

② 264-268

混沌CDMA用于红外无线通信的原理与设计

桑涛 王汝笠 严义斌

TN929.1

(中国科学院上海技术物理研究所光电研究中心, 上海, 200083)

摘要 提出了一类新型混沌映射的 CDMA 扩频通信的原理方案, 它可产生满足扩频码要求的一系列混沌二进制序列, 理论预测和数值模拟实验吻合得较好, 对多用户同时通信的计算机仿真实验取得成功, 并克服了其它混沌扩频通信方案的一些缺陷。

关键词 CDMA, 混沌, 扩频通信, 红外无线通信。

引言

散射(Diffuse)式通信是红外通信发展的重要方向, 其优点是不需瞄准, 有较大的移动灵活性和方向稳定性^[1]。它在实现上的一个原理性困难是, 各用户终端的信息充满着整个空间, 如何协调它们的传输与接收使之不互相干扰, 即多址通信问题。传统的解决方法主要是频分多址(FDMA)或时分多址(TDMA), 资源紧张是它们的共同缺陷^[2,3]。近年来人们已注意到新型的多址技术—码分多址(CDMA), 其特点是频带利用率高, 用户容量大, 保密性好, 抗干扰性强, 便于组网等, 因此它必将成为今后移动通信中的一种有效制式^[4]。

本文基于一类新型混沌映射提出了一种混沌 CDMA 体制, 并首次将它用于红外无线通信, 模拟实验表明, 其理论可靠, 原理可行。

1 混沌 CDMA 的理论基础

混沌系统对初始条件和参数极端敏感的特性使之成为 CDMA 扩频码发生系统的极佳候选者, 并已用于扩频通信^[4,5]。文献[4]将 Logistic 映射用于直接序列扩频通信系统, 由于它将模拟信号作为扩频码, 故不利于数字通信。文献[5]将一类“逐段线性”映射用于复序列扩频通信系统, 因其线性区域易受线性攻击, 安全性受到潜在的威胁。本文提出一类“逐段非线性”的混沌映射, 由它产生的模拟信号经特定映射量化后可以产生一系列具有优良相关性质的二值序列, 它们具有理论上的 δ -like 自相关函数和近乎为零的互相关函数, 为数众多的映射参数则为码址的选择提供了丰富的资源。我们的混沌系统是时间离散系统:

$$x(t+1) = F[x(t)] = \begin{cases} \sqrt{4x(t)(k_1+k_2) + (1-k_1)^2} - k_1, & x(t) \in [0, k_1/(k_1+k_2)) \\ k_2 - \sqrt{4k_1 + (1+k_2)^2 - 4x(t)(k_1+k_2)}, & x(t) \in [0, k_1/(k_1+k_2), 1] \\ F[-x(t)], & x(t) \in [-1, 0) \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中, $t=0, 1, 2, \dots$; $x(t) \in [-1, 1]$; $k_1 > 1, k_2 > 1$; $F: [-1, 1] \rightarrow [-1, 1]$ 。由式(1)产生

稿件收到日期 1998-04-21, 修改稿收到日期 1998-09-08

的混沌模拟序列 $\{x(t)\}_{t=0}^{\infty}$ 理论上具有均匀概率分布函数, 即 $f(x)=0.5, x \in [-1, 1]$. 为了满足数字式扩频通信的需要, 我们将上述模拟信号量化成如下混沌二进制序列:

$$a(t) = Q_q[x(t)] = \begin{cases} 1, & x(t) \in [0, q] \\ -1, & x(t) \in [q, 1] \\ -Q_q[-x(t)], & x(t) \in [-1, 0] \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中 $q \in (0, 1)$ 是量化分界点. 对于固定的参数 k_1 和 k_2 , 如果我们从某个初始值 $x(0)$ 开始迭代, 并由以 q 为分界点的量化函数进行量化得到的混沌二进制序列记为 $B(x(0), q) = \{a(t)\}_{t=0}^{\infty}$, 则它的自相关函数 $R(r)$ 以及它与另一混沌二进制序列 $B(x'(0), q') = \{a'(t)\}_{t=0}^{\infty}$ 的互相关函数 $\xi(r)$ 分别定义如下:

$$R(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N a(t)a(t+r), \xi(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N a(t)a'(t+r), r \geq 0 \quad (3)$$

我们可得到下述能满足扩频码要求的相关性质:

(1) 该混沌二进制序列具有理想的自相关特性, 即 $R(r) = \delta(r)$.

(2) 如果 $x(0) \neq x'(0)$, 则不论 q 和 q' 是否相等, 由它们产生的两个不同混沌二进制序列具有理想的互相关特性, 即 $\xi(r) = 0$.

对相关性质证明如下:

(1) 由于混沌迭代系统(1)在区间 $[-1, 1]$ 上是遍历的, 故我们可以把 $R(r)$ 改写为^[6]:

$$R(r) = \int_{-1}^1 Q_q(x) Q_q[F^r(x)] f(x) dx \quad (4)$$

当 $r=0$ 时, $F^r(x) = x$, $R(r) = 1$; 当 $r \neq 0$ 时, $Q_q[F^r(x)] f(x)$ 是偶函数, $Q_q(x)$ 是奇数, 故 $R(r) = 0$, 即证明性质(1).

(2) 由于系统(1)是具有均匀概率分布的混沌系统, 所以对于给定的两个初始状态 $x(0)$ 和 $x'(0)$, 如果从其中的一个状态 $x(0)$ 出发, 经过某一有限次数 $M (\gg 1)$ 的迭代后, 系统的状态总能充分地接近另一状态 $x'(0)$, 即 $x'(0) = F^M[x(0)] + \varepsilon$, 其中 ε 是一个极小的量. 由于我们关心的是系统的宏观统计性质, 当 ε 足够小时, 我们可以认为它对系统的宏观统计性质没有影响, 即认为 $x'(0) = F^M[x(0)]$. 于是由系统的遍历性可知: $\xi(r) = \int_{-1}^1 Q_q(x) Q_q[F^{r+M}(x)] f(x) dx = 0$, 此即证明性质(2).

2 系统的原理与设计

根据上述理论分析可知, 在我们的 CDMA 扩频通信系统中, 系统参数 k_1 和 k_2 可以保持不变, 只需要改变初始值 $x(0)$ 和量化分界点 q 便可获得一系列具有理想相关特性的二进制序列, 这些二进制序列就是所需的扩频码序列. CDMA 系统中每一个用户被分配一对参数 $(x(0), q)$ 作为其地址码, 其中不同的用户具有不同的初始值 $x(0)$, 而分界点 q 可以相同也可以不同, 采用不同的 q 则起着增加安全性的作用. 混沌扩频系统的原理框图如图 1 所

示. 图 1 中 CG 代表混沌序列发生系统. 假设该系统共包含有 K 个用户, 其中任一用户 i 在工作之前必须将其地址码 $(x_i(0), q_i)$ 输入到混沌序列发生系统中作为初始参数以产生扩频码 $a_i(t)$, 随后该用户便可以输入二进制数据流 $b_i(t)$, 经过扩频调制后得到其调制码 $y_i(t)$, 所有用户的调制码累加后形成共同的输出信号 $Y(t)$, 经过同一红外信道传播到自由空间. 在用户端接收到红外光信号后经处理得到与 $Y(t)$ 成正比的输入信号, 为了表示方便, 这里仍然以 $Y(t)$ 表示之. 由于用户的地址码 $(x_i(0), q_i)$ 已知, 所以能复制出与前完全相同的扩频码 $a_i(t)$. 又由于不同用户的扩频码 $a_i(t)$ 具有如前所述的优良统计性质, 利用相关解扩技术便可得到解调数据 $b'_i(t)$, 它应等于用户数据 $b_i(t)$. 在图 1 中我们描述了在理想情况下的混沌扩频及解扩的原理, 忽略了载波调制和噪声等其它因素的影响, 而这些在实际应用中都是必须考虑的.

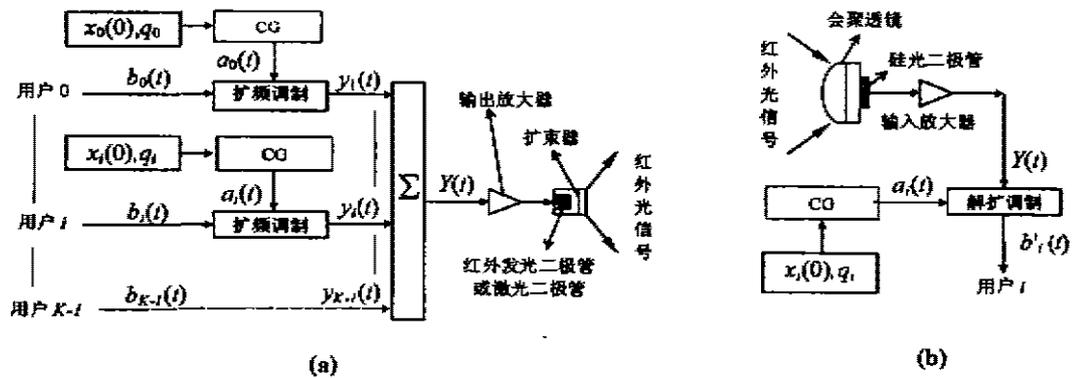


图 1 基于红外链路的混沌扩频通信系统的原理框图

(a) 发射 (b) 接收

Fig. 1 Block diagram of the principle of chaotic spread spectrum communication system based on wireless infrared link

(a) transmission (b) receiving

我们根据上述理论分析进行了计算机仿真实验. 统计特性的实验结果如图 2 所示, 针对任取的参数 $k_1=82.56, k_2=195.71, x(0)=0.8435410596, q=0.2856927159$, 图 2. (a), (b) 分别给出了由此产生的混沌序列的概率分布函数 $f(x)$ 和自相关函数 $R(r)$, 该序列与由另一组参数 $x'(0)=0.4658492477, q'=0.2583583341$ 产生的混沌序列的互相关函数 $\xi(r)$ 如图 2. (c) 所示可见, 该实验与理论预测吻合得较好. 对其它参数的实验也取得了类似结果.

在通常的室内红外无线通信中, 用户一般不超过 20~30 人, 我们模拟了 $K=32$ 个用户同时进行通信的情形. 网络向每个用户传输的数据为 10k 比特, 采用的扩展系数为 1024^[3], 模拟表明每个用户都正确地接收到了所有数据. 图 3. (a) 中给出了向每一个用户 (其地址码为 $x_c=0.8435410596, q=0.2856927159$) 传输的前 100 个数据 $b_0(t)$, 图 3. (b) 给出了前 1024 个经扩频调制后的输出数据 $Y(t)$, 它是 32 个用户的调制码的总和, 图 3. (c) 是第一个用户接收到后经解扩调制得到的前 100 个数据 $b'_0(t)$, 它与图 3. (a) 的数据 $b_0(t)$ 完全吻合, 这证实了理论预测. 上述实验表明, 基于混沌系统 (1) 的 CDMA 系统用于红外通信, 理论可靠, 原理可行.

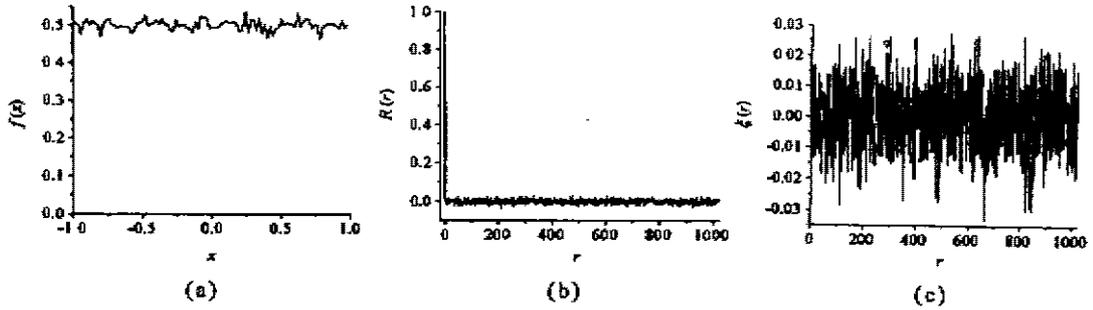


图 2 混沌序列的实验统计性质

(a)分布函数 (b)自相关函数 (c)互相关函数

Fig. 2 The experimental statistical properties of chaotic sequences

(a) distribution function (b) auto-correlation function (c) cross-correlation function

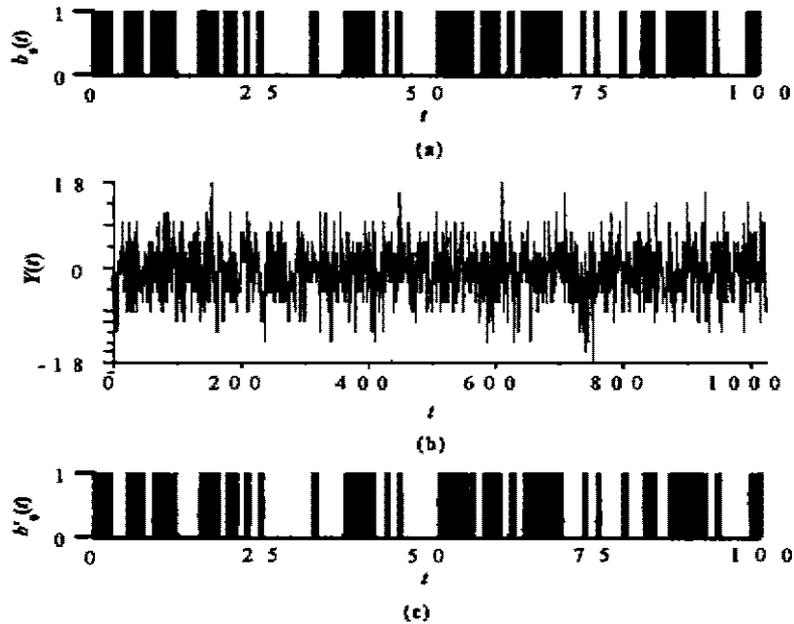


图 3 混沌扩频通信系统的仿真模拟

(a)向第一个用户传输的前 100 个数据 $b_0(t)$ (b) 前 1024 个扩频调制后的输出数据 $Y(t)$

(c) 第一个用户接收到后经解扩调制得到的前 100 个数据 $b'_0(t)$

Fig. 2 The simulation of the chaotic spread spectrum communication system

(a) the first 100 data $b_0(t)$ transmitted to the first user

(b) the first 1024 output data $Y(t)$ modulated by spread spectrum

(c) the first 100 data $b'_0(t)$ received and then demodulated by the first user

3 结语

本文提出一类混沌映射用于红外无线的 CDMA 扩频通信,该混沌映射可产生理论上的优良统计性质,并得到数值模拟实验的验证.对多用户同时通信的计算机仿真实验获得成

功,这说明该方案理论可靠,原理可行.本方案既克服了文献[4]中扩频码为模拟值不利于数字通信的缺陷,又因为我们采用了“逐段非线性”的混沌映射,与文献[5]中所用的“逐段线性”映射相比,具有更强的安全性.

REFERENCES

- 1 Kahn J M, Barry J R. Wireless infrared communications, *Proc. IEEE*, 1997, 85(2): 265~298
- 2 Andrew S T. *Computer Networks*, New York: Prentice-Hall, 1996
- 3 Andrew J V. *CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication*, New York: Addison Wesley, 1995, 1~34
- 4 Ghobad H B, Clare D M. A chaotic direct-sequence spread-spectrum communication system. *IEEE Trans. Commun.*, 1994, 42(2/3/4): 1524~1527
- 5 Mazzini G, Setti G, Rovatti R. Chaotic complex spreading sequences for asynchronous DS-SS-CDMA-Part I: system modeling and results. *IEEE Trans. Circuit Sys.*, 1997, 44(10): 937~947
- 6 Grossmann S, Thomae S Z. Invariant distribution and stationary correlation functions of one-dimensional discrete functions. *Naturforsch*, 1977, 32(a): 1353~1363

PRINCIPLE AND DESIGN OF CHAOTIC CDMA FOR WIRELESS INFRARED COMMUNICATION

SANG Tao WANG Ru-Li YAN Yi-Xun

(Optoelectronic Research Center, Shanghai Institute of Technical Physics,
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract The Scheme of the principle for CDMA spread spectrum communication systems based on a class of new chaotic mappings is proposed, which can produce chaotic binary sequences to meet the requirement of spread spectrum codes. The experiment agree with the theoretical prediction well, and the computer simulation of the multi-user communication is implemented successfully. Moreover, this scheme can overcome some drawbacks of some other proposed ones for chaotic spread spectrum communications.

Key words CDMA, chaos, spread spectrum communication, wireless infrared communication.