

CPPM-UWB 系统 Rake 接收机性能分析

廖洪运, 王 玲

湖南大学电气与信息工程学院, 长沙 410082

摘要 针对传统 CPPM-UWB 系统中混沌序列可能丧失混沌特性的弊端, 设计一种改进的混沌脉冲位置调制信号结构。基于无码间干扰的超宽带系统, 分析了改进的混沌脉冲位置调制信号在 IEEE UWB 室内多径信道模型下的接收机性能, 在室内多径环境下对不同 Rake 接收机的误码率进行了仿真。计算机仿真表明, 比特的脉冲数量、接收机与发射机的距离、脉冲的重复周期的选取对系统的性能影响较大。在室内多径环境中, CM1 信道下的 Rake 接收机性能最好, 理想 Rake 接收机性能最优, 但其系统也最复杂。SRake 接收机的性能优于 PRake 接收机, 但 SRake 接收机的复杂性高于 PRake 接收机。SRake 和 PRake 接收机的性能随着叉指数目 (即接收机分辨出的多径分量数目) 的增加有明显改善。

关键词 超宽带; 改进的混沌脉冲位置调制信号; 室内多径信道; 接收机; 误码率

中图分类号 TN914.2, TN92

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)16-0069-05

Performance Analysis for Rake Receiver of CPPM-UWB System

LIAO Hongyun, WANG Ling

College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China

Abstract This paper presents a design of an improved signal structure of Chaotic Pulse Position Modulation (CPPM), in view of the fact that the chaotic sequence will lost its chaotic characteristics in the traditional CPPM-UWB system. The performance of the improved chaotic pulse position modulation Ultra Wideband (UWB) communication system is analyzed under the condition without Inter Symbol Interference (ISI), when the system uses Rake receiver of IEEE UWB indoor multipath channel model. The simulation of bit error rate for different Rake receivers on the indoor multipath environment is carried out. The studies indicate that the choice of the number of pulses per bit, the distance between the receiver and the transmitter and the average pulse repetition period have a great influence on system BER. The Rake receiver in the CM1 channel enjoys the best performance under IEEE UWB indoor multipath channel. The computer simulation shows that the performance of ideal Rake receiver is the best though its system is the most complicated. It is also shown that the performance of PRake

receiver is better than SRake's and its system is also more complicated than SRake's. The performance of SRake and PRake receivers is improved significantly with the increase of interdigitated number.

Keywords ultra wideband; improved chaotic pulse position modulation signal; indoor multi-path channel; receiver; bit error ratio

0 引言

超宽带 (UWB) 是一种在雷达和遥感中被广泛应用的传输技术, 近来作为通信应用在业界受到极大关注。UWB 通信系统传输速率高、空间容量大、成本低、功耗低等, 有可能成为解决高速因特网接入的需求与越来越拥挤的频率资源分配之间的矛盾的技术手段^[1]。脉冲位置调制 (PPM) 是一种利用极窄的基带脉冲信号将信息调制在脉冲间隔或脉冲位置上的调制方法, 在 UWB 通信的研究中得到广泛重视^[2]。这种调制方式对信道噪声或信道畸变造成的脉冲波形失真具有很强的鲁棒性。由于混沌信号对噪声的敏感性, 因此一些基于混沌信号的通信方案, 在噪声环境下的通信性能受噪声的影响甚为严重。文献[3]、[4]将脉冲位置调制与混沌有机结合在一起, 提出了一种基于脉冲位置调制的混沌通信方案: 混沌脉冲位置调制 (CPPM), 该方案是将混沌信号表示为脉冲信号的脉冲间隔, 然后将脉冲信号在该间隔上是否有一个小的延迟作为判断符号为“0”或“1”的标志。

由于 UWB 的信号传输受到大尺度路径损耗、阴影效应、

收稿日期: 2009-06-30

作者简介: 廖洪运, 研究方向为混沌通信和超宽带技术, 电子信箱: liaohy76.student@sina.com; 王玲 (通信作者), 教授, 研究方向为非线性系统、现代网络和通信技术, 电子信箱: wl_hunu@163.com

小尺度多径衰落等因素的影响,因此到达接收机的信号波形存在严重的失真。但这些失真可以通过收发信机设计得以补偿^[1]。常用的 UWB 接收机包含有门限检测器、自相关接收机(或相关接收/Rake 接收^[5])。

UWB-CPPM 信号在多径信道下接收机的性能分析和研究较少。本文采用 IEEE 802.15.3a 研究组推荐的 Intel 的信道模型,针对单用户 UWB 通信系统,对 Rake 接收机的性能进行研究。通过仿真,比较各种接收机的特性,对接收机的可靠性与复杂度之间的关系进行分析,以为优化 UWB-CPPM 通信系统提供一定的参考。

1 改进的 UWB-CPPM 信号模型

Nikolai F. Rulkov 提出的混沌脉冲位置调制^[3]信号为

$$U(t) = \sum_{j=0}^{+\infty} W\left(t - t_0 - \sum_{n=0}^j T_n\right) \quad (1)$$

其中 $W(t)$ 为时刻 t 处的脉冲波形; T_n 为第 n 个脉冲与第 $n-1$ 个脉冲的时间间隔并设 $T_0=0$, 且 T_n 的迭代映射由 $T_n=F(T_{n-1})+d+mS_n$ 确定, 其中 S_n 为信息信号, $S_n \in \{0,1\}$; m 为调制的强度特征; d 为实现调制和解调所需时延常数。

但迭代映射 T_n 将信息序列 S_n 和时延常数 d 引入到混沌序列中,导致新映射很可能在某些信息序列或时延常数的作

用下丧失混沌特性甚至发散,从而使得 CPPM 失去混沌调制的意义。为保证 CPPM 中脉冲间隔时间序列的混沌特性,将发送信号表示为

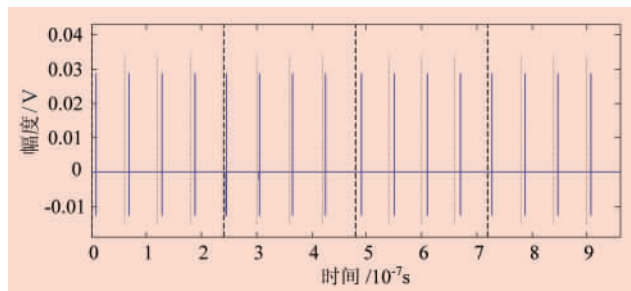
$$S(t) = \sum_{j=1}^{N_p} p(t-jT_s - T_{\lfloor j/N_s \rfloor} - b_{\lfloor j/N_s \rfloor} \varepsilon) \quad (2)$$

其中, N_p 为发送的脉冲个数; T_s 为帧重复周期; N_s 为帧重复次数,即用 N_s 个脉冲表示一个比特; $\lfloor \cdot \rfloor$ 为取整运算; $b_{\lfloor j/N_s \rfloor} \in \{0,1\}$ 为第 $\lfloor j/N_s \rfloor$ 个数据比特; ε 为发射脉冲的时延,是常量; $T_{\lfloor j/N_s \rfloor}$ 为第 $\lfloor j/N_s \rfloor$ 个数据比特中脉冲平移的距离,且 $T_{\lfloor j/N_s \rfloor}$ 由混沌过程的迭代 $T_{\lfloor j/N_s \rfloor} = F(T_{\lfloor j/N_s \rfloor - 1})$ 产生,其中 $F(\cdot)$ 是非线性函数。对所有的 $T_{\lfloor j/N_s \rfloor}$ 满足条件 $T_{\lfloor j/N_s \rfloor} + \varepsilon < T_s$ 。 $p(t)$ 是超宽带脉冲发射波

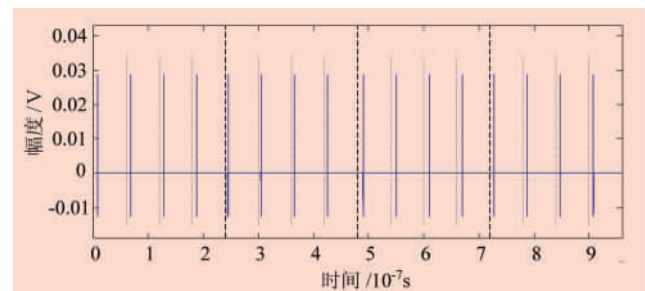
形函数,持续时间为 T_p , $T_p \ll T_s$, 且满足 $\int_0^{T_p} (p(t))^2 dt = 1$ 。由于 Gauss 形脉冲便于波形微分变换且微分后的波形几乎没有直流分量,易于信号的分析 and 天线的发射,因此本文采用最普遍的 Gauss 形二阶导函数^[6]来产生 UWB 信号进行分析,具体的脉冲表达式为

$$P(t) = \left(1 - \frac{4\pi t^2}{t_{am}^2}\right) \exp\left(-\frac{2\pi t^2}{t_{am}^2}\right)$$

由式(2)所表达的 CPPM 信号结构如图 1 所示(除传输的数据不同外, (a) 和 (b) 图其他参数完全一致)。



(a) UWB-CPPM 信号, bits=[0 1 1 0]
(a) UWB-CPPM signal, bits=[0 1 1 0]



(b) UWB-CPPM 信号, bits=[1 1 0 1]
(b) UWB-CPPM signal, bits=[1 1 0 1]

图 1 UWB-CPPM 信号结构
Fig. 1 UWB-CPPM signal structure

2 信道模型

信道模型采用 IEEE 802.15.3a 标准组织选定的改进型 S-V 模型,即 SV/IEEE 802.15.3a 模型^[7]。它保留了 S-V 模型中多径成簇出现以及能量服从双指数分布的特点,但根据实际的测量数据对多径的幅度进行了修改,认为多径幅度服从对数正态分布。

IEEE 推荐的室内信道模型为

$$h(t) = X \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^{K(n)} \alpha_{nk} \delta(t - T_n - \tau_{nk}) \quad (3)$$

式中, X 为对数正态随机变量,代表信道的幅度增益; N 为观测到的簇的数目, $K(n)$ 为第 n 簇内接收到的多径数目, α_{nk} 为第 n 簇第 k 条路径的系数, T_n 为第 n 簇到达时间, τ_{nk} 为第 n

簇第 k 条路径的时延。

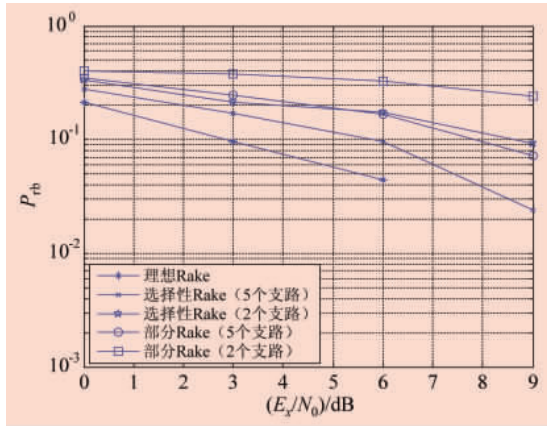
模型的簇到达时间和同一簇内多径分量到达时间分别服从速率为 Λ 和 λ 的泊松到达过程:

$$\begin{cases} p(\tau_{nk} | \tau_{(n-1)k}) = \Lambda e^{-\Lambda(T_n - T_{n-1})} & n > 0 \\ p(\tau_{nk} | \tau_{(n-1)k}) = \lambda e^{-\lambda(\tau_{nk} - \tau_{(n-1)k})} & k > 0 \end{cases} \quad (4)$$

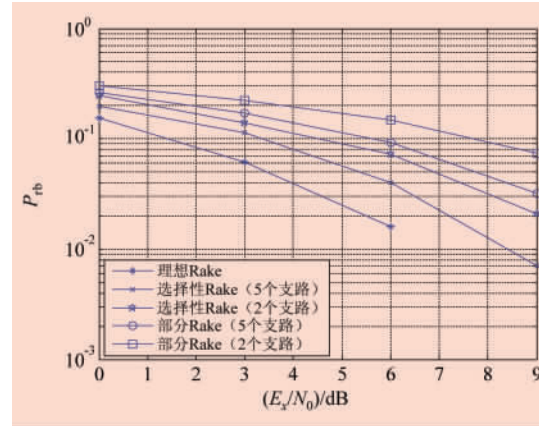
式中,第 1 簇的到达时间设为 0 ($T_1=0$),每簇第 1 分量的到达时间设为 0 ($\tau_{n1}=0, n=1, 2, \dots, N$)。

模型的多径信道系数 $\alpha_{nk} = p_{nk} \beta_{nk}$, 这里 p_{nk} 为等概率取 +1 和 -1 的离散随机变量, β_{nk} 为第 n 簇中第 k 条路径的服从对数正态分布的信道系数,即

$$20 \lg \beta_{nk} \propto \text{Normal}(\mu_{nk}, \sigma_\xi^2 + \sigma_\zeta^2) \quad (5)$$



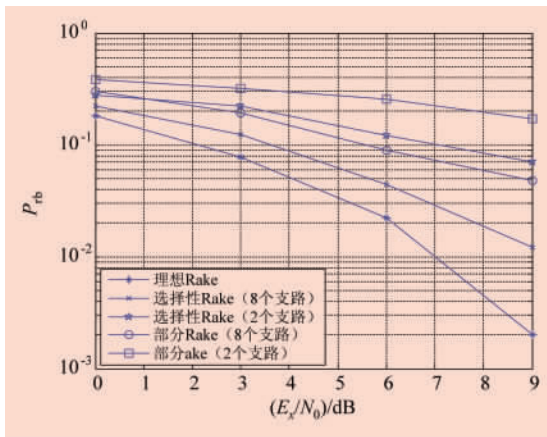
(a) $N_c=1$



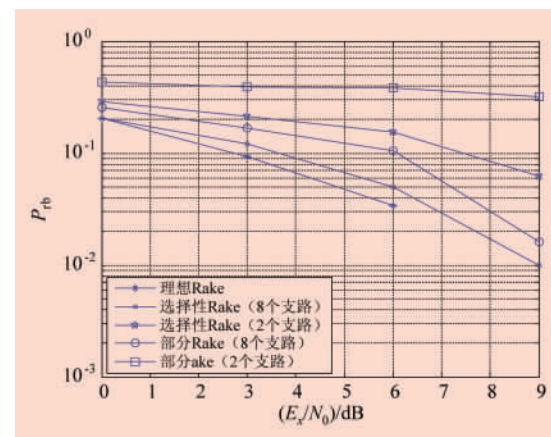
(b) $N_c=4$

图 2 CM1 信道中不同 Rake 接收机性能比较

Fig. 2 Comparison of performance of different Rake receivers in CM1 channel



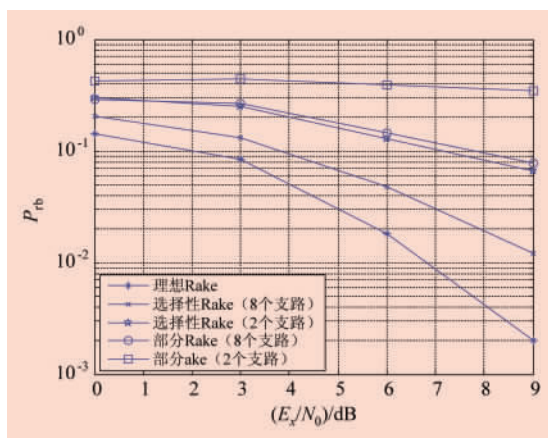
(a) $d=2$ m



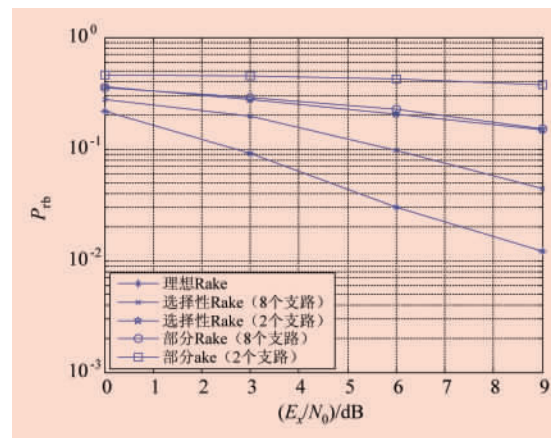
(b) $d=6$ m

图 3 CM2 信道中不同 Rake 接收机性能比较

Fig. 3 Comparison of performance of different Rake receivers in CM2 channel



(a) $T_s=6 \times 10^{-8}$



(b) $T_s=4 \times 10^{-8}$

图 4 CM3 信道中不同 Rake 接收机性能比较

Fig. 4 Comparison of performance of different Rake receivers in CM3 channel

从图 2~图 4 可以看出,理想 Rake 的性能是最好的,在同等支路数的情况下 SRake 性能优于 PRake; 这是由于理想

Rake 利用了接收机分辨出的所有的多径分量,SRake 选择的是所有支路中最好的一部分,而 PRake 只是直接选择时间上



最先到达接收端的若干路径。当然接收机的复杂性情况相反:理想 Rake 最复杂,PRake 最简单,SRake 居中。

对图 2~图 4 进行整体对比可以看出,CM1 信道下的 Rake 接收机性能比其他信道的好,各条曲线趋势相对比较平缓,交叉也最少,总体对比效果最佳。

从图 2 中可以看出,通过增加每比特的脉冲数量,能够降低误比特率。

从图 3 中可以看出,UWB 发射机与接收机的距离越近,接收机的性能越好。

从图 4 中可以看出,在多径环境下脉冲重复周期 T_s 的选择很重要,它影响系统的 ISI。

5 结论

通过分析传统 CPPM 中混沌序列可能丧失混沌特性的弊端,设计了一种改进的 UWB-CPPM 信号结构,研究了该系统在多径衰落信道中的 Rake 接收机性能。通过在不同的信道情况下对不同的 Rake 接收机误码率进行完整的比较分析,可以看出无论在何种信道条件下,在同样支路数的情况下 SRake 性能始终优于 PRake,鉴于 SRake 有选择性过程,使得其系统复杂度大大增加,所以实际中需要针对不同的应用对两种 Rake 接收机的性能、复杂度等进行权衡分析后再进行选择。

参考文献 (References)

[1] 王金龙,王呈贵,阚春荣,等. 无线超宽带(UWB)通信原理与应用[M].

北京:人民邮电出版社,2005.

Wang Jinlong, Wang Chenggui, Kan Chunrong, *et al.* Ultra-wideband wireless communication theory and application [M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2005.

[2] Win M Z, Scholtz R A. Impulse radio: How it works [J]. *IEEE Commun Lett*, 1998, 2(2): 38.

[3] Rulkov N F, Sushchik M M, Tsimring L S, *et al.* Digital communication using chaotic -pulse -position modulation [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I*, 2001, 48(12): 1436-1444.

[4] Sushchik M, Jr Rulkov N F, Larson L, *et al.* Chaotic pulse position modulation: A robust method of communication with chaos [J]. *IEEE Commun Lett*, 2000, 4: 128-130.

[5] Price R, Jr Green P E. A communication technique for multipath channels[J]. *Proc IRE*, 1958, 46: 555-579.

[6] Win M Z, Scholtz R A. Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications[J]. *IEEE Transactions on Communications*, 2000, 48(4): 679-691.

[7] Foerster J, Li Q. UWB channel modeling contribution from Intel[S]. IEEE P802.15-02/279r0-SG3a, 2002.

[8] IEEE 802.15.SG3a. Channel modeling sub-committee report final[S]. IEEE P802.15-02/490r1-SG3a, 2003.

[9] Choi J D, Stark W E. Performance of ultra-wideband communications with suboptimal receivers in multipath channels [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2002, 20(9): 1754-1766.

[10] Choi J D, Stark W E. Performance analysis of rake receivers for ultra-wideband communications with PPM and OOK in multipath channel[C] //IEEE International Conference on Communications. IEEE, 2002: 1969-1973.

(责任编辑 杨书卷)

·学术动态·



“中华医学会第 9 次全国胸心血管外科学术会议”征文

“中华医学会第 9 次全国胸心血管外科学术会议”将于 2009 年 11 月 27-30 日在广州市召开。大会将面向全国广泛征集展示我国胸外科、心血管外科以及体外循环和胸心麻醉等专业领域,临床和基础研究方面最新进展的论文,并邀请国内外著名胸心血管外科专家做特邀学术报告。今年的学术年会除继续保留去年设立的胸心外科经典手术录像演播现场讲评,以及其他原有交流形式和交流平台外,新设立英语演讲会场,以备战 2010 年在我国举办的“亚太地区胸心血管外科学术会议”。大会继续设立并颁发“中华医学会胸心血管外科学分会杰出贡献奖”和“青年优秀论文奖”,以及揭晓 2009 年度各类奖学金和培训基金的获奖名单。

会议交流主题和征文内容包括:肺癌临床分期、外科手术及多学科综合治疗新进展,非小细胞肺癌术后辅助化疗、二线化疗和靶向治疗新进展,肺癌放射治疗和射频消融治疗等新技术新进展和相关热点问题,食管癌临床分期、外科手术及多学科综合治疗新进展,微创胸外科新技术,气管外科、肺减容手术,胸外科基础研究和胸部疾病诊疗新技术新进展,纵膈肿瘤和胸腺瘤并重症肌无力外科手术治疗和围术期管理,心肺移植新进展,心脏瓣膜病及心房纤颤外科治疗,冠心病外科治疗现状及热点问题,先心病外科治疗新进展,主动脉外科治疗新技术,终末期心脏病外科治疗,其他心脏病(慢性肺动脉栓塞,心脏病等)外科治疗,心血管外科的相关基础研究,微创心外科新技术,体外循环和心肌保护新进展,体外循环设备的新进展,ECMO 技术临床应用,胸心血管外科手术麻醉与围术期处理的共性热点问题,胸心血管外科重症监护和护理等。

本次会议采用网上投稿,不再接受书面稿件和电子邮件稿件。投稿者须登录中华医学会胸心血管外科学分会网站(www.cstcvs.com)按要求上传稿件。截稿日期为 2009 年 9 月 30 日。

