

基于相位偏移量的混沌扩频通信方案设计

何世彪¹, 田东¹, 张雪²

(1. 重庆市应急通信重点实验室, 重庆 400035; 2. 四川大学锦城学院, 成都 611731)

摘要: 为充分利用混沌序列的高保密性和抗截获性, 设计一种基于相位偏移量同步的混沌扩频通信方案。系统的发送端采用数据帧格式, 定时地将混沌扩频序列的相位偏移信息通过差分混沌相移键控的方式发送到接收端, 接收端通过比较本地序列与接收序列的相位差, 加速或延缓本地混沌迭代, 从而实现非周期扩频序列的同步与解调。仿真实验结果表明, 该方案可实现混沌扩频信号在任意时刻的接收与解调, 具有较好的抗噪声性能。

关键词: 非周期; 混沌扩频通信; 相位偏移量; 帧格式; 差分混沌相移键控; 匹配接收

Design of Chaotic Spread-spectrum Communication Scheme Based on Phase Offset

HE Shi-biao¹, TIAN Dong¹, ZHANG Xue²

(1. Key Laboratory of Emergency Communications of Chongqing, Chongqing 400035, China;

2. Jincheng College, Sichuan University, Chengdu 611731, China)

【Abstract】 For utilizing the characters of high-security and ant-intercepting about chaotic sequence, this paper designs a scheme of chaotic spread-spectrum communication based on phase offset. In the sending end, the data is sent in the format of frame. The information of phase offset is periodically sent to the receiver by differential chaotic phase-shifting keying. The receiver demodulates the information of phase-offset. By comparing the phase offset-difference of the two chaotic sequences, the receiving sequence and the local sequence, the receiver accelerates or delays the local chaotic iteration in order to achieve synchronization and demodulation. Simulation results show that chaotic spread-spectrum signal can be received at any time by the scheme and correctly demodulated, and the spread-spectrum system has good ant-jamming performance.

【Key words】 non-periodic; chaotic spread-spectrum communication; phase offset; frame format; differential chaotic phase-shifting keying; matched receiving

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.17.023

1 概述

近年来, 由于混沌信号具有宽带、类噪声、难以预测的特点, 且对初始值十分敏感, 因此提出将混沌序列作为扩频通信中所用的扩频序列, 并做了大量研究^[1-2]。由于混沌序列对初始条件的极度敏感性, 使得混沌扩频通信具有很高的保密性, 即使窃听者知道传送者产生混沌序列的模型, 也很难估测准确的系统参数和系统初始值^[3]。文献[4]指出, 相互正交的混沌数字序列数量众多, 这一点将大幅提高扩频通信系统的多址通信能力, 同时给出一种混沌扩频序列的优选算法。

混沌数字序列的非周期性以及其对初始值的极度敏感性, 为混沌扩频系统带来很多优势, 同时也为在接受端的相关接收带来了不便。本文以相位偏移量为基础, 设计了一种非周期混沌扩频通信方案, 并对系统的工作流程及误码率性能做了仿真分析。

2 基于相位偏移量的同步原理

混沌的相位有多种定义^[5], 文中的相位是指混沌轨道上的特定状态, 这个特定状态是与相对于初始值的迭代次数有关的。相位偏移量是指当前时刻的混沌序列的值相对于迭代初始值的迭代次数。

基于相位偏移量同步^[6]的基本思想是: 在发送端将混沌序列的相位偏移信息定期地发送至接收端, 而后混沌迭代沿着上次迭代的断点, 继续进行后续的迭代。接收端通过对相位偏移信息的解调, 读取接收序列的迭代次数 K , 并与本地的混沌序列迭代次数 K' 相比较, 得出相位差 $\Delta K = K - K'$, 根据 ΔK 调整本地迭代时钟, 直到混沌序列同步。

相位偏移量采取 DCPSK 的调制方式进行发送, DCPSK 调制通过在信息承载段与参考段间的相位偏移来调制信息^[7]。

作者简介: 何世彪(1963—), 男, 教授、博士生导师, 主研方向: 抗干扰通信; 田东, 硕士研究生; 张雪, 本科生

收稿日期: 2011-10-31 **修回日期:** 2011-12-23 **E-mail:** tiandong1984@126.com

3 通信方案设计

由于混沌迭代是无限次进行的，而 DCPSK 调制信息承载段的长度有限，能够调制的信息量有限，因此在相位信息的表达上必须采用循环计数的方式。

3.1 发送端原理框图及数据帧格式

发送端采用帧格式形式发送数据，每一帧数据包括 m 序列引导头，DCPSK 相位调制段以及 M bit 有用数据信息(扩频调制)。其中，相位偏移信息采用 J 相 DCPSK 调制发送，DCPSK 调制的参考段及承载段长度各为 N 个伪码间隔， $N = 2^k$ ， m 序列引导头的长度为 $N-1$ ，扩频调制增益为 N ，每一帧数据发送 M bit 有用信息，则一帧数据的长度为 $(M+3) \times N - 1$ ， J 帧数据称为一超帧。混沌序列迭代次数 K 与相位偏移信息 i 之间的关系为：

$$K = i \times (M+1) \times N + N \tag{1}$$

其中， $i (i=0,1,\dots,J-1)$ 为相位信息；迭代次数 K 是指 DCPSK 调制段结束时刻混沌序列的迭代次数。由于相位偏移信息 i 采取循环计算，即 $i = i \bmod J$ ，因此收发两端的混沌迭代的相位差不能大于一超帧的长度，可以通过合理选择 J 和 N 的值来解决。发送序列的数据帧格式如图 1 所示。

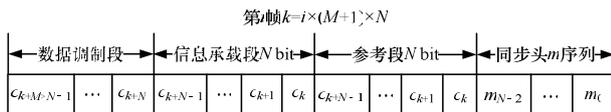


图 1 发送序列的数据帧格式

3.2 接收端原理框图

接收端先对接收信号进行 m 序列匹配接收，一旦检测到 m 序列，则开启 DCPSK 解调器，同时本地混沌序列做迭代 N 次，否则继续做 m 序列匹配接收。如果 DCPSK 解调器能够解调出当前帧的相位信息 j ，则根据相位信息 j 计算出当前接收序列的迭代次数，与本地的混沌序列的迭代次数相比较，根据相位差调整本地混沌序列相位，使得与接收序列同步，开启解扩电路，进行相关解扩。数据帧解调完之后，重复上述过程，直到本次接收结束。如果 DCPSK 解调器不能解调出数据帧头信息，返回 m 序列匹配接收单元，直到检测到 m 序列。接收框图如图 2 所示。

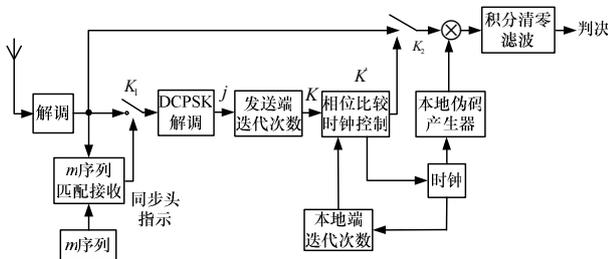


图 2 m 序列匹配接收及解扩框图

若第 j 个循环移位相关器的输出值为最大，且超过判决门限，则表示当前数据帧的相位偏移信息为 $j-1$ 。通过解调出的相位信息 $j-1$ 计算出接收序列的迭代次数 K ：

$$K = (j-1) \times (M+1) \times N + N \tag{2}$$

再将 K 与本地的混沌序列迭代次数 K' 相比较，得到

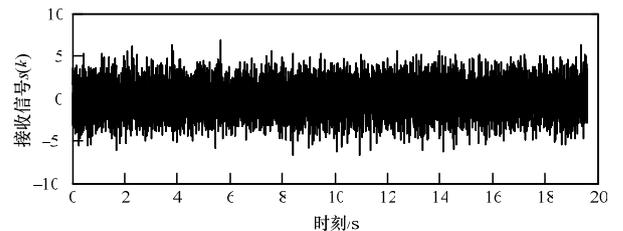
$$\Delta K = K - K' \tag{3}$$

当 ΔK 大于 0，则表示本地序列比接收序列滞后，须加速迭代 ΔK 次； ΔK 小于 0，则表示本地序列超前，须停止迭代 $|\Delta K| \times T_c$ ；若 ΔK 等于 0，则表示序列同步，则开启解扩单元。

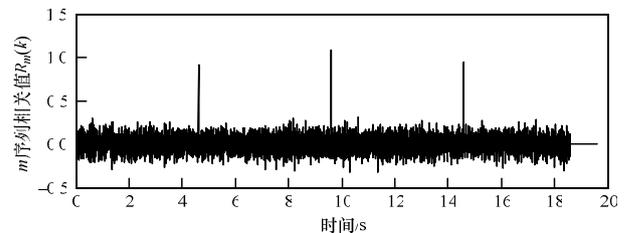
4 仿真分析

m 序列采用 $n=9$ 移位寄存器，反馈系数为(1 021)。每比特信息数据用长度为 $N=512$ 进行扩频调制(即扩频增益为 N)。一帧传送 2 个数据比特，即 $M=2$ ；相位信息采用 4 相 DCPSK 调制方式，即 $J=4$ 。每数据比特宽度为 $T_b=1$ s，每比特能量为 $E_b=1$ ，信噪比 $E_b/n_0=20$ dB；混沌产生器采用分段线性混沌，其中，初值为 $x_0=0.1$ ，分形参数 $p=0.3$ 。

假设接收端从信号到达的第 200 个比特开始接收，接收序列及 m 序列数字匹配接收的相关峰值如图 3 所示。由于第 1 帧的 m 序列头没有完全接收到，因此 m 序列的第 1 个捕获峰值出现在第 2 帧，每帧的 m 序列头接收结束时，出现相关峰值(第 1 段除外，因接收机开始接收时，第 1 段的参考段已过)。DCPSK 的解调如图 4 所示。

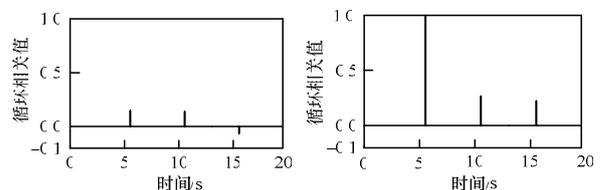


(a)接收序列的捕获



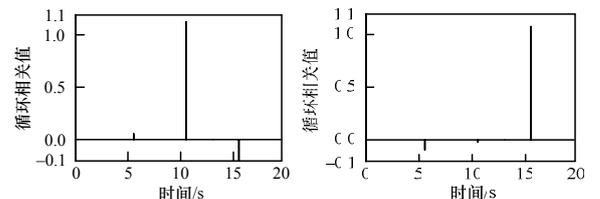
(b)m序列的捕获

图 3 接收序列及 m 序列的捕获



(a)相关器 1

(b)相关器 2



(c)相关器 3

(d)相关器 4

图 4 DCPSK 解调的相位信息

由图4可以看出, 当 J 个相关器的输出中第 j 个值为最大相关峰值, 并且大于门限时, 则表示当前数据为第 j 帧, 当前接收序列的相位偏移信息为 $j-1$ 。第1个超过门限的最大相关峰值出现在第2个相关器输出, 解调时则从第2帧开始解调, 第1帧数据丢失, 这与接收端从第200个比特开始接收相一致。

接收端将解调出接收序列的迭代次数与本地混沌序列的迭代次数相比较, 根据相位偏移的差值调整本地的混沌序列的迭代时钟, 达到接收序列与本地序列的同步, 则进行扩频数据的解扩及判决。发送数据与解调判决的数据如图5所示。

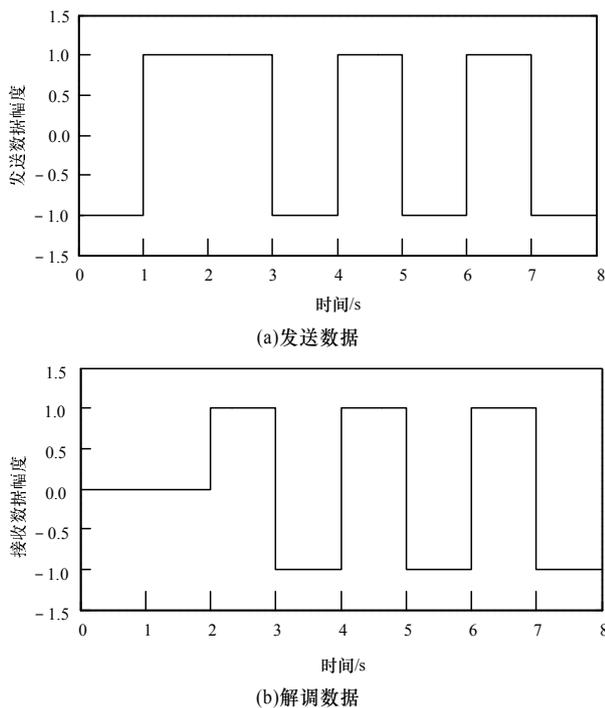


图5 发送数据和解调数据对比

在图5中, 解调判决的前2个数据为0, 表示由于从第200个比特开始接收, 第1帧数据无法实现同步, 而丢弃了第1帧的数据。

图6表示了在不同的捕获判决门限条件下系统的误码率性能。在不考虑虚警的情况下, 随着判决门限的增加, 系统的误码率变大, 抗噪声性能变差。

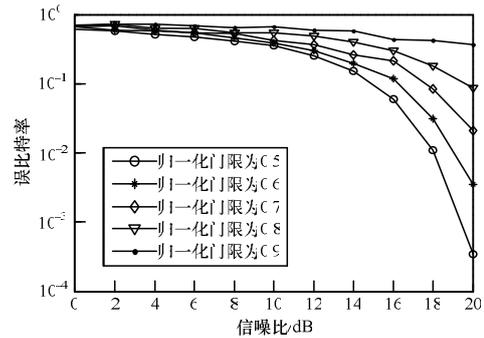


图6 误码率分析

5 结束语

本文设计了一种非周期的混沌扩频通信方案, 发送端采取数据帧的形式发送信息, 定时的将混沌迭代的相位偏移信息发送到接收端。这种方法发送端的混沌序列是非周期的, 而数据格式上是周期重复的, 因此混沌序列的起始误差长度不能超过一个超帧, 这一点可以通过合理地选择 M 及 J 的取值加以解决。仿真分析表明, 提出的方案实现了非周期混沌扩频信号在任意时刻的接收与解调, 为混沌技术在扩频通信中的应用提供了新思路。

参考文献

- [1] Batini G H, McGillem C D. A Chaotic Direct-sequence Spread-spectrum Communication System[J]. IEEE Trans. on Communication, 1994, 42(2-4): 1524-1527.
- [2] McGillem C D. A Novel Multiple-address Digital Communication System Using Chaotic Signals[C]//Proc. of International Conference on Communication. [S. l.]: IEEE Press, 1992: 1232-1236.
- [3] 廖晓峰. 混沌密码学原理及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [4] 罗冬梅, 何世彪, 谷城. 一种新的混沌扩频序列优选算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(24): 99-101.
- [5] 胡岗, 萧井华, 郑志刚. 混沌控制[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2000.
- [6] 田东, 何世彪. 一种基于相位偏移量的混沌同步方法[J]. 数字技术与应用, 2011, (10): 37-39.
- [7] 李辉. 非相干混沌数字通信理论研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2004.

编辑 顾逸斐

(上接第80页)

- [6] Deng Der-Jiunn, Ke Chih-Heng, Chen Hsiao-Hwa, et al. Contention Window Optimization for IEEE 802.11 DCF Access Control[J]. IEEE Trans. on Wireless Communications, 2008, 7(12): 5129-5135.
- [7] 李喆, 曹秀英. 新的改进IEEE802.11DCF性能的退避机制[J]. 通信技术, 2010, 43(8): 46-50.
- [8] 明延堂, 吴绍兴, 汪国安. DCF指数退避算法的两点改进[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(23): 88-91.
- [9] 张棋飞, 刘威, 孙宝林, 等. 基于冲突分类模型的冲突解析算法[J]. 软件学报, 2010, 21(3): 548-563.
- [10] 胡国柱, 王吉军, 杨凯. 多速率最优竞争窗口的WLAN退避

算法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(32): 101-103.

- [11] 徐颖, 白光伟, 王明超, 等. 基于时隙选择概率分布的DCF区分服务机制[J]. 计算机工程, 2010, 36(18): 285-287, 290.
- [12] Bianchi G. Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(3): 535-547.
- [13] 王建新, 奎晓燕, 黄家玮, 等. 基于二次曲线的无线局域网MAC退避算法[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2009, 37(4): 7-12.

编辑 顾逸斐

