

文章编号:1000-582X(2008)12-1381-05

TDCS 中随机相位的混沌产生方法

何世彪¹, 季 焱², 潘 辉³

(1. 重庆交通大学 计算机与信息学院 400074; 2. 重庆通信学院 研究生队 400035;
3. 重庆大学 通信工程学院 400030)

摘 要:研究了传统的变换域通信系统(transform domain communication system, TDCS)中基于线性反馈移位寄存器的抽头组合来构成相位映射的方法。根据 TDCS 对随机相位的要求,本文提出了一种新的随机相位产生方法,即利用混沌映射的方式产生随机相位矢量。具体的说是通过不同的初始值来控制混沌映射产生二值量化混沌序列,再通过相位映射器来产生随机相位,进而生成基函数。文中对混沌映射的实现方法以及基函数相关性能的仿真结果进行了详细讨论。通过与线性反馈移位寄存器产生基函数相关性能比较,混沌映射产生基函数具有更好的相关特性。混沌映射产生大量互相关系数很小的基函数,所以在多址应用中具有很大的优越性。

关键词:变换域通信系统;随机相位;线性反馈移位寄存器;混沌映射

中图分类号: TN972

文献标志码: A

A method to generate pseudorandom phases in transform domain communication system by chaos mapping

HE Shi-biao¹, JI Ye², PAN Hui³

(1. College of Computers and Information, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, P. R. China;
2. Graduate team of Chongqing Communication Institute, Chongqing 400035, P. R. China;
3. College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China)

Abstract: The traditional method of generating pseudorandom phase vector through a linear feedback shift register (LFSR) and a pre-set combination of taps in transform domain communication system(TDCS) was studied. Based on the requirements of the pseudorandom phase vector in TDCS, a new method using chaos mapping to generate the pseudorandom phases in TDCS was proposed. This method generated binary quantization chaotic sequences by using chaos mapping with different initial values, and then creates a pseudorandom phase vector by using a phase mapper. Finally, the basis function was obtained. The implementation method of chaos mapping and the simulation results regarding the correlation performance for the basis function were discussed in detail. Compared with the basis functions generated by LFSR, the basis functions generated by chaos mapping have better correlation performance. Because many basis functions with small cross-correlation coefficients can be generated by chaos mapping, this method is advantageous for multiple access applications.

Key words: transform domain communication system; pseudorandom phase; linear feedback shift register; chaos mapping

收稿日期:2008-08-11

基金项目:重庆市自然科学基金资助项目(CSTC 20072017)

作者简介:何世彪(1963-),男,重庆交通大学教授,主要从事抗干扰通信、认知无线电方向研究,(Tel)13594360672;
(E-mail)Hdoctor@vip.sina.com。

欢迎访问重庆大学期刊网 <http://qks.cqu.edu.cn>

在干扰和噪声存在的环境中,抑制干扰进行可靠通信,对任何通信系统来说都是非常重要的。传统的干扰抑制方法是在接收端通过某种形式的滤波或/和采用扩频技术来实现。但是,直接序列扩频系统中,信道干扰功率达到一定的强度,超过系统的干扰容限时,系统不能有效的工作。同时,直接序列扩频系统需要使用连续的频谱,不能在离散的频段工作。而跳频系统是伪随机的跳动工作频率,主要用于抗人为干扰,当系统工作频率跳到干扰频率上时,干扰是不可避免的,它在通信过程中并没有调查和利用电磁环境。最近,一种新的抗干扰传输手段 TDCS(transform domain communication system)被提出来,它特别适合于认知无线电(cognitive radio-CR)的应用场合^[1-3]。

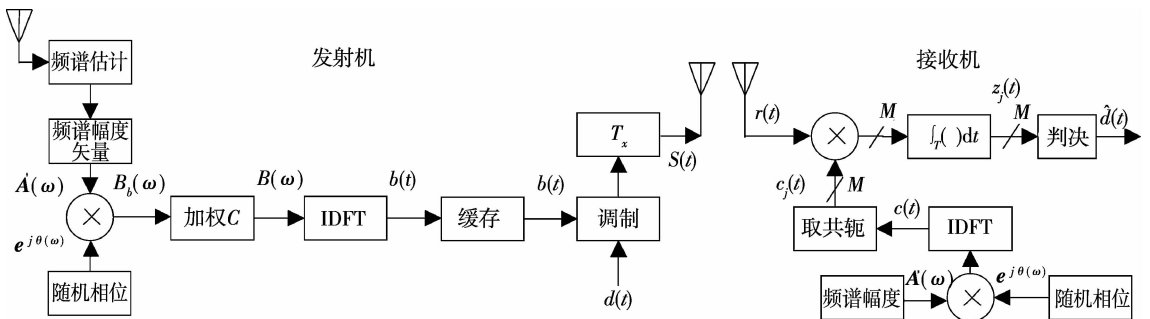


图 1 TDCS 系统框图

图 1 中发射机的各模块的功能及工作原理如下^[5-7]。

1) 频谱估计与识别。对环境频谱进行分析,以便对空闲频谱,干扰频谱或第一用户占用频谱进行分析判断。常用的频谱分析技术可用于这一环节,最常用的频谱分析技术如:FT(fourier transform)、WT(wavelet transform)、FRFT(fractional fourier transform)^[8-9]、AR(auto regressive)、Periodogram 等。

2) 频谱幅度矢量产生。将频谱估计的结果用一个阈值进行处理,频谱幅度超过阈值的频率置 0 表示此频谱不可用(被干扰污染),而其它频谱分量置为 1,表示这些频谱可用(没有被污染)。此幅度矢量是由一串 0 和 1 组成,它随环境的变化而改变^[10]。

3) 随机相位矢量。随机相位矢量产生器产生随机相位矢量。它是产生类噪声基函数的关键,也是多址应用时,区别不同用户的关键,在下节中讨论。

4) 幅度加权。幅度加权的作用是保持每个传送的符号具有相同的发射功率。一般情况下 $C = \sqrt{N/N_{A_k}}$,其中 N 为 $A'(\omega)$ 的长度, N_{A_k} 是 $A'(\omega)$ 中 1 的个数。

5) 反变换及缓存。将幅度矢量 $A'(\omega)$ 与相位矢

TDCS 与传统的扩频方式相比较有 2 个显著的不同:一是收发两端同时进行通信波形设计,从而避开干扰的频谱;二是它不采用载波调制而是采用类似噪声的基函数来进行数据调制。在 TDCS 中,基函数的产生是利用可用频谱幅度,与随机相位矢量进行元素相乘,再经加权后进行逆 DFT 变换得到。其随机相位和产生具有重要的作用,其一是建立类噪声的传送符号,它是利用 CSK(cyclic shift keying)调制的核心,其二是多址应用时可利用不同相位矢量作为用户地址码^[4]。

1 TDCS 系统模型

TDCS 的系统模型如图 1 所示。

量 $e^{j\theta(\omega)}$ 进行元素相乘后乘以加权系数 C 所形成的变换域(一般是频域)的矢量进行反变换,形成时域基函数 $b(t)$, $b(t)$ 存于缓存器中,用于对数据进行调制。当环境频谱没有发生变化即 $A'(\omega)$ 不变时,不更新 $b(t)$ 。

6) 数据调制。在 TDCS 中,通常用 CSK 进行数据调制,令调制符号有 M 种,即调制符号有 $s_1(t)$, $s_2(t), \dots, s_M(t)$ 个,则可表示的二进制数据 $m_i (m_i = 1, 2, \dots, \log_2 M)$ 。若基函数的长度为 N ,则第 j 个符号 $s_j(t)$ 是将基函数循环移位 $j \frac{N}{M}$ 位而形成的。以于 BCSK 调制,其中二个符号分别为

$$\begin{aligned} s_1(t) &= b(t), \\ s_2(t) &= b(t - T/2)_T, \end{aligned} \quad (1)$$

其中: T 为基函数所持续的时间; $(\)_T$ 表示关于 T 的循环移位。

图 1 中接收机各模块的功能及工作原理如下。

接收信号 $r(t)$ 在传输的过程中,加进了干扰和噪声,它与本地产生的基函数的共轭进行相关运算,最后进行判决输出。接收端频谱幅度与发送端一致,其相位映射也跟发射端一样, M 表示可能的 M

种通信符号, $c_j(t)$ 是收端产生的基函数按照 M 个符号的 MCSK 调制方式对 $b(t)$ 进行循环移位所得到的, 判决器对 M 个相关器进行比较, 选择最大的相关器输出判定调制的数据。当然和任何数字通信一样, 在进行接收处理之前要先进行同步, 同步的方法一般有直接时间相关(DTC)和 German^[11-12]方法。

2 随机相位产生方法及其性能

TDCS 中随机相位的产生方法是基于线性反馈寄存产生 m 序列的方式产生随机相位矢量, 如图 2 所示。

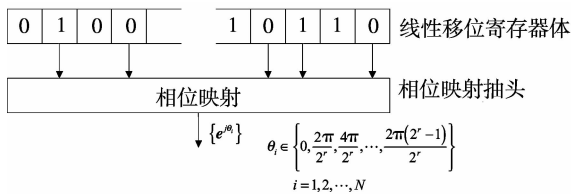


图 2 随机相位的 LFSR 产生方法

在图 2 中, n 级线性移位寄存器产生周期为 $2^n - 1$ 的 m 序列。其反馈控制由产生 m 序列的本

原多项式决定。利用 n 级移位寄存器中的 r 个抽头形成随机相位映射器, 产生 2^r 个不同的复相位矢量。复相位矢量的长度与函数一致, 即为 N , 利用相位映射器不断产生复相位, 形成长度为 N 的复相位矢量。 r 个抽头可以连续选取, 亦可随机不连续地选取, 其映射方式可以是 LFSR 每移 s 位输出一个相位值, 当 $s = 1$ 时, 相当于线性移位寄存器每移位一次输出一个相位值。

$n = 8, r = 3$ 时, 所产生的基函数及其自相关函数如图 3 所示。由图中可以看出, 基于 m 序列所产生的基函数具有非常理想的自相关函数。文献[6-10]对于讨论了由不同 m 序列产生器构成的随机相位映射器所产生的随机相位之间的互相关特性, 其互相关特性与相位矢量的长度有关, 并随着基函数的长度 N 的增加而减少, 当 $N \geq 8$ 以后, 增加 N 对互相关的特性改善并不明显。笔者用 2 个不同的本元多项式系数构成 2 个不同的周期为 $2^8 - 1 = 255$ 的 m 序列产生器, 对应的相位映射器的抽头位置相同, $s = 1$, 从而构成 2 个不同的随机相位产生器, 所产生的 2 个不同随机相位矢量的互相关函数如图 4 所示。

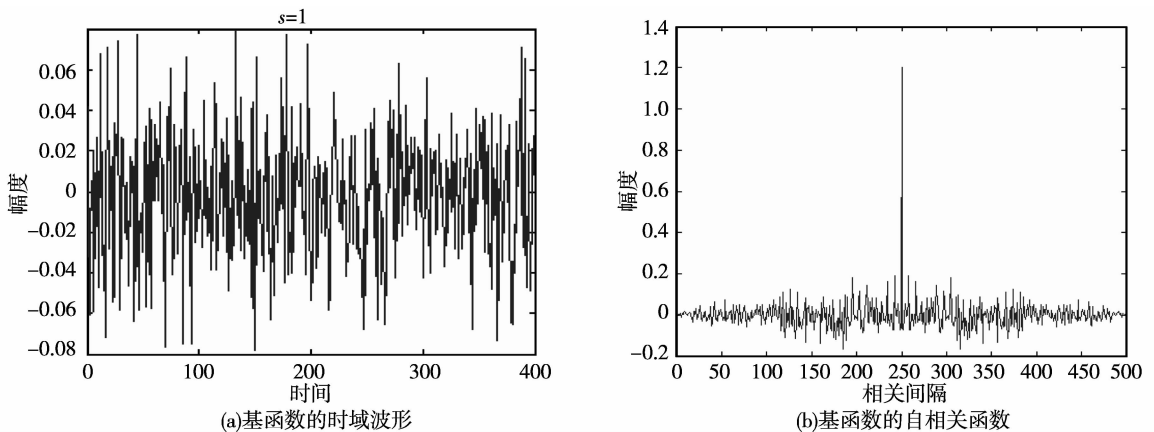


图 3 $s = 1$ 时的基函数时域波形和自相关函数

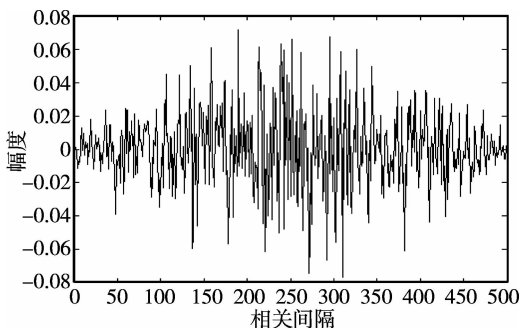


图 4 m 序列生成的基函数之间的互相关函数

重要, 良好的互相关函数(互相关值小)是多址应用的关键。

3 利用混沌序列产生随机相位

利用 m 序列的方式来产生随机相位存有的主要问题有 2 个, 一个 m 序列的数量较少, 不能满足大量用户的多址通信需要, 二是 m 序列的互相关特性不好(需进行精心挑选互相关性能好的不同 m 序列), 多址应用时会产生相互干扰。为了解决上述 2 个问题, 用混沌序列来构成随机相位产生器。混沌序列具有良好的噪声特性, 并具有理想的其自相关

在多址应用的情况下, 互相关特性将变得非常

和互相关特性。通过不同初值的迭代可产生大量不同的随机序列,便于多址应用。笔者采用改进型 Logistic 映射^[13]定义由式(2)给出

$$x_{n+1} = 1 - 2(x_n)^2 - 1 < x_n < 1, \quad (2)$$

序列的自相关函数

$$R(m) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_k x_{k+m} - \bar{x} = \begin{cases} 0.5, & m = 0, \\ 0, & m \neq 0, \end{cases} \quad (3)$$

式中 \bar{x} 为均值。

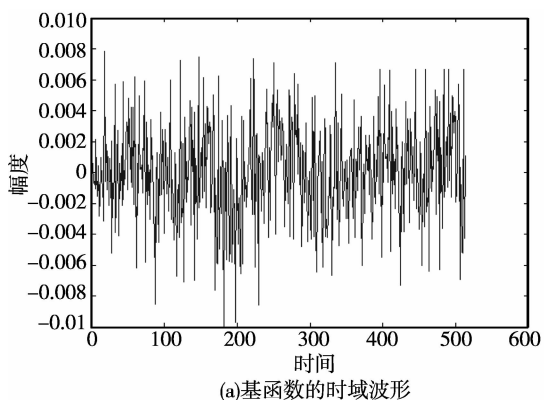
序列的互相关函数

$$R_{1,2}(m) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} (x_{1k} - \bar{x})(x_{2(k+m)} - \bar{x}) = 0. \quad (4)$$

满映射混沌序列的值在 $(-1, 1)$ 内均匀分布,为了数字化应用,对其进行二值量化处理,即

$$y_k = \begin{cases} 0, & x_k < 0, \\ 1, & x_k \geq 0. \end{cases} \quad (5)$$

生成二值序列 y_k , 利用 y_k 进行相位映射。



(a)基函数的时域波形

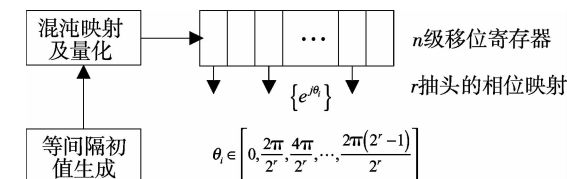
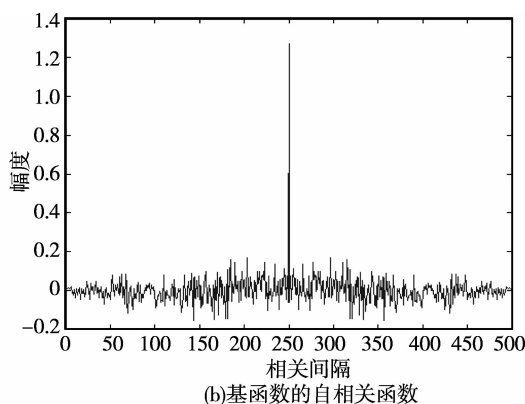


图5 基于混沌的随机相位产生器

对于混沌序列来说,不同的初值,其产生的序列不同,可以利用不同的初值产生的混沌序列分配给不同的用户,作为多址接入的地址码。采用等间隔的方式来生成初值序列。同时,由于混沌序列是无限长的,因此要产生 2^r 个复值随机相位,可将产生的混沌序列依次移位进 n 级移位寄存器,选取 n 级移位寄存器中的 r 个抽头构成随机相位映射器如图5所示。

取 $N = 256$, 在随机产生一个幅度矢量的情况下,利用混沌映射产生 2 个基函数,其中一个基函数的时域波形和自相关函数如图6所示,2 个基函数间的互相关函数如图7所示。



(b)基函数的自相关函数

图6 混沌序列产生基函数的时域数波形和自相关函数

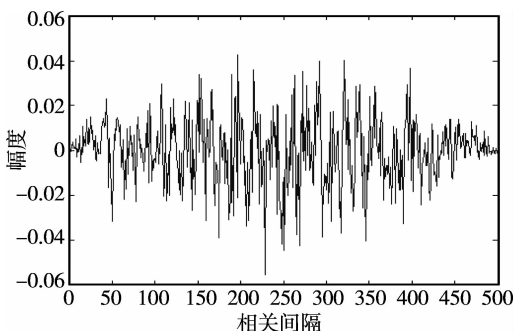


图7 不同混沌序列产生的基函数的互相关函数

4 结论

通过仿真,将利用 m 产生随机相位和利用混沌映射产生随相位的基函数进行对比,有如下结论:

1) 利用 m 和混沌映射所产生的函数的自相关函数均具有理想的特性,它们均能适应 TDCS 中产生类噪声的函数要求,利用此特性可实现 CSK 调制数据。

2) 仿真分析表明,基于混沌映射所产生的基函数之间互相关特性稍好于基于 m 序列所产生的基函数之间的互相关特性。通过大量仿真得出的结论是混沌序列之间的互相关性好于不同 m 序列之间的互相关性,从图4、7也可直观地看出,基于混沌映射函数的相关函数最大值(0.06)小于基于 m 序列基函数互相关函数的最大值(0.08),这有利用多址应用。图4所示的2个满足 m 序列优选对的情况,若不满足 m 序列优选对条件,它们之间的互相关值将要大得多。

3) 利用不同的 m 序列产生不同的基函数数量

有限,而利用混沌映射产生的函数数量非常巨大,这也是能够多址应用的一个关键。

4)混沌映射的方法比 m 序列的方法要复杂。不过随着数字技术的发展,产生数字混沌映射亦是一个简单的问题。

参考文献:

- [1] HAYKIN S. Cognitive Radio: brain-empowered wireless communications [J]. IEEE JSAC, 2005, 23(2): 201-2020.
- [2] CHAKRAVARTHY V. Cognitive radio-an adaptive waveform with spectrum sharing capability [J]. IEEE Connu. Society/WCNC, 2005:724-729.
- [3] HUAN C, WANG J, GONG S P, et al. Detection and performance of the OFDM-based transform domain communication system [J]. Communications, Circuits and Systems Proceedings, 2006(25):1332-1336 .
- [4] CHAKRAVARTHY V, NUNEZ A S, STEPHENS J P. TDCS, OFDM, and MC-CDMA: a brief tutorial [J]. IEEE Communications, 2005,(43):11-15.
- [5] HAKER M, RICHARD K, CHAKRAVARTHY V. Comparison of hardware implementation of domain communications to theoretical results [C] // Military Communications Conference. Orlando: MILCOM, 2007:1-7.
- [6] ROBERTS M L, TEMPLE M A, RAINES R A. Transform domain communications: interference avoidance and acquisition capabilities [C] // National Aerospace and Electronics Conference. Dayton: NAECON, 2000 (10): 610-617.
- [7] HAN C, WANG J, GONG S P. Performance of the OFDM-based transform domain communication system in cognitive radio contexts [J]. Elsevier Computer Networks Journal, 2008, 52(4):795-815.
- [8] WANG C D, ZHANG Z P, LI S Q. Interference avoidance using fractional fourier transform in transform domain communication system [C] // Advanced Communication Technology, the 9th International Conference. Phoeinx: ICACT, 2007 (3): 1756-1760.
- [9] WANG C D, ZHANG Z P, LI S Q. Transform domain communication system based on random-ambiguity and fractional fourier transform [C] // 2006 6th International Conference. Chengdu:ITS Telecommunications Proceedings, 2006 :194-197.
- [10] LIU J Y, SU Y T. Performance analysis of transform domain communication systems in the presence of spectral mismatches [C] // Military Communications Conference. Orlando:MILCOM, 2007:1-5.
- [11] ROBERTS M L, TEMPLE M A, RAINES R A. Initial acquisition performance of a transform domain communication system: modeling and simulation results [C] // MILCOM 2000. Los Angeles:[s. n.], 2000,10:22-25.
- [12] TEMPLE M A, RAINS R A, MAGEE E P. Performance simulation of a transform domain communication system for multiple access applications [C] // MILCOM 1999. [S. l.]: Piscatawy,1999, (2):1055-1059.
- [13] 李辉. 混沌数字通信 [M]. 北京:清华大学出版社, 2006.

(编辑 侯 湘)