

超高频 RFID 系统的 CRC 分组 ALOHA 算法优化

张小红*, 卢娟

(江西理工大学 信息工程学院, 江西 赣州 341000)

(* 通信作者电子邮箱 xiaohongzh@263.net)

摘要: 标签冲突增加了射频识别(RFID)系统的时间开销和能量损耗,降低了识别速度,随着标签数量的不断增加,冲突更加明显,系统性能急剧下降。为了解决 RFID 系统中的多标签防碰撞问题,在分析帧时隙 ALOHA 算法的基础上提出一种基于标签分组的帧时隙 ALOHA 优化算法。该算法首先通过标签自身携带的循环冗余校验(CRC)码将标签分组,记录标签组的组号,按照组号的顺序依次识别,从而减少同时响应阅读器命令的标签数量;针对识别过程中的时隙选择冲突问题,可以通过混沌系统产生均匀分布的伪随机数,对进入识别状态的标签随机选择时隙号,使标签在一帧内选择的时隙分布更加均匀,从而减少标签碰撞的次数。与传统算法的对比实验中:当待识别标签数量相等时,优化算法识别完标签所需命令数更少,且所用命令数与标签数目呈近似线性关系;当待识别的标签数量小于 256 时,优化算法的标签识别速度提高率稳定在 50%;当待识别的标签数量大于 256 时,优化算法能使标签识别速度提高率达 80%。理论分析与实验结果表明,优化算法识别标签的速度更快,且随着标签数量的增加,其优势更明显。

关键词: 射频识别;帧时隙 ALOHA;循环冗余校验码;标签分组;伪随机数

中图分类号: TP301.6 **文献标志码:** A

Optimization of CRC packet ALOHA algorithm for ultra-high frequency RFID system

ZHANG Xiaohong*, LU Juan

(School of Information Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou Jiangxi 341000, China)

Abstract: Tag collision in Radio Frequency Identification (RFID) system increases the time overhead and energy consumption, reduces the speed of recognition. With the increasing number of tags, the collision is more obvious, thus the system performance decreases sharply. In order to solve the problem of collision among multiple tags in RFID system, an optimized anti-collision algorithm for RFID system based on tag grouping was proposed by analyzing frame slotted ALOHA algorithm. The tags of this algorithm were divided into several groups through the Cyclic Redundancy Check (CRC) code which tags carry, then it recorded tag group number and identified each group according to the grouping sequence, therefore the number of tags which simultaneously responded to the reader's order would be reduced. For the problem of timeslot selective confliction in the identification process, the chaotic system was used to generate uniformly distributed pseudorandom numbers, and it was conducive to select timeslots randomly for the tags within identification state, which made the timeslots selection more uniform in a frame and finally reached the purpose of reducing frequency of tag collision. In the comparative experiments with traditional algorithm, the optimization algorithm needed less orders when the number of tags to be identified was equal, and the order number and tag number showed an approximate linear relationship. The tag identification speed improvement of the optimization algorithm was stable at 50% when the number of tags to be identified was less than 256, and the speed improvement increased to 80% when the number of tags to be identified was more than 256. Theoretical analysis and simulation results indicate that the optimization algorithm has faster tag identification speed, and its performance is more obvious with the increasing of the tags.

Key words: Radio Frequency Identification (RFID); frame slotted ALOHA; Cyclic Redundancy Check (CRC) code; tags grouping; pseudo random number

0 引言

射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)技术是一种非接触式自动识别技术^[1]。典型的 RFID 系统主要包括阅读器、电子标签及后台数据管理系统,其中电子标签嵌贴在待识别的物体上,阅读器对其唯一的标识字符串(ID)进行识

别并进行读写操作,以完成对待识别目标的信息处理。阅读器和标签之间通过共享的无线信道进行通信,当阅读器向所有标签发送一个请求命令,接收到命令的标签同时应答并发送数据,导致阅读器读取信息交错干扰和混叠,即所谓的标签碰撞。标签碰撞不仅增加了 RFID 系统的能量损耗,而且降低了 RFID 系统的识别速度,因此,快速简单的 RFID 标签防

收稿日期:2014-04-03;修回日期:2014-06-07。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61363076);江西省教育厅科技项目(GJJ13435, GJJ14465)。

作者简介:张小红(1966-),女,河北昌黎人,教授,博士,主要研究方向:非线性动力学、射频识别;卢娟(1988-),女,江西高安人,硕士研究生,主要研究方向:RFID 抗碰撞算法。

碰撞算法对有效识别标签具有非常重要的意义^[2]。

目前,对标签防碰撞算法的研究主要是基于时分多址思想^[3],包括两类:基于 ALOHA 的随机性算法^[4]和基于树的确定性算法^[5]。ALOHA 的主要代表算法有帧时隙 ALOHA (Framed Slotted Aloha, FSA) 算法和动态帧时隙 ALOHA (Dynamic Framed Slotted Aloha, DFSA) 算法^[6-7]等。其特点是,算法采用随机时隙的选择机制,简单而易于实现。但是随着标签数量的急剧增多,ALOHA 类算法中的随机性不仅会造成某一标签可能在长时间内都无法被识别,即“标签饥饿”问题^[8],而且 RFID 系统标签的频繁碰撞也对识别效率产生严重制约。

在 860~960 MHz 超高频(Ultra-High Frequency, UHF)的 RFID 协议中,ISO/IEC18000-6C 标准规定^[9]:A 类和 B 类短程通信在前向和返回链路中的数据校验码都采用 16 位的循环冗余校验(Cyclic Redundancy Check, CRC)码,所以本文通过标签自身携带的 CRC 码,提出一种基于标签分组的 FSA 优化算法,利用混沌系统产生的伪随机数遍历性好的特点,使每个时隙均有标签选择,从而减少“标签饥饿”和碰撞问题。实验仿真结果表明,该算法在一定程度上缓解了多标签导致的系统识别速度下降的局面,可有效地减少阅读器的识别时间,实现了标签快速、高效的读取。

1 算法描述

1.1 基于 CRC 码的标签分组

RFID 系统无接触的数据通信过程很容易受到外界干扰,从而影响数据接收的准确率。CRC 码是一种在数字传输中应用较为广泛的高性能误差检测码,其利用简单的除法及余数原理进行检错和纠错,通过模 2 运算来建立信息位和校验位之间的约束关系,使得当前 CRC 码也被广泛应用在射频识别系统中^[10-12]。基于 CRC 码的标签分组过程描述如下:

阅读器发送识别请求命令后,收到命令的标签提取自身携带的 16 位 CRC 码,将其作为模 2 运算中的被除数,并用二进制信息码 $M(x)$ 表示。考虑到标签数量较小而选取的分组数较大时,容易导致每组的标签数量分布不均匀,在帧长固定的前提下,系统的识别效率不能达到最佳;当标签数量较大而选取的分组数过小,则会导致每组中的标签数过多从而达到减少标签碰撞的目的,综合这两种情况,所以令新生成的校验码的位数为 4,并选取生成多项式:

$$G(x) = x^4 + x^2 + x + 1 \quad (1)$$

接着用二进制信息码 $M(x)$ 去除生成多项式 $G(x)$,得到新的 4 位 CRC 码作为每个标签所在的组号,其值可取的范围为 0~15,即所有的标签都被分配到 16 个不同的组中。

1.2 基于混沌映射的时隙选择

基于混沌理论产生的随机数,相比传统的伪随机数发生器产生的随机数分布更均匀,具有更好的遍历性,且其生成方式简单、快速、易于实现,用于 RFID 系统的电子标签识别中,以降低标签碰撞的概率,提高 RFID 系统的识别效率。

常见的混沌映射有 Logistic 混沌映射、Henon 映射、Tent 映射、Chebyshev 映射、组合混沌映射等。本文选择 Tent 映射^[13-14]将其应用在 RFID 系统中以提高电子标签的搜索效率。Tent 映射数学表达式^[15]为:

$$x_{n+1} = \mu(1 - 2|x_n - 0.5|) \quad (2)$$

其中 $0 < \mu \leq 1$, $x_0 \in [0, 1]$ 。经分析式(2)的 Lyapunov 指数为

$\lambda = \ln(2\mu)$ 。当 $\mu > 0.5$ 时,即 $\lambda > 0$,则式(2)是混沌的,否则为非混沌序列。图 1 中(a)为对应的映射方程(2)取 $x_0 = 0.8581$, $\mu = 0.5612$ 时,方程迭代 4000 次产生的随机数分布结果,图 1 中(b)为对式(2)迭代 4000 次后随机数 $x(n)$ 分布的数值统计直方图。

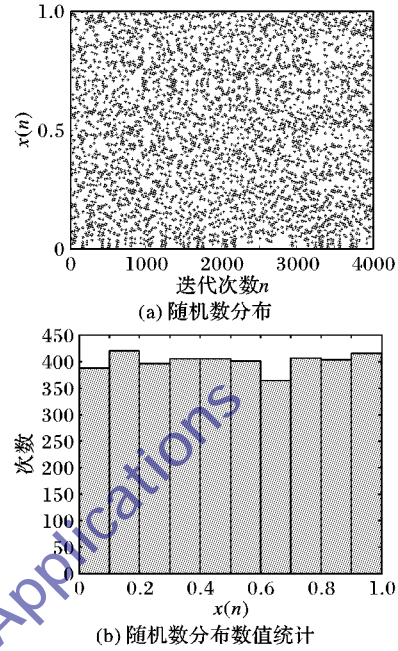


图1 Tent 映射随机分布结果

从图 1 中可以看出,Tent 映射是一种具有良好随机性能、遍历性和均匀性的混沌序列映射,所以基于 Tent 映射的时隙选择方法可以满足文中算法的需要,有利于标签对时隙的选择,避免标签对时隙数的选择不够均匀,从而提高标签的识别速度。

1.3 基于标签分组和时隙选择的算法设计

基于标签分组的 FSA 防碰撞优化算法是在 FSA 算法的基础上提出的,是一种针对大规模标签进行快速识别的改进型算法^[16],它主要分为标签分组和标签识别两个阶段。标签分组算法就是以标签自身生成的 CRC 码作为分组依据,通过这些 CRC 码与给定的生成多项式进行模 2 除法运算从而再生成新的码值作为每个标签的分组号;分组结束后,利用简单的混沌映射产生均匀分布的伪随机数,阅读器发送命令使得每组的标签群随机选择伪随机数作为它们占用的时隙号并开始识别标签,读完一组标签群之后,阅读器再依据标签群的分组号依次识别其他组的标签群。图 2 为基于 CRC 码的标签分组过程和基于混沌映射的时隙选择过程示意图。

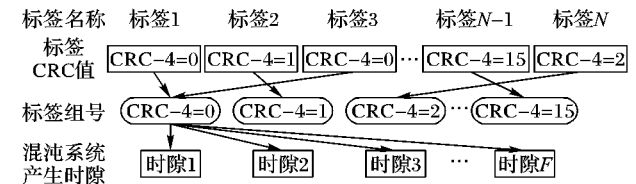


图2 标签分组和时隙选择示意图

2 算法识别过程

2.1 标签状态的迁移

阅读器在识别标签的过程中,标签的状态会根据阅读器的请求命令而改变。本文算法定义了阅读器与标签通信过程

值仿真得到算法中标签数目与命令数量的关系,结果如图5所示;并统计在相同数量的标签下两种算法各自的运行时间,结果见表1所示。

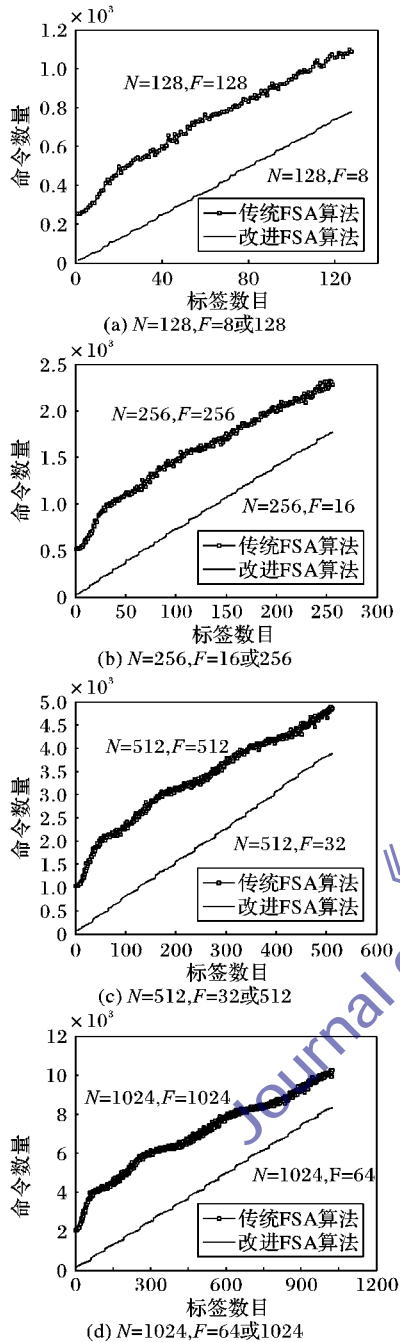


图5 传统 FSA 算法和改进 FSA 算法仿真结果

表1 传统 FSA 算法和改进 FSA 算法识别标签的效率比较

标签数 N	传统的 FSA 算法		改进的 FSA 算法	
	仿真帧长 F	运行时间/s	仿真帧长 F	运行时间/s
128	128	0.667 1	8	0.294 2
256	256	1.049 5	16	0.400 3
512	512	2.386 1	32	0.676 9
1 024	1 024	11.256 4	64	1.802 1

4 算法性能分析

4.1 分组效率分析

本文基于 CRC 码的标签分组过程中,标签的分组号在

0~15 内等概率出现,因此所有的标签都可能被分配到 16 个不同的组中,且被分配到每个组的概率相同,特别是对于标签总数较大的情况。基于 CRC 码的标签分组过程所消耗的总时间就是一个标签的 CRC 码对生成多项式进行除法运算的时间,算法复杂度就相当于一个标签的 CRC 码除以生成多项式的算法复杂度,有利于标签快速分组与高效识别。

4.2 时隙数分析

本文在时隙的选择过程中,采用混沌系统产生伪随机数作为标签选择的时隙数,虽然 Tent 映射产生的混沌伪随机数序列对初始条件和参数具有极端的敏感性和遍历性,但仍然保持较好的统计均匀分布规律,因此基于 Tent 映射的时隙选择方法可以满足本文算法的需要,有利于标签对时隙的均匀不重复性选择,避免标签对时隙数的选择的冲突与碰撞,从而提高标签的防碰撞能力。

4.3 仿真结果分析

在仿真实验数据的选取上,传统的 FSA 算法和改进的 FSA 算法均满足标签识别速度最快的条件 $F = N$,在此基础上,这两种算法的识别效率都达到了最大值,由仿真结果图 5 可知:

- 1) 当待识别的标签数量相等时,改进的 FSA 算法识别完标签所需的命令数比传统的 FSA 算法要少,即改进的算法识别标签的速度提高了,达到了算法设计的目的。
- 2) 改进的 FSA 算法识别标签所用的命令数与标签数目近似成线性关系,说明在利用 CRC 码进行标签分组时,每组的标签数量分布比较均匀,从而帧长的固定不会导致算法识别速度降低,克服了文献[18]利用陪集分解理论对标签分组导致的标签比较分散而产生大量空闲时隙的不足。
- 3) 无论待识别的标签数量较少还是较多时,改进的 FSA 算法识别标签所需的命令数都远小于传统的 FSA 算法,即改进的 FSA 算法的标签识别速度都远远超过传统的 FSA 算法。
- 4) 从表 1 可以看出,传统的 FSA 算法增加的幅度远远高于改进的 FSA 算法。当标签数量小于 256 时,改进算法的识别速度的提高率稳定在 50%;当标签数量大于 256 时,提高率可达 80%,说明随着待识别标签数量的增加,改进的 FSA 算法比传统的 FSA 算法更具优势。

5 结语

本文在分析了 RFID 标签数目的不断增加导致系统识别性能急剧下降的基础上,利用标签自身携带的 CRC 码提出了 FSA 优化分组算法。按照分组号的大小顺序,同时结合简单的混沌系统产生伪随机数作为标签选择的时隙,依次识别这些标签,以减少在相同时刻响应阅读器请求命令的标签数量,从而降低标签碰撞的概率,提高标签的识别速度。仿真结果表明,无论标签的数目较大或者较小,改进的算法在识别速度上都有很明显的提高。本研究可应用于有源和半有源 RFID 系统标签的快速识别中。

参考文献:

- [1] NING H, XU Q. Research on global Internet of things' developments and its construction in china [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(11): 2590-2599. (宁焕生, 徐群玉. 全球物联网发展及中国物联网建设若干思考 [J]. 电子学报, 2010, 38(11): 2590-2599.)
- [2] LI H. Research and performance analysis of UHF RFID multi-tag anti-collision algorithms [D]. Jinan: Shandong University, 2011. (栗华. UHF RFID 多标签防碰撞算法的研究与性能分析 [D].

- 济南: 山东大学, 2011.)
- [3] GANDINO F, FERRERO R, MONTRUCCHIO B, *et al.* DCNS: an adaptable high throughput RFID reader-to-reader anticollision protocol [J]. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2013, 24(5): 893–905.
- [4] XIONG T, 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.
- [5] EOM D F, LEE T J. Accurate tag estimation for dynamic framed-slotted ALOHA in RFID systems [J]. *IEEE Communications Letters*, 2010, 14(1): 60–62.
- [6] LI M, QIAN Z, ZHANG X, *et al.* Slot-predicting based ALOHA algorithm for RFID anti-collision [J]. *Journal on Communications*, 2011, 32(12): 43–50. (李萌, 钱志鸿, 张旭, 等. 基于时隙预测的RFID防碰撞ALOHA算法[J]. *通信学报*, 2011, 32(12): 43–50.)
- [7] ZHANG C, PENG X, YANG L. Anti-collision algorithm based on priority grouping [J]. *Journal of Computer Applications*, 2012, 32(12): 3490–3493. (张从力, 彭璇, 杨磊. 基于优先级分组的防碰撞算法[J]. *计算机应用*, 2012, 32(12): 3490–3493.)
- [8] LI J-S, H Y-M. An efficient time-bound collision prevention scheme for RFID re-entering tags [J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2013, 12(6): 1054–1064.
- [9] de DONNO D, RICCIATO F, TARRICONE L. Listening to tags: uplink RFID measurements with an open-source software-defined radio tool [J]. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2013, 62(1): 109–118.
- [10] SAKAI K, KU W S, ZIMMERMANN R, *et al.* Dynamic bit encoding for privacy protection against correlation attacks in RFID backward channel [J]. *IEEE Transactions on Computers*, 2013, 62(1): 112–123.
- [11] YANG P, HE Y, TAN Y, *et al.* A design of CRC circuitry in UHF RFID system [J]. *Journal of Circuits and Systems*, 2009, 14(2): 18–21. (阳璞琼, 何怡刚, 谭阳红, 等. 超高频RFID系统CRC电路设计[J]. *电路与系统学报*, 2009, 14(2): 18–21.)
- [12] HU T, WEI G. Anonymous bidirectional RFID authentication protocol based on low-cost tags [J]. *Journal of Computer Applications*, 2012, 32(1): 111–114. (胡韬, 魏国珩. 基于低成本标签的RFID匿名双向认证协议[J]. *计算机应用*, 2012, 32(1): 111–114.)
- [13] NIE R, ZHANG W, LI G, *et al.* Adaptive chaos hybrid multi-objective genetic algorithm based on the Tent map [J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2012, 38(8): 1010–1016. (聂瑞, 章卫国, 李广文, 等. 基于Tent映射的自适应混沌混合多目标遗传算法[J]. *北京航空航天大学学报*, 2012, 38(8): 1010–1016.)
- [14] WANG G, YUAN F. Cascade chaos and its dynamic characteristics [J]. *Acta Physica Sinica*, 2013, 62(2): 1–10. (王光义, 袁方. 级联混沌及其动力学特性研究[J]. *物理学报*, 2013, 62(2): 1–10.)
- [15] KADIR A, HAMDULLA A, GUO W Q. Color image encryption using skew tent map and hyper chaotic system of 6th-order CNN [J]. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2014, 125(5): 1671–1675.
- [16] YIN J, HE Y, LI B, *et al.* RFID anti-collision algorithm based on grouping dynamic frame slotted [J]. *Computer Engineering*, 2009, 35(20): 267–269. (尹君, 何怡刚, 李兵, 等. 基于分组动态帧时隙的RFID防碰撞算法[J]. *计算机工程*, 2009, 35(20): 267–269.)
- [17] LI B. Anti-collision algorithm for RFID systems based on tag information grouping [J]. *Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition*, 2011, 39(7): 32–37. (李波. 基于标签信息分组的射频识别防碰撞算法[J]. *华南理工大学学报: 自然科学版*, 2011, 39(7): 32–37.)
- [18] CHEN R, WANG Y, LIU Y, *et al.* RFID anti-collision algorithm based on tags grouping [J]. *Journal of Computer Applications*, 2013, 33(8): 2132–2135. (陈荣伶, 王玉峰, 刘伟, 等. 基于标签分组的RFID防碰撞算法[J]. *计算机应用*, 2013, 33(8): 2132–2135.)
-
- (上接第2733页)
- [8] YAN J, ZHANG W. Compiler-guided register reliability improvement against soft errors [C]// *Proceedings of the 5th ACM International Conference on Embedded Software*. New York: ACM, 2005: 203–209.
- [9] LEE J, SHRIVASTAVA A. Compiler-managed register file protection for energy-efficient soft error reduction [C]// *Proceedings of the 2009 Asia and South Pacific Design Automation Conference*. Piscataway: IEEE, 2009: 618–623.
- [10] LEE J, SHRIVASTAVA A. A compiler-microarchitecture hybrid approach to soft error reduction for register files [J]. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 2010, 29(7): 1018–1027.
- [11] BLOME J A, GUPTA S, FENG S, *et al.* Cost-efficient soft error protection for embedded microprocessors [C]// *Proceedings of the 2006 International Conference on Compilers, Architecture and Synthesis for Embedded Systems*. New York: ACM, 2006: 421–431.
- [12] PHELAN R. Addressing soft errors in ARM core-based SoC [S]. ARM White Paper, 2003.
- [13] LEE J, SHRIVASTAVA A. Static analysis to mitigate soft errors in register files [C]// *DATE '09: Proceedings of the 2009 Conference on Design, Automation and Test in Europe Conference & Exhibition*. Piscataway: IEEE, 2009: 1367–1372.
- [14] REIS G A, CHANG J, VACHHARAJANI N, *et al.* SWIFT: Software implemented fault tolerance [C]// *CGO 2005: Proceedings of the 2005 International Symposium on Code Generation and Optimization*. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005: 243–254.
- [15] SLEGEL T J, AVERILL R M, III, CHECK M A, *et al.* IBM's S/390 G5 microprocessor design [J]. *IEEE Micro*, 1999, 19(2): 12–23.
- [16] LEE J, SHRIVASTAVA A. A compiler optimization to reduce soft errors in register files [J]. *ACM SIGPLAN Notices — LCTES '09*, 2009, 44(7): 41–49.
- [17] GUTHAUS M R, RINGENBERG J S, ERNST D, *et al.* MiBench: A free, commercially representative embedded Benchmark suite [C]// *WWC'01: Proceedings of the 2001 IEEE International Workshop on Workload Characterization*. Piscataway: IEEE, 2001: 3–14.
- [18] WU Y, LARUS J R. Static branch frequency and program profile analysis [C]// *Proceedings of the 27th Annual International Symposium on Microarchitecture*. New York: ACM, 1994: 1–11.