

基于 RFID 标签的防碰撞算法改进

侯培国 王志轩 严 晨

(燕山大学电气工程学院 河北 秦皇岛 066004)

摘 要 无线射频识别(Radio Frequency Identification RFID)技术是物联网技术中的关键技术,为解决 RFID 系统中的多标签碰撞问题,文中提出了一种基于组合混沌映射(MDFSA)的帧时隙 Aloha 防碰撞算法。通过该算法,系统所得到的伪随机数更加均匀,标签对各个时隙的选择更加均匀。通过统计验证,仿真结果表明 MDFSA 算法提高了系统的稳定性和效率,减少了碰撞次数。与传统的 DFSA 算法相比,该算法将系统的效率最大提高了 33%。随着标签数量的增加,所提算法的性能更加稳定,优势更加显著。其适用于大型 RFID 标签快速识别系统。

关键词 RFID,防碰撞算法,Aloha,混沌序列,伪随机数发生器

中图法分类号 TP391 **文献标识码** A

Improvement of Anti-collision Algorithm Based on RFID Tag

HOU Pei-guo WANG Zhi-xuan YAN Chen

(School of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei 066004, China)

Abstract Radio Frequency Identification (RFID) technology is a key technology in the Internet of Things. To solve the multi-tag collision problem in RFID system, this paper proposed a frame time slot Aloha anti-collision algorithm based on combined chaotic map (MDFSA). Through the algorithm, the pseudo-random number obtained by the system is more uniform, the selection of labels for each time slot is more uniform. Through statistical verification, the simulation results show that the MDFSA algorithm improves the stability and efficiency of the system and reduces the number of collisions. Compared with traditional DFSA algorithm, the proposed algorithm increases the efficiency of the maximum system by 33%. As the number of tags increases, the performance of the algorithm is more stable and the advantages are more significant. It is suitable for large RFID tag rapid identification systems.

Keywords RFID, Anti-collision algorithm, Aloha, Chaotic system, Pseudo random number generator

1 引言

射频识别(RFID)是一种非接触式自动识别技术,通过射频信号自动识别目标物体并获取相关数据,而无须识别系统与特定目标物体之间的任何介质接触^[1-3]。RFID 系统由阅读器和许多标签组成,并且大多数 RFID 系统应用是标签密集型应用。如果多个标签同时向阅读器传输数据,则这些数据包的传送将会发生冲突^[4-5],从而会降低读写器数据接收的效率,因此标签冲突问题是 RFID 技术的关键问题之一。Aloha 类防碰撞算法简单易行,且具有随机性,在现实 RFID 系统中得到了广泛的应用^[6]。

在传统的 Aloha 防冲突算法中,当标签数量和帧槽数相等时,识别效率将达到最大值。大多数研究者将工作重心集中在如何确定帧槽数量和标签数量之间的关系,以达到最大的识别效率^[7-8]。考虑到在系统识别标签的过程中,待识别标签的数量将发生变化,研究人员提出了一种动态帧时隙 Aloha(DFSA)算法^[9]。该算法中,帧长度会根据待识别标签数量的变化而变化,确定最优帧长,以解决时隙浪费和标签识别时间增加的问题。EDFSA(Enhanced Dynamic Framed Slotted

Aloha)^[10]协议是一种改进的 DFSA 协议,该算法使用数据包来识别标签,解决了在 DFSA 协议中,由于标签增加而引起帧时隙数量呈指数增加的问题。

在 Aloha 算法的研究中,Fu 等^[11]提出了一种基于连续时隙预测的帧时隙 Aloha 防碰撞算法,该算法通过马尔可夫时隙模型,分析了不同连续时隙状态下帧长与标签树之间的关系,提出了连续时隙预测机制和自适应散列方案,有效地减少了无效时隙的发生。RFID 系统在读取阶段,需要读取大量数据包,大部分时隙都是成功的时隙,但也有很多的空闲时间,减慢了标签的识别速度。针对 Aloha 算法空闲时隙较多的缺点,张小红等^[12]提出了一种基于帐篷映射的标签防碰撞优化算法(TFSA),其使用 Tent 混沌映射伪随机生成器代替传统的随机数生成器来产生更均匀的伪随机数。这样每个时隙都有一个标签选择,并且系统中空闲时隙的数量减少了,该算法提高了传统 FSA 算法的吞吐量。

本文提出了一种基于组合混沌映射(MDFSA)的动态帧时隙 Aloha 算法。通过随机数模型的性能检测和随机分布图像的验证,该算法优于基于帐篷映射(TFSA)的算法。仿真结果表明,该算法降低了传输所需时隙,提高了系统的效率和

本文受国家自然科学基金青年基金项目(6160051334,61702051)资助。
侯培国(1968—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为物联网、射频识别;王志轩(1992—),男,硕士,主要研究方向为射频识别技术研究, E-mail:983273706@qq.com(通信作者);严 晨(1991—),男,硕士,主要研究方向为射频识别技术应用。

稳定性。随着标签数量的增加,该算法具有明显的优势。

2 改进 DFSA 算法

DFSA 算法的主要原理是动态调整设定帧长的大小,使其最大化地与待识别标签数目相等。在 RFID 系统运行的过程中,标签数量是不断变化的,如何高效率准确估计待识别标签的数目进而适当地调整识别帧长是 DFSA 算法的精髓^[13]。标签估计方法主要有下限(Lowbound)估计法、Shoute 估计法、Vogt 估计法、Chen 估计法等^[14]。

Chen 估计法^[14]中提到的新型估计算法中假设标签的识别过程满足多项分布,则在帧长 L 中,空闲时隙发生 N_E 次,成功时隙发生 N_S 次,碰撞时隙发生 N_C 次的概率为:

$$P(N_E, N_S, N_C) = \frac{L!}{N_E! N_S! N_C!} p_e^{N_E} p_s^{N_S} p_c^{N_C} \tag{1}$$

其中, p_e, p_s, p_c 分别为标签识别时空闲时概率、成功时隙概率和碰撞时隙概率,其表达式为:

$$p_e = (1 - (1/L))^n \tag{2}$$

$$p_s = (n/L)(1 - (1 - L))^{n-1} \tag{3}$$

$$p_c = 1 - p_s - p_e \tag{4}$$

对于一个帧长为 L 的识别周期,可以得到后验分布概率,在 n 个待识别标签环境下,当有 N_E 个空闲时隙和 N_S 个成功时隙被占用时,则可以达到 N_C 个碰撞时隙,其表达式如下:

$$\begin{aligned} P(n|N_E, N_S, N_C) &= \frac{L!}{N_E! N_S! N_C!} \times \left[\left(1 - \frac{1}{L}\right)^n \right]^{N_E} \\ &\quad \times \left[\frac{n}{L} \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{n-1} \right]^{N_S} \times \left[1 - \left(1 - \frac{1}{L}\right)^n - \frac{n}{L} \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{n-1} \right]^{N_C} \end{aligned} \tag{5}$$

根据后验分布得出,当式(5)达到最大时,标签的估计值最佳。

使标签样本数量从 50 增加到 450,采用不同的标签估算方法,可以得到不同的标签数目和所消耗的时隙数的关系,如图 1 所示。

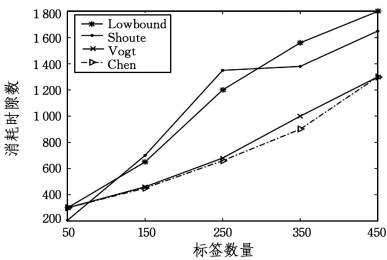


图 1 不同估计算法下标签数目和所消耗时隙的关系

从图 1 可以看到,Lowbound 估计法和 Shoute 估计法会消耗较多时隙,不利于 RFID 系统吞吐率的提高,Vogt 估计法相对于前两类标签估计法而言,系统识别标签所消耗时隙数有了显著降低,但是在标签数目较多的情况下,该估计法会存在很大的误差。从图中看到 Chen 标签估计算法在标签识别周期内消耗的时隙数最少,并且在多数标签情况下,该估计方法的误差较小。因此,选择 Chen 估计算法作为改进算法中的标签估计算法。

2.1 伪随机数发生器的选择

常见的伪随机数的产生方法有 Tent(帐篷)映射、无线折叠混沌映射、组合混沌映射、Logistic 混沌映射等。其中 Tent

映射结构简单,并且迭代过程适合计算机运行。无线折叠混沌映射有良好的均匀性能,因而选择这两种伪随机数发生器。

2.1.1 Tent 混沌映射生成器

Tent 混沌映射生成器的迭代如下^[16]:

$$x_{n+1} = \begin{cases} \frac{x_n}{a}, & 0 < x \leq a \\ \frac{1-x_n}{1-a}, & a < x \leq 1 \end{cases} \tag{6}$$

其中, a 是常数, $0 \leq a \leq 1$ 。这个映射是在区间 $[0, 1]$ 之间的两个分段的线性迭代,其中仅包含一个参数。序列的计算过程为:在区间 $(0, 1)$ 中任意选择一个初始迭代点,迭代计算 x_{n+1} ,即可得到 $(0, 1)$ 区间反复迭代的一个混沌映射。假设 $x_0 = 0.7, a = 0.3612$,迭代次数为 $n = 3000$,得到的 Tent 混沌模型的随机特征图如图 2 所示。

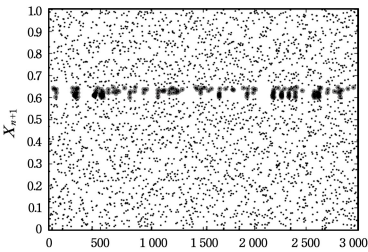


图 2 Tent 混沌模型的随机特性图

从 Tent 混沌模型的随机特征性图可以看到, x 为 0.6 左右时随机数的分配是不均匀的。

2.1.2 组合混沌映射伪随机数生成器

无限折叠混沌映射的迭代表达式如下^[17]:

$$x_{n+1} = f(x_n) = \text{mod}(a/x_n, b) \tag{7}$$

其中, $x_n \in (0, b), a \in [1, \infty), b \in (0, 1), n = 0, 1, \dots, \text{mod}(\cdot, b)$ 是模 b 函数。当 b 接近 0 或 a 趋近于无穷大时,该混沌映射的分布接近均匀分布,当 $b = 1, a > 10$ 或 $a = 1, b < 0.5$ 时,得到的序列可以通过均匀性统计来验证。因此,选择 $b = 1, a > 10$ 生成随机序列。本文提出了一种结合 Tent 混沌映射和无限折叠混沌映射的伪随机数的新方法。迭代公式如下:

$$x_{n+1} = \begin{cases} \text{mod}(\frac{a_1}{x_n} + \lambda \frac{x_n}{a_2}, b), & 0 < x \leq a_2 \\ \text{mod}(\frac{a_1}{x_n} + \lambda \frac{1-x_n}{1-a_2}, b), & a_2 < x \leq 1 \end{cases} \tag{8}$$

在 $b = 1$ 的情况下, $a_1 > 10, n = 0, 1, \dots$,即通过该方法,可以生成均匀分布在 $(0, 1)$ 之间的伪随机数。图 3 为组合混沌模型的随机特征图,其中取 $a_1 = 17, a_2 = 0.3612, x_0 = 0.7, n = 3000, \lambda = 3.5$ 。结果表明,随机数分布在 $x \in (0.6, 0.7)$ 附近是均匀的,这表明伪随机数的均匀性得到了改善。

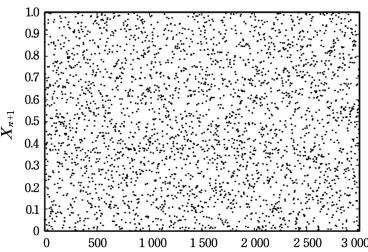


图 3 组合混沌模型的随机特征图

2.2 混沌伪随机数的性能检测

本文利用两种方法对混沌系统产生的伪随机数进行了测试,并与传统的伪随机数和 Tent 混沌映射的伪随机数生成方

法进行了比较^[18]。

2.2.1 参数测试(一阶矩测试和二阶矩测试)

假设 $\{x_n\}$ 是 $(0,1)$ 区间的随机序列,样本容量为 N ,并根据中心极限定理,获得以下近似统计数据:

$$u = \sqrt{12N}(\bar{x} - 0.5)$$
(9)

$$v = \frac{1}{2} \sqrt{45N}(\bar{x}^2 - \frac{1}{3})$$
(10)

上述统计量服从正态分布 $N(0,1)$,在式(9)、式(10)中有:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i$$
(11)

$$\bar{x}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i^2$$
(12)

2.2.2 均匀性测试

将样本区间 $(0,1)$ 等分成 m 等份,假设从样本空间内任意取一个数字,则这个数字来自任意一个小区间 i 的概率为 $p_i=1/m$,则落入这一区间的样本平均值的理论值为 $K_i=N \cdot p_i=N/m$,区间 i 内实际落入的随机数的数量为 N_i ,则均

匀性检验统计量为:

$$V = \frac{m}{N} \sum_{i=1}^m (N_i - K_i)^2$$
(13)

取样本容量 $N=100,1000,10000$,显著性水平 $\alpha=0.05$, $k=100$ 。查询表格可得, $|u|<1.96$, $|v|<1.96$, $|V|<123.23$ 时,可以判定随机数发生器产生的随机数通过一阶矩、二阶矩检验以及均匀性检验。

表 1 当 $x=0.7, a_1=17, a_2=0.3612$ 时所提出方法的统计值

随机数 发生器	样本容量	统计量		
		$ u $	$ v $	$ V $
混合混沌随机数 发生器	100	0.0279	0.0188	82
	1000	0.3982	0.4340	79.4
	10000	0.0328	0.1480	67

为了更直观地感受分布的均匀性,将 $(0,1)$ 区间分割成 10 个小单元,并计算每个区间中伪随机数的数量^[12]。为了测试组合混沌映射的均匀性,我们得到了表 2 中伪随机数的统计分布和图 4 的频率分布。

表 2 伪随机数统计分布表

区 间	MDFSA		TDFSA		DFSA	
	频率/个	频率-300	频率/个	频率-300	频率/个	频率-300
(0,0.1]	305	5	310	10	296	5
(0.1,0.2]	300	0	312	12	297	3
(0.2,0.3]	302	2	282	18	339	39
(0.3,0.4]	302	2	297	3	299	1
(0.4,0.5]	303	3	290	10	283	17
(0.5,0.6]	298	2	321	21	328	28
(0.6,0.7]	278	22	301	1	306	6
(0.7,0.8]	297	3	291	9	290	10
(0.8,0.9]	311	11	301	1	273	27
(0.9,1.0]	304	4	295	5	289	11
统计和	3 000	54	3 000	90	3 000	146

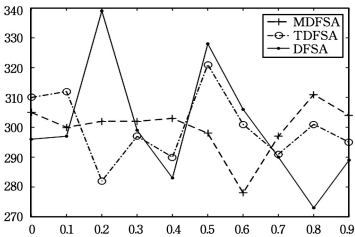


图 4 频率分布图

从表 2 可以看出,由混沌系统产生的 3000 个伪随机数在等间隔单元的数量上几乎相同,并且数量在约 300 的范围内变化。每个间隔中的随机概率落点均匀地遍历在 $(0,1)$ 区间。然而,传统方法在每个小区中产生的伪随机数的概率变化很大,并且分布不是很均匀。

上述测试表明,由 Tent 混沌系统和无限折叠系统相结合产生的混合随机数发生器通过了均匀性测试,并且生成的伪随机数比由帐篷混沌系统和传统系统产生的伪随机数更均匀。

3 绩效评估

3.1 分析时隙号

在传统的 DFSA 算法中,当标签的数量小于时隙的数量时,碰撞的概率降低。但是,空闲时隙增加,时隙的有效利用率降低,导致系统效率低下。本文由 Tent 混沌系统和无限折

叠混沌系统组成的混合系统产生了更均匀的随机数,使得时隙选择更加均匀,时隙的利用效率增加,空闲时隙减少。根据 Tent 算法、传统的 DFSA 算法和改进算法,分别绘制了读取相同数量标签所使用槽数的性能曲线,仿真采用初始帧长 $L=256$ 。仿真结果如图 5 所示。

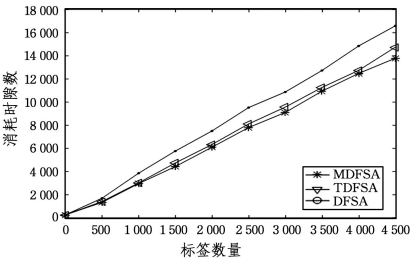


图 5 MDFSA 算法总时隙消耗量

在识别相同数量的标签的情况下,改进的新型算法所消耗的时隙总数分别少于 Tent 混沌算法和传统算法所需的时隙总数。

3.2 系统效率分析

改进算法的最终目的是减少空闲时隙数量,提高系统识别效率,使得系统吞吐率增加。

在实验中设定初始帧的长度为 32,64,128,256,标签数量从 1 增加到 4500,对 DFSA,TDFSA,MDFSA 3 种算法的吞吐率进行对比实验。仿真结果如图 6 所示。

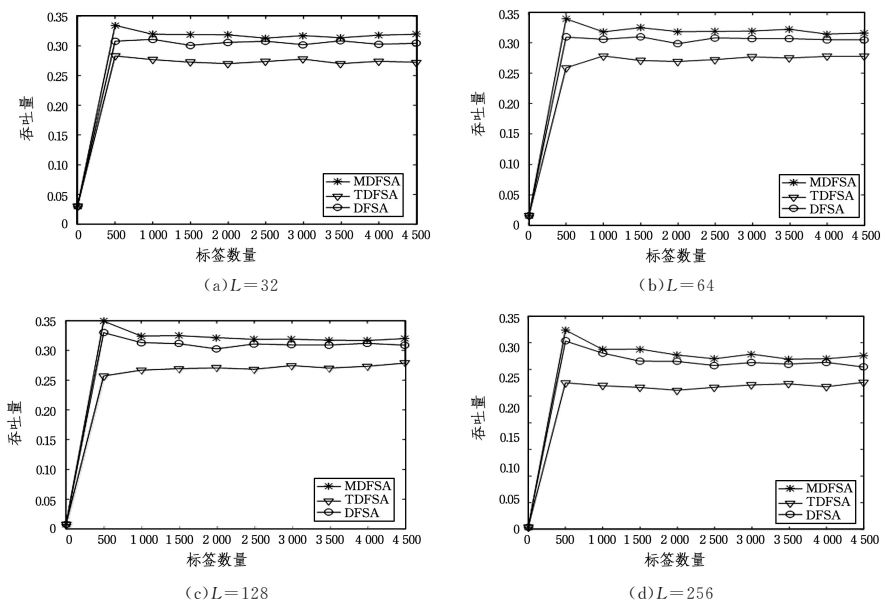


图 6 不同帧长下吞吐率的比较

从图 6 可以看出,在不同初始帧长下,改进的 MDFSA 算法的吞吐率明显高于 DFSA 算法和 TDFSFA 算法。以帧长 $L=256$ 为例,在处理大量标签情况下,传统的 DFSA 算法的最大吞吐率为 0.281,而改进的 MDFSA 算法的最大吞吐率为 0.374,相比之下,改进的 MDFSA 算法的吞吐率比传统的 DFSA 算法的吞吐率提高了 33%。这是因为由 Tent 混沌系统和无限折叠混沌系统组成的混合系统可以生成更加均匀的随机数,使得每个时隙被标签所选择的可能性增加,碰撞几率下降,减少了空闲时隙的数目,从而提高了系统的效率。

结束语 本文分别介绍了 Tent 混沌系统和无限折叠混沌系统,并在原始 Tent 映射伪随机数发生器的基础上,提出了一种组合混沌映射伪随机数发生器。经过参数检验(一阶矩和二阶矩检验)和均匀性检验得出,组合的混沌伪随机生成器可以生成更均匀的随机数,这可以使标签的时隙分布更加均匀,减少了空闲时隙的数量,并提高了系统的效率。仿真结果表明,基于组合混沌映射(MDFSFA)的 RFID 识别系统在不同初始帧长条件下,识别效率更高,读取标签时所消耗的总时隙更少,吞吐率也大大提高,并且比传统 DFSA 算法吞吐率最大提高了 33%。

参 考 文 献

[1] SAARINEN K,BJORNINEN T,UKKONEN L,et al. Reliability Analysis of RFID Tags in Changing Humid Environment [J]. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 2014, 4(1): 77-85.

[2] 郎为民,褚开锋,吴培仁,等. 射频识别的发展历史[J]. 电信快报:网络与通信, 2019(1): 2-5.

[3] ŠOLIĆ P, BLAŽEVIĆ Z, ŠKILJO M, et al. Gen2 RFID as IoT Enabler: Characterization and Performance Improvement [J]. IEEE Wireless Communications, 2017, 24(3): 33-39.

[4] JAYADI R, LAI Y C, LIN C C, et al. Efficient time oriented anti-collision protocol for RFID tag identification [J]. Computer Communications, 2017, 112: 141-153.

[5] 王超梁,赵成,周鹏. 物联网 RFID 多标签识别防碰撞算法研究与实现[J]. 物联网技术, 2018, 8(1): 40-45.

[6] SILVA I, VIEGAS C. An Effective Extension of Anti-Collision

Protocol for RFID in the Industrial Internet of Things (IIoT) [J]. Sensors, 2018, 18(12): 4426.

[7] 周少珂,邓森磊. ALOHA 标签防碰撞算法综述[J]. 计算机工程与应用, 2017(14): 9-17.

[8] 卢炼. RFID 防碰撞算法研究[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2017, 35(3): 385-388.

[9] XIONG T W, TAN X, YAN N, et al. Modeling and simulation of RTLS based on UHF RFID [J]. Journal of System Simulation, 2011, 23(1): 212-216.

[10] LEE S R, JOO S D, LEE C W. An enhanced dynamic framed slotted ALOHA algorithm for RFID tag identification [C]// The Second Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services. IEEE Computer Society, 2005.

[11] FU Y, QIAN Z H, MENG J, et al. Frame slot-ted Aloha anti-collision algorithm based on continuous slot prediction [J]. transactions of the Chinese Academy of Sciences, 2016, 9(44): 2081-2086.

[12] 张小红,肖娟凤. 无源 RFID 系统标签防碰撞优化算法研究[J]. 系统仿真学报, 2014, 26(6): 1320-1326.

[13] 王阳,吴海峰,曾玉. 稠密 RFID 标签环境下捕获感知贝叶斯标签估计[J]. 计算机研究与发展, 2016, 53(6): 1325-1331.

[14] 陈荣征. 改进的基于动态帧时隙 ALOHA 防碰撞算法[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版), 2016(1): 21-25.

[15] CHEN W T. An Accurate Tag Estimate Method for Improving the Performance of an RFID Anticollision Algorithm Based on Dynamic Frame Length ALOHA [J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2009, 6(1): 9-15.

[16] 闫永梅,郝润芳,张朝霞,等. 基于 Tent 映射的伪混沌序列的产生和分析[J]. 太原理工大学学报, 2008, 39(5): 66-69.

[17] KATZ O, RAMON D A, WAGNER I A. A robust random number generator based on a differential current-mode chaos [M]. IEEE Educational Activities Department, 2008.

[18] BONANNO C, MENCONI G. Computational information for the logistic map at the chaos threshold [J]. Discrete and Continuous Dynamical Systems-Series B (DCDS-B), 2002, 2(3): 415-431.