

基于变形蔡氏电路的混沌掩盖保密通信研究

王国红, 段小虎

(空军工程大学理学院, 陕西西安 710051)

摘要: 用实际元器件做出了变形蔡氏电路, 并把该电路应用于混沌掩盖保密通信中。分别给出了该电路用于混沌掩盖保密通信的仿真结果和实验结果, 并对结果进行了分析。

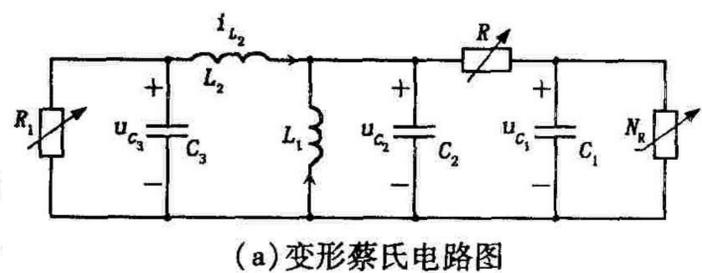
关键词: 保密通信; 变形蔡氏电路; 混沌掩盖; 混沌同步; 混沌吸引子

中图分类号: TN 918 文献标识码: A 文章编号: 1009-3516(2005)04-0049-03

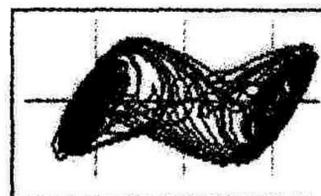
由于混沌信号的宽频谱、类噪声、伪随机的特点, 使它在保密通信方面的应用研究越来越受到人们的重视。蔡氏电路是当今产生混沌现象的最简单的电路之一, 因此受到人们广泛深入的研究^[1]。通过对蔡氏电路的同步研究, 发现该电路对元件精度要求高, 得到的各种混沌现象对参数变化非常敏感, 不易实现同步, 要用于实际保密通信相当困难^[2]。本文提出了一种蔡氏电路的变形, 并用实际元器件做出了该电路。通过研究发现, 该电路产生混沌时比蔡氏电路的参数调节范围要大、更易实现同步^[3]。文中对该电路进行了混沌掩盖保密通信的 EWB 仿真研究及实验研究, 并在实验室中用该电路成功的进行了正弦波与方波的混沌加密传输与解密恢复, 得到了比较好的效果, 这一工作对把混沌用于实际保密通信系统方面向前迈进了一大步。

1 变形蔡氏电路的混沌特性

变形蔡氏电路的电路模型如图 1(a) 所示。它是在蔡氏电路(参见文献[1])的电感两端并联了一个由电感、电容和可调电阻组成的电路, 该电路是一个五阶自治电路, 其中 N_R 是分段直线式非线性电阻, 具有负阻特性, 也称为蔡氏二极管, 可由运算放大器构成^[2]。我们取图中各参数的值为 $C_1 = 10 \text{ nF}$ 、 $C_2 = 100 \text{ nF}$ 、 $C_3 = 1 \text{ uF}$ 、 $L_1 = 18 \text{ mH}$ 、 $L_2 = 44 \text{ mH}$ (电感内阻 30Ω 左右), R 为 $0 \sim 2 \text{ k}\Omega$ 连续可调, R_1 为 $0 \sim 1 \text{ k}\Omega$ 连续可调。对该电路的混沌特性分别用 EWB 软件进行了仿真研究和实验研究。EWB (Electronics Workbench) 是一个集常用电子元件及多种虚拟仪器为一体的应用软件, 可以方便的对各种电路的特性进行仿真研究。图 1(b) 是在 EWB 工作台的虚拟示波器上观察到的变形蔡氏电路的混沌吸引子图, 图 1(c) 是在实际示波器上拍摄到的混沌吸引子图。



(a) 变形蔡氏电路图



(b) 用 EWB 软件仿真得到的混沌吸引子图



(c) 从示波器上拍摄到的混沌吸引子图

图 1 变形蔡氏电路及其混沌吸引子

2 混沌掩盖保密通信研究

2.1 混沌的同步

收稿日期: 2005-04-19

基金项目: 陕西省自然科学基金资助项目(2001X32)

作者简介: 王国红(1961-), 女, 陕西临潼人, 副教授, 主要从事混沌保密通信、神经网络等技术研究。

现已提出的混沌同步的方法有多种,如驱动响应同步、误差反馈同步等。本文使用的是混沌的耦合同步,即把两个相同的混沌电路通过一个电压跟随器和电阻 R_0 组成的串联支路耦合起来,以实现第一个电路到第二个电路的单向耦合,其电路原理图如图 2(a) 所示(当开关 K 断开时)。

我们对变形蔡氏电路的耦合同步分别进行了仿真研究及实验研究^[3]。图 2(b) 为用 EWB 软件进行仿真研究时得到的同步相图;图 2(c) 为进行混沌同步实验研究时,在示波器上拍摄到的同步相图。从图中看见两者都能实现较好的同步效果。

2.2 混沌掩盖保密通信

混沌掩盖(又称混沌遮盖或混沌隐藏)保密通信的基本原理是:把被传输的信息信号加在由混沌发送系统产生的混沌信号上(相当于调制),生成混合类噪声信号(混沌掩盖信号),该信号被接收端接收后,由相应的混沌同步系统分离其中的混沌信号进而恢复出原信息信号(相当于解调)。由于混沌信号的宽带类噪声特性,截获者会误以为是噪声,而不会关注,即便是关心者也很难破译这种类噪声信号,从而达到保密的效果。

本文采用的混沌掩盖保密通信电路原理图如图 2(a) 所示(当开关 K 闭合时)。在发送端,信息信号 $s(t)$ 与混沌信号 $u_{c_1}(t)$ 相加得到混合类噪声信号 $s_c(t) = s(t) + u_{c_1}(t)$ 。在接收端,从接收到的混合类噪声信号 $s_c(t)$ 中减去混沌同步信号 $u_{c_1}'(t)$,得到恢复的信息信号 $s'(t) = s_c(t) - u_{c_1}'(t)$,由于两混沌电路是同步的,混沌信号 $u_{c_1}'(t)$

与 $u_{c_1}(t)$ 基本相同,所以恢复信号 $s'(t)$ 与信息信号 $s(t)$ 也基本相同,从而完成了混沌的加密与解密过程,实现了混沌掩盖保密通信。我们对上述的混沌掩盖保密通信的基本原理分别进行了仿真研究和实验研究,得到了相吻合的结果。

2.2.1 混沌掩盖保密通信的仿真研究

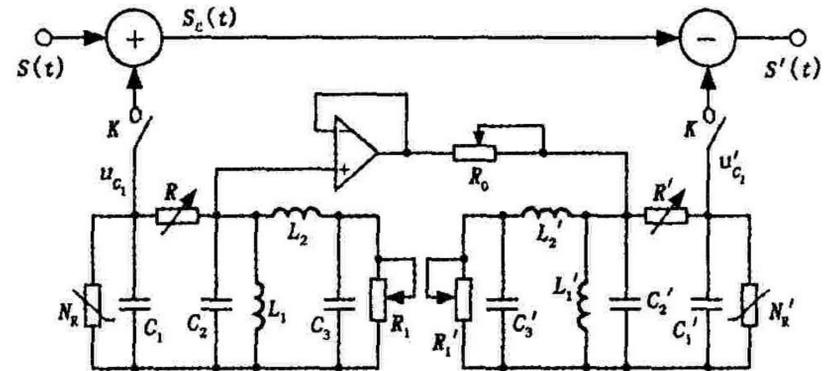
我们用 EWB 仿真软件对图 2(a) 所示的混沌掩盖保密通信原理图进行了仿真研究,研究时输入信息采用了正弦波和方波两种信号。

1) 输入的信息信号为正弦波

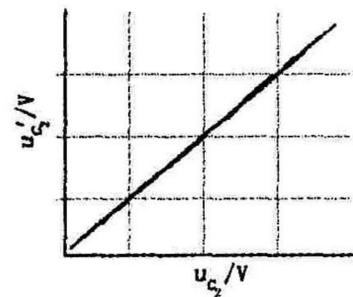
取信息信号 $s(t)$ 为幅度是 200 mV、频率为 5 kHz 的正弦波,得到的仿真结果如图 3(a)、(b) 所示。图 3(a) 上面的信号为输入信息信号正弦波 $s(t)$ 、下面的信号为混沌控制载波信号 $u_{c_1}(t)$;图 3(b) 上面的信号为传输的混合类噪声信号 $s_c(t)$,下面的信号为恢复的信息信号 $s'(t)$ 。从该图上面的信号可以看到混合类噪声信号与输入信息信号完全不同,实现了混沌的加密过程;从该图下面的信号可以看到恢复的信息信号 $s'(t)$ 基本上与输入的信息信号正弦波 $s(t)$ 相同,实现了混沌的解密过程。从而实现了正弦波的加密传输与解密恢复。

2) 输入的信息信号为方波

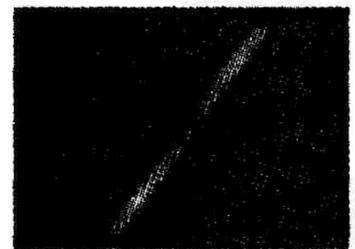
取信息信号 $s(t)$ 为幅度是 200 mV、频率为 5 kHz 的方波,得到的仿真结果如图 3(c)、(d) 所示。图 3(c) 上面的信号为输入信息信号方波 $s(t)$,下面的信号为混沌控制载波信号 $u_{c_1}(t)$;图 3(d) 上面的信号为传输的混合类噪声信号 $s_c(t)$,下面的信号为恢复的信息信号 $s'(t)$ 。从该图上面的信号可以看到混合类噪声信号 $s_c(t)$ 与输入信息信号方波 $s(t)$ 完全不同,实现了混沌的加密过程;从该图下面的信号可以看到恢复的信息信号 $s'(t)$ 基本上与输入的信息信号 $s(t)$ 相同,实现了混沌的解密过程。



(a) 混沌掩盖保密通信原理图

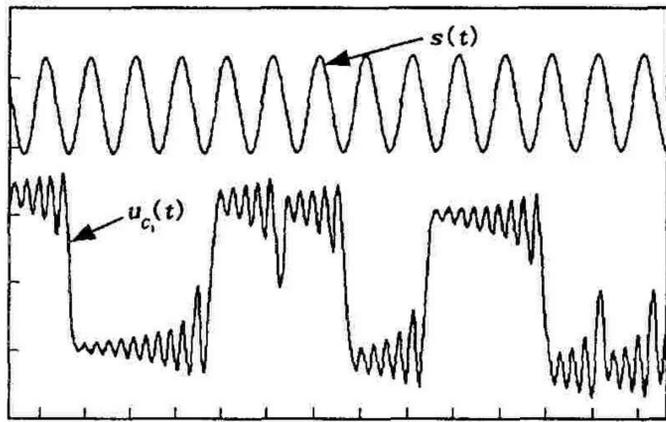


(b) 仿真同步相图

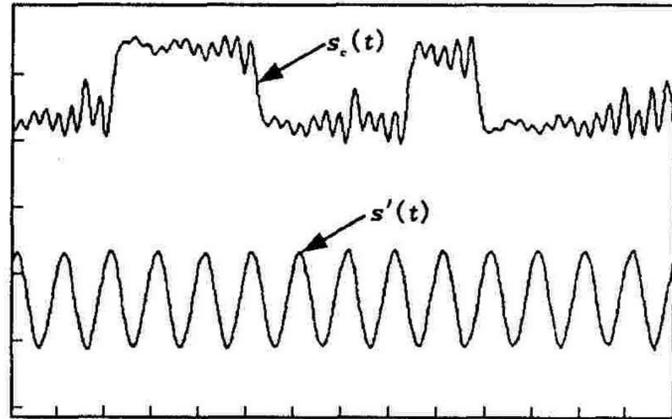


(c) 实验同步相图

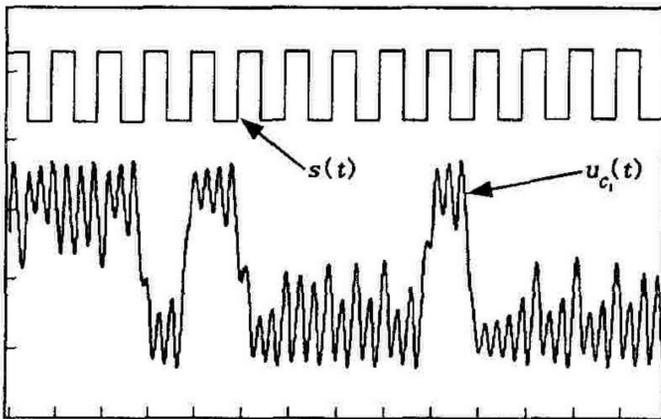
图 2 变形蔡氏电路的耦合同步及混沌掩盖保密通信示意图



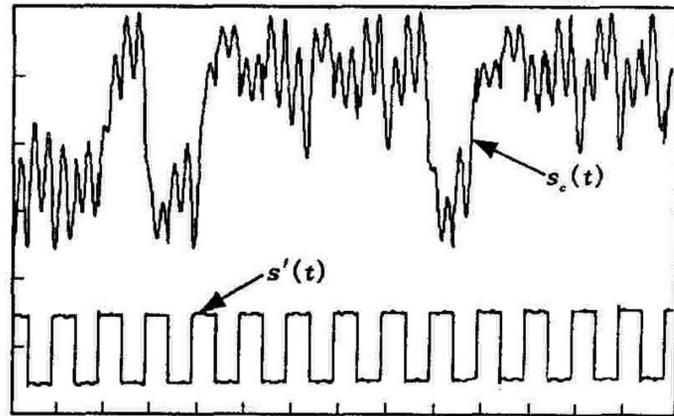
(a) 输入的正弦信号 $s(t)$ 与发射端用于控制的混沌信号 $u_{c_1}(t)$



(b) 接收到的信号 $s_c(t)$ 与恢复的正弦信号 $s'(t)$



(c) 输入的方波信号 $s(t)$ 与发射端用于控制的混沌信号 $u_{c_1}(t)$

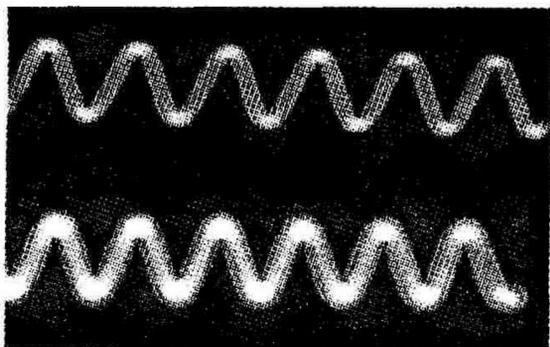


(d) 接收到的信号 $s_c(t)$ 与恢复的方波信号 $s'(t)$

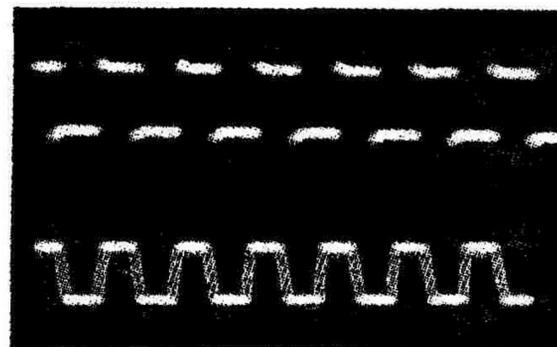
图3 混沌掩盖保密通信仿真结果

2.2.2 混沌掩盖保密通信的实验研究

我们在实验室中对图2(a)所示的混沌掩盖保密通信原理图进行了实验研究,为了与仿真结果对比,采用的输入信息信号依然是正弦波和方波两种信号。实验结果如图4所示。图4(a)为从示波器上拍摄到的信号波形,上面的信号为输入信息信号正弦波 $s(t)$,下面的信号为恢复信息信号 $s'(t)$,从图中可以看到恢复的信息信号与输入的信号基本相同。图4(b)为输入信息信号为方波时的实验结果,上面的信号为输入信息信号方波 $s(t)$,下面的信号为恢复信息信号 $s'(t)$,从图中可以看到恢复的信息信号与输入的信号方波基本相同。从这两个实验结果可以说明混沌掩盖保密通信实验基本上是成功的。



(a) 输入为正弦信号的实验结果
(上:输入信号,下:恢复信号)



(b) 输入为方波信号的实验结果
(上:输入信号,下:恢复信号)

图4 混沌掩盖保密通信实验结果

本文利用变形蔡氏电路进行了混沌掩盖保密通信的仿真研究与实验研究,两者结果比较一致。经过对研究结果的分析 and 比较,认为通过对变形蔡氏电路混沌的控制与同步,是可以利用其进行保密通信的。本文的工作对于把混沌应用于实际保密通信系统方面有很大意义。需要进一步解决的问题是:①考虑信道及噪声对混沌同步的影响;②混沌同步的判据仅从相空间来判别稍显粗糙,而用李亚普诺夫指数判别则计算较为复杂,需要发展一种更为精确、简单的判别方法。

(下转第62页)