

基于混沌序列的跳频同步方法

李娟, 盛利元, 刘爱惠

(中南大学物理科学与技术学院, 湖南长沙 410083)

摘要:同步是跳频通信系统的关键技术之一. 利用混沌信号 Logistic 序列作跳频码, 取代跳频通信中的伪随机序列, 并采用滑动相关法使同步头信号同步, 解决了混沌跳频序列的同步难题, 进而实现发射系统和接收系统的混沌同步, 最后利用 Matlab 的 Simulink 进行仿真. 结果表明:该同步方法用于跳频通信可获得满意的通信效果.

关键词:混沌; 伪随机序列; 同步; 跳频通信

中图分类号: TN 914.4

文献标识码: A

0 引言

自从1990年美国海军实验室的 L. M. Pecora 和 T. L. Carroll 提出了混沌同步概念及其驱动——响应以来^[1-3], 利用混沌信号实现保密通信便引起了广泛关注. 根据混沌特性和保密通信的特点可以将混沌序列应用于跳频通信中, 跳频是最常用的扩展频谱方式之一. Shannon 定理奠定了扩频技术的理论基础, 为达到给定的信道容量要求, 可以用带宽换取信噪比, 即在低信噪比的条件下用增大带宽的方法传输给定信息^[4].

1994年, 美国学者 H. B. Ghobad 和 D. M. Clare 指出将 Logistic 映射产生的混沌序列用于扩频通信^[5]. 随后, 我国学者王亥、凌聪等^[6-7]详细研究了由 Logistic 映射产生混沌扩频序列的方法, 证明混沌扩频序列具有渐进理想的自相关特性和互相关特性. 笔者拟采用 Logistic 序列作为伪随机跳频码用于跳频通信. 由于混沌系统的初值敏感性, 实现混沌序列的同步成为跳频技术中最难解决的问题, 针对这一难题, 笔者进行了深入研究.

1 跳频通信系统的原理及框图

跳频通信系统, 又称 FH 系统, 是载波频率按某种跳频图案在很宽频带范围内跳变的通信收发系统. 如图1所示:信息数据被波形变换后, 进入

载波调制. 载波由伪随机码(混沌跳频序列)控制可变频率合成器产生, 频率随跳频序列的序列值改变而改变. 跳频信号经射频滤波器发射后, 被接收机接收. 接收机首先从发送来的跳频信号中提取跳频信号同步, 使本机混沌跳频序列控制的频率跳变与接收到的跳频信号同步, 输出被同步的本地载波, 使载波解调即跳频解调获得携带有信息的中频信号, 从而得到发射机送来的信息^[8].

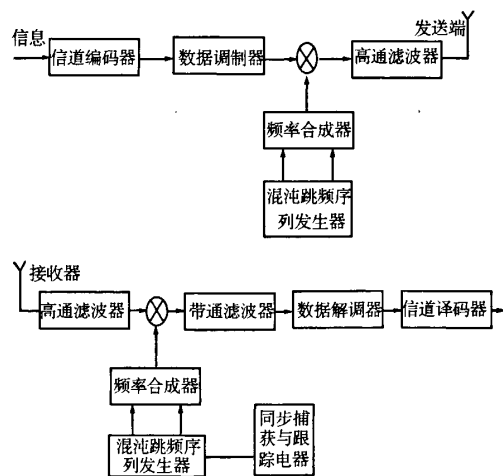


图1 混沌跳频通信系统框图

Fig.1 The frame diagram of chaotic FH communication system

收稿日期:2008-01-11; 修订日期:2008-03-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60672041)

作者简介:李娟(1981-),女,河北石家庄人,中南大学硕士研究生,研究方向为混沌理论,跳频与扩频通信.盛利元(1956-),男,湖南益阳人,教授,研究方向为非线性系统与混沌加密理论、汉语语音模式识别、扩频通信等. Email:itpo@mail.cus.edu.

2 跳频同步技术

同步是跳频通信中的一项关键技术,信道中的载波偏移、时钟漂流、多普勒效应以及收发信机的距离变化等均会引起同步的不确定性^[9],为了解决这一问题,实现精确的伪码同步,笔者提出了一种关于同步头滑动相关搜索的方法,其原理是:用 m 序列与一随机信号进行扩频,经信道传输后,在接收端解扩出发送端的随机信号,取 2 个随机信号在相位相同时的信息作为同步头序列,当系统捕获到同步信号后,即建立初始同步,该同步信号将控制发送端和接收端在混沌跳频码上同时起跳,发送端发送出信息码与混沌跳频码的跳频信息,接收端产生同样的混沌跳频信号进行解跳,实现混沌码同步。

2.1 m 序列相位搜索捕获

为实现 m 序列的相位同步,采用滑动相关捕获同步设计方案,通过使接收机的时钟周期性地移动一个相位增量来实现,如图 2 所示。

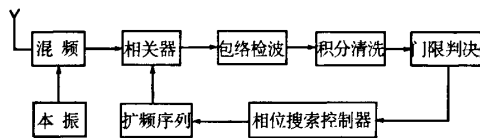


图2 m 序列相位搜索捕获原理图

Fig.2 The diagram of m sequence phase searching acquisition

扩频序列相位搜索控制的原理如图 3 所示。积分器输出小于设定门限时,门限比较器输出低电平,这时,只要 K 分频器输出的脉冲为高电平,门 1 导通,输出高电平,使门 2 截止关闭,通过门 2 送往扩频序列发生器的相位步进时钟信号被截止,使扩频序列相位迟后一个脉冲。如果 K 分频器输出的脉冲为低电平,则门 1 被截止,输出为低电平,使门 2 导通,相位步进时钟信号能送往扩频序列发生器使扩频序列相位正常步进。只要 K 分频器的高电平脉冲宽度不大于时钟信号间隔,就可以使 K 个相位步进时钟中有一个被截止关闭,使本地扩频序列在 K 个相位移动中停止一个相位移动,从而改变了扩频序列相位状态。这种同步方法只有捕获过程而没有跟踪^[10],因为发送端和接收端的扩频序列发生器使用同样的采样时间,使得发送端的扩频序列与接收端的扩频序列相位误差为整数个码元,故本系统只需进行扩频序列捕获就可以实现同步,无需再跟踪。

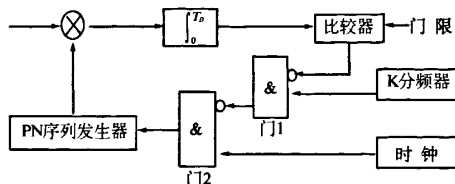


图3 扩频序列相位搜索控制原理图

Fig.3 The diagram of spread spectrum sequence phase searching control

2.2 混沌跳频系统同步

采用优化的 Logistic 混沌序列作跳频码,控制频率合成器按其规律不断跳变。该系统在跳频开始之前,一直处于等待状态,因为同步头是在发送信息之前发送的,直到 m 序列同步后,捕获成功,此时系统产生一个同步信号,向发送端和接收端发送握手信息,握手之后,该同步信号控制接收端和发送端停止等待,发送端开始发送信息,并利用混沌码同时开始跳频,由于起跳时间一致,混沌跳频图案完全一样,最终实现混沌跳频同步。

3 仿真结果

在 Matlab6.5 的 Simulink 环境下利用模块库构建了跳频通信系统。整个跳频通信系统的仿真过程包括同步头序列及混沌跳频码的产生、频率合成器、信息调制解调、噪声、跳频解跳、统计判决等几部分。笔者采用 MPSK 进行调制解调,信道采用普遍使用的高斯白噪声信道。

首先需要实现的是 m 序列的相位同步,收端 PN 码产生器与发端 PN 码产生器一样,因为接收端不可能知道发送 PN 码信号的相位,为了在仿真中体现这个问题,将收端 PN 码产生器的初值设置得与发端的初值不同,这样收发双方的 PN 码相位就不同,要靠同步捕捉过程来减小这个相位差。这样,就实现了当发送端的 m 序列相位是未知状态时,可以通过捕获使得接收端 m 序列相位同步于发送端的 m 序列相位,从而解扩出发送端随机信号。

在滑动相关捕获过程中,由于各个仿真模块存在一定的输入输出响应时间,使得接收信息比发射信息会有略微的延迟,这在扩频通信中是允许的,笔者采用延迟模块对延迟时间进行了相应的调整,解决了时延问题。为便于清楚地观察仿真波形,设置仿真时间为 50 s,随机信息码和扩频码的抽样时间分别为 1 s 和 1/7 s,且扩频码采用周期为 7 的 m 序列,其本原多项式为 $x^3 + x + 1$,积

分抽样时间为 1 s, 抽样个数为 7, 时钟周期为 1/7 s, 采用 7 分频进行同步。

图 4 为收发两端随机信号在 m 序列捕获成功时的仿真结果, 起始时段, 当捕获未完成, 即没有最大相关值输出时, 接收端解扩后无法获得有用的信息码, 出现误码, 如图 4(b) 前 6 s; 当捕获完成后, 即有最大相关值输出时, 判决器输出为零, 本地扩频序列同步于发送端的扩频序列, 使得接收端能够正确地接收到发送端的信息码, 实现扩频通信, 如图 4(b) 6 s 之后。系统在经过 6 s 之后, 发送端和接收端的扩频码完成搜索捕获过程, 进入同步状态, 从而实现收发两端随机信号的码元同步。

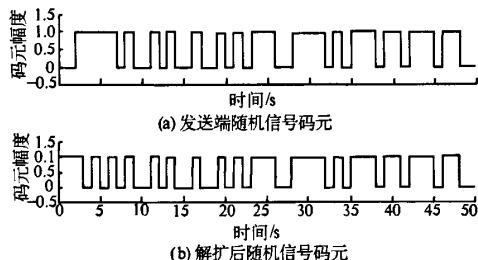


图 4 收发两端随机信号同步仿真

Fig. 4 Random signal's synchronization simulation between transmitting terminal and receiving end

m 序列相位捕获成功后, 即实现了同步头序列的同步, 系统产生同步控制信号去控制混沌码开始起跳, 仿真过程中收发两端混沌跳频序列的初始状态及分形参数设置应完全一致。本文采用压控振荡器实现频率合成, 使 VCO 瞬时输入端的电压值按混沌跳频序列发生变化, 则 VCO 的频率也会随 Logistic 序列的变化不断的改变频率, 图 5 为频率合成器的仿真结果。

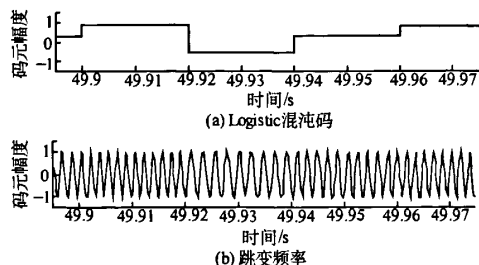


图 5 频率合成器的仿真结果

Fig. 5 Simulation result of frequency synthesis

初始同步完成后, 收发两端获得握手信号, 系统开始进行混沌跳频, 接收端采用与发送端同样的频率合成器对接收到的跳频信号进行解跳, 最

后解调后恢复出原始信息。仿真结果如图 6 所示, 在没有差错控制的条件下误码率达到 0.038, 接收端信息与发送端信息基本一致, 同步性能较好。

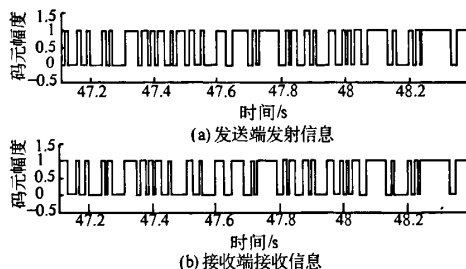


图 6 收发两端信息码元同步

Fig. 6 Signal code's synchronization between transmitting terminal and receiving end

4 结束语

笔者采用混沌信号取代伪随机序列作跳频码, 使得信息在传输过程中的保密性大大增强。然而, 由于混沌序列是一种非周期序列, 它所提供的码元有无穷多个, 若想通过滑动相关法是无法实现同步的, 因此笔者采用对短码 m 序列进行相位搜索进而引导长码(混沌跳频序列)实现同步, 仿真结果证明了该方法的有效性。为了满足快速跳频通信对跳频速率、频率点数、频率转换时间等更高的要求, 在滑动相关法抗干扰能力强, 结构简单易实现的基础上, 产生了改进的滑动相关法, 如快速扫描式同步方法, 该方法在速度上有一定的优越性, 可以缩短同步捕获时间及频率转换时间, 在快速跳频通信中有很好的应用前景。

参考文献:

- [1] PECORA L M, CARROLL T L. Synchronization in chaotic system[J]. Phys Rev Lett. 1990, 64(8): 821 - 824.
- [2] CARROLL T L, PECORA L M. Synchronizing chaotic circuits[J]. IEEE Trans on Circuits and System, 1991, 38(4): 453 - 456.
- [3] PECORA L M, CARROLL T L. Driving systems with chaotic signals[J]. Phys Rev Lett, 1991, 44(4): 2374 - 2383.
- [4] 樊昌信, 詹道庸, 徐炳祥. 通信原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995. 3401.
- [5] GHOBAD H B, CLARE D M. A chaotic direct - sequence communication system[J]. IEEE Trans. communication spread - spectrum 1994, 42(2/3/4): 1524 - 1527.

- [6] 王亥,胡健栋. Logistic - Map 混沌扩频序列[J]. 电子学报,1997,18(8):71-77.
- [7] 凌聪,孙松庚. Logistic 映射跳频序列[J]. 电子学报,1997,25(10):79-81.
- [8] 梁华强,张麟兮,李道京. 基于混沌的跳频通信系统[J]. 计算机仿真,2004,3.
- [9] 任玉升,唐向宏,廖见盛. 跳频通信系统同步的一种方法[J]. 杭州电子工业学院学报,2003,23(6):39-42.
- [10] 周昕,夏健刚. 直扩系统中两种 PN 码同步方法的比较与仿真[J]. 四川大学学报:工程科学版,2002,34(2):96-99.

The Synchronous Method of the Frequency - Hopping Communication System Based on Chaotic Sequence

LI Juan, SHENG Li - yuan, LIU Ai - hui

(School of Physics Science and Technology, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Synchronization is one of the key techniques to frequency - hopping (FH) communication system. This paper proposes to use the Logistic chaotic sequence as FH codes, replacing pseudo - noise sequence in FH communication. In order to solve the difficulty in synchronization of chaotic FH sequence, it adopts the sliding correlating mode to realize the synchronization of synchronization - head signal, so it can achieve the synchronization of chaos between transmitting terminal and receiving end. The MATLAB simulation is completed, which shows that the synchronous method acquires the satisfying communication effect in FH communication.

Key words: chaos;pseudo - noise sequence;synchronization;frequency - hopping communication

(上接第 79 页)

维和方法,随着计算机软硬件技术的发展,三维模型必然会在公路设计中显示出巨大的应用价值。

参考文献:

- [1] 赵一飞,杨少伟. 高速公路设计[M]. 北京:人民交通出版社,2006.
- [2] 潘兵宏,许金良,杨少伟,等. 公路三维建模应用研究[J]. 西安公路交通大学学报,2001,21(1):49-51.
- [3] 张金水. 道路勘测与设计[M]. 上海:同济大学出版社,2005.
- [4] 毛峰,沈小华. ArcGIS 8 开发与实践[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [5] 周振红,王效群,王珺珂. 基于公路线形特征的线性参照系及其应用[J]. 郑州大学学报:工学版,2005,26(4):69-71.
- [6] 左小清,李清泉,唐炉亮. 公路三维模型建立与数据组织[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2004,29(2):179-183.
- [7] MICHAEL Z. Exploring ArcObjects [M]. California USA: Environmental System Research Institute, Inc 2001.

3D Modeling of Highway Alignment with ArcGIS

ZHOU Ming - zhi, ZHOU Zhen - hong

(School of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou Henan 450001, China)

Abstract: To solve the problem that global design effect of highway cannot be directly reflected in existing highway route design and a scientific evaluation of the route design results is difficult to make, the method of highway route 3D modeling with ArcGIS is put forward. First, by establishing linear reference systems in ArcGIS, route stakes and their M values are related. On this basis, the route elevation model is built, and elevations associated with their Z values. Finally, the 3D model MultiPatch of a route is established with relevant interfaces and methods of ArcObjects. This approach is simple and feasible, and the 3D model established has verisimilar effect.

Key words: highway;vertical curve;ArcGIS;ArcObjects;3D modeling