

基于斜率调制的混沌通信系统¹

蔡新国 丘水生

(华南理工大学电子与通信工程系 广州 510641)

摘要 本文将提出一种利用混沌信号进行通信的新方法, 这种方法是用输入信号对蔡氏电路中的非线性电阻的电导值进行调制, 在接收端再用相反的方法将原始信号解调出来. 本文将给出电路的基本形式和电路仿真结果.

关键词 混沌信号, 蔡氏电路, 斜率调制

中图分类号 TN918

1 引言

1983 年蔡氏电路的发明, 开创了混沌研究的新纪元, 掀起了混沌研究的新高潮. 然而, 真正利用混沌进行通信, 则必须解决混沌系统的同步问题. 近年来, Pecora 和 Carroll 的研究结果表明, 在一个混沌信号的驱动下, 两个 (或以上) 结构相同的混沌系统之间可以达到自同步, 这样就出现了直接耦合同步方式^[1-3]. 随着混沌同步概念的提出, 利用混沌进行通信就成为当前混沌研究领域的热点. 在模拟通信方面, 有传统的信息掩埋技术^[2] 和最近出现的参数调制方法^[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, 这种方法是基于蔡氏电路为基础的, 将蔡氏电路中非线性电阻的电导值 ($I-V$ 图中的斜率) 用输入信号进行调制, 在接收端则用相反的方法将原始信号解调出来.

2 斜率调制混沌通信系统

蔡氏电路是一个三维自治振荡系统, 由四个线性元件电感 L , 电阻 R , 电容 C_1, C_2 和非线性电阻 N_R 组成, N_R 称为蔡氏二极管 (Chua's diode). 蔡氏电路可由以下状态方程描述:

$$dV_1/dt = (1/C_1)[(1/R)(V_2 - V_1) - f(V_1)]$$

$$dV_2/dt = (1/C_2)[(1/R)(V_1 - V_2) + I_3]$$

$$dI_3/dt = (V_2/L)$$

式中 $f(V_1) = G_b V_1 + \frac{1}{2}(G_a - G_b)[|V_1 + E| - |V_1 - E|]$ 为非线性电阻 N_R 的特性.

如果在非线性电阻 N_R 上并联一个较小的电导 g , 就会改变非线性电阻 N_R 特性的斜率^[5], 所以我们可以用输入信号 $u(t)$ 去调制电导 g , N_R 的特性就会随着 $u(t)$ 的变化而变化, 而整个蔡氏电路的混沌状态也将会发生连续变化^[4]. 这就意味着此时的混沌信号包含了输入的原始信息. 在接收端将这个变化的斜率信息解调出来, 就能恢复出原始信息. 只要 $u(t)$ 的幅度被控制在一定的范围内, 就不会使电路摆脱混沌状态. 非线性电阻 N_R 的斜率调制特性如图 1 所示. 图中 G_a 和 G_b 分别为未调制时 N_R 的斜率.

¹ 1997-11-04 收到, 1998-07-17 定稿
国家自然科学基金和国家教委博士点基金资助项目

发送和接收端的电路如图 2(a)、2(b) 所示, 输入信号 $u(t)$ 与 C_{S1} 的电压 V_{S1} 通过乘法器相乘, 然后去控制一个电压控制电流源, 这样, 就起到了调制电导的作用。因而混沌电压 V_{S1} 就会随着 $u(t)$ 的变化而变化。

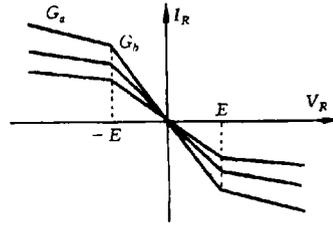


图 1 N_R 的斜率调制特性

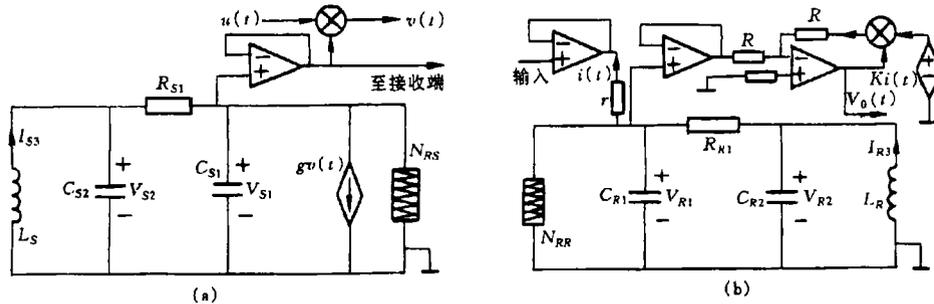


图 2 (a) 斜率调制混沌通信系统发送端 (b) 斜率调制混沌通信系统接收端

在接收端, 电阻 r 的阻值非常小, 可以将其忽略不计。由于与发送端保持混沌同步, 所以混沌电路的电流电压关系与发送端相同, 从电路的分析可以得出, 流过电阻 r 的电流 $i(t)$ 应该与流过发送端的受控电流源 $g \cdot v(t)$ 的电流相同, 即 $g \cdot V_{S1} \cdot u(t)$, 而 $V_{S1} = V_{R1}$, 所以 $i(t) = g \cdot V_{R1} \cdot u(t)$, 这样利用该除法器就可以将原始信息解调出来。在图 3(b) 所示的电路中, 采用反馈式除法器, 以解决零分母的问题。分析图中的电路可得最后解调出来的输出信号电压为: $V_0(t) = g \cdot K \cdot u(t)$ 。

发送端电路的状态方程为

$$\begin{cases} dV_{S1}/dt = (1/C_{S1})[(1/R_{S1})(V_{S2} - V_{S1}) - f(V_{S1}) - gV_{S1}u(t)], \\ dV_{S2}/dt = (1/C_{S2})[(1/R_{S1})(V_{S1} - V_{S2}) + I_{S3}], \\ dI_{S3}/dt = -V_{S2}/L_S; \end{cases}$$

接收端电路的状态方程为

$$\begin{cases} dV_{R1}/dt = (1/C_{R1})[(1/R_{R1})(V_{R2} - V_{R1}) - f(V_{R1}) - i(t)], \\ dV_{R2}/dt = (1/C_{R2})[(1/R_{R1})(V_{R1} - V_{R2}) + I_{R3}], \\ dI_{R3}/dt = -V_{R2}/L_R; \end{cases}$$

式中

$$\begin{aligned} f(V_{S1}) &= G_b V_{S1} + (1/2)(G_a - G_b)[|V_{S1} + E| - |V_{S1} - E|] \\ f(V_{R1}) &= G_b V_{R1} + (1/2)(G_a - G_b)[|V_{R1} + E| - |V_{R1} - E|] \end{aligned}$$

当接收端的混沌电路与发送端的混沌电路保持状态同步时, $V_{R1} = V_{S1}$ 、 $V_{R2} = V_{S2}$ 、 $I_{R3} = I_{S3}$ 、 $f(V_{R1}) = f(V_{S1})$, 比较接收端和发送端电路的状方程就会得出: $i(t) = gV_{R1}u(t)$, 故 $gu(t) = i(t)/V_{R1}$. 所以将 $i(t)$ 和 V_{R1} 输入到如图 2(b) 所示接收端电路中的除法器, 并经过信号放大, 得到最后的解调输出: $V_o(t) = g \cdot K \cdot u(t)$.

3 斜率调制混沌通信系统的仿真

我们对以上的系统利用 PSPICE 进行了计算机仿真, 在仿真的电路中采用以下的元件值: $L_S = L_R = 18\text{mH}$; $C_{S1} = C_{R1} = 10\text{nF}$; $C_{S2} = C_{R2} = 100\text{nF}$; $R_{S1} = R_{R1} = 1680\Omega$; 对于非线性电阻 N_R , $G_a = -0.3965\text{mS}$; $G_b = -0.753\text{mS}$; $E = 1\text{V}$; 受控电流源中 $g = 0.02\text{mS}$. 仿真结果如图 3—图 6 所示. 图 3 所示为混沌电路发送端波形; 图 4 所示为混沌电路接收端波形; 图 5 所示为原始信号和解调信号波形; 图 6 所示为发送端的相图.

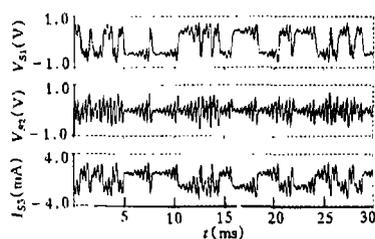


图 3 发送端波形

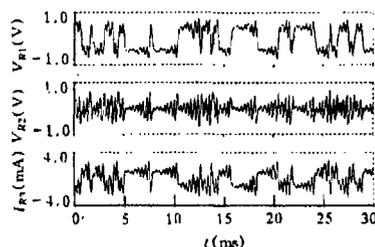


图 4 接收端波形

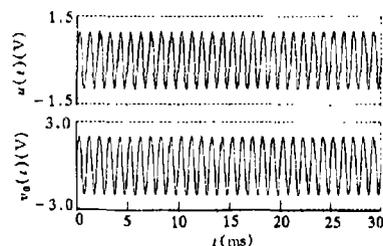


图 5 原始信号与解调信号波形

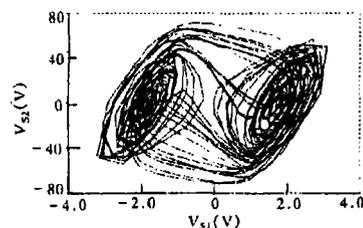


图 6 发送端相图

从以上图形所示的仿真结果可以看出, 这种混沌通信方法能很有效地将原始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, 当蔡氏电路的参数 (非线性电阻的电导值) 随输入信号的变化而改变时, 系统接收端的混沌状态能够收敛于发送端的混沌状态, 从而使收发两端的混沌状态在不影响混沌状态的前提下达到同步. 要做到这些, 就必须使输入信号保持在一定幅度内, 否则, 整个系统将退出混沌状态并产生自激, 从而失去混沌理论应用于通信的优势. 实验表明, 在电路中, 受控源的 g 取值范围应在 0.1mS 以内, 例如当 $g = 0.2\text{mS}$ 时, 系统将失去双涡漩状态.

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, 首先它是将用于传输数字信号的混沌载波键控调制方法 (改变非线性电阻的电导值, 即斜率) 用于传输模拟信号, 使非线性电阻特性的斜率随调制信号连续变化, 并且取得了良好的电路仿真效果; 其次, 在发送端及接收端的电路结构方面, 也具有结构简单、信号处理简洁的优点. 以上的结果都说明斜率调制混沌通信这种新方法是

能够在实际通信系统中得到实现, 因为它采用的都是非常成熟的元件, 并且以上的理论也并不复杂。

参 考 文 献

- [1] Pecora L M, Carroll T L. Synchronization in chaotic circuits. *Phys. Rev. Lett*, 1990, 64(8): 821-824.
- [2] 钟国群. 蔡氏电路混沌同步保密通讯. *电路与系统学报*. 1996, 1(1): 19-29.
- [3] 赵思真, 赵思正. 混沌同步及其在保密通信中的应用. *通信保密*, 1997, 5(1): 1-7.
- [4] Corron N J, Hahs D W. A new approach to communications using chaotic signal. *IEEE Trans. on CAS-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. *IEEE Trans. on CAS-II*, 1993, 40(10): 634-642.
- [6] Silva C. Shilnikov theorem—a tutorial. *IEEE Trans. on CAS-I*, 1993, 40(10): 675-682.
- [7] 丘水生. 奇异吸引子的细胞模型建立. *华南理工大学学报*, 1996, 24(6): 134-137.
- [8] 郝柏林. 从抛物线谈起——混沌动力学引论. 上海: 上海科技教育出版社, 1993.

CHAOTIC COMMUNICATION SYSTEM BASED ON SLOPE MODULATION

Cai Xinguo Qiu Shuisheng

(*Dept. of Electronic Eng., South China University of Technology, Guangzhou 510641*)

Abstract In this paper, a new method of communications using chaotic signal is presented. This method is that the slope of the non-linear resistance in Chua's circuit is modulated with the input signal. At the receiving end, the signal is demodulated using the inverse course. Finally, the basic circuit and simulation result are given.

Key words Chaotic signal, Chua's circuit, Slope modulation

蔡新国: 男, 1966年生, 博士生, 主要从事广播电视技术、功率电子学、混沌系统和保密通信等领域的研究。

丘水生: 男, 1939年生, 教授, 博士生导师, 主要从事功率电子学、混沌系统及保密通信等非线性领域的研究。