

MIMO 分布式天线系统中的延时失衡性能分析

邓 单

(京信通信技术(广州)有限公司 研发中心, 广东 广州 510660)

摘要 在 MIMO 室内分布式天线系统中, 由于馈线以及极化天线本身的差异会引入延时不平衡因素。针对 MIMO 系统, 从理论上分析分布式天线系统中延时失衡对 MIMO 系统带来的影响。通过仿真, 定量分析了 MIMO 上下行链路中, 延时失衡对基带性能的不利影响。结果表明, 上行链路性能对延时差异不敏感; 对下行链路, 在时延差异达到 0.5 CP 时, 系统性能会有约 2 dB 损失; 当延时差异达到 0.75 CP 时, 性能下降达到 8 dB。

关键词 MIMO; 分布式天线; 延时失衡

中图分类号 TN958 文献标识码 A 文章编号 1007-7820(2011)07-061-03

Performance Analysis of Delay Unbalance in MIMO Distributed Antenna System

DENG Dan

(Research Center, Comba Telecom Technology (Guangzhou) Ltd., Guangzhou 510660, China)

Abstract The difference between lines and devices produces delay unbalance for MIMO indoor distributed antenna systems. A theoretical analysis of the impact of delay unbalance on distributed antenna systems is given, which is confirmed by quantitative analysis. Simulation results show that the backward link is not sensitive to the delay difference, and that for forward link, when delay unbalance is CP/2, the performance loss will be 2 dB; and when delay unbalance is 3/4CP, the performance loss will be 8 dB.

Keywords MIMO; distributed antenna; delay unbalance

在不增加传输功率和频率资源的基础上, 为提高传输速率和增强小区覆盖能力, 多入多出(MIMO)技术被广泛应用于各种无线通信标准中, 其中包括 3GPP 长期演进(LTE)以及其高级版(LTE-Advanced)项目标准^[1]。在 LTE 标准中, 被采纳的 MIMO 技术主要包括发送分集、空分复用、波束赋形等。其中基于用户专用参考信号的下行波束赋形技术能够利用时分复用 LTE(TD-LTE)系统中上下行信道的互易性, 针对单个用户进行动态地波束赋形, 从而有效提高传输速率和增强小区边缘覆盖性能^[2-3]。

在目前的 LTE 室内商用系统的基本配置^[2]中, 一般采用 2×2 天线配置。下行 BS 采用双天线分集或者复用发射, UE 采用双天线接收。上行 UE 采用单天线发射, BS 采用双天线接收, 即接收分集^[3-4]。理论分析中, 大多假设多天线阵列中各天线单元增益相同且时延相等。但在实际工程应用中, 由于馈线及器件制造工艺的差异, 会引入天线单元的增益与时延

的差异。中国移动企业标准^[5]中, 对于宏基站天线有明确的规定: 各天线端口的幅度偏差≤0.7 dB; 相位偏差≤5°。

在实际的室内分布式天线系统中, 由于馈线以及极化天线本身的差异会引入天线延时不平衡因素。文中将对基于 LTE 系统, 分析分布式天线系统中延时失衡对 LTE 基带系统带来的影响, 并评估其可行性。

1 延时分析模型

以 LTE 20 MHz 带宽系统分析: 采样周期 $T = 1/30.72 \text{ MHz} = 0.0326 \mu\text{s}$, 对应于光速传播距离约为 9.8 m。以 10 MHz 带宽分析: 采样率为 15.36 MHz, 对应于光速传播距离为 19.6 m。假设时域上采样点偏移 N_0 , 则相应在频域上的变换如式(1)所示。

$$\begin{aligned} a(n) &\rightarrow A(k) \\ a(n - N_0) &\rightarrow A(k) e^{-j\frac{2\pi}{N_{\text{FFT}}} k N_0} \end{aligned} \quad (1)$$

从式(1)可以看到, 时域上线性偏移, 频域上叠加线性相偏。时域上偏移越多, 相偏变化越快。偏移两个采样点后, 等效的频域信道估计响应如图 1 所示。

收稿日期: 2011-05-31

作者简介: 邓单(1981—), 男, 博士, 高级工程师。研究方向: 通信信号处理, MIMO, 空时编码等。

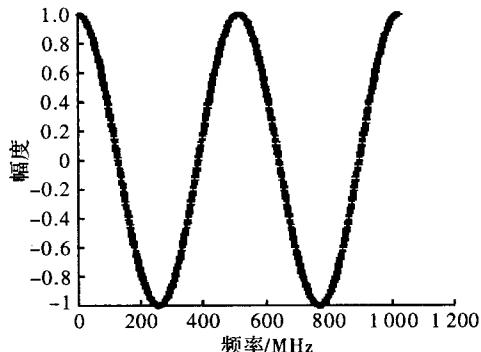


图 1 偏移两个采样点后的等效频域信道估计响应

从图 1 可以看出, 频域等效信道响应呈周期性变化; 当信道偏移量扩大时, 此变化周期变快; 当变化周期快于频域信道估计周期时, 系统性能将会恶化。LTE 下行帧结构中, 采用每个 RB 在频域上包含 14 个子载波, 中间插入两个 Pilot, 用于信道估计。Pilot 中间位置则使用插值算法作估计。如果频域相偏变化过快, 则会导致插值算法估计不准确, 影响链路性能^[6]。

假设 LTE 2×2 MIMO 系统, 发射天线存在不同步的情况如图 2 所示。

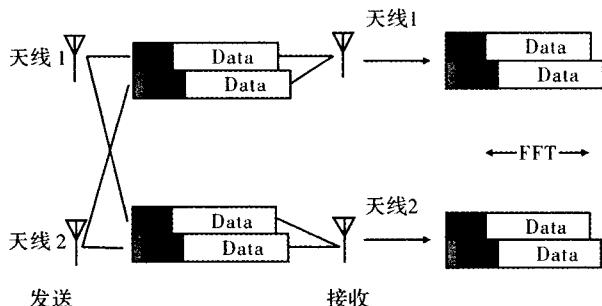


图 2 发射端天线间不同步示意图

以接收端天线 1 为例, 在 FFT 窗内对接收数据作变换, 设 $r_1(i)$, $r_2(i)$ 分别为来自发送端天线 1 和天线 2 的 Data 区域的时域信号抽样点, 其中 $0 \leq i \leq N_{\text{FFT}} - 1$, 并设 $r_2(i)$ 为接收端 FFT 窗内的时域信号抽样点, 时延为 p 个抽样点。

$$R_1(k) = \sum_{i=0}^{N_{\text{FFT}}-1} [r_1(i) + r_2(i) + n_1(i)] e^{-j2\pi ki/N_{\text{FFT}}} = h_{1,1}(k)x_1(k) + h_{1,2}(k)x_2(k) \cdot e^{j2\pi k(N_{\text{FFT}}-p)/N_{\text{FFT}}} + N_1(k) \quad (2)$$

同理

$$R_2(k) = h_{2,1}(k)x_1(k) + h_{2,2}(k)x_2(k) \cdot e^{j2\pi k(N_{\text{FFT}}-p)/N_{\text{FFT}}} + N_2(k) \quad (3)$$

合并式(2)和式(3)

$$\begin{bmatrix} R_1(k) \\ R_2(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,1}(k) & h_{1,2}(k) \\ h_{2,1}(k) & h_{2,2}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \cdot e^{j2\pi k(N_{\text{FFT}}-p)/N_{\text{FFT}}} \\ x_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} N_1(k) \\ N_2(k) \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, $R_n(k)$ 和 $R_{n,m}(k)$ 的下标 m 和 n 分别表示发送天线号和接收天线号; k 为子载波号。

在下行接收端

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{H}}^{-1} &= \begin{bmatrix} h_{1,1}(k) & \bar{h}_{1,2}(k) \\ h_{2,1}(k) & h_{2,2}(k) \end{bmatrix}^{-1} = \\ & \begin{bmatrix} h_{1,1}(k) & h_{1,2}(k) \cdot e^{j2\pi\varphi(N_{\text{FFT}}-p)/N_{\text{FFT}}} \\ h_{2,1}(k) & h_{2,2}(k) \cdot e^{j2\pi\varphi(N_{\text{FFT}}-p)/N_{\text{FFT}}} \end{bmatrix} = \\ & \begin{bmatrix} h_{1,1}(k) & h_{1,2}(k) \\ h_{2,1}(k) & h_{2,2}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{j2\pi\varphi(N_{\text{FFT}}-p)/N_{\text{FFT}}} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

两发送天线的信号 $x_1(k)$ 和 $x_2(k)$ 的估计为

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_1(k) \\ \hat{x}_2(k) \end{bmatrix} = \tilde{\mathbf{H}}^{-1} \begin{bmatrix} R_1(k) \\ R_2(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{-j2\pi\varphi(N_{\text{FFT}}-p)/N_{\text{FFT}}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \cdot e^{j2\pi k(N_{\text{FFT}}-p)/N_{\text{FFT}}} \end{bmatrix} + \tilde{\mathbf{H}}^{-1} \begin{bmatrix} N_1(k) \\ N_2(k) \end{bmatrix} \quad (6)$$

由于下行 DMRS 并非在频域上连续分布, 因此 φ 与 k 不一定相等, 即由天线 2 时延造成的相位偏差不一定可以消除, 从而造成接收端解调性能的下降。

2 仿真与分析

为验证延时失衡理论分析结果的正确性, 文中在不同信道环境下, 针对 LTE 典型业务进行仿真, 并对结果进行分析比较。系统采用 10 MHz 带宽, 15.36 MHz 采样。上行链路仿真参数: 仿真信道采用 LTE 标准中 EPA 5 Hz 信道; 仿真业务采用 LTE 标准的 FRC A4-6; 信道估计算法采用 LS 平均算法; 天线配置为 1×2 SIMO; 接收合并采用最大比合并 (MRC) 算法。下行链路仿真参数: 仿真信道采用 EPA 5 Hz; 仿真业务中块长 5 736, 调制方式为 16QAM; 信道估计采用 LS 线性插值; 天线配置为 2×2 MIMO。发送模式: 两天线不带 CDD 的空间复用。

首先分析接收端由于两天线间上行延时不平衡, 对系统造成的影响。分析高斯白噪声信道下, 不同信噪比环境下, 不同的延时差异条件下, 系统性能的恶化情况。图 3 是 AWGN 信道下的 BER 仿真结果。

从图 3 中可以看出, 上行由于 LTE 标准中频域插入的 RS 为全频段设置, 接收机不需要进行频域插值, 所以延时对接收机几乎没有影响。

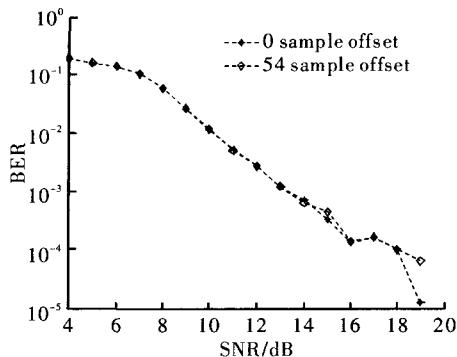
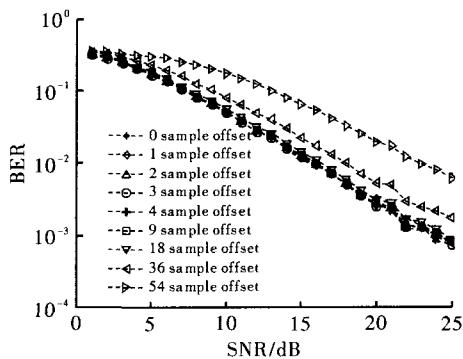


图3 上行MRC延时失衡BER性能曲线

另外,还分析了下行MIMO配置下,发射天线延时差异对系统性能的影响。在不同信噪比环境和不同延时差异条件下的性能对比如图4所示。

图4 下行 2×2 MIMO延时失衡BER性能曲线

由于LTE 10 MHz带宽配置时,CP长度为72采样点。在时延差异 $< CP/8$ (即9个采样点)的情况下,系统的性能几乎没有下降;当时延差异较大时,系统性能下降明显;在时延差异达到0.5 CP时,系统性能会有约2 dB损失;当延时差异达到0.75 CP时,性能下降达到8 dB。

3 结束语

MIMO室内分布式天线系统中,由于馈线以及极化天线本身的差异会引入延时不平衡因素。针对MIMO系统,首先从理论上分析分布式天线系统中延时失衡对MIMO系统带来的影响。通过仿真,定量分析了MIMO上下行链路中,延时失衡对基带性能的不利影响。结果表明:上行链路性能对延时差异不敏感;对下行链路,在时延差异达到0.5 CP时,系统性能会有约2 dB损失;当延时差异达到0.75 CP时,性能下降达到8 dB。

参考文献

- [1] 沈嘉. 3GPP长期演进(LTE)技术原理与系统设计[M]. 北京:人民邮电出版社, 2008.
- [2] 胡宏林, 徐景. 3GPP LTE无线链路关键技术[M]. 北京:电子工业出版社, 2008.
- [3] 3GPP Organization. 3GPP TS 36.211 v8.6.0. 3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; evolved universal terrestrial radio access (e-utra); physical channels and modulation (Release8) [S]. USA: 3GPP Organization, 2009.
- [4] 3GPP Organization. 3GPP TS 36.104 v8.6.0. 3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); base station (BS) radio transmission and reception (Release8) [S]. USA: 3GPP Organization, 2009.
- [5] 中国移动通信集团公司. TD-LTE双极化智能天线阵列设备规范[S]. 北京:中国移动通信集团公司, 2009.
- [6] GERARD J. Foschini, layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multi-element antennas [J]. Bell Labs Technical Journal, 1996(4): 41-59.

《电子科技》欢迎投稿

《电子科技》杂志(月刊),设置栏目有:电子·电路、协议·算法及仿真、图像·编码与软件、保密及网络安全、光电·材料、实用技术、专题综述等。欢迎业界专家、教授、学者及工程技术人员、教师、学生投稿。来稿应以反映当前国内外电子科学技术领域中的先进理论、创新成果及发展趋势,并有实际的应用背景,以及相应的实验结果。

投稿请登录: www.dianzikeji.org

联系电话: 029-88202440

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>