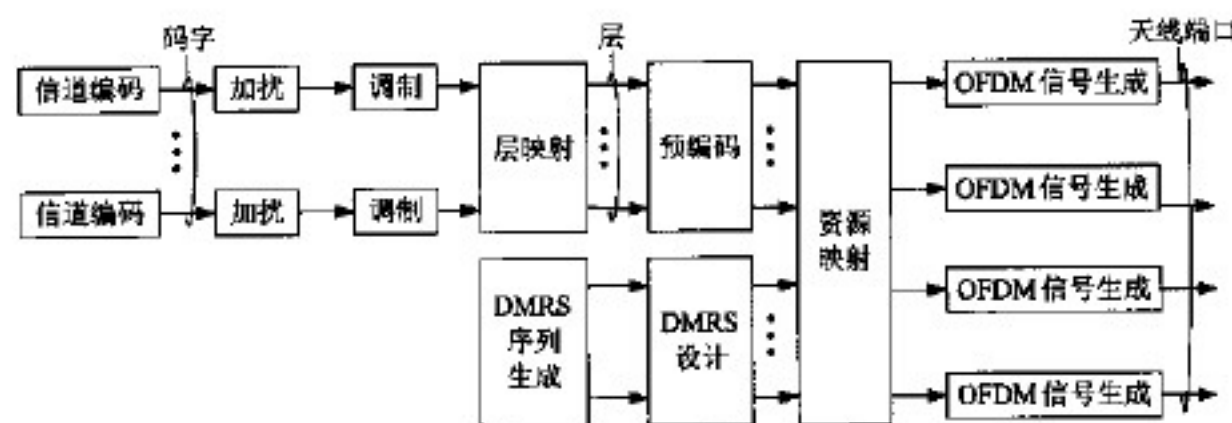


图 1 LTE-A 系统的基带系统模型

对于 LTE-A 系统的二维时频信道估计,二维维纳滤波是最小均方误差(MMSE)意义上的最佳线性估计器。当给定接收数据和发送的导频符号,导频子载波处的信道频率响应用最小二乘(least square, LS)估计算法可得:

$$H_{LS} = X^{-1}y \quad (1)$$

式中 H_{LS} 是用 LS 算法估计得到的信道响应, X 是发射的 DMRS, y 是经过 MIMO 信道的 DMRS。

假设 $w = [w_0, w_1, \dots, w_{N-1}]$ 是一个维纳滤波器,共有 N 个抽头。希望设计该滤波器,使其输出

逼近期望输出 H , H 为真实的信道频域响应。根据最小均方误差 (MMSE) 准则设计最优滤波器, 则有

$$\min J(n) = \min \| H - w^H H_{LS} \|^2 \quad (2)$$

由 $\partial J(n) / \partial w^H = 0$ 可得最优滤波器为

$$w_{opt} = R_{pp}^{-1} R_{hp} \quad (3)$$

式中, R_{hp} 为数据与导频子载波间的互相关矩阵, 其中 $[R_{hp}]_{i,j}$ 表示第 i 个数据子载波和第 j 个导频子载波间的相关系数; R_{pp} 为导频子载波间的自相关矩阵, 且其中元素 $[R_{pp}]_{i,j}$ 表示第 i 个和第 j 个导频子载波间的相关系数。最优维纳滤波的输出结果为

$$H = w_{opt}^{-1} H_{LS} = R_{hp} (R_{pp} + \sigma^2 I)^{-1} H_{LS} \quad (4)$$

式中, σ^2 是加性高斯白噪声 (AWGN) 信道的噪声方差, I 为单位矩阵。

2.2 扩展 CP Rank 3, 4 的参考信号设计

下面重点对 LTE-A 系统扩展 CP 应用场景的下行链路 Rank 3, 4 的 DMRS 设计方案进行研究。首先, 以 LTE-A 系统的一个子帧为单位, 根据参考信号开销和后向兼容性要求, 得到满足条件的所有参考信号图样。然后, 通过使采用二维维纳滤波信道估计算法获得的信道和实际产生信道的 MSE 最小, 得到最优的参考信号图样, 并通过误块率 (block error rate, BLER) 曲线进行确认, 即根据参考信号开销、参考信号复用方式和后向兼容性确定设计准则, 基于扩展 CP 的 Rank 3, 4 参考信号设计首先需要考虑如下问题:

(1) 在 Rank 3, 4 情况下, 每层的参考信号在每个子帧中占用 16 个 RE, 所有层的参考信号通过 CDM + FDM 的混合复用方式共占用 32 个 RE。在进行设计时, 还需要以常规 CP 的设计方法作为参考。

(2) 高 Rank 的 RS 图样必须是对低 Rank 的扩展图样, 这样才能找到一种符合所有 Rank 的统一的信道估计器, 从而控制小区内干扰。因此, Rank 3, 4 的 DMRS 图样必须是对 Rank 1, 2 的 DMRS 图样的扩

展, 即在保持 Rank 1, 2 参考信号位置不变的情况下, 在其他位置放置层 3 或层 4 的参考信号。

其次, 确定所有满足条件的参考信号图样。

为了实现对 Rank 1, 2 的后向兼容性, 基于扩展 CP 的 Rank 3, 4 的参考信号设计需要以 Rank 1, 2 的参考信号图样为单位, 如图 2 所示。

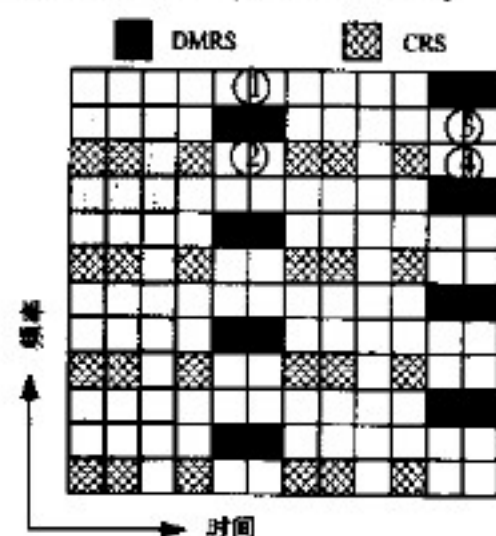


图 2 扩展 CP Rank 3, 4 的 DMRS 图样可能位置分析图

第 1 层和第 2 层的 DM-RS 通过在时域两个连续 RE 上应用叠加正交码 (orthogonal cover code, OCC) 实现 CDM 复用。为了保持与常规 CP 设计原则的一致性, 第 3 层和第 4 层的 DM-RS 也在时域两个连续 RE 上应用 OCC 实现 CDM 复用, 而 DM-RS 的第 3 层、第 4 层和 DM-RS 的第 1 层和第 2 层则通过 FDM 方式进行复用的。第 3 层和第 4 层的 DMRS 位置还有很多选择, 搜索所有满足条件的参考信号图样。在第 5 和第 6 个 OFDM 符号上, 第 3 层和第 4 层的 DMRS 共有 2 种可能位置, 即位于左斜线参考信号的上方或下方, 分别如图 2 中①和②所示位置; 同理, 在第 11 和第 12 个 OFDM 符号上, 第 3 层和第 4 层的 DMRS 也共有 2 种可能位置, 即位于左斜线参考信号的下方第一行或下方的第二行, 分别如图 2 中③和④所示的位置。通过排列组合, 总共可以得到四种导频图样, 如图 3 所示。

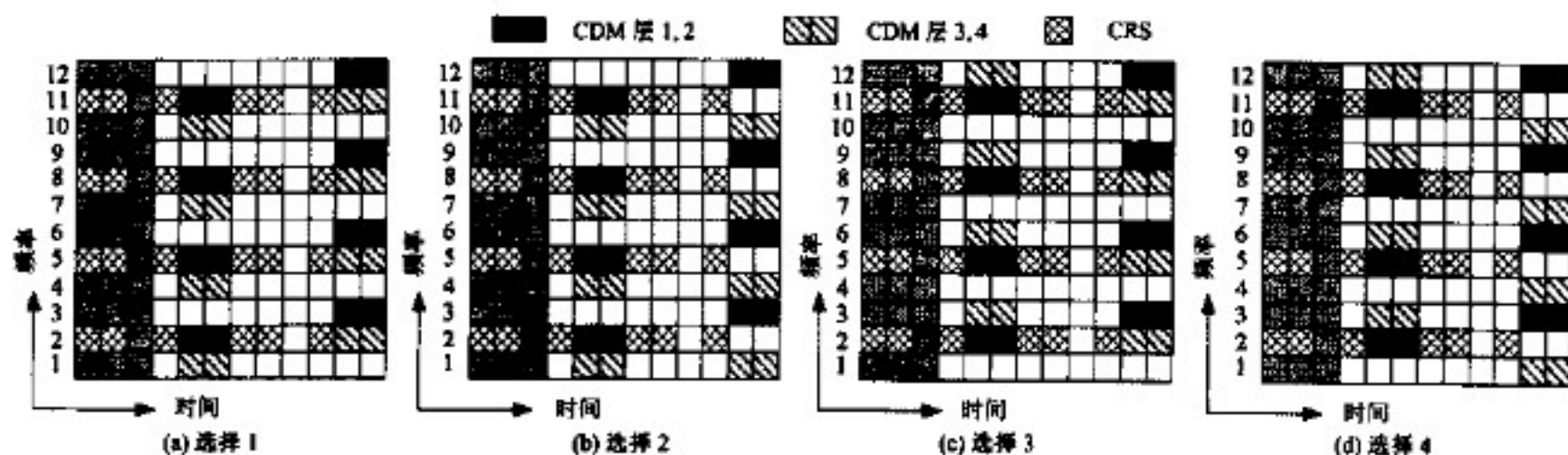


图 3 扩展 CP Rank 3, 4 的 DMRS 图样

3. 性能仿真及分析

下面对所提出的 LTE-A 系统基于扩展 CP 的下行参考信号设计方案进行评估验证。根据 LTE-A 系统 5MHz 带宽情况下的参数设置各模块的仿真参数。系统的子载波总数为 300, 采样频率为 7.68MHz, 资源块数为 25, 调制方式为 16QAM。具体的 LTE-A 系统仿真参数如表 1 所示。

表 1 扩展 CP 的仿真参数	
参数	取值
信道带宽	5MHz
资源块数	25
IFFT/FFT 点数	512
载波频率	2GHz
天线数	4×4
信道编码	Turbo 码
调制方式	16QAM
信道模型	ETU, MVB
终端移动速度	3km/h, 120km/h
信道估计方式	2D-Wiener

为了评估图 3 中的 4 种参考信号图样的性能, 选择了具有高频率选择性的信道来进行评估, 而扩展的典型市区 (extended typical urban, ETU) 和车载测试 B (Vehicle test B, VB) 信道模型被一致认为是 最能反映扩展 CP 应用场景的信道模型。但是由于 VB 信道模型的最后两径时延超出了 CP 长度, 这一点会很大地限制性能改善程度。因此, 需要对 VB 信道模型进行修正, 即去掉最后两径, 这样修正的 VB 信道的最大时延扩散就小于 CP 长度了。即在仿真时采用 ETU 信道和修正的 VB (Modified VB, MVB) 信道, 如表 2 所示。由于 Rank 3, 4 主要应用

表 2 仿真的信道模型					
多径 支路号	ETU 信道		MVB 信道		多普勒 频谱
	相对时 延(ns)	平均功 率(dB)	相对时 延/ns	平均功 率/dB	
1	0	-1.0	0	-2.5	典型
2	50	-1.0	300	0	典型
3	120	-1.0	8900	-12.8	典型
4	200	0.0	12900	-10.0	典型
5	230	0.0	—	—	典型
6	500	0.0	—	—	典型
7	1600	-3.0	—	—	典型
8	2300	-5.0	—	—	典型
9	5000	-7.0	—	—	典型

于中低速环境, 因此选择 3km/h 和 60km/h 作为移动终端的典型速度。

图 4 到图 7 是图 3 中的 4 种 DMRS 图样的均方误差 (MSE) 性能比较图。从图 4 到图 7 可以看出, 无论是在 ETU 信道还是 MVB 信道, 当终端移动速度为 60km/h 时, 这 4 种 DMRS 图样的 MSE 性能几乎一样, 这主要是由于在高速移动环境下 CDM 复用码正交性遭到破坏, CDM 码的正交性成为影响信道估计的主要因素。从图 4 和图 5 可以看出, 当终端移动速度为 3km/h 时, 选择 4 的性能最好, 选择 2 的性能最差, 选择 1 和选择 3 具有相似的性能。这主要是由于第 1 层和第 2 层的 DMRS 已经位于固定位置, 影响信道估计的主要因素成为第 3 层和第 4 层的 DMRS 位置; 选择 4 中的第 3、4 层 DMRS 覆盖了整个子帧的边缘, 即在第 1 个子载波和第 12 个子载波, 因此可以获得更好的性能; 而选择 2 在子载波 11 和 12 都没有第 3、4 层 DMRS, 因此不能很好地估

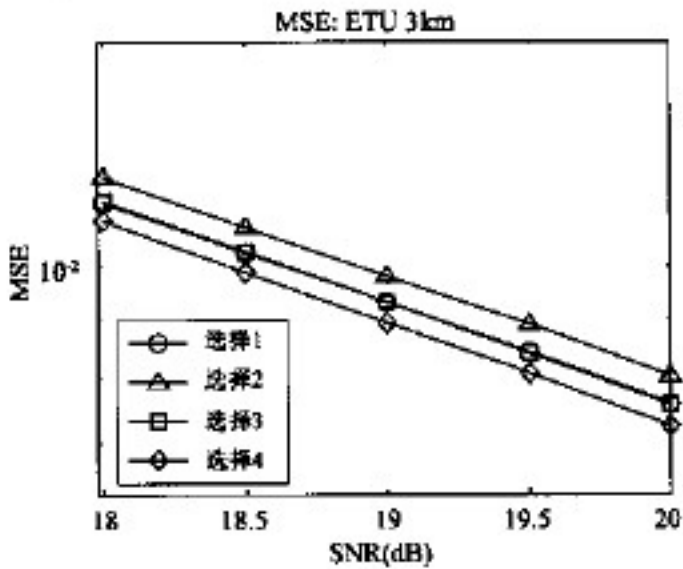


图 4 ETU 信道 3km/h 下 Rank 4 不同 DMRS 图样的 MSE 性能比较

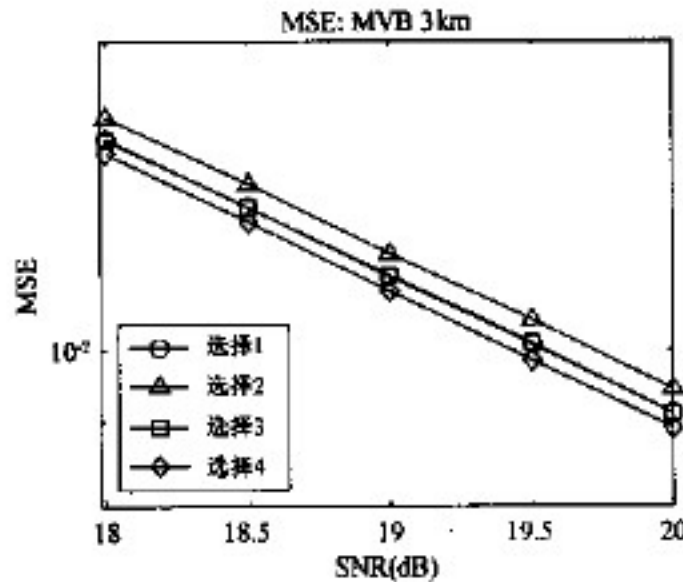


图 5 MVB 信道 3km/h 下 Rank 4 不同 DMRS 图样的 MSE 性能比较

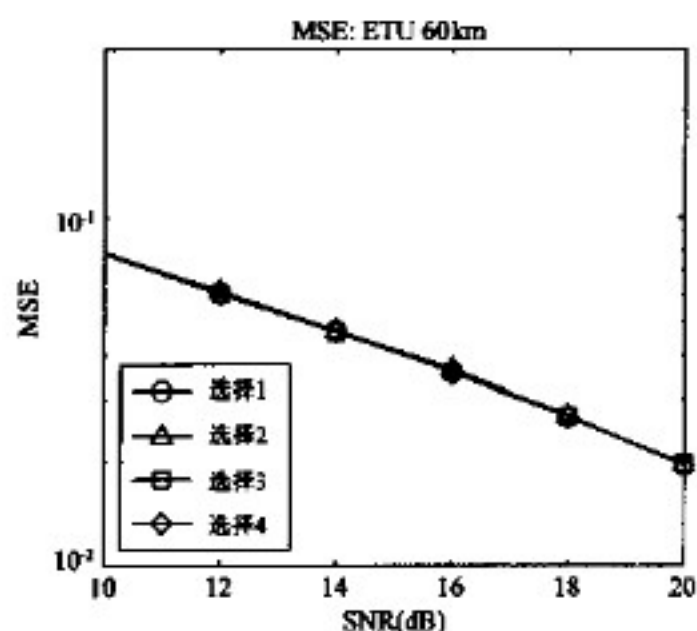


图6 ETU信道60km/h下Rank 4不同DMRS图样的MSE性能比较

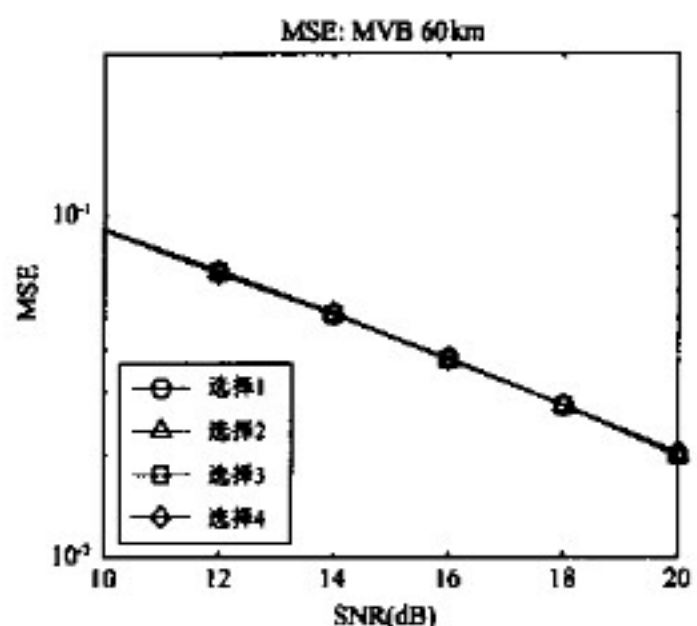


图7 MVB信道60km/h下Rank 4不同DMRS图样的MSE性能比较

计出子帧边缘的信道参数;选择1和选择3的第3、4层DMRS在子帧边缘分别没有覆盖第1个和第12个子载波,具有对等的效果,因此两者的性能相似。因此,图3的选择4的DMRS图样具有最优的MSE性能,即本文所设计的基于扩展CP的Rank3,4的参考信号图样是最优的。

根据上述MSE的仿真结果,进一步进行上述4种DMRS图样的BLER性能验证。由于MVB信道更能反映扩展CP的应用场景,因此只对修正的MVB信道进行了仿真性能验证。图8是MVB信道下、终端移动速度为3km/h及扩展CP应用场景下的Rank 4不同DMRS图样的BLER性能比较。从图8中可以看出,当终端的移动速度为3km/h时,选择4的BLER性能最好,选择2的BLER性能最差,选择1和选择3的BLER性能居中。

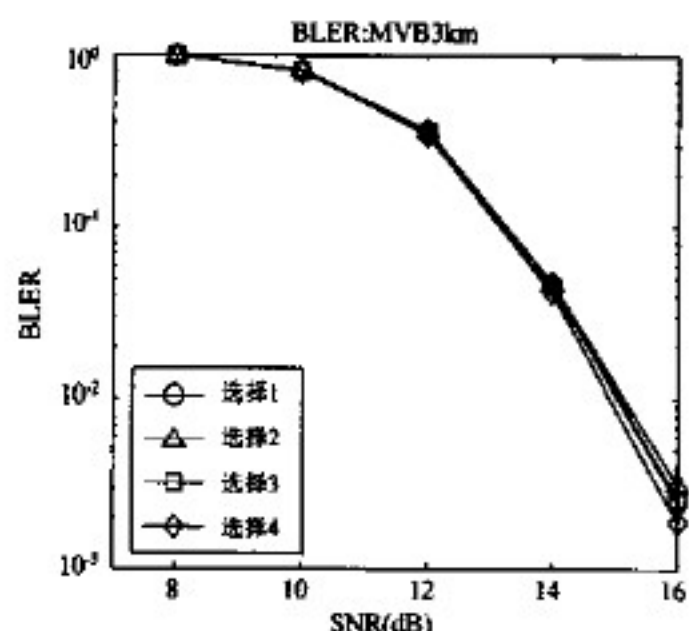


图8 MVB信道3km/h下Rank 4不同DMRS图样的BLER性能比较

综上所述,4种DMRS图样的BLER性能差别与上述MSE性能结论一致。因此证明了所提出导频设计方法的正确性和设计方案的有效性。

4 结论

本文针对扩展CP的特定应用场景,提出了扩展CP参考信号设计的原则,主要考虑了应用场景、DMRS开销、一致性、独立性、兼容性、交错结构等几个方面。根据所提出的设计原则和3GPP对扩展CP参考信号设计已确定的技术方案,提出了一种LTE-A系统的穷举参考信号设计方法,首先根据参考信号开销、参考信号复用方式和后向兼容性确定设计准则,穷举所有满足条件的参考信号图样,并以MSE作为优化准则,提出了具有可行性的4种Rank 3,4参考信号方案,并通过仿真比较了不同DMRS方案的MSE性能和BLER性能。仿真结果表明第3、4层参考信号位于子帧边缘的参考信号方案具有最优的性能。基于扩展CP的Rank 5-8的参考信号设计、参考信号功率增加和物理资源块绑定等将是下一步工作研究的目标。

参考文献

- [1] 3GPP. TS 36.815 Further Advancements for E-UTRA; LTE-Advanced feasibility studies in RAN WG4
- [2] 3GPP. TS 36.913 V.9.0.0. Requirements for future advancements for E-UTRA (LTE-Advanced). 2009. 12. 28
- [3] 3GPP. TS 36.814. V9.0.0. Further advancements for E-UTRA; physical layer aspects. 2010. 3. 30
- [4] 3GPP. R1-101764. DMRS design for extended CP. CATT. RAN1 60bis. Beijing. China. April 12-16th,

- 2010
- [5] 3GPP R1-101953. DMRS patterns design for extended CP. Huawei. RAN1 60bis. Beijing, China. April 12-16th, 2010
- [6] 3GPP R1-101737. DM RS patterns design for extended CP. Ericsson, ST-Ericsson. RAN1 60bis. Beijing, China. April 12-16th, 2010
- [7] 3GPP R1-102898. DMRS design under extended-CP. ZTE. RAN1 61. Montreal. Canada. May 10-14th, 2010
- [8] 3GPP R1-103383. Way forward on DM-RS pattern for extended CP. CMCC, CATT, Ericsson, LG Electronics, NEC, Nokia, Nokia Siemens Networks, ST-Ericsson, ZTE. RAN1 61. Montreal. Canada. May 10-14th, 2010

Rank 3,4 demodulation reference signal design based on extended CP for LTE-A

Sun Le^{*}, Yang Wei^{**}, Xu Changlong^{***}, Luo Yulin^{**}

(^{*} China information Technology Designing&Consulting Institute CO. LTD., Beijing 100044)

(^{**} State Key Laboratory of Rail Traffic Control and Safety, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044)

(^{***} Intel China Research Center, Beijing 100020)

Abstract

To support the higher-order multiple input multiple output (MIMO) technology in 3GPP'S Long Term Evolution-Advanced (LTE-A), a new pattern of Rank 3,4 DMRS (demodulation reference signal) was designed for physical downlink shared channel (PDSCH) based on the extended cyclic prefix (CP). The principles for design of reference signals based on extended CP were introduced. Then, the design pattern for Rank 3,4 reference signal based on the extended CP was proposed according to the decided patterns based on the normal CP. The mean squared error (MSE) performance and the block error rate (BLER) performance of the proposed DMRS patterns in the channel estimated and ideal channel were compared by simulation, and the optimum pattern was obtained accordingly.

Key words: long term evolution-advanced (LTE-A), multiple input multiple output (MIMO), extended cyclic prefix, reference signal, mean squared error (MSE)