

基于混沌扩频序列的 RFID 防碰撞算法分析

陈旭辉^{1,2}, 万 磊¹, 龚仁彬^{1,3}

(1 兰州理工大学 计算机与通信学院, 甘肃 兰州 730050; 2 厦门理工学院 福建省高校物联网应用重点实验室, 福建 厦门 361024; 3 中国石油勘探开发研究院 西北分院, 甘肃 兰州 730020)

摘 要: 为了解决射频识别系统(RFID)中的多标签防碰撞问题,在分析了时隙 ALOHA 算法的基础上提出了一种基于混沌序列扩频的时隙 ALOHA 算法,该算法的标签 ID 序列通过混沌扩频序列 Chebyshev 序列扩频而获得扩频信号,阅读器通过接收扩频信号并对其解扩得到标签 ID 序列。通过建立数学模型对算法进行了分析,仿真实验结果表明扩频 ALOHA 算法可显著提高系统吞吐量,并且当负载 G 接近于 N 时,系统吞吐量 S_e 接近于最大值。

关键词: RFID; 防碰撞; 混沌序列; 时隙 ALOHA

中图分类号: TP301.16

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)12-0064-04

Analysis of RFID Anti-collision Algorithm Based on Chaotic Sequence

CHEN Xu-hui^{1,2}, WAN Lei¹, GONG Ren-bin^{1,3}

(1 College of Computer and Communication, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;

2 Internet of Things Lab, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China;

3 Northwest Branch, Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Lanzhou 730020, China)

Abstract: In order to solve the problem of collision between multi-tag in radio frequency identification (RFID) system. This paper proposes RFID anti-collision algorithm based on chaotic sequence slotted ALOHA by analyzing slotted ALOHA algorithm. Address code of labels obtain spread-spectrum signal by chebyshev spread-spectrum code. Reader get address code of labels by receiving spread-spectrum signal. An evaluative model for system efficiency is built, and experimental results show that the algorithm can significantly improve system throughput and when offered load is close to N , the throughput is close to the maximum.

Key words: RFID; anti-collision; chaotic sequence; slot Aloha

1 引言

射频识别技术(RFID)是一种非接触式自动识别技术,它利用射频信号及其空间耦合和传输特性自动识别目标对象,可快速地进行物品追踪和数据交换,识别工作无须人工干预并可工作于各种恶劣环境。RFID 系统一般由电子标签、阅读器和数据管理系统组成^[1]。碰撞问题是影响 RFID 系统吞吐量等性能的关键问题,即多个标签同时响应一个阅读器读取信号时产生的信号碰撞。

现有解决标签碰撞问题的方法主要可以分为基

于 ALOHA 的算法和基于二进制树型的搜索算法以及它们的改进算法^[2-4]。时隙 ALOHA 算法中标签周期性循环地将 ID 序列发送给读写器,使若干个电子标签能在不同的时间段上发送数据,从而避免碰撞。二进制树型算法的核心思想是阅读器根据碰撞的信号,按照二进制深度优先搜索的思想,逐步缩小搜索范围,直到读取指定标签。这两种方法都属于时分多路法,随着标签数量的扩大,这两种算法性能将急剧恶化^[5-6]。

本文提出了一种基于混沌序列的扩频 ALOHA 算法,采用了混沌序列 Chebyshev 序列对标签的 ID

序列进行扩频,通过建立算法的数学模型分析了系统的吞吐量,仿真实验验证了算法的吞吐量比较时隙 ALOHA 算法有显著提高。

2 时隙 ALOHA 算法

时隙 ALOHA 算法是多址接入的方法之一,已得到广泛的应用。它规定,通道按时隙划分,每个时隙正好传送一个数据分组,分组到达后,必须等到下一时隙才开始传送,分组间一旦发生碰撞将是百分之百的重叠,发生碰撞后经随机延时后重传,而且要等到下一个时间片开始时才发送。在标签到达服从泊松分布的条件下,吞吐量 S 和系统负载 G 的关系为

$$S = Ge^{-G} \quad (1)$$

其中 S 表示时隙 ALOHA 算法的吞吐量。当 $G = 1$ 时, $S_{\max} = 0.368$,且当 $G > 2$ 时系统将处于不稳定的区域。

3 基于混沌扩频序列的 RFID 防碰撞算法

3.1 算法原理

为解决上述的标签碰撞问题,现提出一种基于混沌序列扩频的防碰撞算法,该算法的主要思想概述如下:该碰撞系统分为两个阶段分别为标签选用相同的扩频码以及由于标签 ID 序列的变化远大于扩频码的数量而标签必须选用相同的扩频码,现分别对其详细说明。

3.1.1 标签选用不同的扩频码

每个标签中存有两组数据:其自身的 ID 序列和在生产时随机写入的扩频码,标签实际发送的信号为 ID 序列经该扩频码扩频的信号,读写器通过解扩电路得到标签的 ID 序列。读写器利用扩频码序列的正交性或准正交性来区分不同用户,从而在同频、同时的条件下分离出了所需的 ID 序列。如图 1 所示,设一个数据分组的时间长度为 T_b ,在 k 个数据分组间隔内 $[kT_b, (k+1)T_b]$,用户 1,用户 2 需要把各自的数据 a_k, b_k 发送给阅读器,阅读器能接收到用户 1 和用户 2 的信号并对每个码片进行滤波匹配。 T_b 时间内的 N 个采样构成一个向量 $y = [y_1 \cdots y_N]$,其中 $y_i = a_k c_i^{(1)} + b_k c_i^{(2)}$,写成向量的形式为

$$y = a_k c^{(1)} + b_k c^{(2)} \quad (2)$$

式(2)表明 y 中存在来自用户 2 的干扰,由于两扩频码的正交性,在式(2)两边同乘以 $(c^{(1)})^T$ 可得

$$\tilde{y} = y \times (c^{(1)})^T = a_k \|c^{(1)}\|^2 = A a_k \quad (3)$$

其中 A 是 $c^{(1)}$ 的模平方,式(3)说明,如果采用上述的发送和接收方法,两个用户可以在同时、同频

的条件下完成传输而没有干扰,这种方法可以推广到多个数据分组的情形。如图 1 所示。

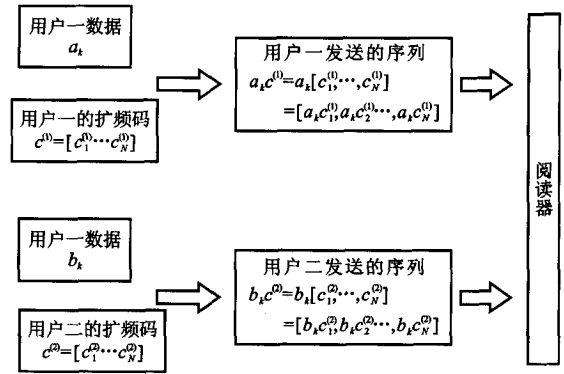


图 1 第一阶段分组碰撞示意图

3.1.2 标签选用相同的扩频码

由于标签 ID 序列可能的变化远大于扩频码的码组阶数因而在实际系统中必然会有不同的标签选用相同的扩频码,因此,不能通过正交扩频码得到式(3),从而这些标签同时发送其 ID 序列时可能还会发生碰撞,如图 2 所示。分组的时间长度为 T_b ,由 L bit 组成,系统扩频码阶数为 N ,则码片(chip)的时间长度为 $T_c = T_b/LN$,分组中每比特的冲突区间为 δ chip,则 L bit 长度的该系统分组有 L 个离散的碰撞窗口 δT_c ,则系统总的冲突窗口为 $L\delta T_c$ 即 $\delta T_b/N$,当该状态下的数据分组落入冲突窗口内时将会发生碰撞。

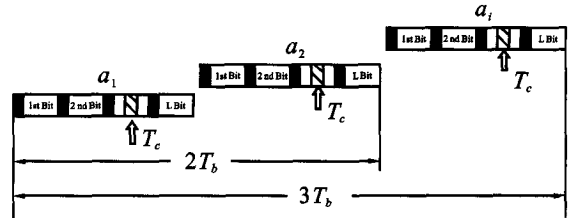


图 2 第二阶段分组碰撞示意图

当阅读器采用匹配滤波器结构^[7],匹配滤波器的分辨率定义为能分辨出相邻相关峰的最小间隔,不同数据分组到匹配滤波器的时间差在传输之前固定不变,而且同一数据分组相邻相关峰的时间间隔是固定的单位比特时间长度。因此,根据相关峰之间的这种固定时间关系,通过对接收数据的处理就可分离出不同的用户分组,由扩频码的自相关特性可知扩频码自相关峰值的最大宽度为 1 chip,所以匹配滤波器的分辨率为 1 chip,只要相邻两个分组的到达时刻不落在 $1T_c$ 间隔内,就可以被正确接收从而将不会发生碰撞。

3.1.3 混沌扩频序列选择

扩频系统中,扩频序列的选择将直接影响系统

吞吐量、抗干扰能力、抗截获能力等性能,序列自相关函数旁瓣的均方值定义为:

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^{N-1} R^2(k)} \quad (4)$$

$R(k)$ 为序列自相关函数,序列互相关函数旁瓣的均方值定义为:

$$\sigma_C = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} C^2(k)} \quad (5)$$

$C(k)$ 为序列互相关函数,由文献[8]可知扩频序列多址干扰的大小由互相关均方根来表征,多径干扰的大小由互相关均方根来表征,传统的扩频序列大多是由 m 序列或 Walsh 序列变换产生的,其缺点是可用码组的数目较少,自相关和互相关性能都不理想. 理论状态,由非线性映射生成的无限长混沌序列具有理想的相关特性、且码组较多,可以作为扩频序列的理想选择,文献[9]通过研究不同混沌扩频序列扩频码的初始值、信噪比、用户数以及截取的序列长度对系统误码率的影响来证明 Chebyshev 映射的扩频性能最好,因此本文算法选用 Chebyshev 序列, N 阶 Chebyshev 序列的定义为

$$x_{k+1} = \cos(N \cos^{-1} x_k) \quad (6)$$

其中 $-1 < x_k < 1$, 当 $N=2$ 时,系统处于混沌状态,此时,序列的均值为零.

3.2 数学模型及仿真实验

防碰撞过程分为两个阶段,第一阶段为 k 个标签可选用的扩频码组阶数为 N 时,在统计的意义下,这 k 个标签选用的扩频码互异的数学期望为 $k_1 = k \left(\frac{N-1}{N} \right)^{k-1}$,则选用相同扩频码的标签数学期望为 $k_2 = k - k_1 = k \left[1 - \left(\frac{N-1}{N} \right)^{k-1} \right]$,则第一阶段系统的吞吐量为

$$S_{c1} = \sum_{k=0}^{\infty} k_1 \cdot f(k) \quad (7)$$

其中 $f(k)$ 为当前时隙内到达 k 个标签的概率,当系统的标签到达为泊松过程时

$$f(k) = (G^k / k!) e^{-G} \quad (8)$$

将式(8)代入式(7)得第一阶段系统吞吐量为

$$\begin{aligned} S_{c1} &= \sum_{k=0}^{\infty} k \cdot \left(\frac{N-1}{N} \right)^{k-1} \frac{G^k}{k!} e^{-G} \\ &= G e^{-G} \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{N-1}{N} G \right)^k / k! \\ &= G e^{-G} e^{\frac{N-1}{N} G} = G e^{-\frac{G}{N}} \end{aligned} \quad (9)$$

第二阶段为 k_2 个标签选用相同的扩频码,如图 2 所示. 由于每个分组长度为 T_b , 分组之间出现冲

突的时间范围为 $2T_b$, 假设数据分组的到达为泊松过程,那么在时间间隔 $2T_b$ 内有 k_2 个数据分组到达信道上的概率服从式(7),选任意分组 a_i , 其它 $k_2 - 1$ 个分组中任意一个分组落入 a_i 的冲突窗口内的概率均为 δ/N , 这时将导致数据分组 a_i 中至少有 1 bit 错误. 当其它 $k_2 - 1$ 个分组没有一个分组落入 a_i 的冲突窗口内时,数据分组 a_i 将可以成功传输,发生的概率为 $(1 - \delta/N)^{k_2 - 1}$, 所以只考虑数据分组冲突因素影响情况下,令 $Q_E(k_2)$ 为 k_2 个数据分组中任意一个分组成功传输的概率, P_a 为由于分组发生冲突所造成的平均比特传输错误概率,则

$$Q_E(k_2) = (1 - \delta/N)^{k_2 - 1} = (1 - P_a)^L \quad (10)$$

因此,分组数据冲突照成的平均比特传输错误概率 $P_a = 1 - (1 - \delta/N)^{(k_2 - 1)/L}$

设 P_b 为扩频系统中多址干扰照成的系统平均误码比特率, $P_b = Q(\sqrt{3N/(k_2 - 1)})$, 其中 $Q(x) = 1/\sqrt{2\pi} \int_x^{\infty} e^{-u^2/2} du$ [10], 设 P_e 为实际情况下系统的平均误比特率,则

$$\begin{aligned} P_e &= 1 - (1 - P_a)(1 - P_b) \\ &= 1 - (1 - Q(\sqrt{3N/(k_2 - 1)}))(1 - \delta/N)^{k_2 - 1} \end{aligned} \quad (11)$$

因此,实际环境中,系统的数据分组被正确接收的概率为

$$\begin{aligned} Q_E(k_2) &= (1 - P_e)^L \\ &= (1 - Q(\sqrt{3N/(k_2 - 1)}))^L (1 - \delta/N)^{k_2 - 1} \end{aligned} \quad (12)$$

因此,第二阶段系统的吞吐量为

$$S_{c2} = E(k_2 Q_E(k_2)) = \sum_{k_2=1}^{\infty} k_2 Q_E(k_2) f(k_2)$$

将式(11)、(12)代入得第二阶段系统吞吐量为

$$\begin{aligned} S_{c2} &= G e^{-G} + G e^{-G} \sum_{k_2=1}^{\infty} (k_2 + 1) f(k_2 + 1) Q_E(k_2 + 1) \\ &= G e^{-G} + G e^{-G} \sum_{k_2=1}^{\infty} G^{k_2} / k_2! \cdot \\ &\quad [1 - Q(\sqrt{3N/k_2})]^L (1 - \delta/N)^{k_2} \end{aligned} \quad (13)$$

因此,通过式(13)、(7)可得系统总的吞吐量为

$$\begin{aligned} S_c &= S_{c1} + S_{c2} = G e^{-\frac{G}{N}} + G e^{-G} + G e^{-G} \sum_{k_2=1}^{\infty} G^{k_2} / k_2! \\ &\quad \cdot [1 - Q(\sqrt{3N/k_2})]^L (1 - \delta/N)^{k_2} \end{aligned} \quad (14)$$

为了验证算法的提出,在 MATLAB 环境下对系统吞吐性能进行仿真和数值计算,可以得到扩频增益对系统吞吐量 S_c 和负载 G 的曲线图,系统载波调制采用 BPSK 调制,传输信道设为加性高斯噪

声(AWGN)信道,选取的系统参数为:扩频冲突区间 $\delta=2$ chip,数据分组长度 $L=100$ bit,系统用户数 $k=100$. 图 3 给出了在不同的 Chebyshev 码组阶数 N 的情况下系统吞吐量 S_c 和系统负载 G 的关系曲线. 图 4 给出了本文算法的系统吞吐量和时隙 ALOHA 算法吞吐量以及二进制树型算法吞吐量的比较曲线.

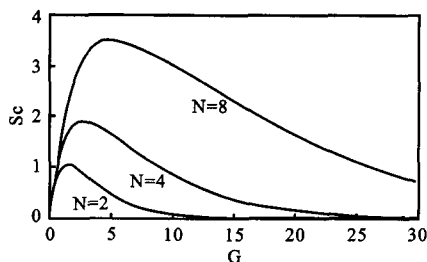


图 3 吞吐量曲线

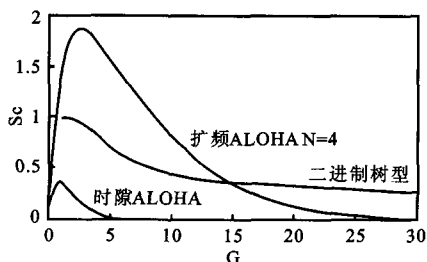


图 4 两种算法吞吐量比较曲线

从图 3 中可以看出,在系统负载 G 相同的情况下,随着 N 的增大,系统的最大吞吐量和系统稳定工作区域增大,系统的负载 G 接近于 N 时,吞吐量 S_c 接近于最大值.当选用的 Chebyshev 码的阶数 N 取高阶时,扩频 ALOHA 算法的吞吐量最大值还可以提高,但这是以增加系统的硬件资源为代价,因而在实际系统设计中必须根据工作要求在吞吐量和 Chebyshev 码的阶数做出适当的选择.

图 4 的仿真结果以 Chebyshev 码的阶数 $N=4$ 为例对 Chebyshev 序列扩频 ALOHA 算法吞吐量与时隙 ALOHA 算法以及二进制树型算法的吞吐量进行了比较,结果表明二进制算法在负载 G 为 0~30 时,系统的最大吞吐量为 1,随着负载 G 的增加,系统吞吐量呈下降趋势,最后在接近 0.4 趋于平稳,相同的条件下,扩频 ALOHA 算法的吞吐量随着负载 G 的增加,系统的吞吐量随之递增,远大于时隙 ALOHA 算法以及二进制算法的吞吐量,验证了扩频 ALOHA 算法的性能.

4 结束语

本文介绍了一种基于混沌扩频序列的 ALOHA 算法,并将其应用于解决 RFID 系统防碰撞问题,该

算法结合了扩频通信技术与传统的 ALOHA 算法,通过 Chebyshev 序列对标签 ID 序列进行扩频,仿真实验证明了该算法的有效性,可有效提高系统吞吐量,证明了该算法的系统吞吐量大于传统的算法吞吐量,有效提高了系统识别效率.扩频 ALOHA 算法涉及了对 RFID 系统的改进,设计并实现支持本算法的读写器使之应用到实际的 RFID 系统中是下一步要开展的主要工作.

参考文献:

- [1] 单承赣,单玉峰,姚磊.射频识别原理与应用[M].北京:电子工业出版社,2008.
- [2] 王雪,钱志鸿,胡正超.基于二叉树的 RFID 防碰撞算法的研究[J].通信学报,2010,31(6):49-56.
- [3] 刘拓晟.RFID 防碰撞算法的研究[D].长沙:湖南大学,2009.
- [4] 孙诗东,聂景楠.扩频 ALOHA 多址系统吞吐量和时延性能分析[J].电子与信息学报,2006,28(7):1251-1254.
- [5] 谢胜眉,赵军辉.基于最优化原理的 RFID 系统中的 ALOHA 防碰撞算法研究[J].电路与系统学报,2009,14(4):8-12.
- [6] 杨健,王永华,詹宜巨.密集标签环境下 RFID 标签防冲突算法的分析研究[J].中山大学学报,2009,48(6):147-150.
- [7] 李斌,田应洪,张勇.射频识别阅读器中信道选择滤波器的设计[J].电子器件,2010,33(2):182-185.
- [8] Hen I,Merhav N. On the Threshold Effect in the Estimation of Chaotic Sequences[J]. IEEE Transactions on Information Theory,2004,50(11):2894-2904.
- [9] 孙克辉,周家令,牟俊.多用户混沌序列扩频通信系统设计与性能分析[J].电子与信息学报,2007,29(10):2436-2440.
- [10] Robert M,James L. Packet throughput in slotted ALOHADS/SSMA radio systems with random signature sequences[J]. IEEE Transactions on Communications,1992,40(7):1223-1230.

作者简介:



陈旭辉 男,(1972-),博士,教授.研究方向为无线传感器网络、复杂网络.

(下转第 71 页)

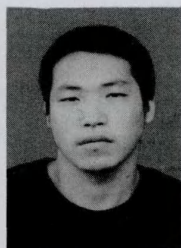
- Principles of Programming Languages. San Antonio, TX, USA:ACM, 1999:311-324.
- [4] Christian Collberg, Andrew Huntwork, Edward Carter, et al. More on graph theoretic software watermarks: Implementation, analysis, and attacks[J]. Information and Software Technology, 2009, 51(1): 56-67.
- [5] Jian Qi Zhu, Ai Min Wang, Yan Heng Liu. Tamper-proofing software watermarking scheme based on constant encoding[C]//Education Technology and Computer Science (ETCS), 2010 Second International Workshop on. Dunedin, New Zealand; Australian Computer Society, Inc., 2010:129-132.
- [6] Zaidi S J H, Wang H. On the analysis of software watermarking[C]//Software Technology and Engineering (ICSTE), 2010 2nd International Conference on. Chengdu, China, IEEE Conference Publications, 2010: 26-30.
- [7] Shor P W. Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring [C]//Foundations of Computer Science, 1994 Proceedings, 35th Annual Symposium on. Santa Fe: USA, 1994:124-134.
- [8] Johnson D S, Garey M R. Computers and intractability: a guide to the theory of NP-completeness[M]. Freeman&Co, San Francisco, 1979.
- [9] Jacques Patarin. Hidden Fields Equations (HFE) and Isomorphisms of Polynomials (IP): Two New Families of Asymmetric Algorithms[C]//Advances in Cryptology-EUROCRYPT'96. Berlin, Heidelberg: Springer, 1996:33-48.
- [10] Zhang L, Yang Y, Niu X, et al. A survey on software watermarking[J]. Journal of Software, 2003, 14(2): 268-277.

作者简介:



张茂胜 男, (1981—) 博士研究生, 讲师. 研究方向为信息安全、多媒体.

(上接第 67 页)



万磊 男, (1986—), 硕士研究生. 研究方向为无线传感器网络.



龚仁彬 男, (1964—), 博士, 高级工程师, 副教授. 研究方向为物联网应用.