

一种基于 Gold 码的分布式 MIMO-CDMA 系统的下行同步方案^①

钟明华^② 李立华 刘培植 张 平 王朝炜

(北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室 北京 100876)

摘 要 针对下一代通信系统核心点之一的分布式 MIMO 架构,提出了一种新型双级地址码分配方案及相应同步过程。此方案以现有 CDMA 同步技术为基础,可以实现从现有集中式单天线向分布式多天线的平滑过渡;同时针对基站下多天线阵分布布局,采用双级地址码结构实现对基站和基站下各天线的逐级同步。以一对优选 PN 码为基础设计分配基站地址和基站下各天线阵地址,同时具备低实现复杂度和高同步速率。基于 PN 码部分相关性的固定相关码长 FFS 算法仿真表明,此新型同步方案能够实现分布式 MIMO 的高效同步检测。

关键词 分布式 MIMO, 码分多址(CDMA), 分层地址码, 天线同步

0 引 言

移动通信的发展经历了第一代模拟方式、第二代数字方式,现在已进入到第三代移动通信时代。第三代移动通信正方兴未艾,下一代移动通信的研究已如火如荼地展开。下一代移动通信系统的关键技术之一是多人多出(MIMO)技术,该技术能提高信道的可靠性,同时也能提高传输速率,因而引起了人们的广泛关注。在 MIMO 系统中,基站或移动台的天线通常布置在几十个波长以内,这些天线都经历相同的阴影衰落,所以 MIMO 系统的容量和链路质量受到一定的影响。在这种情况下,文献[1-3]提出了分布式 MIMO 系统,分布式 MIMO 系统在基站采用多个分布较远的天线簇,每个天线簇配置多根天线,各天线簇由光纤连接到基站。这种结构结合了分布式天线和 MIMO 系统的优点。采用分布式 MIMO 系统,在基站天线簇之间实现宏分集,每个天线簇内的天线单元实现微分集,可以实现同时抵抗大尺度衰落和小尺度衰落的影响^[3],可以在一定程度上削弱“远近效应”的影响^[1]。文献[4,5]提出了多人多出码分多址(MIMO-CDMA)系统,解决了基站下单 MIMO 天线阵系统的同步码字设计及同步问题;文献[3]提出了分布式 MIMO-CDMA 系统的同步码设计及同步,解决移动台与单基站下多 MIMO 天线

簇间的上行同步。以上文献都是在单基站环境下针对 MIMO 多天线系统同步方案的研究,而在实际的通信环境中,同步码的设计应该实现先区分基站,再区分基站下的天线簇的功能。本研究针对多基站多天线簇的双层结构,提出了层次地址码分配方案及相关同步过程。同步过程采用基于伪随机噪声(PN)序列部分相关性的固定相关码长(fixed sample size, FFS)算法,可以实现快速搜索。在整个系统的下行同步过程中,移动台先和基站同步,在得到天线簇的地址码信息和相应搜索窗大小后可以快速同步到天线簇,从而缩短系统同步时间。

1 分布式 MIMO 系统模型

图 1 为(M, N, L)分布式 MIMO 系统模型图,该系统中移动台有 M 根天线,基站有 N 个分布式的天线簇,每个天线簇中有 L 根天线。 N 个分布式的天线簇和基站以光纤相连。传统的 MIMO 可以看作($M, 1, L$)分布式 MIMO 的特例;传统的分布式天线可以看作($M, N, 1$)分布式 MIMO 的特例。由于各个分布式天线簇在空间上的距离可能很远,移动台必须要和每个与之通信的天线簇分别进行同步;而在同一个天线簇内的各天线距离很近,分别同步每根天线对系统的整体检测性能几乎没有增益,在同步到天线簇后即认为同步到该天线簇所有天线。

^① 863 计划(2007AA01Z261),国家自然科学基金(60702051),高等学校博士学科点专项科研基金(20070013028)和新世纪优秀人才支持计划(NCET-08-0735)资助项目。

^② 男,1981 年生,硕士;研究方向:宽带无线新技术研究;联系人, E-mail: mhzhong@gmail.com (收稿日期:2008-03-10)

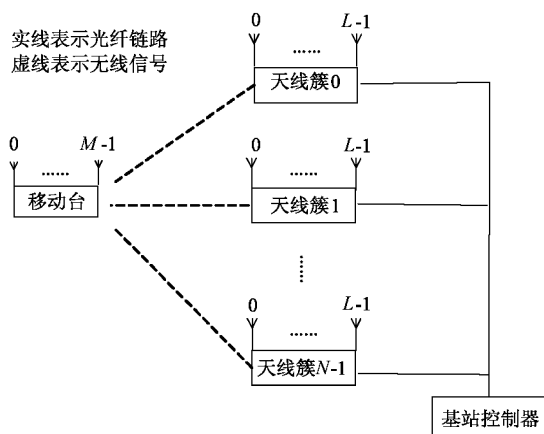


图1 分布式 MIMO 系统模型

2 分层地址码结构及下行同步过程

2.1 分层地址码分配方案

分层地址码模型保持延用了码分多址(CDMA)系统同步的基本思路,即采用相关性好的扩频码字作为基站地址码及基站下各天线簇地址码。移动台利用滑动相关或匹配滤波等方法对接收信号进行相关处理,搜索互相关峰值,实现基站同步、天线簇同步(天线同步)。为实现快速同步,在每个天线簇中优选一根天线作为天线簇主天线,用以实现天线簇同步;再在这些天线簇主天线中优选一根天线作为基站主天线,用以实现基站同步。

针对多基站和基站下多天线簇的双层结构,地址码的设计也为双层结构。以一组 m 序列优选对(为便于区分,分别称为:主 PN 码、辅 PN 码)为基础,对于基站,利用主 PN 码的不同相位偏置加以区分;对于基站下各天线簇则利用主 PN 码和不同相位偏置的辅 PN 码模二加所产生的 Gold 码加以区分。所有基站地址码和基站下天线簇地址码在同一个 GPS 时间参考点下生成(即基站间、天线间需保持同步)。不同基站下使用的天线簇地址码分配方式相同,保证同步搜索的快速、简便,但是由于不同基站所使用的主天线地址码偏置不同,所以不同基站下天线簇 Gold 码也存在相位差异,保证减少不同基站不同天线簇间干扰。

为便于说明,将 PN 码长“0”游程后的第一个“1”的相位统称为 PN 码的零相位偏置。PN 码的单位相位差为单位偏移量(单位偏移量不固定,可根据实际系统情况自行设计)。

基站地址码分配:用同一个主 PN 码的不同相位偏置区分基站,本例用 m 序列。其零相位偏置分配

给 0 号基站,记作 m_0 ,其 1 倍单位偏移量相位偏置分配给 1 号基站,记作 m_1 ,按此规律,其 n 倍单位偏移量相位偏置分配给 n 号基站,记作 m_n ,如图 2 所示。



图2 基站地址码分配(主 PN 码)

图 2 表示不同相位偏置的 PN 码分配给不同的基站,图中,深色部分的长度为单位偏移量,其位置不同用以表示不同的相位偏置。

基站下各天线簇地址码分配:各基站下的天线簇地址码分配原则一致。为便于说明,把基站下各天线簇编号为天线簇 0 ~ $N-1$;各天线簇地址码由该基站采用的相位偏置的主 PN 码(即基站地址码)与辅 PN 码的不同相位偏置模二加所产生的不同 Gold 码构成。在天线簇地址码生成过程中,基站地址码的相位偏置不变,只有辅 PN 码的相位偏置改变。基站地址码与辅 PN 码零相位偏置模二加构成的码字 Gold 0 分配给天线簇 0,基站地址码与辅 PN 码的 1 倍单位偏移量相位偏置模二加构成的码字 Gold 1 分配给天线簇 1,按此规律,基站地址码与辅 PN 码的 $N-1$ 倍单位偏移量相位偏置构成的码字 Gold $N-1$ 分配给天线簇 $N-1$ 。基站地址码及各基站下天线簇地址码码字分配如图 3 所示。为便于分析,规定天线簇 0 主天线为基站主天线。

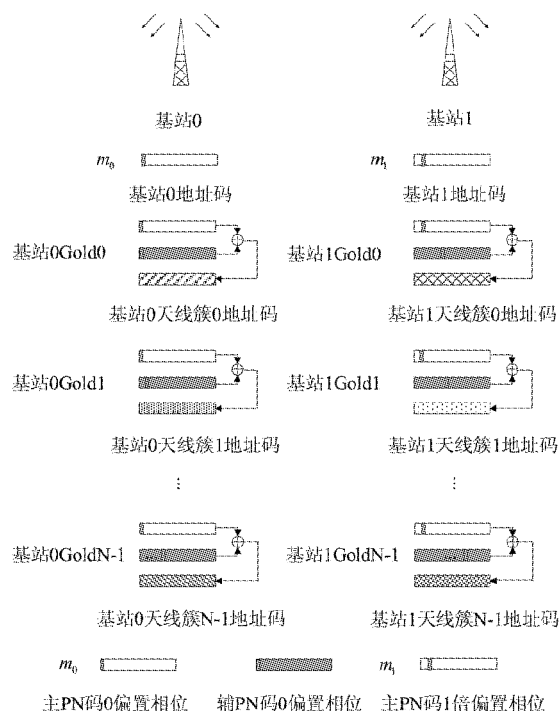


图3 不同基站下各天线簇地址码分配示意图

以上所提到的地址码分配原则是为了方便解释而提出的一种实例,实际系统使用时可以根据具体情况设计相应的地址码分配方案,(比如也可以用伪随机性好,自相关和互相关性能较好的 Kasami 序列^[6]代替 Gold 码序列)其方法不唯一。

2.2 多天线下行同步过程

同步过程需要有相应的传输信道支持,传输信道根据具体应用环境的不同而有所不同,这里简单介绍一种与之相关的主要传输信道实现方案:

- 基站同步信道:发送全 1 的数据,不经过调制,直接被基站地址码扩频,用来进行基站同步。

- 基站公共信息信道:发送基站公共信息,如基站下天线簇的个数、各天线簇地址码分配方案、各天线簇同步搜索窗大小等,该信息仅被基站地址码扩频。

- 天线簇同步信道:发送全 1 的数据,不经过调制,直接被天线簇地址码扩频,用来进行天线簇同步(天线同步)。

- 天线簇公共信息信道:发送天线簇公共信息,比如该天线簇中天线的个数、各天线扩频码分配方案等,该信息仅被天线簇地址码扩频。

传输信道的实现参见图 4。图 4 以基站 0 天线簇 1 为例来说明传输信道的实现。

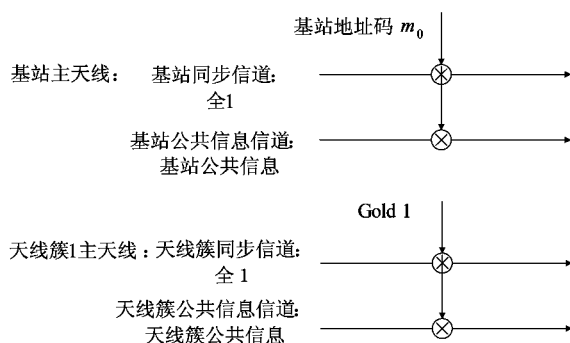


图 4 传输信道实现(基站 0 天线簇 1)

在以上几种传输信道的支持下,分布式 MIMO 的多天线下行同步过程如下:

- 移动台首先相关捕获基站同步信道得到正确的基站地址码相位,并用其解调基站公共信息信道,获得该基站中天线簇数量、各天线簇地址码分配方案及各天线簇同步搜索窗大小等同步信息。

- 移动台利用得到的关于天线簇的信息,相关捕获天线簇同步信道(即和该天线簇下的所有天线同步),并用该天线簇地址码解调该天线簇公共信息信道,得到的天线簇公共信息用以解调各天线的数

据信息。

同步过程的实现参见图 5。图 5 以基站 0 天线簇 1 为例来说明下行同步过程的实现。

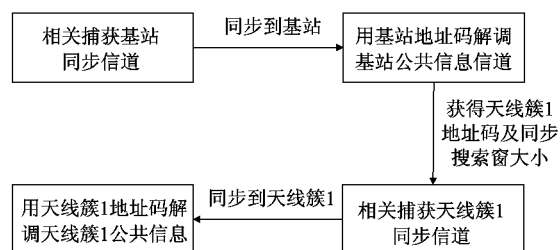


图 5 下行同步过程(基站 0 天线簇 1)

3 仿真结果

仿真是在图 1 所示的分布式 MIMO 模型的基础上,取参数 $M = 2, N = 6, L = 2$, 即仿真的系统为 (2,6,2) 分布式 MIMO 系统。基站地址码、天线簇地址码采用上文描述的分层地址码分配方案。仿真中采用周期为 $N = 2^9 - 1 = 511$ 的 m 序列优选对,其生成多项式分别为: $1 + z^4 + z^9$ 和 $1 + z + z^2 + z^4 + z^5 + z^6 + z^9$, 其中基站地址码取生成多项式为 $1 + z^4 + z^9$ 的 m 序列,基站下天线簇地址码由以上的 m 序列优选对生成。仿真所采用的码片速率为 1.2288Mchip/s, 抽样速率为 1.2288Mchip/s。所用同步算法是利用 PN 序列的部分相关性进行同步检测的固定相关码长(fixed sample size, FFS)算法^[7,8]。该算法利用固定的相关码长检测同步,在整个同步搜索的相关过程中,并不是对整个 PN 码的周期进行相关运算,而是对小于整个码长周期的部分相关码长进行相关运算,该算法可以大大提高搜索速度。

图 6 为基站主天线的正确检测概率。

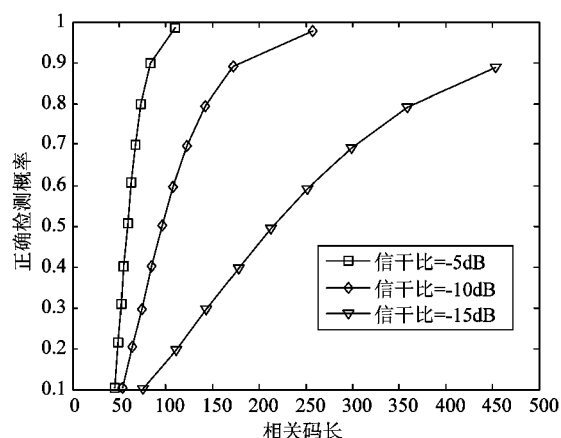


图 6 基站主天线的正确检测概率

图 6 中信干比为信号与干扰功率之比。相关码长为 FFS 算法中的 sample size^[7,8],即用于同步检测的部分相关码长,在周期为 511 的 Gold 码中,如取相关码长为 67,即相关器做相关运算时做 67 个码片的相关,并不是对整个码长周期 511 个码片做相关,这样可以大大提高同步检测速度。在信干比为 -15dB 相关码长为 453 时,主天线正确检测概率为 91.1%;在信干比为 -10dB 相关码长为 258 时,主天线正确检测概率为 99.1%;在信干比为 -5dB 相关码长为 110 时,主天线正确检测概率为 98.1%。信干比增加,相关码长减少,同样可以获得很高的正确检测概率。

图 7 为在信干比为 -5dB 的条件下至少同步到 1~6 个天线簇的概率。

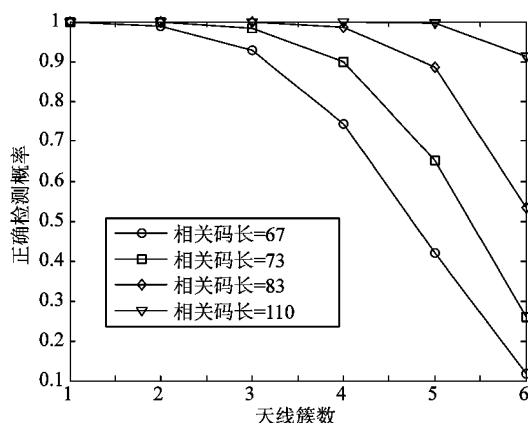


图 7 正确检测到天线簇个数的概率

在仿真中当同步到基站后,其他天线簇就不再需要随机地寻找同步头,根据基站公共信息可以知道其他天线簇所用的地址码信息及根据各天线簇之间的距离和系统的码片速率设置的搜索窗的大小,由于各天线簇之间的距离和码片相应距离的比值不会太大,一般搜索窗设置的比较小,这样可以大大减少同步搜索时间,该仿真中所设置的搜索窗为 32。在实际通信中,一般只有 1~2 个天线簇和同一移动台通信,由图 7 可知,在相关码长为 67 时,同时正确检测 2 个天线簇的概率为 98.9%;在相关码长为 73 时,同时正确检测到 2 个天线簇的概率为 99.9%;在相关码长为 83 和 110 时,可以几乎无误地同时检测到 2 个天线簇。

在实际的系统中可以根据信干比和正确检测概率的要求找到合适的相关码长,既可以达到检测性能要求,又能够减少系统同步过程的时间,实现快速检测。

4 结 论

针对分布式 MIMO-CDMA 系统提出了一种分层地址码分配及下行同步方案,该地址码分配能实现分布式 MIMO-CDMA 系统先同步基站、再同步天线簇的多基站多天线簇同步过程。同步过程采用基于 PN 序列部分相关性的 FFS 算法,可以实现快速搜索。在整个系统的下行同步过程中,移动台先和基站同步,在得到天线簇的地址码信息和相应搜索窗大小后可以快速同步到天线簇,缩短了系统同步时间。

提出的分层地址码方案不局限于用 Gold 码序列作地址码,也可以使用相关性能优异的 kasami 序列,同步算法也不局限于 FFS 算法,还可以使用性能优越的序列概率比检测 (sequential probability ratio test, SPRT) 算法。在系统的同步过程中应该有专门用于多天线同步的信道,可以作为一个研究点。目前,协同通信、多用户虚拟 MIMO 研究兴起,本文提出的分层次的地址码分配方案及同步方案可以扩展到协同通信的研究领域中,这可作为下一步深入研究的方向。

参考文献

- [1] Tang D, Zhang G C, Qin J Y. Capacity autocorrelation characteristic of distributed MIMO systems in Doppler spread channels. In: Proceedings of the 2005 2nd International Conference on Mobile Technology, Application and Systems, Guangzhou, China, 2005. 3
- [2] Chembil Palat R, Annamalai A, Reed J H. Upper bound on bit error rate for time synchronization errors in bandlimited distributed MIMO. In: Proceedings of the IEEE Wireless Communication and Networking Conference, Las Vegas, USA, 2006. 4. 2058-2063
- [3] Ni Z, Li D. Uplink spectral efficiency of multiuser distributed MIMO-CDMA systems using loosely synchronised spreading codes. In: Proceedings of the IEEE Radio and Wireless Conference, Atlanta, USA, 2004. 271-274
- [4] Won S H, Hanzo L. Initial and post-initial acquisition in the serial search based noncoherent multiple transmit/receive antenna aided DS-CDMA downlink. In: Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference, Montréal, Canada, 2006. 5. 2246-2250
- [5] Kwon Y, Kim K, Shin M, et al. An efficient code timing acquisition for MIMO-CDMA system. In: Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference, Melbourne, Australia, 2006. 5. 2246-2250

- a, 2004. 2. 819-823
- [6] Barghouthi R T, Stüber G L. Rapid sequence acquisition for DS/CDMA systems employing Kasami sequences. *IEEE Transaction on Communication*, 1994, 42(234): 1957-1968
- [7] Lee Y H, Tantaratana S. Sequential acquisition of PN sequences for DS/SS communication: design and performance. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1992, 10(4): 750-759
- [8] Lee Y H, Kim S J. sequence acquisition of DS-CDMA systems employing gold sequences. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2000, 49(6): 2397-2404

A downlink synchronization scheme for distributed MIMO-CDMA systems based on gold sequence

Zhong Minghua, Li Lihua, Liu Peizhi, Zhang Ping, Wang Chaowei
(Key Laboratory of Universal Wireless Communications, Ministry of Education,
Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876)

Abstract

A layered-access-code allocation and corresponding synchronization scheme is proposed for distributed multi-input multi-output code division multiple access (MIMO-CDMA) systems. The distributed MIMO is considered to be one of the key technologies of next generation mobile communications. Based on the synchronization technology of CDMA systems, the proposed scheme can facilitate the transition from centralized single-antennas to distributed multi-antennas. And in consideration of the distributed layout of base stations and multi-antenna arrays, the scheme can implement the synchronization of base stations and their antennas step by step utilizing the proposed layered-access-codes. The allocation of access-codes for base stations and their antennas is based on one preferred pair of m sequence, and it can make the synchronization process faster with lower complexity. The results of the simulation with the fixed sample size (FFS) algorithm, based on the partial correlation of pseudo noise (PN) codes, indicate that the proposed scheme can achieve that the synchronization detection of distributed MIMO systems efficiently.

Key words: distributed MIMO, code division multiple access (CDMA), leveled-access-code, antenna synchronization