

# 基于统一化混沌系统的双比特码元通信

李飞飞, 刘文波

(南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 210016)

**摘要:** 将混沌参数调制与混沌键控技术相结合, 提出了一种新的混沌保密通信方法。通过对统一化混沌系统的参数及输出混沌信号的相位控制, 实现对双比特码元信号的传输。该混沌通信系统保密性强, 通信速度快, 电路简单, 易于集成化。

**关键词:** 统一化混沌系统 双比特码元 保密通信

混沌<sup>[1]</sup>是非线性科学的一个重要组成部分, 是系统内在的随机性。混沌信号具有良好的自相关性和宽频谱特性, 在许多方面与随机信号有着相似之处。但与随机信号不同的是, 混沌信号是确定性系统产生的, 混沌系统结构相对简单。这些特点使得混沌在通信领域具有非常好的应用前景。自 1990 年 Pecora 和 Carroll<sup>[2]</sup>提出并实现混沌同步以来, 混沌通信在世界范围内得到了广泛的研究。目前利用混沌进行保密通信, 主要有混沌遮掩、混沌调制及混沌键控三种技术。混沌遮掩技术常用于传输模拟信号, 而混沌调制和混沌键控技术则用于数字通信。基于混沌的保密通信尽管得到了广泛的关注, 但仍然存在不足<sup>[3]</sup>, 如混沌遮掩要求信息信号能量比加到信息信号中的混沌信号能量低 30dB, 导致该方案容易受到信道噪声的干扰; 混沌调制要求注入到混沌系统中的信息信号的能量比较小, 否则会使混沌系统脱离混沌区, 且传输的信号不易保持混沌特性; 而基于自治混沌系统的混沌键控一般只传输二进制信号, 而不能传输多进制信号。前两种技术只适用于慢变信号, 对快变和时变信号不能很好地处理。

针对混沌通信存在的问题, 本文结合混沌参数调制和混沌键控技术, 提出了一种新的基于统一化混沌系统的保密通信方案。该方法可推广到传输多进制信号的情况。仿真结果表明该方法是有效的。

## 1 统一化混沌系统

文献[4]构建了一个新的混沌系统, 该系统将 Lorenz 系统<sup>[5]</sup>、chen 系统和 Lü 系统<sup>[6]</sup>用一个三维自治混沌系统来描述, 称作统一化混沌系统。

统一化系统:

$$\begin{cases} \dot{x} = a(y-x) \\ \dot{y} = f(u)dx - xz + cy \\ \dot{z} = xy - bz \end{cases} \quad (1)$$

将式(1)所描述的系统称为系统(1)。式(1)中:  $a=30, b=3, c=17, d>0$ 。  $f(u)$ 起着开关控制作

用, 当  $f(u)=1$  时, 系统(1)属于 Lorenz 家族; 当  $f(u)=0$  时, 系统(1)属于 Lü 系统; 当  $f(u)=-1$  时, 系统(1)属于 chen 氏家族。当随时间变化时, 系统(1)则在三个混沌状态之间切换, 形成一种新的混沌吸引子。本文基于统一化混沌系统(1), 提出了双比特码元通信的思想。

## 2 系统方案设计

### 2.1 信号调制

基于统一化混沌系统的双比特码元通信系统的发送端原理框图如图 1 所示。图中,  $s(n)$  为欲传输的双比特码元信息;  $q_i(n)$  为 2/4 译码后的译码信号, 该信号经逻辑电路后, 又产生  $p_1(n), p_2(n)$  控制统一化混沌系统, 使其处于 Lorenz 或 Lü 混沌状态, 即对应系统(1)中, 有  $f(u)=1$  或  $f(u)=0$  两种状态。同时  $p_3(n)$  控制混沌系统的一路状态信号的正相或反相输出, 实现双比特码元数字信号的传送。具体的调制信号功能可由表 1 描述。

由表 1 可知, 发送装置输出信号  $y'(t)$  受有用信号  $s(n)$  控制。当  $s(n)=00$  时, 统一混沌系统输出正相的 Lorenz 混沌信号; 当  $s(n)=01$  时, 统一混沌系统输出正相的 Lü 混沌信号; 当  $s(n)=10$  时, 统一混沌系统输出反相的 Lü 混沌信号; 当  $s(n)=11$  时, 统一混沌系统输出反相的 Lorenz 混沌信号。

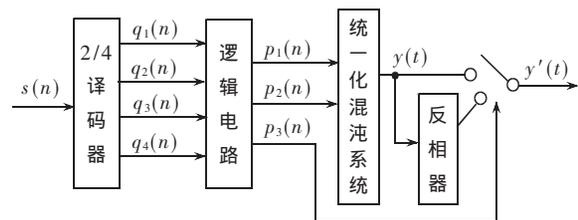


图 1 发送系统结构框图

表 1 调制信号功能表

$s(n)$	$q_1(n)$	$q_2(n)$	$q_3(n)$	$q_4(n)$	$p_1(n)$	$p_2(n)$	$p_3(n)$	$f(u)$	$y'(t)$
00	1	0	0	0	1	0	0	1	$y(t)$
01	0	1	0	0	0	1	0	0	$y(t)$
10	0	0	1	0	0	1	1	0	$-y(t)$
11	0	0	0	1	1	0	1	1	$-y(t)$

混沌信号。

## 2.2 信号解调

根据图 1 的信号调制原理，采用驱动-响应混沌同步法，在接收端，只需根据调制后的一路混沌信号，即可控制四个子混沌系统的同步，实现信号的解调。接收端的信号解调原理如图 2 所示。

图 2 中， $y_i(t)$  ( $i=1,2,3,4$ ) 为第  $i$  个接收混沌子系统输出； $e_i(t)=y'-y_i$  为第  $i$  个接收混沌系统输出与驱动信号的误差； $s'(n)$  为解调出的有用信号，四个混沌子系统为：

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_1 &= a(y_1 - x_1) \\ \dot{y}_1 &= dx_1 - x_1 z_1 - cy_1 + m(y' - y_1) \\ \dot{z}_1 &= x_1 y_1 - bz_1 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_2 &= a(y_2 - x_2) \\ \dot{y}_2 &= -x_2 z_2 - cy_2 + m(y' - y_2) \\ \dot{z}_2 &= x_2 y_2 - bz_2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_3 &= a(y_3 - x_3) \\ \dot{y}_3 &= -x_3 z_3 - cy_3 + m(-y' - y_3) \\ \dot{z}_3 &= x_3 y_3 - bz_3 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_4 &= a(y_4 - x_4) \\ \dot{y}_4 &= dx_4 - x_4 z_4 - cy_4 + m(-y' - y_4) \\ \dot{z}_4 &= x_4 y_4 - bz_4 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

对比系统 (1) 和系统 (2)~(5)，根据混沌同步原理有：当  $s(n)=00$  时，系统 (1) 与 (2) 同步；当  $s(n)=01$  时，系统 (1) 与 (3) 同步；当  $s(n)=10$  时，系统 (1) 与 (4) 同步；当  $s(n)=11$  时，系统 (1) 与 (5) 同步；四个子系统的同

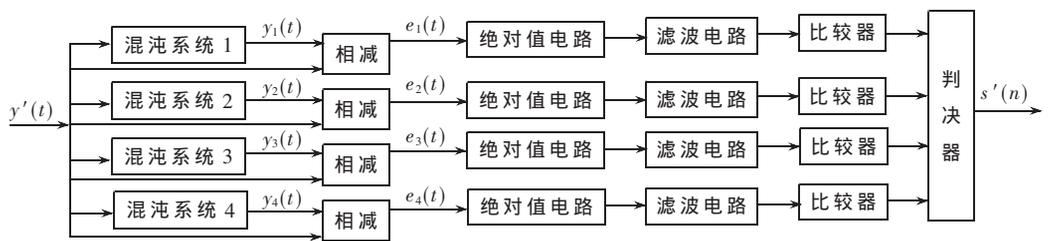


图 2 双比特码元接收装置原理框图

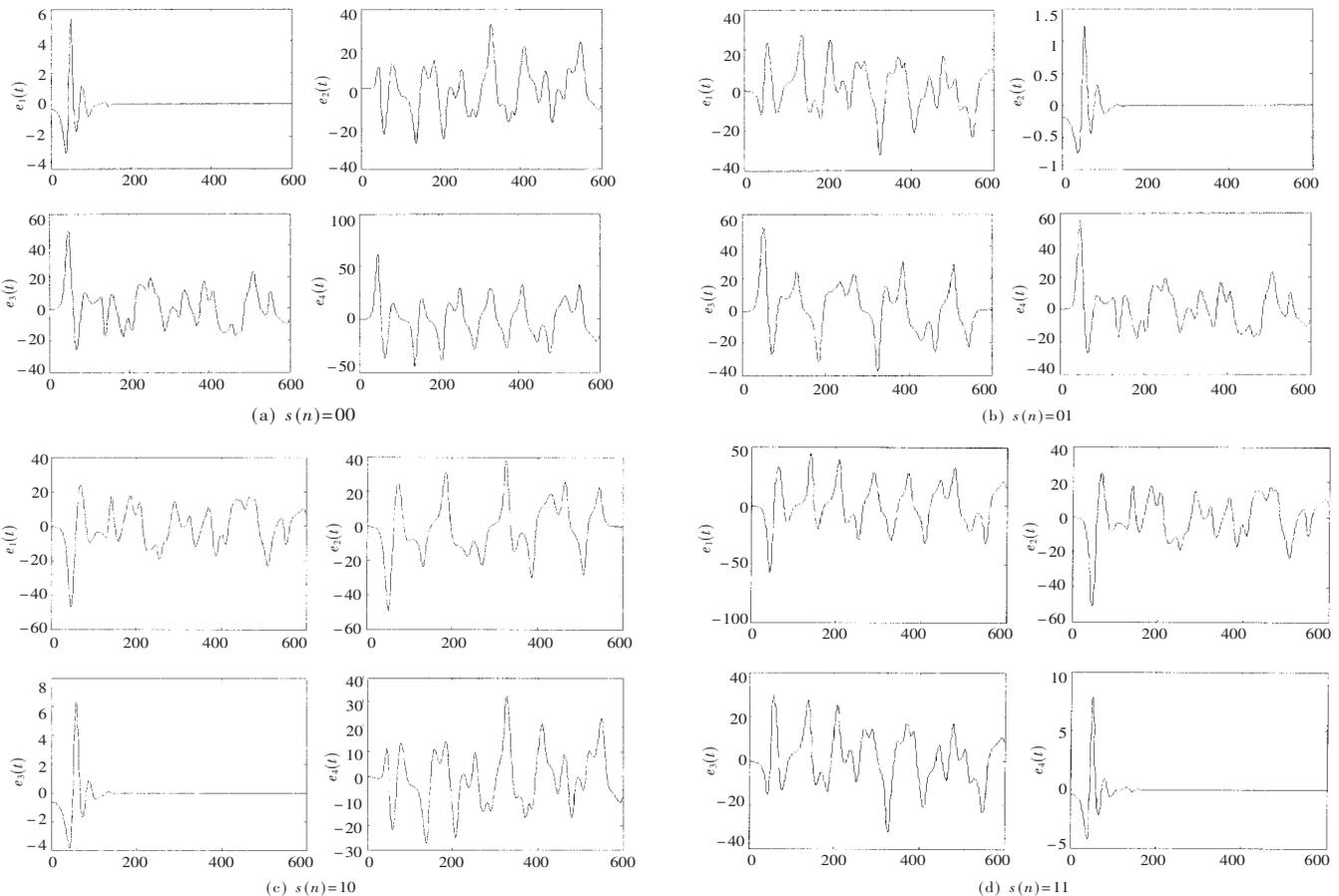


图 3 驱动信号与响应子系统误差波形 (系统参数:  $a=30, b=3, c=17, d=4, m=10$ )

步误差信号如图 3 所示。将该同步误差信号进一步通过取绝对值、滤波、比较、判别等处理,可恢复出被传输的有用信号。

### 3 仿真结果

根据上述调制解调原理,用 Matlab 进行双比特码元通信仿真。仿真结果如图 4 所示。由仿真结果可见,一方面传输的混沌信号  $y'(t)$  具有很好的保密性,另一方面通过  $y'(t)$  恢复的信号  $s'(n)$  与原始信号  $s(n)$  是一致的。

较之传统混沌通信方案,此方案是在发射端采用有用信号对混沌系统的参数进行调制,使有用信号有机地融合于混沌信号中。它只需发送一个调制后的混沌信号,该信号既控制同步又传递有用信息,提高了通信的保密性。由于混沌信号具有连续频谱,利用混沌输出作为载波进行通信,可以达到扩频通信的目的,大大提高通信系统的抗干扰和抗多径干扰能力。同时由于该方案同时传输两位二进制码,在信道传输速率一定的情况下,混沌信号携带更多的信息,可提高信息的传输速率。其电路设计简单,易于集成化,有很强的工程应用价值,在通信领域有着极其广阔的应用前景。

#### 参考文献

[1] 张涛,刘宗才,刘佩田等.利用相移键控实现混沌通信.量子电子学报,2002,19(4):334-336.  
 [2] PECORA L M, CARROLL T L. Synchronizing in chaotic system[J]. Phys. Rev. Lett, 1990, 64(8): 821-824.

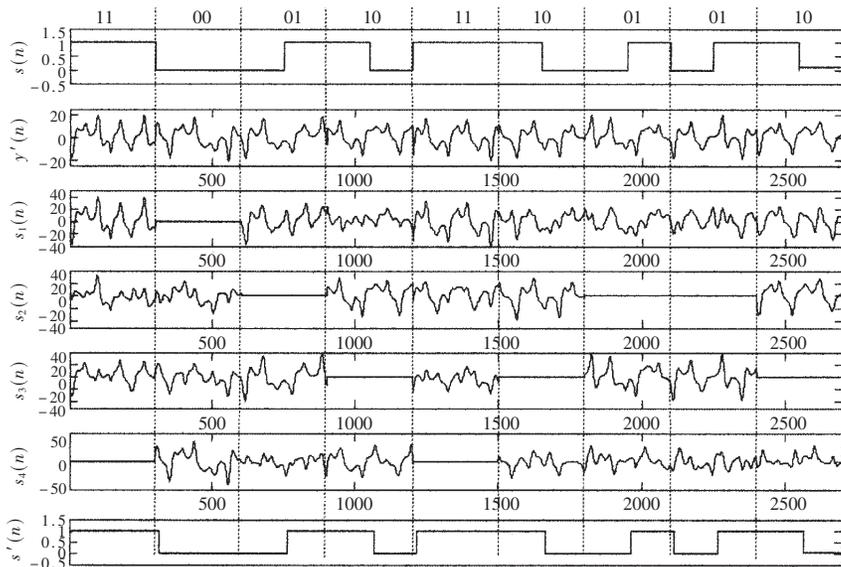


图 4 双比特码元同传输系统仿真结果

[3] 卢俊国,魏荣,王执铨.基于受激蔡氏电路混沌系统的混沌键控和最佳解调.电子学报,2002,30(7):1003-1005.  
 [4] 刘文波,于盛林.一种极富教学意义的混沌系统及其应用.电气电子教学学报,2005,27(5):41-44.  
 [5] CELIKOVSKY S, CHEN Guan Rong. On a generalized lorenz canonical form of chaotic systems. Int. J. Bifurcation and Chaos, 2002, 12(8): 1789-1812.  
 [6] LU Jin Hu, CHEN Guan Rong. A new chaotic attractor coined. Int. J. Bifurcation and Chaos, 2002, 12(3): 659-661.

(收稿日期:2006-08-27)