

有限反馈协作多小区传输系统的码字选择方案

黄 峰,解培中

(南京邮电大学 通信与信息工程学院,江苏 南京 210003)

摘 要:为了提高协作通信的增益,通常使用有限反馈技术来有效地传输信道状态信息。从移动台码本中选择码字对信道方向信息(CDI)量化,量化后的信道方向信息对于进行预编码或波束赋形是必要的信息。使用信道矩阵来构建信道方向矢量(CDI),采用多种码字选择方案对 CDI 进行量化。联合码字选择方案存在相位模糊,为此提出了一种带有相位模糊反馈的联合码字选择方案。仿真表明,带有相位模糊反馈的联合码字选择能很大改善 CoMP 系统性能。

关键词:联合码字;协作多点传输;相位模糊;信道方向信息;有限反馈;预编码

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)10-0151-03

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.10.038

Codeword Selection Scheme with Limited Feedback in Coordinated Multi-cell Transmission System

HUANG Feng, XIE Pei-zhong

(College of Telecommunications & Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: To improve the promised benefits of CoMP transmission, it is necessary for limited feedback to convey channel state information. Codewords selected from MSs are used to quantify Channel Direction Information (CDI). It's very important for precoding or beamforming to quantify CDI. Use channel matrix to construct CDI, present several kinds of codeword selection schemes to quantify CDI. There exists to be phase ambiguity in joint codeword selection. Thus propose joint codeword selection scheme with phase ambiguity feedback. Simulation results are provided that joint codeword selection scheme with phase ambiguity feedback can largely improve performance of CoMP system.

Key words: joint codeword; coordinated multi-point transmission; phase ambiguity; CDI; limited feedback; precoding

0 引 言

先进的空时处理技术能够增加小区中心频谱利用率。然而,由于多小区同频干扰很严重,小区边缘的频谱利用率不能得到很大的提高。在长期演进中,为了能够解决边缘小区吞吐率得不到提高的这一瓶颈,提出了协作多点传输技术,并且提出了不同的接收技术,例如网络 MIMO、协作 MIMO、多小区 MIMO^[1] 等技术。在发送端获得信道状态信息是不现实的,使用有限反馈可以解决这一问题,接收端通过有限容量反馈信道把信道状态信息(CSI)传送给发送端。文中使用隐式反馈技术,用码本来量化协作多点传输系统中信

道方向信息,用户根据估计的信道状态信息从码本中选择码字,然后把码字索引反馈给基站,基站把码字送到中心单元(CU),最后中心单元使用码字对信道方向信息进行量化。协作多点传输信道是不对称的^[2-4],信道不再独立同分布,每个移动台的信道信息高度依赖它所在的位置。协作多点传输信道是由多个单小区信道组成,此信道可由多个单个小区的小尺度衰落信道矩阵和块对角矩阵组成,块对角矩阵取决于大尺度衰落系数^[5-6]。事实上可以重复使用为单小区信道设计的码本来量化多点协作传输信道,它能降低产生码字的复杂度以及寻找码字的复杂度。文献[7]

收稿日期:2012-12-25

修回日期:2013-04-03

网络出版时间:2013-07-24

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61271234);江苏省基础 Research 计划(自然科学基金)(BK2011756);南京邮电大学校科研基金(NY210006)

作者简介:黄 峰(1989-),男,江苏张家港人,硕士研究生,研究方向为通信中的信号处理;解培中,副教授,研究方向为电子系统和无线通信中的信号处理。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130724.1005.037.html>

采用联合码字选择、独立码字选择、带有相位模糊反馈的独立码字选择这三种方法来量化基于每个小区码本的相关 CoMP 信道。在联合码字选择方案中存在相位模糊,如果反馈相位模糊信息,带有相位模糊反馈的联合码字选择能够很大改善系统性能。

1 系统模型

考虑一个协作多点传输系统,在系统中有 N_c 个基站,每个基站有 N_l 根天线,这些基站以频分、时分或者空分方式协作通信来对移动台服务,每个移动台有 N_r 根天线,数据和信道状态信息(CSI)通过理想回程链路送到中心单元(CU)中。

每个移动台的下行链路 CoMP 信道由多个协作基站到移动台小区信道组成。此协作多点传输信道可表示成

$$\mathbf{H}_c = [k_1 \mathbf{H}_1, \dots, k_{N_c} \mathbf{H}_{N_c}] \quad (1)$$

式中, k_i 表示大尺度衰落系数,包括路径损失和路径衰落; $\mathbf{H}_i \in \mathbb{R}$, $i = 1, \dots, N_c$, $\mathbf{H}_i = \text{diag}\{k_1^2 I_{N_i}, \dots, k_{N_c}^2 I_{N_i}\}$ 是从第 i 个协作基站到移动台的小尺度衰落信道。小尺度衰落信道 $\mathbf{H} = [\mathbf{H}_1, \dots, \mathbf{H}_{N_c}]$ 就相当于一个发送端有 $N_c N_l$ 根天线的单小区信道。

对 \mathbf{H}_c 和 \mathbf{H} 进行比较,可以看到 CoMP 信道是非对称的。从式(1)中可以看到协作多点传输信道看起来像是一个特殊的空间相关信道。 \mathbf{H}_i 中的每个元素服从 $\text{CN}(0,1)$ 分布。 $\mathbf{R} = \text{diag}\{k_1^2 I_{N_i}, \dots, k_{N_c}^2 I_{N_i}\}$ 是一个对角矩阵。

2 针对边缘小区用户联合码本选择方案的改进

2.1 构造 CoMP 信道方向信息(CDI)的结构

对式(1)中 \mathbf{H}_c 进行奇异值分解(SVD)。

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_c &= \mathbf{U}_c \left[\sum_c 0_{N_c \times N_c N_l - N_r} \right] \mathbf{V}_c^H = \mathbf{U} \sum \mathbf{V}^H \mathbf{R}^{\frac{1}{2}} = \\ &\mathbf{U} \sum \begin{bmatrix} v_1^H \\ \vdots \\ v_{N_c N_l}^H \end{bmatrix} \begin{pmatrix} k_1 I_{N_i} \\ \vdots \\ k_{N_c} I_{N_i} \end{pmatrix} = \\ &\mathbf{U} \sum \begin{bmatrix} k_1 v_{1,1}^H & \cdots & k_{N_c} v_{1,N_c}^H \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ k_1 v_{N_c N_l,1}^H & \cdots & k_{N_c} v_{N_c N_l,N_c}^H \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

式中, $v_i = [v_{i,1}^H, \dots, v_{i,N_c}^H]^H \in \mathbb{C}^{N_c N_l \times 1}$; $v_{i,j} \in \mathbb{C}^{N_l \times 1}$ 。

定义 $\hat{v}_i = [k_1 v_{i,1}^H, \dots, k_{N_c} v_{i,N_c}^H]^H$, 并且 CoMP 信道矩阵可以重新写成

$$\mathbf{H}_c = \mathbf{U} \sum \begin{bmatrix} \|\hat{v}_1\| & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \cdots & \|\hat{v}_{N_c N_l}\| \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\hat{v}_1^H}{\|\hat{v}_1\|} \\ \vdots \\ \frac{\hat{v}_{N_c N_l}^H}{\|\hat{v}_{N_c N_l}\|} \end{bmatrix} \quad (3)$$

所以 CoMP 信道方向信息向量可表示为:

$$\mathbf{g} = \frac{[k_1 v_{1,1}^H, \dots, k_{N_c} v_{1,N_c}^H]}{\sqrt{\sum_{n=1}^{N_c} k_n^2 \|v_{1,n}\|^2}} \quad (4)$$

2.2 基于每个小区码本的量化

用 $C = \{c_1, \dots, c_{2^B}\}$ 来表示每个小区的码本, B 表示反馈的比特数。用一种特定方法为第 k 小区的信道选择码字 c_{i_k} , 其中 $c_{i_k} \in C_k$, $\forall k = 1, \dots, N_c$ 。量化后的协作多点传输系统的 CDI 可以表示成^[8-9]

$$\hat{\mathbf{g}} = \frac{[k_1 c_{i_1}, \dots, k_{N_c} c_{i_{N_c}}]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_c} k_i^2}} \quad (5)$$

协作多点传输信道的信道方向信息向量的量化误差为

$$\begin{aligned} d(\mathbf{g}, \hat{\mathbf{g}}) &= \sqrt{1 - |\mathbf{g} \cdot \hat{\mathbf{g}}|^2} = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \\ &\sqrt{1 - \left(\frac{\left| \sum_{n=1}^{N_c} k_n^2 v_{1,n}^H \cdot c_{i_n}^H \right|}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_c} k_i^2 \|v_{1,i}\|^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{N_c} k_i^2}} \right)^2} \end{aligned} \quad (6)$$

式中, θ 为量化后的 CDI 和量化前的 CDI 的角度。

2.3 联合码字选择方案

为了克服信道不对称特性,考虑一个标准向量 $\mathbf{v}_1 = [v_{1,1}^H, \dots, v_{1,N_c}^H]^H$ 。然后使用大尺度衰落增益重新构造 CoMP CDI 向量^[10-12]。根据下面的规则从码本中选择码字对 \mathbf{v}_1 进行量化

$$\min_{i_1, \dots, i_{N_c}} d(\mathbf{v}_1, [c_{i_1}, \dots, c_{i_{N_c}}]) = \max_{i_1, \dots, i_{N_c}} \left| \sum_{k=1}^{N_c} \mathbf{v}_{1,k}^H \cdot c_{i_k}^H \right| \quad (7)$$

只有当移动台位于准确的边缘小区上时,则 $k_1 = \dots = k_{N_c}$, 移动台反馈每个小区码字 $\{c_{i_1}, \dots, c_{i_{N_c}}\}$ 给它服务的基站,基站把信息传递给 CU。然后 CU 根据式(5)获得量化的 CoMP CDI 向量 $\hat{\mathbf{g}}$ 。通常情况下,这个码字选择规则(7)不能最小化 CoMP CDI 向量量化误差。

2.4 对联合码本选择方案的改进

联合码本选择方案的改进的准则是基于公式(6)和(7),令

$$\beta(i_1, \dots, i_{N_c}) = \left| \sum_{n=1}^{N_c} k_n^2 v_{1,n}^H \cdot c_{i_n}^H \right| =$$

$$\left| \sum_{n=1}^{N_c} k_n^2 |v_{1,n}^H \cdot c_{i_n}^H| e^{j\epsilon_n} \right| \tag{8}$$

最小化协作多点传输系统的信道方向信息向量就是等同于最大化 $\beta(i_1, \dots, i_{N_c})$ 。 $\sum_{n=1}^{N_c} k_n^2 |v_{1,n}^H \cdot c_{i_n}^H| \geq \beta(i_1, \dots, i_{N_c})$ 和 $e^{j\epsilon_n} = \frac{v_{1,n}^H \cdot c_{i_n}^H}{|v_{1,n}^H \cdot c_{i_n}^H|}$ 分别表示单个小区量化误差 $v_{1,n} \cdot c_{i_n}^H$ 的系数和相位。

事实上, $e^{j\epsilon_n}$ 是一个单小区量化相位模糊,不会对单小区有限反馈系统造成影响。在协作多点传输系统中,联合码字选择存在相位模糊。如果为相位模糊信息^[13]多反馈一点比特数,它的负面影响将会被补偿。如果完全反馈单小区相位模糊,联合选择方案将会获得下面的量化性能

$$\sum_{n=1}^{N_c} k_n^2 |v_{1,n}^H \cdot c_{i_n}^H| \geq \beta(i_1, \dots, i_{N_c}) \tag{9}$$

上式可用下面三角不等式验证其正确性。

$$\sum_{n=1}^{N_c} k_n^2 |v_{1,n}^H \cdot c_{i_n}^H| \geq \left| \sum_{n=1}^{N_c} k_n^2 v_{1,n}^H \cdot c_{i_n}^H \right| \tag{10}$$

上式表明带有相位模糊反馈的联合码字选择方案的性能要优于不带相位模糊反馈的联合码字选择方案。

这个方案复杂度和不带相位模糊反馈的联合码字选择方案相同,因为要对 N_c 个小区的码本进行搜索,每个码本拥有 2^B 个码字,所以复杂度为 $O(\prod_{k=1}^{N_c} 2^B)$ 。

3 仿真结果

通过仿真来比较在信道不相关条件下的四种码字选择方案的性能,它们依次是联合码字选择方案(又称联合选择),独立码字选择(又称独立选择),带有相位模糊反馈的独立码字选择(又称为相位模糊反馈独立选择),带有相位模糊反馈的联合码字选择(又称为相位模糊反馈联合选择)。使用在式(6)中所定义的 $\cos\theta$ 作为性能尺度,因为它能反映每个移动台的协作多点传输系统信道方向信息向量的量化误差,决定有限反馈 MIMO 系统的性能。

仿真考虑使用两个基站组成协作多点传输系统。每个基站配有两根天线,每个移动台配有两根天线。使用随机向量来量化每个小区空间 CDI,使用一个均匀的梯度量化方式对每个小区相位模糊进行量化。仿真中采用反馈 2 比特,拥有 4 个码字的格拉斯曼码本^[14]。

在图 1 中,用户位于准确小区边缘,显示了在信道相关条件下四种码本选择方案的 $\cos\theta$ 的累积分布函数。图 1 说明文中所改进的带有相位模糊反馈的联合码字选择方案优于其他三种方案。

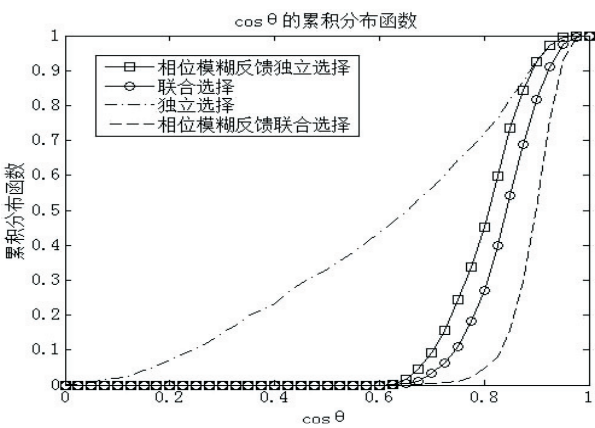


图 1 四种码字选择方案的 $\cos\theta$ 的累积分布函数

4 结束语

文中分析了四种码本选择方案的性能,讨论了各种相关的问题,包括 CoMP 信道重构、每个小区码字选择。分析和仿真结果说明独立码字选择的性能是最差的,带有相位反馈的独立码本选择的性能次之,两种选择方案均有较低的复杂度,虽然联合码字选择方案具有较高的复杂度,但采用联合码字选择方案较前两者的性能得到很大改善,带有相位模糊反馈的联合码字选择方案提供的性能优于其他三种方案。

参考文献:

[1] 3GPP TR36. 913. Requirements for further advancements for EUTRA (LTE-Advanced) (Release8) [S]. 2008.

[2] Gesbert D, Hanly S, Huang H, et al. Multi-cell MIMO cooperative networks; A new look at interference [J]. IEEE J Select Areas Commun, 2010, 28 (9) : 1380-1408.

[3] Cheng Y, Lau V, Long Y. A scalable limited feedback design for network MIMO using per-cell product codebook [J]. IEEE Trans on Wireless Communications, 2010, 9 (10) : 3093-3099.

[4] 夏欣, 方舒, 武刚, 等. MU-MIMO 系统的用户调度和预编码联合优化 [J]. 计算机工程与应用, 2011, 47 (21) : 95-97.

[5] 赵金旺, 徐友云, 蔡跃明. 空间相关 MIMO 广播信道中的预编码技术 [J]. 系统仿真学报, 2009, 21 (17) : 5549-5552.

[6] 刘乃金, 邱玲, 朱近康. 多小区 MIMO 系统中的一种有限反馈预编码干扰抑制技术 [J]. 中国科学技术大学学报, 2009, 39 (2) : 113-119.

[7] Su D, Hou X, Yang C. Quantization based on per-cell codebook in cooperative multi-cell systems [C] // Proc of Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). Cancun; IEEE, 2011 : 1753-1758.

[8] Love D J, Heath R W. Limited feedback diversity techniques for correlated channel [J]. IEEE Trans on Veh Tech, 2006, 55 (2) : 718-722.

在观察中的视点方向来计算出目标点在虚拟空间的三个分量值,在准备好了视点、目标点、视点方向这三个值后调用 gluLookAt() 即可实现主板任意角度的浏览。可以通过左右键实现左转右转,上下键实现前移后移, PgUp、PgDown 键实现仰俯角,这样可以满足用户多方面浏览主板的各个部件。

4 结束语

该系统利用 3DS MAX 软件对华硕 AT3N7A-I 主板上大部分部件进行了精细的模拟,并导出它们的. 3ds 文件,利用 Deep Exploration. exe 软件对. 3ds 文件优化和更改,使模型显示出来的效果更好。然后调用 OpenGL 的大量函数实现三维主板模型的显示,并最终实现主板的浏览功能。该系统的不足之处在于只实现了键盘控制漫游的功能,无法利用鼠标实现漫游,对主板部件不能实现放大、缩小的功能。该系统功能较为单一,没有很好地实现人机交互功能,在今后的学习与研究中会在这些不足中继续改进。

参考文献:

[1] 汪成为,高文,王行仁. 灵境(虚拟现实)技术的理论、实现及应用[M]. 北京:清华大学出版社,1998.

+++++

(上接第 126 页)

Workshop on Information and Electronics Engineering. [s. l.]:[s. n.],2012:2721-2725.

[4] 蔡庆华,陈文莉. 基于双线性对的代理签名[J]. 计算机技术与发展,2006,16(9):230-232.

[5] 杜伟章,陈克非. 基于离散对数问题构造弱盲签名方案[J]. 计算机工程与应用,2003,39(16):11-12.

[6] 袁丁,范平志. 基于离散对数问题的盲数字签名改进方案[J]. 四川大学学报(自然科学版),2006,43(4):787-789.

[7] 李波,邱小平. 复合离散对数与安全认证研究[J]. 计算机科学,2004,31(6):146-148.

+++++

(上接第 153 页)

[9] Gersho A,Gray R M. Vector quantization and signal compression[M]. New York:Kluwer,1992.

[10] 韩静宇,陈善学,刘丹蕾,等. 矢量量化快速码字搜索算法研究综述[J]. 黑龙江科技信息,2009(3):45-45.

[11] 郝东来,葛建华. 一种多小区 MIMO 系统的分层预编码方案[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版),2010,37(4):624-629.

[12] 王伟达,何旭,武刚. 基于最小均方误差的多用户 MIMO 下行预编码[J]. 电子技术应用,2009(2):108-110.

[2] Addison A C. Emerging Trend in Virtual Heritage[J]. IEEE MultiMedia,2000,7(2):22-25.

[3] 柯育龙. 基于 VRML 的校园系统建模的研究[D]. 成都:西南交通大学,2006.

[4] Kahaner D. Japanese activities in virtual reality[J]. IEEE Computer Graphics and Applications,1994,14(1):75-78.

[5] 杨键,耿卫东,潘云鹤,等. 基于图像的虚拟景观漫游[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2001,13(3):229-235.

[6] Wright R,Sweet M. OpenGL 超级宝典[M]. 第 2 版. 北京:人民邮电出版社,2001.

[7] 万剑华,李桂荃,张纪松. 基于 OpenGL 的三维城市景观模型的建立[J]. 石油大学学报(自然科学版),2003,27(1):102-104.

[8] 李彦娜. 虚拟现实与图形建模技术在仿真中的应用研究[D]. 北京:北京工商大学,2004.

[9] 汤晓安,陈敏,孙茂印. 复杂几何模型的混合绘制算法研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2002,14(6):509-512.

[10] 曾强,张凯,郑世力,等. 3DSMax7 建筑表现图设计精彩实例[M]. 北京:清华大学出版社,2005.

[11] Kanaya I,Chen Qian,Kanemoto Y,et al. Three-Dimensional Modeling for Virtual Relic Restoration[J]. IEEE MultiMedia,2000,7(2):42-44.

+++++

[8] 陈华,蔡光兴. Schnorr 盲签名的一般化及其安全性分析[J]. 信息安全与通信保密,2007(6):231-233.

[9] 李方伟,万丽,闫少军. 基于椭圆曲线的盲代理盲签名方案[J]. 计算机工程,2012,38(3):139-140.

[10] 马冬兰,张建中. 对 Wu-Wang 盲签名方案的攻击与改进[J]. 计算机工程与应用,2012,48(4):77-78.

[11] 万丽,李方伟,闫少军. 一个代理盲签名方案的分析与改进[J]. 计算机应用,2011(4):989-991.

[12] 敖青云,陈克非,白英彩. 基于离散对数问题的一般盲签名方案[J]. 计算机工程与应用,2001(1):12-13.

+++++

[13] Yuan F,Yang C. Phase ambiguity quantization for per-cell codebook based limited feedback coordinated multi-point transmission systems[C]//Proc of Int Conf on Vehi Tech. Yokohama:IEEE,2011.

[14] Love D J,Robert W H,Strohme T. Grassmannian beamforming for multiple-input multiple-output wireless systems[J]. IEEE Transactions on Information Theory,2003,49(10):2735-2746.

有限反馈协作多小区传输系统的码字选择方案

作者：[黄峰](#)，[解培中](#)，[HUANG Feng](#)，[XIE Pei-zhong](#)

作者单位：[南京邮电大学 通信与信息工程学院](#)，[江苏 南京](#)，[210003](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：

Computer Technology and Development

ISTIC

年，卷(期)：

2013(10)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201310038.aspx