

基于 Chua 电路的混沌通信技术*

Chaotic Communication Techniques Based on Chua's Circuit

覃团发 姚海涛 林 磊 陈光旨**
Qin Tuanfa Yao Haitao Lin Xi Chen Guangzhi

(广西大学计算机与信息工程学院 南宁市西乡塘路 10号 530004)
(College of Comp. & Info. Eng., Guangxi Univ.,
10 Xixiangtanglu, Nanning, Guangxi, 530004, China)

摘要 研究驱动响应式 Chua 电路混沌同步的特性;设计双信道的数据混沌保密通信系统,实现语音、图像的混沌保密通信。基于 Chua 电路,设计一种混沌扩频序列发生器,并分析其产生的混沌扩频序列的统计特性。

关键词 Chua 电路 驱动响应同步 混沌扩频序列 混沌保密通信

中图法分类号 TN 918; O 414

Abstract The properties of drive-response chaotic synchronization based on Chua's circuit are investigated. A data chaotic secure communication system with two channels is designed, and then speech, image chaotic secure communication are achieved. We design a kind of chaotic spread sequences generator based on Chua's circuit, analyze the statistical properties of chaotic spread sequences generated with the generator.

Key words Chua's circuit, drive-response synchronization, chaotic spread sequences, chaotic secure communication

自从 Ott, Grebogi, Yorke 在控制混沌^[1]和 Pecora, Carroll 在混沌同步^[2]做了开创性的工作,拉开了利用混沌的序幕。混沌的应用领域从物理学迅速扩大到电子学、生物学、信息学、通信等。由于混沌通信具有十分重要的理论意义和重大的现实意义,倍受电子工业界的关注,成为当前该领域的前沿研究热点之一^[3]。利用混沌信号具有类似噪声的统计特性和混沌同步功能,人们一方面研究混沌同步的保密通信^[4,5],另一方面研究产生混沌扩频序列实现混沌扩频通信^[6,7]。

由于 Chua 电路^[8]是能产生混沌现象的一个真实物理系统。本文利用 PSPICE 软件仿真一个驱动响应式 Chua 混沌同步系统,分析同步性能;设计一个双信道的数据混沌保密通信系统,并给出语音、图像通信的实验结果。基于 Chua 电路,设计一种混沌扩频序列发生器,分析其产生的混沌扩频序列的统计特性。

1 Chua 电路及其特性

Chua 电路是一个 3 阶自治振荡系统,如图 1 所示。由两个线性电容 C_1 和 C_2 、一个线性电感 L 、一个线性电阻 R 和一个称之为 Chua 二极管的非线性电阻 N_R 组成。电路的状态方程为

$$\begin{cases} C_1 \frac{dV_1}{dt} = \frac{V_2 - V_1}{R} - f(V_1), \\ C_2 \frac{dV_2}{dt} = \frac{V_1 - V_2}{R} + i_L, \\ L \frac{di_L}{dt} = -V_2, \end{cases} \quad (1)$$

式中 V_1, V_2 和 i_L 分别是电容 C_1, C_2 两端电压和流过电感 L 的电流, $f(V_1)$ 是描述非线性电阻 N_R 的 $i-V$ 特性折线多项式。

$$f(V_1) = m_0 V_1 + \frac{1}{2} (m_1 - m_0) [|V_1 + B_p| - |V_1 - B_p|], \quad (2)$$

其中 m_0 和 m_1 分别表示 $i-V$ 特性内外折线的斜率, B_p 为折线点电压,如图 2

实验中电路参数选取:

$$C_1 = 0.0055 \mu\text{F}, C_2 = 0.0495 \mu\text{F}, L = 7.07 \text{ mH}, R = 1.428 \text{ k}\Omega, m_0 = -0.5, m_1 = -0.8, B_p = 1 \text{ V}$$

2000-07-24 收稿。

* 广西自然科学基金资助项目(桂科自 9912005),广西教育厅资助项目(桂科[1998]334)。

** 广西大学物理系,南宁市西乡塘路 10 号,530004 (Dept. of Phys., Guangxi Univ., 10 Xixiangtanglu, Nanning, Guangxi, 530004, China)

用 PSPICE对电路进行仿真,得到 $V_1 - V_2$ 相平面图如图 3所示 根据所给定的参数计算方程 (1)的 Lyapunov 指数为

$$\lambda_1 = 4.2, \lambda_2 = -0.6, \lambda_3 = -5.7,$$

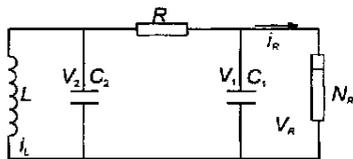


图 1 Chua 电路

Fig. 1 Chua's circuit

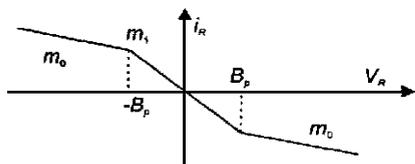


图 2 Chua二极管特征曲线

Fig. 2 Negative resistance I-V characteristic

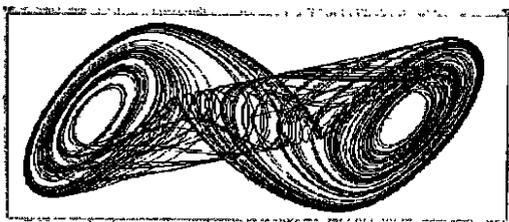


图 3 PSPICE电路仿真 $V_1 - V_2$ 相图

Fig. 3 $V_1 - V_2$ Trajectory on phase plane of circuit simulation by PSPICE

3个 Lyapunov指数有一个为正,这表明 Chua电路处于混沌状态

为了方便讨论,引入下列参量:

$$x = \frac{V_1}{B_p}, y = \frac{V_2}{B_p}, z = \frac{Ri_r}{B_p}, f = \frac{t}{RC_2}, a = m_1 R,$$

$$b = m_0 R, T = \frac{C_2}{C_1}, U = \frac{C_2 R^2}{L},$$

则 Chua电路状态方程 (1) 改成无量纲形式:

$$\begin{cases} \dot{x} = T[y - x - f(x)], \\ \dot{y} = x - y + z, \\ \dot{z} = -Uy, \end{cases} \quad (3)$$

其中 $f(x) = bx + \frac{1}{2}(a - b)(|x + 1| - |x - 1|)$

2 驱动响应式 Chua电路混沌同步通信系统及其性能

设计一个驱动响应式 Chua电路混沌同步通信系统如图 4其发射系统(驱动系统)方程式为 (3),接收子系统(响应子系统)方程为

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = r(t) - y_1 + z_1, \\ \dot{z} = -Uy_1. \end{cases} \quad (4)$$

当发射系统无外加信号时, $r(t) = x(t)$,两系统从不同的初始状态出发,经过一段时间能完全同步,即 $x_1(t) = x(t)$ 当系统有外加信号 $s(t)$ 时,响应系统的驱动信号不再是主系统发出的混沌信号 $x(t)$,而是输入信号 $s(t)$ 与 $x(t)$ 之和,即 $r(t) = s(t) + x(t)$,只有 $s(t) \ll x(t)$,主从系统能达到较好的同步,这时 $x_1(t) \approx x(t)$,恢复出来的信号 $s'(t) \approx s(t)$

利用 PSPICE软件对图 4的混沌同步通信系统进行实验,得到如下结论:

(i) 驱动响应系统的所有元器件参数相同,则不论两系统初始值如何,很快达到完全同步。当两系统的元器件参数有 5% 以下误差时,同步性能仍很好,因此驱动响应式 Chua电路混沌同步具有一定的鲁棒性

(ii) 当驱动信号在传输过程中有衰减时,系统仍能很好同步。这性质对实际系统是十分重要的。

(iii) 对于加性噪声干扰,当驱动信号信噪比较大时,用 PSPICE仿真时,我们选择驱动信号的信噪比在 10 dB到 40 dB,噪声相当于一个信号源,混沌同步通信系统实际上是对噪声源进行混沌掩蔽通信,混沌同步电路仍能很好工作。

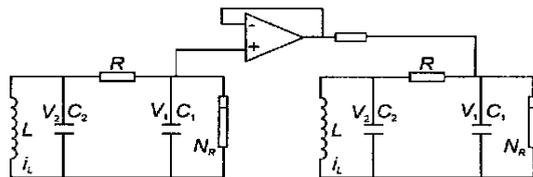


图 4 驱动响应式 Chua电路混沌同步通信系统

Fig. 4 Drive-response chaotic synchronization communication system

3 驱动响应式 Chua电路混沌同步的数据保密通信系统

图 5是我们设计基于驱动响应式 Chua电路混沌同步的数据保密通信系统框图 这一通信系统不仅能对小信号进行保密通信,而且对大信号也适用 以前所有文献报道基于驱动响应混沌保密通信系统只适合于小信号。

我们设计的数据保密通信模型,采用两个信道模拟信道传送混沌驱动信号,使发射系统和接收系统保持同步。对发射系统的驱动信号 x 经模数变换 (A/D) 与数字语音和数字图像等数字信号 m_i 进行模二加形式进行加密,然后通过数字信道传输到接收系统 在接收系统对 x_1 进行 (A/D) 变换,与从数字信道来的数据进行模二加而得到解密信号 m'_i ,此模型系统能处在同步状态,因此 m'_i 必定与 m_i 一致,在这通

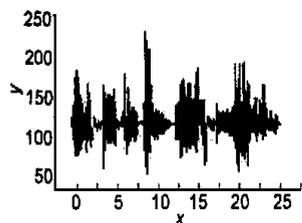
信系统中两信道传送的都是类随机信号,并且一个是模拟信号,另一为数字信号,具有隐蔽性,这通信系统工作是十分稳定和可靠的。



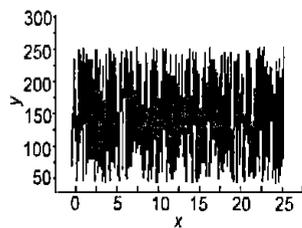
图 5 驱动响应式 Chua 电路混沌同步数据保密通信系统

Fig. 5 A data secure communication system of drive-response chaotic synchronization communication system

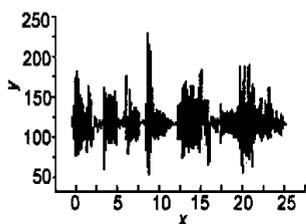
基于图 5 的通信系统,实验结果如下,图 6 (a) 是 44 k Hz 采样率, 16 bit 量化, 内容为“你的电子信箱中有信件吗?”的语音信号波形, 图 6 (b) 为加密后的语音信号波形, 图 6 (c) 是解密的语音信号波形。从听感上来看, 加密的语音是一片噪声, 恢复的语音质量与原始语音十分接近。



(a)



(b)



(c)

图 6 (a) 加密前语音波形; (b) 加密后语音波形; (c) 解密后语音波形

Fig. 6 (a) Original speech wave; (b) Encrypted speech wave; (c) Recovered speech wave

图 7 (a) 是一幅图像, 图 7 (b) 是加密后的图像, 图 7 (c) 为解密后得到的图像。从视觉的感觉来评价, 图 7 (a) 与图 7 (c) 是一样的。

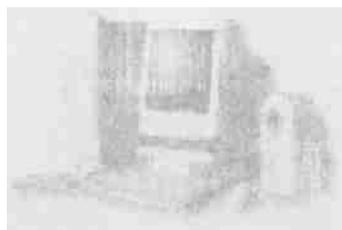
实验结果表明驱动响应 Chua 电路混沌同步的数据保密通信系统是可靠的, 保密效果很好。



(a)



(b)



(c)

图 7 (a) 加密前图像; (b) 加密后图像; (c) 解密后图像

Fig. 7 (a) Original image; (b) Encrypted image; (c) Recovered image

4 基于 Chua 电路产生的混沌扩频序列

扩频通信技术是一种信息传输方式, 采用伪随机编码调制和相关处理解调, 具有在低功率谱密度下工作, 抗干扰, 抗多径衰落, 多址能力强, 频谱利用率高, 在民用移动通信、军事通信、卫星通信等都得到越来越广泛的应用。正在发展中的宽带无线局域网, 第三代移动通信系统都是采用扩频技术。基于扩频技术的 CDMA 将是未来无线通信中最主要的多址接入手段。发展扩频通信系统要做的第一件事就是产生噪声式信号。研究表明传统的伪随机码扩频序列存在复杂度低, 保密性差等缺点, 并且相关特性较好的伪随机序列数量极其有限。利用混沌产生扩频序列是目前国际研究的热点之一^[6,7]。

基于 Chua 电路的混沌扩频序列发生器如图 8 所示。我们以比混沌振荡主导频率低得多的频率对 V_1 信号进行抽样得到相应的混沌序列 d_k , 将抽样值延迟与 d_k 进行差分得到序列 c_k , 对 c_k 进行一比特量化, $c_k > 0$ 置输出为 1, $c_k < 0$ 置输出为 0, 这样得到二元序列 a_k 。当 a_k 的长度为 976 时, 1 的个数为 489, 0 的个数

为 487;当 a_k 的长度为 9765 时, 1 的个数为 4877, 0 的个数为 4888 在误差范围 1 和 0 的个数基本相等, 满足伪随机特性。 a_k 的自相关函数特性和互相关函数特性如图 9 和图 10

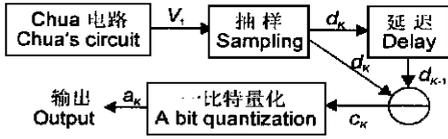


图 8 基于 Chua 电路的扩频序列发生器模型

Fig. 8 A chaotic spread sequences generator based on

Chua's circuit

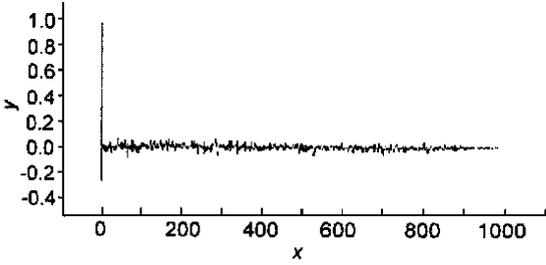


图 9 自相关特性

Fig. 9 Auto-correlation

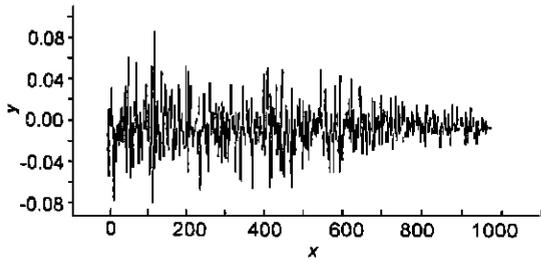


图 10 互相关特性

Fig. 10 Cross-correlation

基于 Chua 电路产生的混沌扩频序列存在尖锐的自相关, 具有函数的特性, 其互相关值很接近于零。

与 m 序列和 Gold 序列相比, 混沌扩频序列同样具有较为理想的自相关特性和互相关特性。通过改变初条件或系统参数就能产生数目众多的混沌扩频序列, 因此混沌扩频序列对于未来大容量的 CDMA 通信系统是十分有前途的

参考文献

- Ott E, Grebogi C, Yorke J A. Controlling chaos. Phys Rev Lett, 1990, 64 (11): 1196~ 1199.
- Pecora L M, Carroll T L. Synchronization in chaotic systems. Phys Rev Lett, 1990, 64 (8): 821~ 824.
- Kennedy M P, Ogorzalek M J. Special issue on chaos synchronization and control theory and application. IEEE Trans on CAS, 1997, 44 (10). 853~ 1039.
- Kolumban G, Kennedy M P, Chua L O. The role of synchronization in digital communication using chaos-part I, Fundamentals of digital communication. IEEE Trans on CAS-I, 1997, 44 (10): 927~ 935.
- Kolumban G, Kennedy M P, Chua L O. The role of synchronization in digital communications using chaos-part II: chaotic modulation and chaotic synchronization. IEEE Trans on CAS-I, 1998, 48 (11): 1129~ 1140.
- Mazzini G, Setti G, Rovatti R. Chaotic complex spreading sequences for asynchronous DS-CDMA-part I: system modeling and results. IEEE Trans on CAS-I, 1997, 44 (10): 937~ 947.
- Rovatti R, Setti G, Mazzini G. Chaotic complex spreading sequences for asynchronous DS-CDMA-part II: some theoretical performance bounds. IEEE Trans on CAS-I, 1998, 45 (4): 496~ 506.
- Matsumoto T, Chua L O, Komuro M. The double scroll. IEEE Trans on CAS-I, 1985, 32 (8): 797~ 818.

(责任编辑: 黎贞崇)

世界上石山植物标本最多的植物标本馆 ——广西植物研究所标本馆

广西植物研究所标本馆座落在风景如画的山水城市——桂林。位于桂林市的南部, 距市中心 24 km 标本馆现有建筑面积 2 000 m², 馆藏标本 40 万份标本约 13 000 种, 该馆收藏的标本以广西、华南、西南地区为主, 其中属于广西分布的 8354 种, 尤其是以石灰岩石山植物标本为特色, 现收集的石山植物标本达 2 余万份, 居世界首位 除此之外, 该馆还收藏有全国各省区及美国、英国、日本、越南、新西兰及印度尼西亚的植物标本, 最早的标本采自 1901 年。这些植物标本对中国及东南亚植物区系的研究以及植物学各分支学科的研究起到了不可替代的作用, 也为该地区的经济建设及植物资源的合理开发利用及保护作出了重要贡献 目前以此为基础 (或部分为基础) 撰写出版的植物学专著有《广西植物志》(第 1 卷)、《中国植物志》第 31 卷、《中国植物志》第 52 卷 2 分册、《中国植物志》第 40 卷 2 分册、《中国高等植物图鉴补编》第 1 2 卷、《中国种子植物科属辞典》修订版、《中国树木志》第 1 2 卷、《国家濒危珍稀植物图册》等。该馆的规模在全国植物标本馆 (室) 的排列中居第七位, 在华南及华中地区居第二位。《世界植物标本馆索引》的几个版本均收录该馆 (国际代号 IBK), (本刊编辑部)