

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 24320141152411

UDC _____

厦 门 大 学

工 学 硕 士 学 位 论 文

基于 ALOHA 的 RFID 防碰撞优化算法研究

Research on RFID Collision Optimization Algorithms

Based on ALOHA

张国兴

指导教师: 杨律青教授

专业名称: 软件工程

论文提交日期: 2017 年 4 月

论文答辩日期: 2017 年 5 月

学位授予日期: 2017 年 6 月

指导教师: _____

答辩委员会主席: _____

2017 年 4 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文,并向主管部门或其指定机构送交学位论文(包括纸质版和电子版),允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索,将学位论文的标题和摘要汇编出版,采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于:

() 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文,
于 年 月 日解密,解密后适用上述授权。

() 2.不保密,适用上述授权。

(请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文,未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的,默认为公开学位论文,均适用上述授权。)

声明人(签名):

年 月

摘要

射频识别技术（RFID）凭借诸多性能上的优势，正在逐步成为零售业、库存管理、供应链管理应用的宠儿，受到前所未有的关注。RFID 系统正在变得无处不在，在各行各业发挥着巨大的作用。RFID 系统的运用首先必须要解决的问题便是标签识别过程中的碰撞问题，这一问题的存在影响着标签识别效率，也是 RFID 未来进一步发展亟需克服的阻碍。

基于 ALOHA 的防碰撞算法是当前解决碰撞问题的方法之一，此方法简单易行，在实际应用中表现突出。俘获效应作用下的 RFID 系统，如何准确地估算当前未识别地标签数量和该场景下地俘获效应大小是决定动态帧时隙 ALOHA 算法识别准确率的关键因素。设置最优的帧时隙大小以达到最优的识别效率取决于上述因素。在多标签的场景中，标签数量要远大于帧时隙大小，现存的防碰撞算法表现欠佳。

本论文基于上述问题改进了两种在常规数量和多数量下的标签识别防碰撞算法，New-Vogt 和 EC-EDFSA。所提出的算法皆可利用所识别的空时隙数迅速调整帧时隙大小并与当前所识别的标签总数匹配。EC-EDFSA 算法即使在数量巨大的标签识别场景中依然能够保持最佳的识别效率。通过大量的实验分析表明，在利用所提出的有效估算方法并设置最优帧时隙后，改进后的算法在标签估算中错误率更低，识别效率更高，稳定性更好，在大批量标签识别场景下亦是如此。

关键词：RFID；ALOHA；俘获效应

ABSTRACT

So many great advantages that drive the growth of Radio Frequency Identification (RFID). Making RFID particularly attractive for applications in retail, inventory management, and supply-chain management. RFID systems are becoming Ubiquitous. one of the problems that we must solve is the collision between tags which lowers the efficiency of the RFID system.

One of the popular anti-collision algorithms is ALOHA-type algorithms, which are simple and shows good performance when the number of tags to read. How to estimate the number of RFID tags and the occurrence probability of capture effect is very important for a dynamic frame length ALOHA RFID system with capture effect. The estimation would relate to setting an optimal frame length, which makes tag identification achieve higher efficiency. Under large-scale tags identification environment, the number of tags may be much greater than an initial frame length.

In this scenario, existing estimates do not work well. In this article, we propose two novel estimation methods for the normal-scale and large-scale tags identification. New-Vogt and EC-EDFSA, respectively. The proposed methods could adjust the initial frame length matched to the number of tags from the idle slots in the frame. The advantage of the ED-EDFSA is to work better even when the number of tags is much greater. Numerical results show that, the proposed methods have lower estimation errors under the large-scale tag identification. After setting an optimal frame length from the estimated results of the proposed methods, furthermore, we could obtain higher identification efficiency.

Keywords: RFID; ALOHA; Capture Effect.

目录	
第一章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 射频识别技术的发展历程及研究现状	3
1.3 射频识别系统概述.....	6
1.4 本文的研究内容和结构安排.....	8
第二章 RFID 系统研究	10
2.1 RFID 系统组成.....	10
2.2 RFID 系统分类.....	13
2.3 RFID 系统工作原理	16
2.4 RFID 系统的关键问题	17
2.5 本章小结.....	19
第三章 基于 ALOHA 的防碰撞算法综述	21
3.1 纯 ALOHA 算法 (PA)	22
3.2 时隙 ALOHA 算法 (SA)	25
3.3 帧时隙 ALOHA 算法 (FSA)	27
3.4 各种 ALOHA 算法的比较	33
3.5 本章小结.....	34
第四章 基于俘获效应的 RFID 防碰撞算法研究	35
4.1 俘获效应.....	35
4.2 算法思想和流程	35
4.3 实验仿真和结果分析.....	40
4.4 本章小结.....	44

第五章 基于俘获效应的大规模 RFID 标签防碰撞算法研究.....	45
5.1 算法分析.....	45
5.2 实验仿真和结果分析.....	51
5.3 本章小结.....	54
第六章 总结与展望.....	56
6.1 总结.....	56
6.2 展望.....	57
参考文献.....	58
附录 A 攻读学位期间所发表的学术论文目录.....	62
致谢.....	63

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Background and Significance	1
1.2 Development and Research Status of RFID Technology	3
1.3 Overview of Radio Frequency Identification System	6
1.4 The Research Content and Structure	8
Chapter 2 Research on RFID System.....	10
2.1 Components of RFID System.....	10
2.2 Classification of RFID System	13
2.3 Working Principle of RFID System.....	16
2.4 Key Problems of RFID System	17
2.5 Summary	19
Chapter 3 Research on Anti-collision Algorithm Based on ALOHA	21
3.1 Pure ALOHA Algorithm (PA)	22
3.2 Slotted ALOHA Algorithm (SA)	25
3.3 Framed Slotted ALOAH Algorithm (FSA)	27
3.4 Comparison of Various ALOHA Algorithms	33
3.5 Summary	34
Chapter 4 Research on RFID Anti - collision Algorithm Based on	
Capture Effect.....	35
4.1 Capture Effect	35
4.2 Algorithm Ideas and Processes	35
4.3 Experimental Simulation and Result Analysis	40

4.4 Summary	43
Chapter 5 Research on Anti - collision Algorithm of Large Scale RFID Tag Based on Capture Effect	44
5.1 Analysis of Algorithms	44
5.2 Experimental Simulation and Result Analysis	51
5.3 Summary	54
Chapter 6 Conclusion and Outlook.....	56
6.1 Conclusion.....	56
6.2 Outlook	57
References	58
Appendix A The List of Papers Published During the Degree.....	62
Thanks.....	63

第一章 绪论

1.1 研究背景与意义

近年来，自动识别（Auto-ID）在许多服务行业，如交通，物流，和仓储中都非常受欢迎。提供自动识别功能，进而获得有关人员，动物，货物和产品在运输过程中的信息^[1]。

如今，触发识别系统革命的无处不在的条形码标签，在越来越多的情况下被发现是不够的。条形码可能非常便宜，但是其发展的绊脚石是它的低存储容量和不能被重新编程，以及其它诸多因素。

制作微型芯片是目前最理想的数据存储介质。在日常生活中使用的电子数据载体最常见的形式是基于接触领域的智能卡（电话智能卡，银行卡）。然而，智能卡中使用的机械接触通常是不方便，识别效率低下的。数据载体设备与其读取器之间的非接触式数据传输则更加灵活。在理想情况下，电子数据传送装置所需的电力也将使用非接触式技术从阅读器传送给数据载体设备。采用射频信号传输电波和数据交换的非接触式 ID 系统被称为 RFID 系统（Radio Frequency Identification）。

积极参与 RFID 系统开发和销售的公司数量表明，这是一个极具发展前景的市场^[8]。根据 IDTechEx 统计，2015 年，RFID 全球市场价值达 101 亿美元，高于 2014 年的 95 亿美元，2013 年为 88 亿美元。其相关产品主要包括 RFID 卡，读卡器和软件/服务等。IDTechEx 预测，2020 年 RFID 的全球市场价值将达到 132 亿美元^[2]。

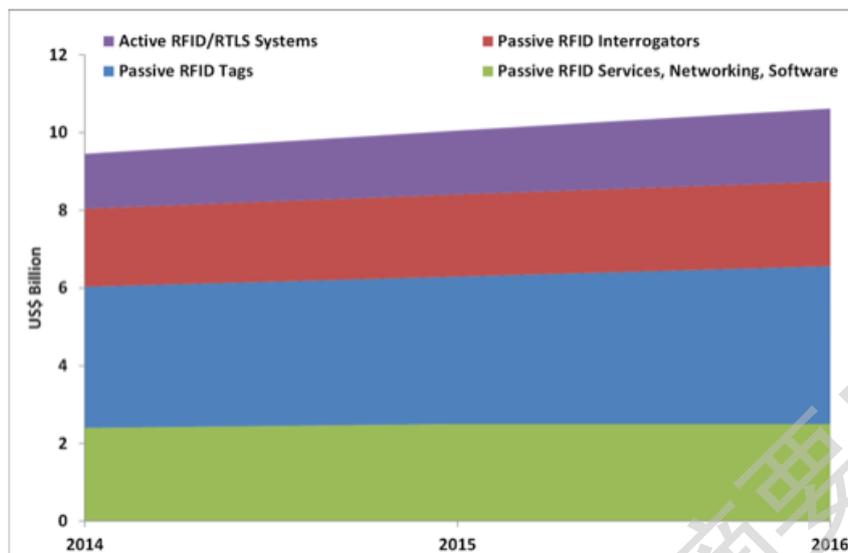


图 1.1 RFID 市场价值统计图 (source: IDTechEx)

中国国务院前总理温家宝在媒体采访中强调物联网是“新兴战略产业”，北京 2015 年加大对物联网投资，投资总额高达 50 亿元人民币（约合 8 亿美元），主要用于物联网相关技术研究和产业建设^[3]。2015 年，中国的物联网市场达 5000 亿元人民币（约合 803 亿美元），据信息技术部估计，到 2020 年，中国物联网市场将达到 1660 亿美元。处理偏远地区的食品安全问题和医疗保健成为政府利用物联网技术的第一个应用之一，而 RFID 技术作为物联网未来发展的核心技术之一，其相关技术的突破对于物联网的长远发展至关重要。

无论是货物的库存管理还是车辆的跟踪，都需要一个完全自动化的数据采集和分析系统，以便捷、快速地对目标资产和设备进行信息录入，目标跟踪等操作^[4]。RFID 技术则很好得满足这些需求，RFID 技术与其它识别技术相比，具有无需直接对准扫描录入信息，标签更能适应恶劣环境，损毁率低，识别距离更长，支持数据库整合运用，支持多标签识别，可实时跟踪目标等优势。RFID 技术为库存和物流跟踪提供了高校的解决方案。

鉴于 RFID 技术巨大的优势和广阔的市场前景，以及其对未来物联网的重要影响，解决 RFID 技术现存的问题则显得尤为重要，阻碍其进一步大规模运用得原因之一是识别过程中产生的标签冲突问题^[4]。为解决碰撞导致得识别速度缓慢，

识别效率降低,能量浪费等问题,研究工作者不断探索出各类 RFID 防碰撞算法,其主要包括基于 ALOHA 的防碰撞算法和基于树的防碰撞算法以及在此基础上衍生出其他比较重要的防碰撞算法,基于 ALOHA 的防碰撞算法实现简单易行,适用于标签规模较大的应用场景,且只适用与中低频段的被动标签,但是存在漏读问题,基于树的防碰撞算法识别率较高,信道利用率最高达 43%,但识别的时间消耗较大,对于识别时间敏感的应用场景不太适用,如车辆追踪系统等。从致力于 RFID 更好得应用出发来看当前众多得防碰撞算法,仍存在较多问题,识别效率不理想、识别速度缓慢、信道利用率不充分、能量消耗达、识别流程较复杂、对信息安全和个人隐私考虑不完善,这些问题都有待改进,以适应未来高速移动、目标群复杂、数量庞大的 RFID 应用场景^[5]。效率更高,准确性更好,适应性更强的防碰撞算法对 RFID 技术更深入,更广泛的应用具有至关重要的推动作用。

1.2 射频识别技术的发展历程及研究现状

RFID 已经发展数十年,其起源可以追溯到第二次世纪大战,那时德国,日本,美国和英国都在使用雷达,其发明者是苏格兰物理学家 Robert Alexander Watson Watt,通过此种方式来识别相距数英里的飞机。但是存在的问题是无法区分飞机是属于敌方战机还是本方执行任务回来的飞机。

当初德国人发现如果飞机缠绕有线圈,将会影响到其返回的电磁信号,这一发现让德国人得以区分德国飞机和盟国飞机(此方法本质上就是被动标签的雏形)。

Watson Watt 当时牵头建设主动的敌我识别(IFF)系统,他们在每一架英国飞机上安装了信号发射器,当飞机通过雷达收到基站发送的信号,其将主动返回一个信号以证明自身的友好身份,RFID 同样是基于此种理论^[6]。由发射器发送一个信号,同时唤醒标签并接受标签返回信号。

20 世纪 50 年代和 60 年代,雷达和射频通信系统进一步发展,美国、欧洲各国和日本不断研究,并发表论文解释了射频信号如何运用于识别远程目标物体。公司运用射频识别技术检测商品是否结账并将此商业化。电子监控标签条至今仍

用于商品外包装上，其只存储了一个字节。当顾客结账完，标签字节置为 0，否则置为 1。

Mario W. Cardullo 在 1973 年 1 月 23 日向美国专利局申请了历史上第一个可擦除主动型 RFID 专利。同一年，加利福尼亚企业家 Charles Walton 同样申请了一个关于门锁使用被动 RFID 标签装置的专利。当阅读器识别到存储在被动型 RFID 标签中的有效身份信息并验证成功，阅读器将打开门锁。

美国政府致力于 RFID 系统研究，20 世纪 70 年代，美国能源部鼓励洛斯阿拉莫斯国家实验室开发一个核材料跟踪系统，科学家们设计的方案是在每一个卡车上安装异频收发器，并在安全区门口安装阅读器。门上的天线可以唤醒卡车上的收发器，收发器将传送其 ID 号和其它信息给阅读器，从而识别每一个出入的车辆。这一系统因为洛斯阿拉莫斯国家实验室某一成员的离开并创业使该技术在 20 世纪 80 年代开始商业化运用。从此，该技术被广泛运用于公路，桥梁和管道建设上。

应美国农业部的要求，洛斯阿拉莫斯国家实验室开发了被动 RFID 系统用于奶牛的跟踪，其开发原因是由于在奶牛生病情况下很难区分哪头牛已经注射激素和药物，而且注射超量药物存在危险性，洛斯阿拉莫斯国家实验室将超高频被动 RFID 标签贴附于已用药的奶牛，此标签通过阅读器获得能量并通过反射返回调制信号给阅读器。

之后，多个公司开发了低频系统，嵌入更小的收发器，此收发器可以封装在玻璃片中，方便嵌入奶牛皮肤组织中，此技术仍在普遍运用于世界各地，如嵌入卡片制作出门禁系统。

随着时间的推移，各个公司不断尝试使用 125kHz 系统，并形成了商业化应用，然后进一步将无线电频谱的应用范围拓宽到到高频（13.56MHz），这一范围的频率使用在当时还是不受管制的，当然也未曾被使用。高频率提供更大的范围和更快的数据传输速率。欧洲的某些前瞻性好的，且愿意技术变革的公司，开始使用它来跟踪可重复使用的集装箱和其他设备。今天，13.56MHz RFID 系统主要运用于访问控制，支付系统（Mobile Speedpass）和非接触式智能卡。他们也

被用作汽车防盗装置。转向柱中的读卡器读取塑料外壳包裹的无源 RFID 标签。如果它没有 ID，汽车将不会启动^[7]。

在 20 世纪 90 年代初，IBM 的工程师开发了超高频（UHF）RFID 系统并获得了专利。UHF 相比于 HF，可以提供更大的阅读范围（在良好条件下可达 20 英尺）和更快的数据传输。一些商业巨头，如 IBM 与沃尔玛做了一些早期的尝试，但局限于当时的技术和成本的问题，并没有带动 RFID 技术的商业化^[8]。当它在 20 世纪 90 年代中期遇到财务困境时，IBM 将其专利出售给 Intermec，这是一个条形码系统提供商。Intermec RFID 系统通过接入其他应用，完成了产品升级，开辟了一个新的发展领域，其新的应用从仓库跟踪到农业都发挥着新的不可忽视的作用。但由于价格昂贵和缺乏统一的国际标准而在销售上表现平平。

UHF RFID 在 1999 年得到推动，当时统一规范委员会，EAN International, Procter & Gamble 和 Gillette 共同筹集资金，在马萨诸塞州马萨诸塞州立大学建立自动识别技术研究中心。中心的两位教授 David Brock 和 Sanjay Sarma 尝试着一些新的研究，将低成本的 RFID 标签贴附于供应链产品上，对产品的整个物流进行跟踪。他们的想法是在标签上置入一个序列号，以保持价格下降（简单存储非常少的信息的芯片将比存储容量大的复杂芯片生产成本更低）。标签上的序列将被存储在数据库中，进而可以通过互联网访问的数据库。

Sarma 和 Brock 基本上改变了人们对供应链中 RFID 的想法。以前，标签是一个移动数据库，它携带有关产品或容器的信息，在他们旅行时与他们在一起。Sarma 和 Brock 将 RFID 转化为网络技术，通过标签将对象链接到 Internet^[9]。对于企业来说，这是一个重要的变化，因为现在制造商通过在每个商品上帖附标签从而零售商和业务伙伴随时随地了解物品的行踪，在仓库或者在运输途中。

1999 年至 2003 年，Auto-ID 中心得到了资本市场的青睐，尤其使一些大型的产品终端制造商，RFID 领域的供应商，并且在国家层面上，也获得了美国国防部的大力支持。这期间 Auto-ID 中心研究发展迅速，先后在澳大利亚，英国，瑞士，日本和中国设立研究实验室，并开发完成两个空中接口协议（1 类和 0 类），电子产品代码（EPC）编号方案，以及用于查找与因特网上的 RFID 标签相关联的数据的网络架构^[10]。该技术在 2003 年获得 Uniform Code Council 许可

创建 EPCglobal，并于 EAN 国际组建成合资企业共同推动 EPC 技术的商业化进程。Auto-ID 中心于 2003 年 10 月关闭。

知名零售商，如 Albertsons，Metro，Target，Tesco，Wal-Mart，另外还有美国国防部都先后表示将 EPC 技术应用于跟踪供应链中的商品。制药公司，轮胎制造厂商，军事工业等领域也在尝试并大力将此技术引入使用。EPCglobal 在 2004 年 12 月又批准使用了第 2 套标准。

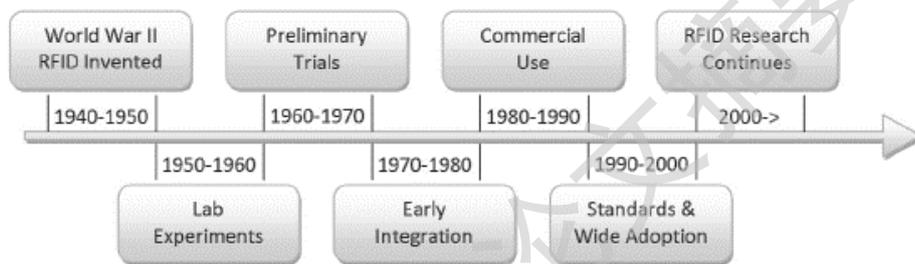


图 1.2 RFID 技术发展历程

激动人心的时刻等待着致力追求 RFID 进步的人的实现。使用 RFID 将变得更加流行，无处不在远程信息处理和日益增长的移动商务将使 RFID 与消费者的联系更加紧密。最近，联邦通信委员会（FCC）分配了 5.9 GHz 频段频谱，以服务于大量扩展智能交通系统的新应用和新服务。但是，这些新的应用和服务将依赖于 RFID 技术的新突破。

1.3 射频识别系统概述

RFID（Radio Frequency Identification，RFID）通常称作电子标签，射频识别技术是起步于第二次世界大战，发展与 20 世纪中期，兴起于 20 世纪 90 年代的一种自动识别技术，射频识别技术利用射频信号通过交变磁场或电磁场达到无接触信息传递，并同时利用传递信息达到目标识别的目的。

RFID 系统相较于传统的自动识别系统，如二维码，条形码等，有着更佳的应用潜力，优势明显。RFID 无需接触即可识别，省却大量的人工操作，方便易行。对于简单的被动标签，生产成本较低，支持多标签同时识别，识别的效率更

高，某些应用中，标签可复用，大大节省了使用成本，最为重要的一点式 RFID 标签具有信息存储的能力，通过读标签可以获得更多的产品信息。

射频识别系统的基本组成包括电子标签，阅读器，天线和其它中间件。电子标签内存储有物体的相关信息，如 ID，此类信息主要用于目标物的识别。实际应用中将电子标签嵌入或者附在待识别的目标物体上，作为目标物体的电子身份凭证。阅读器与 RFID 标签通过电磁信号传输信号，并根据约定的协议处理信息，并识别^[11]。一般情况下，由阅读器发起识别开始命令，RFID 标签受到阅读器的命令后，被动标签利用阅读器获得能量后向阅读器发送信号，主动标签则利用自身能量传送信号，接着阅读器对接收的信号进行信息处理，识别到响应的目标物。整个识别过程都是在无接触的情况下实现的，涉及到信号通信中的调制与解调等技术。

市场上的 RFID 系统种类繁多，样式各异。从能量来源不同可以分为被动标签 (Passive Tags)，半被动式标签 (Semi-passive Tags) 和主动标签 (Active Tags)。按工作频段的不同又可分为低频 (LF) RFID 系统，高频 (HF) RFID 系统，超高频 (UHF) RFID 系统和微波 (WM) RFID 系统。

如今 RFID 技术已经应用于很多行业，涉及当下各个行业，可以说无处不在。例如，RFID 标签应用与流水线生产，一辆汽车在生产过程中的每个环节都能跟踪其进度，RFID 标签用于药品可以跟踪其整个物流情况，通过将 RFID 标签嵌入家禽和其他生物可以跟踪其活动情况，Sony 的 Felica 卡和 Philip 的 ViVOTech 是近场信息传送 (NFC) 的例子，其实该技术本质上是 HF RFID 技术与智能手机结合运用于移动支付领域^[12]。RFID 技术不断完善，逐渐发展成熟，在未来，必将在各种领域发挥越来越重要的作用。

由于 RFID 标签可以附加到现金、衣物和其它个人物品，或植入动物和人体，在未经允许的情况下阅读个人信息引发严重的隐私担忧。这些问题促进标准化的发展以解决隐私和安全问题。ISO/IEC 18000 和 ISO/IEC 29167 使用标签加密方法解决了电子标签的不可追踪性，标签和阅读器认证和无线信号的隐私问题。ISO/IEC 20248 为 RFID 和条形码提供的数据源进行数字签名，确保读取的数据的真实性。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库