

一种新的分布式 MIMO-OFDM 系统同步算法

张维校, 刘顺兰, 曾 嵘

(杭州电子科技大学 通信工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:针对不等周期同步算法多段重复引起的同步峰值模糊的问题,提出了一种适用于多输入/多输出正交频分复用(MIMO-OFDM)系统的定时同步算法,算法在原有的不等周期同步模式(UPSP)算法的基础上对其进行结构的优化,同时利用 Zadoff-Chu 序列良好的互相关性来提高算法的性能。仿真结果表明,提出的算法在 AWGN 和多径信道下能有效地进行定时同步,特别是在多径情况下,新算法较 UPSP 算法能更有效地提高准确定时概率。

关键词:多输入/多输出;正交频分复用;定时同步;Zadoff-Chu 序列

中图分类号:TN929

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2010)08-0111-03

A new synchronization algorithm for distributed MIMO-OFDM system

ZHANG Wei-xiao, LIU Shun-lan, ZENG Rong

(College of Communication Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at solving timing metric plateau caused by unequal period synchronization pattern (UPSP), a timing synchronization method for the distributed multiple-input multiple-output (MIMO) orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) systems was presented. The structure of UPSP algorithm was optimized by the proposed method and the good cross-correlation of Zadoff-Chu sequence was utilized to get a sharper peak that was better than UPSP algorithm. The simulation results show that the proposed method provides high accuracy in detecting the different time offsets caused by the distributed transmitters of the MIMO OFDM systems and offers higher timing detection probability than UPSP algorithm.

Key words: multiple-input multiple-output (MIMO); orthogonal frequency division multiplexing (OFDM); timing synchronization; Zadoff-Chu

0 引 言

多输入/多输出(MIMO, multiple input multiple output)系统和正交频分复用(OFDM, orthogonal frequency division multiplexing)技术的结合能有效地提高系统的容量,同时能提高数据高速传输时对抗多径衰落性能。MIMO-OFDM 作为下一代移动通信系统的关键技术,得到了越来越多的关注^[1]。相比于 SISO-OFDM 系统, MIMO-OFDM 系统的发射信号不但受到各种信道干扰的影响,而且还存在天线间干扰,因此使得 MIMO-OFDM 系统的同步变得困难,已有许多学者对 MIMO-OFDM 系统的同步算法进行了研究,但大部分算法适用于集中式 MIMO 系统^[2-4],而在分布式的环境下,这些算法并不能有效地区分各发送天线的时延,文献[5]提出了一种用于分布式 MIMO-OFDM 系统的定时同步算法,该算法在 AWGN 信道下能有效地定时同

步点,但在多径信道下,算法的准确性会随着训练序列的多段重复性而下降。

本研究在 UPSP 算法的基础上对其结构和序列进行改进,仿真结果表明,在 AWGN 信道和多径衰落信道下,新算法性能良好,能有效地提高定时的检测概率。

1 MIMO-OFDM 系统模型

MIMO-OFDM 系统模型如图 1 所示^[6],包括 N_t 根发射天线、 N_r 根接收天线。MIMO 编码后的数据经过 OFDM 调制之后通过发射天线发送。第 i 根发射天线的基带数据可以表示为:

$$x_i(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_i(k) e^{j2\pi kn/N}, \quad -N_g \leq n \leq N-1 \quad (1)$$

式中 $X_i(k)$ —快速傅里叶反变换(IFFT)前的频域数据; N —IFFT 的长度; N_g —循环前缀(CP)的长度。当 N_g 大于信道的最大多径时延时,由多径衰落造成的符

号间干扰可以得到有效的抑制。

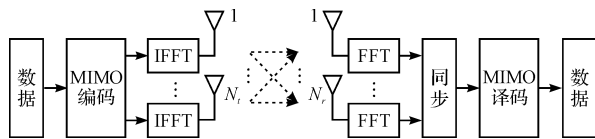


图 1 MIMO OFDM 系统框图

在接收端第 j 根天线接收到的基带信号可以表示为:

$$r_j(n) = \sum_{i=1}^{N_t} h_{i,j}(n) * x_i(n) + w_j(n) \quad (2)$$

式中 $*$ —卷积; $x_i(n)$ —第 i 根发射天线的时域传输信号; $w_j(n)$ —第 j 根接收天线的零均值高斯噪声(AWGN); $h_{i,j}(n)$ —发射天线 i 和接收天线 j 间的信道冲激响应, 可以表示为:

$$h_{i,j}(n) = \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_{i,j}(l) \delta[n - \tau_{i,j}(l)] \quad (3)$$

式中 $\alpha_{i,j}(l)$ 和 $\tau_{i,j}(l)$ —第 i 个发射天线和第 j 个接收天线之间第 l 径的增益和延时。

2 MIMO-OFDM 系统的定时算法

2.1 UPSP 算法描述

文献[5,7]对于分布式 MIMO-OFDM 系统进行了定时同步估计。同步序列采用重复训练序列的结构, 不同的天线采用长度不同的同步序列, 在接收端进行周期不同的同步估计(UPSP)。在文献[5]中, 同步训练序列长度为 L_{ss} 。每一根发射天线的训练序列有一个惟一的周期 L_{sp}^i , $i=1, \dots, N_t$, 且 $L_{sp}^i \neq nL_{sp}^j$, $i \neq j$, n : 正整数, 例如, 对 $N_t=2$ 的情况, 不同发射天线上的训练序列周期如图 2 所示。

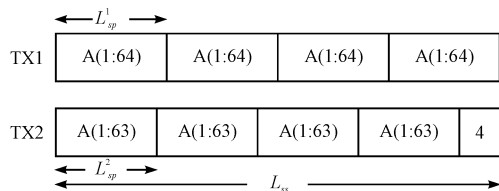


图 2 $N_t=2$, UPSP 同步序列示意图

接收端需要 N_t 个相关器估计各个发射天线的时延。对应的第 i 个发射天线的时延可以估计为:

$$n = \operatorname{argmax} \{ |\phi(n)| \} \quad (4)$$

其中

$$\phi(n) = \sum_{i=0}^{L_{ss}-L_{sp}^i} r^*(d+i)r(d+i+L_{sp}^i) \quad (5)$$

由式(5)可以看出, 对应不同发射天线定时度量函数的相关长度不同, 且相关间隔也不同。从而保证了目标天线相关值达到峰值时, 其他天线的相关值比较小, 造成的干扰不大。然而, 由于 UPSP 训练序列具

有 4 段重复性, 导致自相关曲线不够尖锐, 同时在多径衰落信道的影响下定时度量函数的峰值变得比较模糊, 尖峰分布多, 难以精确判断时间同步点。

2.2 新提出的算法

基于上面的分析, 为了改善多径信道下的定时同步性能, 对 UPSP 算法进行改进, 改进算法的训练序列结构, 在 UPSP 算法训练序列结构的基础上进行了优化, 同时, 新算法选择 Zadoff_Chui 序列作为训练序列子载波数据。这样由于 Zadoff_Chui 序列优良的互相关性和自相关性, 相对于使用相同的训练序列副本的 UPSP 算法, 改进算法的定时度量函数曲线将变得突出且尖锐。改进的训练序列结构如图 3 所示, 其中 A 和 B 是不同的 Zadoff_Chui 序列经过 IFFT 变换后的样点。

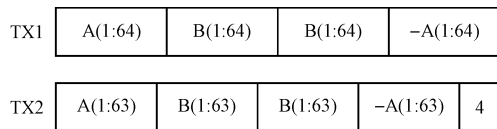


图 3 改进算法的训练序列结构

本研究使用的 Zadoff_Chui 序列^[8]为:

$$Z_r(m) = \begin{cases} e^{-j\frac{2\pi r}{M}(\frac{m^2}{2} + qm)} & M \text{ 为偶数} \\ e^{-j\frac{2\pi r}{M}(\frac{m(m+1)}{2} + qm)} & M \text{ 为奇数} \end{cases} \quad (6)$$

式中 q —任意整数, $m=0, 1, \dots, M-1$; r —码序号且与码长 M 互为素数。这里设置 Zadoff_Chui 序列长度为 256, $q=0$, $r=7$ 和 9。

定时度量函数改进如下:

$$M(n) = \frac{|\phi(n)|^2}{(R(n))^2} \quad (7)$$

其中

$$\phi(n) = \sum_{l=0}^{L_{sp}^k-1} -r(n+l) \cdot r^*(n+l+3 \cdot L_{sp}^k) + r(n+l+L_{sp}^k) \cdot r^*(n+l+2 \cdot L_{sp}^k) \quad (8)$$

$$R(n) = \sum_{m=0}^3 \sum_{l=0}^{L_{sp}^k-1} |r(n+l+m \cdot L_{sp}^k)|^2 \quad (9)$$

定时同步点估计为:

$$n = \operatorname{argmax}_n \{ M(n) \} \quad (10)$$

由式(8)和图 3 可知, 改进的算法在正确定时时刻, 各个相关运算都最大, 如果相关求和的窗起始点不在正确的定时时刻, 自相关滑动窗内的数据不再具有重复性, 并且由于引入了负号及 Zadoff_Chui 序列的良好互相关性, 这时相关运算的样点对总的求和表现为急剧减小。因此, 通过利用函数中相关能量项的结构以及训练序列内部的正交性, 会增强正确位置度量函数的相对峰值高度, 从而得到更加尖锐的相关曲线, 这样就能够更加精确地估计定时同步点。

3 仿真分析

本研究分别在 AWGN 信道和多径衰落信道条件下对新算法与 UPSP 算法的性能进行了仿真,对两者的性能进行比较,仿真过程采用 2 发 1 收的 MIMO 模型,主要的仿真参数如表 1 所示。

表 1 仿真参数表	
信道	AWGN and COS207
L_{ss}	256
L_{sp}	64,63
互时延($ITD_{1,2}$)	200
前导前零功率序列长度	32
前导训练序列长度	256
CP 长度	190
OFDM 符号长度	1 024
调制方式	QPSK

信噪比为零时,分布式 MIMO 场景下接收端对称相关后的结果如图 4、图 5 所示,由图 4 和图 5 可以看出,新提出的算法相比于 UPSP 算法波峰更加尖锐,噪底也比原算法低,并且天线间干扰大大降低,因此更有利于定时点的判断。

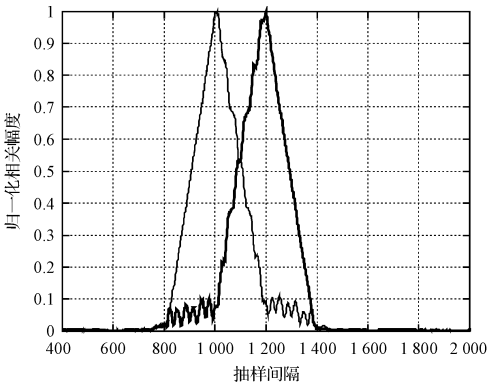


图 4 分布式 MIMO, $ITD_{1,2}$ 为 200, 在 AWGN 信道下 UPSP 同步算法相关运算的结果

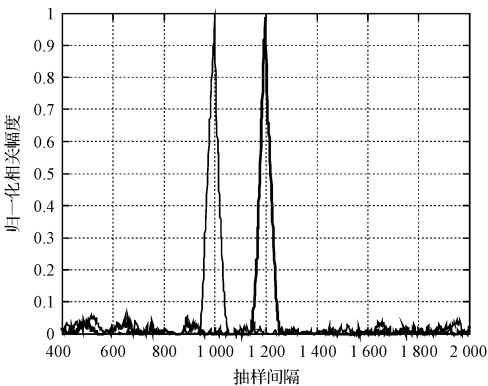


图 5 分布式 MIMO, $ITD_{1,2}$ 为 200, 在 AWGN 信道下新同步算法相关运算的结果

多径信道下,不同信噪比对应的定时检测概率如图 6 所示,从中可以看出本节改进算法的性能好于

UPSP 算法,这是由于改进算法考虑了序列的多段重复性和能量项以及天线间干扰。通过使用正交序列以抵消自相关运算中重复样点的能量和减小天线间干扰,同时除以能量项以降低高斯噪声的影响,即可以得到更加尖锐的峰值,因而更有利于定时点的判断,大大提高了多径信道下的估计精度。

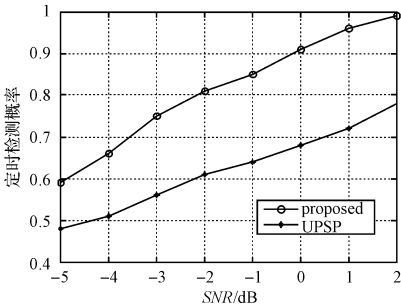


图 6 多径衰落信道下同步算法的检测概率

4 结束语

本研究提出了一种用于分布式 MIMO-OFDM 系统的定时同步算法,新算法在 UPSP 算法的基础上进行训练序列结构的优化,同时利用 Zadoff_Chui 序列良好的自相关和互相性,改善同步的性能,理论分析和仿真结果表明,与原有的 UPSP 算法相比,新算法能够更准确地捕获信号帧的起始位置,在多径信道下,能显著地提高定时检测概率。

参考文献 (References):

[1] 张 平. Beyond 3G 移动通信系统关键技术[J]. 北京邮电大学学报,2002,25(3):1-6.

[2] MODY A N, STUBER G L. Synchronization for MIMO OFDM systems[C]// Global Telecommunications Conference. San Antonio: IEEE Press,2001:509-513.

[3] STUBER G L, BARRY J R, MCLAUGHLIN S W, et al. Broadband MIMO-OFDM wireless communications[J]. **Proceedings of the IEEE**,2004,92(2):271-294.

[4] VAN ZELST A, SCHENK T C W. Implementation of a MIMO OFDM based wireless LAN system[J]. **IEEE Transactions on Signal Processing**,2004,52(2):483-494.

[5] GU Feng, LI Dong, YANG Hong-wei, et al. A Novel Timing Synchronization Method for Distributed MIMO-OFDM System[C]//Vehicular Technology Conference, 2006. Melbourne: [s. n.],2006: [s. n.].

[6] 张建华,冯 冲,刘 毅,等.用于 MIMO OFDM 系统的定时同步算法[J]. 北京邮电大学学报,2009,32(1):118-121.

[7] 王一蓉,王文博.一种改进的分布式 MIMO-OFDM 系统同步方案[J]. 电子测量技术,2007,30(11):173-176.

[8] CHU D. Polyphase codes with good periodic correlation properties[J]. **IEEE Transactions on Information Theory**,1972,18(4):531-532.