

基于正反相同步的混沌调制^{*}

蔡新国¹, 罗锡璋¹, 丘水生²

(1. 中山大学电子与通讯工程系, 广东 广州 510275;

2. 华南理工大学电子与通信工程系, 广东 广州 510640)

摘 要: 提出一种利用混沌信号进行通信的新方法, 把要传送的数字脉冲信号与发送端的混沌信号相乘后送到接收端, 在接收端利用混沌系统正反相同步的原理, 对接收到的混沌信号进行相位识别, 最后将原始的数字信号解调出来。

关键词: 混沌; 蔡氏电路; 反相同步

中图分类号: TN911.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2001) 06-0007-04

近 20 年来, 混沌学的研究取得了很大的进展, 特别是 90 年代在混沌同步研究方面的突破, 使混沌通信的研究进入了一个新时期^[1~3]. 在模拟通信方面, 有传统的信息掩埋技术^[2]和参数调制方法^[4], 而在数字通信方面, 利用混沌载波键控^[5]以及不稳定周期轨迹来进行二进制数字编码. 另外, 用混沌码序列进行扩展频谱通信也有着广阔的发展前景. 在这里, 我们提出一种利用混沌信号进行通信的新方法. 我们知道, 一般意义上的混沌同步是指两个混沌系统的混沌状态在相位上保持一致, 即同相. 如果将一个混沌系统的混沌状态与另一个混沌系统保持反相, 这就是另外一种意义上的混沌同步, 即反相同步. 如果对于同一对混沌系统, 同步方式是在同相同步与反相同步之间不断地转换, 那么就可以利用这种现象进行数字信号的传输. 具体地讲, 就是将要传送的数字信号与发送端的混沌信号相乘后送到接收端, 在接收端根据混沌信号的相位将原始的数字信号解调出来。

1 混沌系统的正反相同步

对于基于蔡氏电路的同相同步系统可用以下微分方程表示:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = [(y_1 - x_1)/R - f(x_1)]/C_1 \\ \dot{y}_1 = [(x_1 - y_1)/R + z_1]/C_2 \\ \dot{z}_1 = -y_1/L \\ \dot{x}_2 = [(y_2 - x_2)/R - f(x_2)]/C_1 - k \cdot (x_2 - x_1) \\ \dot{y}_2 = [(x_2 - y_2)/R + z_2]/C_2 \\ \dot{z}_2 = -y_2/L \end{cases}$$

这里, $f(x) = bx + 0.5(a - b)[|x + 1| - |x - 1|]$, $a = -0.753 \text{ ms}$; $b = -0.396 \text{ ms}$;

在以上系统中, $L = 18 \text{ mH}$; $C_1 = 10 \text{ nF}$; $C_2 = 100 \text{ nF}$; $R = 1680 \Omega$.

基于以上定义的两个蔡氏电路将会达成同步, 也就是对于耦合系数 $k > 0.5$, 两个系统的状态解将逐渐地相互靠近. 混沌系统同相同步的计算机仿真结果如图 1a 所示.

如果在上述同步系统中, 将主系统的耦合信号经过反相后, 作为同步控制信号控制从系统, 那么, 混沌同步系统同样会达成同步, 所不同的是主系统和从系统的混沌状态反相. 反相混沌同步系统可由以下微分方程描述:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = [(y_1 - x_1)/R - f(x_1)]/C_1 \\ \dot{y}_1 = [(x_1 - y_1)/R + z_1]/C_2 \\ \dot{z}_1 = -y_1/L \\ \dot{x}_2 = [(y_2 - x_2)/R - f(x_2)]/C_1 - k \cdot (x_2 + x_1) \\ \dot{y}_2 = [(x_2 - y_2)/R + z_2]/C_2 \\ \dot{z}_2 = -y_2/L \end{cases}$$

反相混沌同步系统的同步计算机仿真结果如图 1b 所示. 从同步原理和仿真结果来看, 混沌系统的反相同步与同相同步在本质上是一样的. 反映在混沌吸引子方面, 就是主从混沌系统的相轨在双涡旋吸引子的不同涡旋中对称地运动, 主从系统的混沌状态没有本质的区别.

2 基于正反相同步的混沌调制

在本文的前面对混沌系统的同相和反相同步

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (B5-106-191)

收稿日期: 2001-12-19; 作者简介: 蔡新国 (1966-), 男, 博士后; 通讯联系人: 罗锡璋.

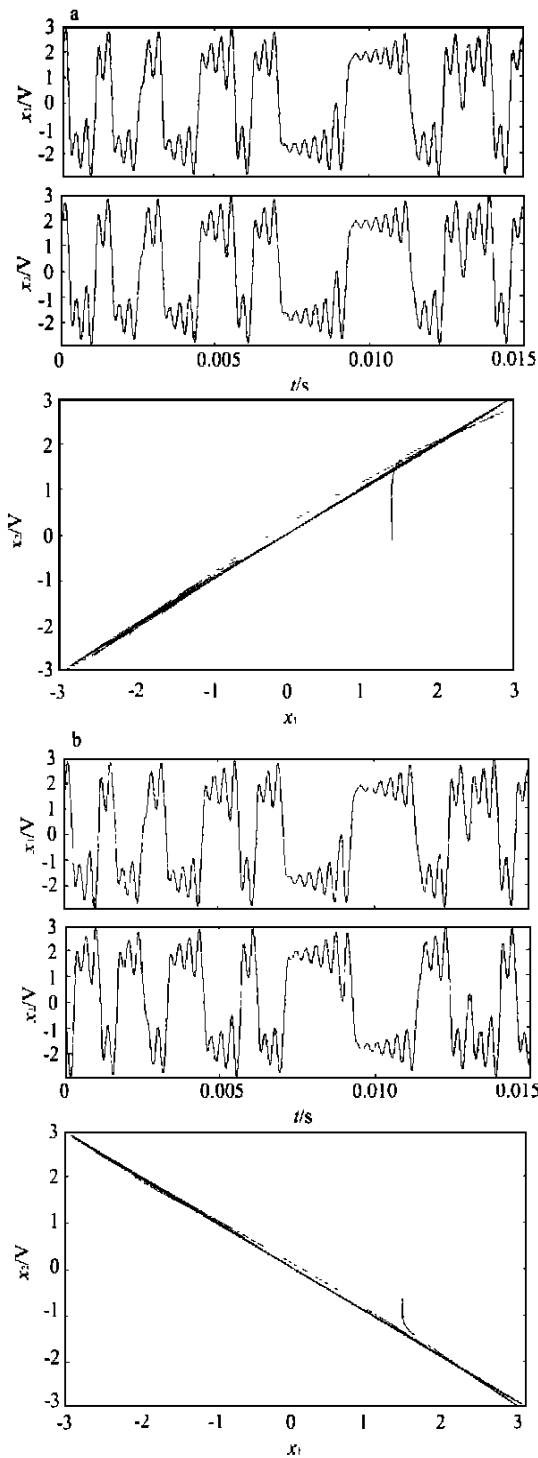


图 1 混沌系统的同相同步和反相同步
Fig. 1 In-phase synchronization and anti-phase synchronization of chaotic system

做了研究, 结果表明, 在混沌同步系统中, 从系统的混沌状态无论是与主系统同相, 还是主系统反相, 都能保持良好的同步效果. 那么再进一步, 对于同一混沌同步系统, 能不能交替实现同

相同步和反相同步呢? 如果可以, 那么就可以将同相同步和反相同步代表不同的二进制数字状态, 利用混沌系统进行数字信号的传输. 这样, 就可以给出基于正反相同步的混沌调制与解调系统, 该系统的发送端和接收端可有以下微分方程描述:

发送端系统为

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = [(y_1 - x_1)/R - f(x_1)]/C_1 \\ \dot{y}_1 = [(x_1 - y_1)/R + z_1]/C_2 \\ \dot{z}_1 = -y_1/L \\ r(t) = s(t) \circ x_1(t) \end{cases}$$

这里, $f(x) = bx + 0.5(a - b)[|x + 1| - |x - 1|]$, $a = -0.753 \text{ ms}$; $b = -0.396 \text{ ms}$; $s(t)$ 为代表原始数字信号的方波脉冲信号, $f = 1 \text{ kHz}$, 高电平为 1 V , 低电平为 -1 V . $r(t)$ 为发送端输出信号, 即经过脉冲信号调制(正反相调制)后的信号.

接收端系统为

$$\begin{cases} re(t) = r(t) \circ \text{sign}(r(t) \circ x_2(t)) \\ \dot{x}_2 = [(y_2 - x_2)/R - f(x_2)]/C_1 - k \circ (x_2 - re(t)) \\ \dot{y}_2 = [(x_2 - y_2)/R + z_2]/C_2 \\ \dot{z}_2 = -y_2/L \end{cases}$$

式中, $re(t)$ 为接收端混沌控制信号, k 为耦合系数, $\text{sign}(x)$ 为符号函数

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}$$

接收端最后的解调输出为

$$v_o(t) = \text{sign}(r(t) x_2(t))$$

3 基于正反相同步的混沌调制的仿真

对以上的系统利用 MATLAB 进行了计算机仿真, 在仿真中采用以下的元件值: $L = 18 \text{ mH}$; $C_1 = 10 \text{ nF}$; $C_2 = 100 \text{ nF}$; $R = 1680 \Omega$. 在这里, 原始调制信号采用频率为 1 kHz 的方波脉冲信号, 高电平为 1 V , 低电平为 -1 V . 具体仿真结果如图 2 所示. 图 2a 和图 2c 所示为混沌电路发送端和接收端波形, $x_1(t)$ 为发送端混沌电路波形, $x_2(t)$ 为接收端混沌电路波形, $s(t)$ 为发送端原始调制信号波形, $r(t)$ 为发送端输出的经调制后的发送信号波形. 图 2b 和图 2d 所示为调制信

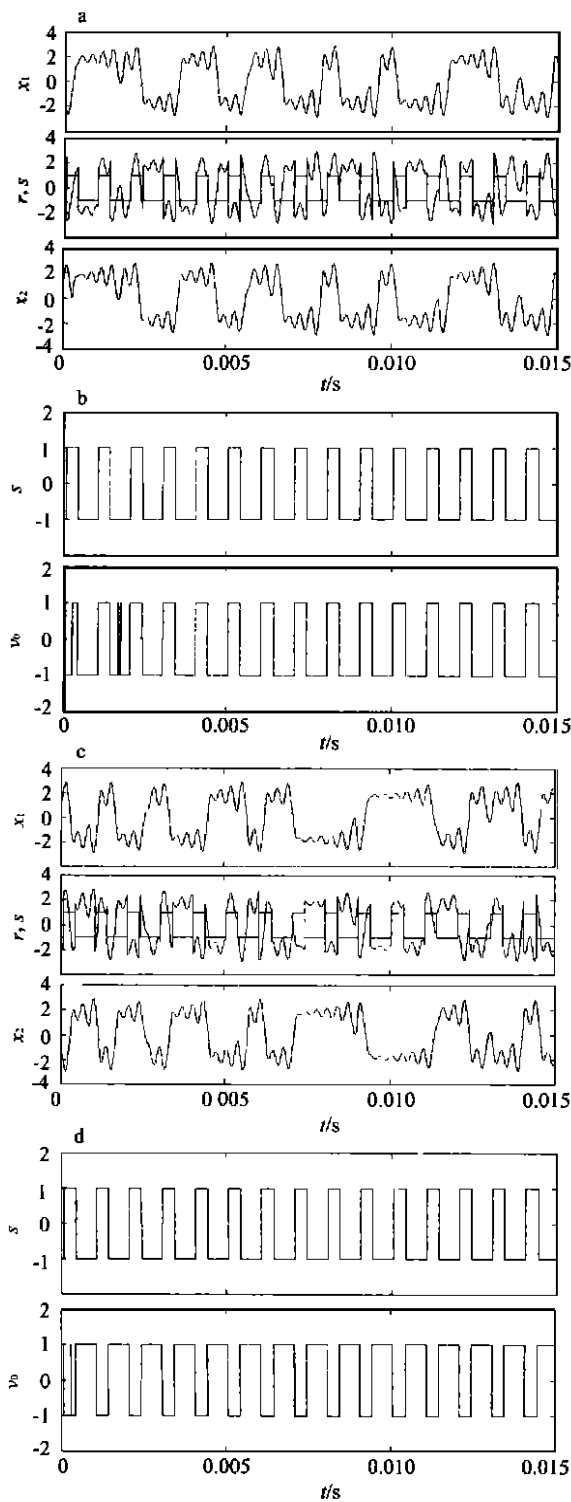


图 2 基于正反相同步的混沌调制仿真结果
Fig 2 Simulating results of chaotic modulation based on in phase and anti phase synchronization

号和解调信号, $s(t)$ 为发送端调制信号波形, $v_0(t)$ 为接收端输出的最终解调信号。

从以上图形所示的仿真结果可以看出, 在图

2a 和图 2b 中发送端调制信号与接收端解调信号同相, 而在图 2c 和图 2d 中, 发送端调制信号与接收端解调信号反相, 出现这种情况的原因是由于在两次仿真中整个系统的初始值不同, 在图 2a 和图 2b 的仿真中, 系统所取的初始值为: $x_1(t) = -1.2\text{ V}$; $y_1(t) = -0.2\text{ V}$; $z_1(t) = 0\text{ A}$; $x_2(t) = 0.5\text{ V}$; $y_2(t) = 0.4\text{ V}$; $z_2(t) = 0\text{ A}$, 在图 2c 和图 2d 的仿真中, 系统所取的初始值为: $x_1(t) = 1.4\text{ V}$; $y_1(t) = -0.2\text{ V}$; $z_1(t) = 0\text{ A}$; $x_2(t) = -0.5\text{ V}$; $y_2(t) = 0.4\text{ V}$; $z_2(t) = 0\text{ A}$ 。

从仿真中可以看到, 这种混沌通信方法能有效地将原始脉冲数字信号调制到混沌系统中, 并在接收端可以解调出良好的输出信号。该系统的关键在于很好地利用了混沌同步系统在同步时的状态连续性, 在接收的混沌信号相位变化时, 接收端能够准确地识别, 并及时地调整同步方式 (同相同步或反相同步), 使整个系统持续不断地保持同步。反映系统同步情况的同步相图如图 3 所示。图中的横线是由于系统在同相同步与反相同步之间不停转换时形成的。

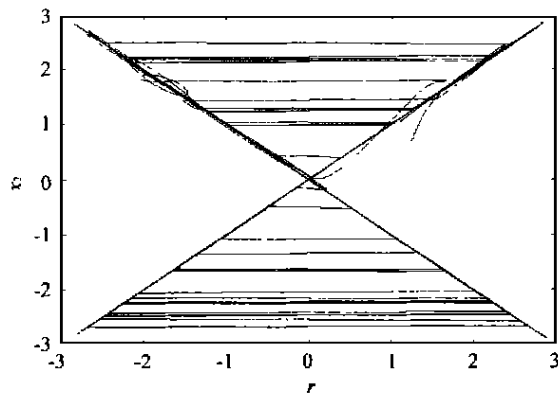


图 3 混沌正反相同步相图
Fig 3 Synchronization phase plot of in phase and anti phase synchronization

4 结 论

本文提出了一种将混沌电路应用于通信的新型调制方法, 这种方法与以前的混沌调制方法相比, 具有非常明显的新特点, 它结合了混沌载波键控调制和二进制相移键控的特点, 并且充分利用了混沌系统正反相同步及混沌同步持续性的特性, 理论简单明了, 容易实现, 具有明显的新意, 同时也取得了良好的计算机仿真结果, 在混沌调制研究领域开辟了一个新途径。

参考文献:

- [1] PECORA L M, CARROLL T L. Synchronized chaotic signals and systems[J] . Proc IEEE ICASSP, 1992: 137.
- [2] 钟国群. 蔡氏电路混沌同步保密通讯[J] . 电路与系统学报, 1996, 1(1): 19—29.
- [3] 丘水生. 奇异吸引子的细胞模型建立[J] . 华南理工大学学报, 1996, 24(6): 134—137.
- [4] NED J C, DANIEL W H. A new approach to communications using chaotic signal[J] . IEEE Trans on Circuits and Systems-I , 1997, 44(5): 373—382.
- [5] DEDIEU H, KENNEDY M P, HASLER M. Chaos shift keying: Modulation and demodulation of a chaotic carrier using self-synchronizing Chua's circuits[J] . IEEE Trans on Circuits and Systems-II , 1993, 40(10): 634—642.
- [6] VOIKOVSKII A. Synchronization of chaotic systems using phase control[J] . IEEE Trans on Circuits and Systems-I , 1997, 44(10): 913—917.
- [7] ROSENBLUM M S, PIKOVSKY A S, KURTHS J. Phase synchronization in driven and coupled chaotic oscillators[J] . IEEE Trans on Circuits and Systems-I , 1997, 44(10): 874—881.
- [8] CHUA L O, YAO Y Q. Generating randomness from chaos and constructing chaos with desired randomness[J] . Int J Circuit Theory and Applications, 1990, 215—240.
- [9] SILVA C. Shilnikov theorem - a tutorial[J] . IEEE Trans on CAS-I , 1993, 40(10): 675—682.

The Chaotic Modulation Based on the In phase and Anti phase Synchronization

CAI Xin-guo¹, LUO Xi-zhang¹, QIU Shui-sheng²

(1. Department of Electronics and Communication Engineering, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China;

2. Department of Electronic and Communication Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: A new method of communication using chaotic signal is presented. In the sending end of the system, the input pulse signal is modulated with the chaotic signal by a multiplier. In the receiving end of system, the phase recognizing is done to the receiving signal using the theory of in-phase synchronization and anti-phase synchronization, then the original input signal will be obtained.

Keywords: chaos; Chua's circuit; anti-phase synchronization