

动态环境下大规模

RFID

标签识别方法

陈毅红 冯全源 / 著



科学出版社

项目(438086) 资助出版

动态环境下大规模 RFID 标签识别方法

陈毅红 冯全源 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要介绍 RFID 系统基本构成; RFID 标签识别相关技术基础; 静态环境下 RFID 防碰撞算法, 包括标签防碰撞算法和阅读器防碰撞算法; 基于动态环境下标签数估计的标签防碰撞协议, 包括基本型标签防碰撞协议和基于 EPC-C1G2 标准的标签防碰撞算法; 适用于动态环境的高效率预约机制标签防碰撞协议, 包括基本型预约机制防碰撞协议和捕获效应下预约机制标签防碰撞协议; 动态环境下大规模标签盘存方法; 动态环境下传送带运动控制方法; 动态环境下标签防碰撞协议应用方案及 RFID 应用。

本书适合高等院校本科高年级学生和研究生学习物联网和 RFID 技术使用, 也可作为相关科研机构技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

动态环境下大规模 RFID 标签识别方法 / 陈毅红, 冯全源著. — 北京: 科学出版社, 2018.6

ISBN 978-7-03-056881-6

I. ①动… II. ①陈… ②冯… III. ①无线电信号-射频-信号识别
IV. ①TN911.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 048466 号

责任编辑: 张 展 杨悦蕾 / 责任校对: 陈丽华

责任印制: 罗 科 / 封面设计: 墨创文化

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年6月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2018年6月第一次印刷 印张: 8 1/2

字数: 171千字

定价: 65.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

物联网作为新一代信息技术，在众多领域得到日益广泛的应用，包括食品溯源、智能物流、智能交通、生产线管理、轨道交通等，由此促进了社会发展和经济转型升级。近年来，为了进一步促进物联网技术发展与应用，国家出台了一系列政策措施来加快物联网及相关技术研究和产品开发。物联网系统由传感层、网络层和应用层组成，传感层技术是它的基础，而射频识别(radio frequency identification, RFID)则是主要的传感层技术。RFID 是一种应用广泛的自动识别技术。RFID 系统由阅读器和众多标签构成，标签存储物体相关数据，阅读器通过无线信号获取标签中数据来自动识别该物体，然后通过网络实现这些识别物体连接来构建起物联网应用系统。

作者从事物联网和 RFID 技术研究近十年，对 RFID 技术进行了深入广泛的研究，特别是近年来，作者在动态环境下大规模 RFID 标签识别技术方面完成了国家自然科学基金重点项目、四川省科技支撑计划项目等，包括：

(1) 国家自然科学基金重点项目：平面各向异性六角铁氧体基的小型化宽带多频天线(主持人为冯全源，项目编号 61531016)。

(2) 四川省科技支撑计划项目：基于物联网的监控预警系统关键技术研究及应用示范(第一主研为陈毅红，项目编号 2014GZ0006)；超高频 RFID 关键技术和应用研究(主持人为冯全源，项目编号 2016GZ0059)；北斗导航及移动通信高性能材料关键技术研究(主持人为冯全源，项目编号 2017GZ0110)。

(3) 国家民族事务委员会科研项目：基于资源分配的阅读器防碰撞协议研究(主持人为陈毅红，项目编号 14XNZ022)。

(4) 成都市科技计划项目：基于大规模标签移动环境的多标签识别技术及测试验证(主持人为陈毅红，项目编号 2014-HM01-00144-SF)。

(5) 西华师范大学科研项目：物联网与分布式系统科研创新团队(主持人为陈毅红，项目编号 438086)；基于自适应控制的 RFID 阅读器标签识别任务分配和调度算法研究(主持人为陈毅红，项目编号 16E008)。

在这些项目研究中，作者对动态环境下标签识别、基于动态环境下标签数估计、高效率预约机制标签防碰撞协议、大规模标签盘存方法、传送带运动控制方法、标签防碰撞协议应用方案及 RFID 应用进行了研究，取得了一些成果，受到

国内外学者关注。本书是我们研究成果的系统化总结，对动态环境下 RFID 标签识别方法进行了系统介绍。

本书出版得到西华师范大学专著出版基金、西华师范大学科研创新团队项目(438086)与博士启动基金项目(16E008)、国家自然科学基金重点项目(61531016)和成都科技计划项目(2014-HM01-00144-SF)的资助。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 研究背景及意义	2
第 2 章 RFID 标签识别相关理论技术基础	4
2.1 概述	4
2.2 RFID 系统组成	5
2.3 通信基础	5
2.4 碰撞问题	7
2.5 动态帧时隙 Aloha 标签防碰撞协议	8
2.6 RFID 中间件	9
2.7 本章小结	10
第 3 章 静态环境下防碰撞算法	11
3.1 标签防碰撞算法	11
3.2 阅读器防碰撞算法	16
第 4 章 基于动态环境下标签数估计的标签防碰撞协议	21
4.1 基本型标签防碰撞协议	21
4.1.1 概述	21
4.1.2 标签识别问题描述	21
4.1.3 标签识别过程理论分析	22
4.1.4 防碰撞协议过程	24
4.1.5 协议性能评估	25
4.1.6 小结	28
4.2 基于 EPC-C1G2 标准的标签防碰撞算法	28
4.2.1 概述	28
4.2.2 标签识别问题描述	29
4.2.3 EPC-C1G2 标准	30
4.2.4 标签到达率预测	31
4.2.5 碰撞时隙标签数估计	38
4.2.6 帧长确定策略	39

4.2.7 帧中止策略	41
4.2.8 防碰撞算法描述	42
4.2.9 性能评估	43
4.2.10 小结	46
第5章 适用于动态环境的高效率预约机制标签防碰撞协议	47
5.1 基本型预约机制防碰撞协议	47
5.1.1 概述	47
5.1.2 防碰撞协议过程	47
5.1.3 协议分析	50
5.1.4 标签数估计	54
5.1.5 协议性能评估	54
5.1.6 小结	56
5.2 捕获效应下预约机制标签防碰撞协议	57
5.2.1 概述	57
5.2.2 已有典型防碰撞算法	57
5.2.3 基于捕获效应的防碰撞过程	60
5.2.4 基于捕获效应的协议分析	64
5.2.5 捕获效应下标签数估计	71
5.2.6 协议性能评估	72
5.2.7 小结	75
5.3 预约机制协议原型系统研制和物理实验	75
5.3.1 原型系统设计与实现	75
5.3.2 基于原型系统的物理实验	78
第6章 动态环境下大规模标签盘存方法	80
6.1 引言	80
6.2 标签盘存问题	81
6.3 移动标签识别方法	82
6.4 丢失标签监测方法	84
6.5 未知标签监测方法	86
6.6 总结与展望	87
第7章 动态环境下传送带运动控制方法	88
7.1 引言	88
7.2 基于传送带的动态 RFID 系统	88
7.3 系统关键问题	89
7.4 系统特性分析	90

7.5 国内外研究现状·····	91
7.6 现状分析及存在问题·····	93
7.7 未来展望·····	93
第8章 动态环境下标签防碰撞协议应用方案及RFID应用 ·····	95
8.1 动态环境下防碰撞协议应用方案·····	95
8.1.1 概述·····	95
8.1.2 中间件系统模型·····	96
8.1.3 系统总体架构·····	96
8.1.4 中间件设计与实现·····	98
8.1.5 小结·····	101
8.2 带RFID身份识别的嵌入式监控系统·····	102
8.2.1 概述·····	102
8.2.2 智能系统硬件体系结构·····	102
8.2.3 嵌入式监控软件层次结构·····	103
8.2.4 小结·····	110
第9章 结论与展望 ·····	111
9.1 本书的主要贡献·····	111
9.2 未来工作·····	112
参考文献 ·····	115
主要符号表 ·····	125
索引 ·····	127

第1章 绪 论

1.1 引 言

物联网是新一代信息技术，通过信息传感技术，按约定的协议把物体与互联网连接起来，进行信息交换和通信的一种网络。物联网用途广泛，涉及食品溯源、智能物流、智能交通、生产线管理、消费电子^[1]等多个领域。国家工业和信息化部于2012年2月23日发布的《电子信息制造业“十二五”发展规划》提出，加强物联网研发，突破物联网感知信息采集、传输、处理、反馈控制等关键技术，支持射频识别、传感及处理控制节点等重点产品研发与产业化。

物联网系统由传感层、网络层和应用层构成，其中RFID是物联网的主要传感层技术。RFID系统由阅读器和众多标签构成，标签存储物体相关数据，阅读器通过无线信号获取标签中数据来自动识别该物体，然后通过网络实现这些识别物体连接来构建起物联网应用系统。

作为一种新型物体识别技术，RFID技术与条形码技术相比具有如下优势：①阅读器和标签间的通信不要求阅读器和标签相互在视线内，而条形码识别技术采用光通信方式，要求识别器和条形码间必须在视线范围内，因而RFID比常规条形码识别技术更为先进；②RFID另一个优势是阅读器能够识别多个标签，而条形码识别技术则不能实现同时对多个条形码识别；③RFID标签以各种形状、大小等形式存在，而条形码只能印在纸件或塑料制品上；④标签中所存储的信息能够被阅读器修改，而条形码在一次印刷后不能改变。

RFID的这些优势，随着其成本下降，使得它在各行各业中日益得到广泛应用：

(1) 食品溯源。食品溯源是食品安全监控基础，通过食品从农田到餐桌整个过程有效跟踪来保证食品质量安全。RFID标签具有防水、耐高温、标签加密、数据易更改等优点，适用于食品溯源领域。

(2) 智能物流。在物流节点安装阅读器，货物上标签通过节点区域时，阅读器可以自动读取标签数据，并通过网络传送到高层应用系统，以达到实时在线跟踪，其应用场景如图1-1所示。

(3) 智能交通。通过阅读器读取人员和车辆数据，实现交通监控与管理，如航空行李分拣和智能交通管理的自动收费等领域，其应用场景如图1-2所示。



图 1-1 智能物流



图 1-2 智能交通

(4) 生产线管理。安装在监测区域的阅读器能够远距离读取物品上标签的数据，为车间生产线管理决策提供翔实数据，其应用场景如图 1-3 所示。

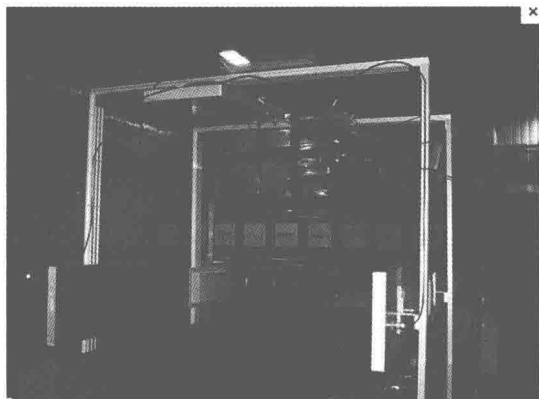


图 1-3 生产线管理

1.2 研究背景及意义

RFID 在生产生活等众多领域得到日益广泛应用，为满足各行业应用的需求，标签功能应尽可能简化以降低其成本，故研制低成本标签是 RFID 研究一个重要方面。除此之外，RFID 技术还有一些其他重要研究领域，比如，怎样用隐私保护和标签认证来解决非法访问、伪造标签等安全问题，利用标签反射信号强度数据进行定位、追踪、移动行为感知等。

特别值得注意的是，当阅读器发出识别命令后，如多个标签向其传送数据时，则会在阅读器处发生碰撞而浪费通信资源，降低标签识别速度，这就是标签碰撞问题。单个阅读器识别速度和覆盖区域均有限，而采用多个阅读器构成 RFID 系统可以扩大识别区域，有效降低标签漏读率和提高识别速度。在多阅读器 RFID

系统中,当标签接收到多个阅读器识别命令信号时,标签响应紊乱而没有任何一个阅读器能够识别该标签,这就是阅读器-标签碰撞。如果阅读器发射的电磁信号干扰了其他阅读器识别标签过程,就会产生阅读器碰撞问题。这两种碰撞均会浪费无线通信资源,降低识别吞吐率,这就是阅读器碰撞问题。在多阅读器 RFID 系统中,同时存在着标签碰撞问题和阅读器碰撞问题。防碰撞技术成为 RFID 中特别重要的研究方向,研究者通过研究标签防碰撞协议与阅读器防碰撞协议来分别解决标签碰撞问题和阅读器碰撞问题。

随着 RFID 应用推广,标签数量大且分布区域广,标签移动而在识别区域停留时间比较短,标签必须在离开区域前被阅读器可靠地识别,这是一种 RFID 动态环境应用,它要求 RFID 防碰撞协议具有高效性和可靠性。设计良好和部署优化的多阅读器系统则可满足动态环境下标签识别的高效性和可靠性要求,然而单阅读器的标签防碰撞协议是整个 RFID 标签识别技术的基础,因此本书基于动态环境主要对标签防碰撞协议展开深入研究。

多阅读器系统中,标签识别的可靠性并不仅与识别效率有关,还与其他多种因素有关。要提高标签识别可靠性,需避免数据错读、数据重复、数据漏读三方面隐患。标签数据错读由各种干扰因素引起。标签数据重复指同一标签被读取了两次及以上造成的数据冗余。标签数据漏读与天线间空间关系不配、覆盖有盲点、标签失谐、信号衰减、存在干扰等因素有关。在多阅读器系统中,数据错读问题需由 RFID 中间件和 RFID 防碰撞协议共同解决,数据重复问题可以由 RFID 中间件解决,但标签漏读问题则只能由 RFID 防碰撞协议解决。鉴于此,本书在研究标签防碰撞协议后,提出了适用于多阅读器系统的数据集成 RFID 中间件,在此中间件基础上可进一步研究如何解决数据错读、数据重复问题,该中间件也是标签防碰撞协议的应用方案之一。

在 RFID 防碰撞协议研究中,还需要考虑到 RFID 标签和普通无线节点最主要的区别在于它是极为简化的无线设备,资源非常有限,没有足够的处理能力与能量来实现信道竞争和冲突避免。鉴于此,RFID 防碰撞协议需要具备如下性质:①面对大量 RFID 标签,协议应尽可能减少不必要的控制报文传输,以实现高吞吐率与低延迟性的高性能传输;②标签防碰撞协议的处理逻辑需要尽可能简化以降低成本。然而如何实现高性能低成本的标签防碰撞协议至今仍然是 RFID 研究领域一个热点问题。

综上所述,动态环境下高性能 RFID 标签防碰撞协议研究具有重要的理论意义和实际应用价值,但因 RFID 独特的技术要求和制约因素,这一研究面临不小的困难。

第 2 章 RFID 标签识别相关理论技术基础

2.1 概 述

适用于动态环境的大规模标签识别系统是一个由多个阅读器组成的 RFID 系统，由这样的多阅读器 RFID 系统组成的 RFID 应用系统结构如图 2-1 所示。RFID 中间件是高层应用系统与 RFID 系统通信桥梁，通过它将高层应用系统与 RFID 系统的阅读器相连。中间件向高层应用系统提供应用程序接口 (application programming interface, API)，实现高层应用系统透明地访问阅读器。

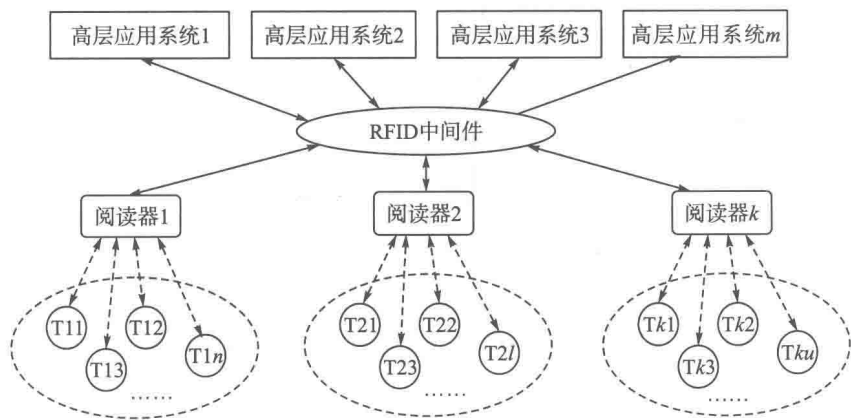


图 2-1 RFID 应用系统组成结构

RFID 系统由阅读器和众多标签构成。阅读器是一种带有低成本处理器的嵌入式系统，其主要功能是以射频方式向标签传送能量，从标签中读取数据或向标签写入数据，对读取的标签数据进行必要处理。标签存储其所依附物体相关标识数据，它的存储容量从几十位到几千个字节不等，主要功能是接收阅读器识别命令，向阅读器返回 ID 等标识数据。RFID 标签识别具体过程如下。

阅读器与标签通信过程中不断向外界发送电磁波，让其周围的被动标签获得能量而激活工作。在激活标签后，阅读器向标签发送识别命令，标签接收到命令后，根据命令要求向阅读器回传相关数据。这些命令或数据需由特定的数字编码表示，再用这些数字编码对载波信号进行调制后，才能通过射频前端和天线发射出去。接收过程则通过天线和射频前端对调制后的信号进行解调以得到相应的数

字编码信号，再由该数字编码得到数据或命令本身。当多个标签同时向阅读器传送数据时，阅读器通过信号检测电路会发现标签数据信号碰撞，从而无法正确接收标签数据，为此研究者提出各种标签防碰撞协议来降低标签碰撞率。考虑本书研究成果，本章围绕 RFID 识别标签过程介绍相关理论技术基础。

2.2 RFID 系统组成

RFID 系统由阅读器、电子标签两部分组成，其系统结构如图 2-2 所示^[2]。阅读器由天线、射频模块、电源、时钟和读写模块构成。天线和射频模块组成射频前端，通过射频前端实现阅读器向标签传递能量。读写模块一般由低成本的嵌入式控制芯片构成，通过射频模块接收标签数据，基于标签防碰撞算法利用射频模块向标签发送命令，具体结构见图 2-2(a)。

电子标签根据其能量获得方式分为主动标签、半主动标签和被动标签。主动标签即有源标签，自带电源提供能量用于通信，但成本较高。半主动标签内装起辅助作用的电池，平时用于供给数据电路能量，在标签与阅读器通信时使用后者提供的射频能量。被动标签不附带电池，只有获得阅读器提供的电磁能量后才能工作，由于其低成本性而得到广泛应用，本书也基于被动标签开展防碰撞协议研究工作。被动标签结构见图 2-2(b)，它由天线、射频模块、控制模块和存储器构成。控制模块基于状态机原理工作，用来解析和执行阅读器命令，标签的低成本性源于其功能简化。标签存储器用于存储物体身份等相关数据。被动标签与阅读器相比没有时钟电路，其工作时钟取自于阅读器发送的电磁信号。

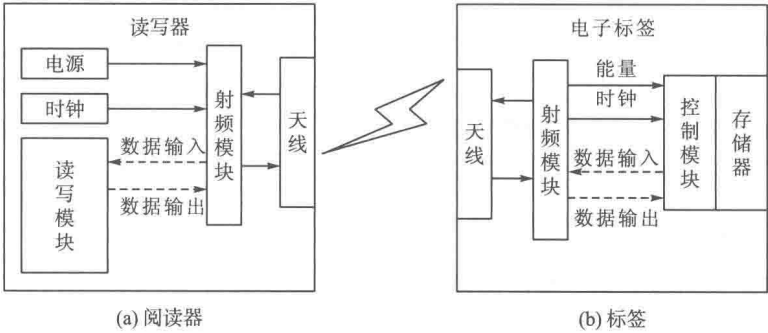


图 2-2 RFID 系统结构

2.3 通信基础

RFID 系统是一种短距离无线通信系统，阅读器通过它与标签间的双向通信协

议来实现标签识别,基本通信模型见图 2-3^[2]。该通信模型阅读器和标签均为三层架构。

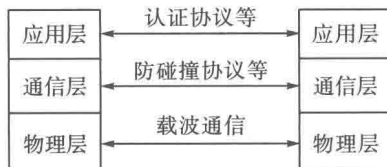


图 2-3 RFID 通信模型

物理层主要解决数据的载波通信问题,包括阅读器和标签间耦合方式、数字编码、载波的调制和解调等。通信层描述阅读器和标签间数据交换机制,特别重要的是解决多标签碰撞问题的防碰撞协议。应用层用来解决与应用直接相关的问题,其中包括实现阅读器与标签安全通信的认证协议等。下面对物理层相关技术做介绍,通信层的防碰撞协议随后介绍。

1. 阅读器和标签间耦合方式

电感耦合方式:阅读器基于法拉第电磁感应定理工作,用于近距离的 RFID 系统,频率低于 135kHz 或 13.56MHz。该耦合方式中阅读器射频前端电路的谐振回路主要有 LC 串联型、LC 并联型。标签射频前端电路的谐振回路多采用 LCR 并联型。标签采用负载调制技术向阅读器传输数据,即标签基于其存储的 01 数据改变线圈回路中电阻或电容,以影响标签与阅读器间线圈耦合系数,也就让阅读器射频前端电路参量变化,信号处理电路也就能够根据参量变化获知标签发送的 01 数据。

反向散耦合方式:基于电磁波传播与反射工作,用于远距离 RFID 系统,识别距离大于 1 m,工作频率为 433 MHz、860~960 MHz、2.45 GHz 和 5.8 GHz。通常采用对称振子天线或微带天线。标签基于其存储的 01 数据修改天线散射横截面,实现标签负载调制来向阅读器传输数据。

2. RFID 系统数字编码

未经编码的数据是一种单极矩形脉冲码(non-return to zero, NRZ),为了解决阅读器和标签间同步问题,一般不直接用它对射频基带信号进行调制,往往需要对其进行编码。编码主要包括密勒码(Miller)、修正密勒码和曼彻斯特码(Manchester),由于本书采用曼彻斯特码开展了标签防碰撞协议研究工作,故具体介绍该编码机制。

曼彻斯特编码^[3]已用于 ISO18000—7 标准中,该编码机制如图 2-4 所示。逻辑“0”和“1”分别用正跳变和负跳变表示。如果两个或以上标签同时传送不同

逻辑位到阅读器，正跳变和负跳变相互抵消而变为高电平，阅读器视该高电平为碰撞结果，在图中标记为“？”。此外，阅读器还能保证在连续出现“0”时对标签的能量供应，且便于标签从数据编码中提取时钟信息，正是因为该编码机制的这些作用和优点，本书提出采用该编码机制来检测碰撞。

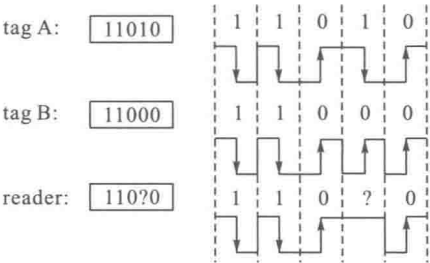


图 2-4 曼彻斯特码碰撞检测

3. 调制和解调

数字编码为调制信号，被调制信号分脉冲和正弦波信号，因此有脉冲调制和正弦波调制。解调为调制的逆过程，每种调制有对应解调方法。

脉冲调制：根据数据的 NRZ 码将数据时钟信号变换为由两种更高频率组成的脉冲串，主要有频移键控 (frequency-shift keying, FSK)、相移键控 (phase-shift keying, PSK) 和副载波调制三种方式。

正弦波调制：数字编码对正弦载波信号进行调制，主要有振幅调制 (amplitude modulation, AM)、频率调制 (frequency modulation, FM) 和相位调制 (phase modulation, PM) 三种方式。

2.4 碰 撞 问 题

RFID 系统可分为单阅读器 RFID 系统和多阅读器 RFID 系统。单阅读器 RFID 系统中无线信道由众多标签和阅读器共享，存在标签碰撞问题，如图 2-5 (a) 所示^[4]。多阅读器 RFID 系统中，无线信道由众多标签和多个阅读器共享，存在如图 2-5 (a) 所示的标签碰撞、如图 2-5 (b) 和图 2-5 (c) 所示的阅读器-标签碰撞、如图 2-5 (d) 所示的阅读器-阅读器碰撞。阅读器-标签碰撞和阅读器-阅读器碰撞统称为阅读器碰撞。标签碰撞和阅读器碰撞会降低标签识别速度。将防标签碰撞技术和防阅读器碰撞技术分别称为标签防碰撞协议和阅读器防碰撞协议。防碰撞协议由防碰撞系统和防碰撞算法组成，防碰撞系统包含一系列阅读器命令，防碰撞算法则确定在什么条件下使用阅读器命令以及确定命令参数方法^[5]。

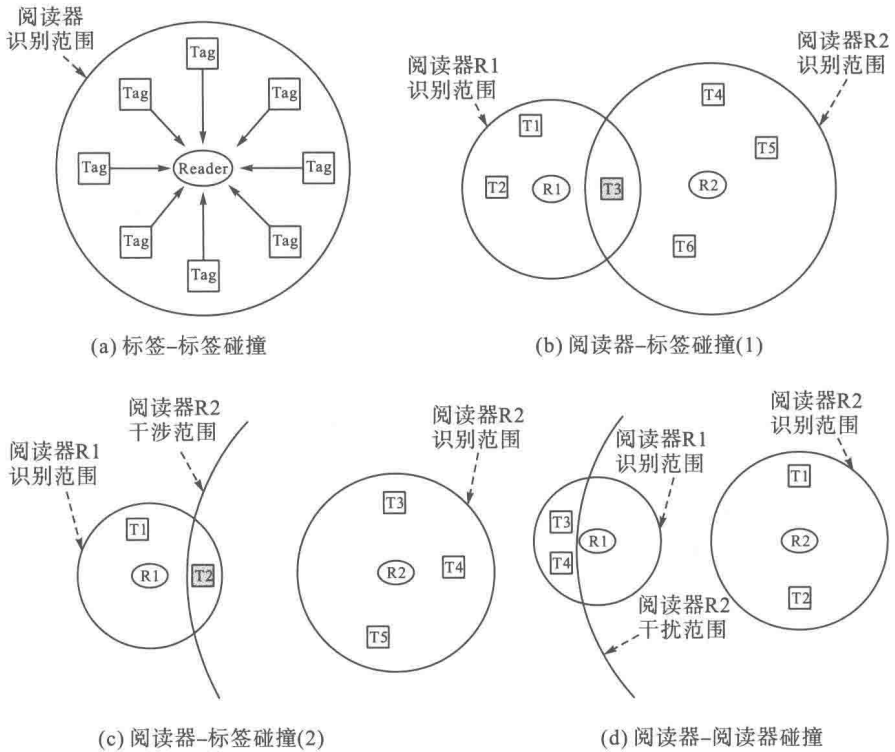


图 2-5 RFID 系统中的碰撞问题

随着 RFID 系统应用发展，提出了动态环境标签识别问题。动态环境指标签数实时变化、标签移动和阅读器移动。在这种动态环境中，标签碰撞和阅读器碰撞所引起的标签识别速度下降，将进一步产生标签漏读问题，在实际应用中是不允许的。

2.5 动态帧时隙 Aloha 标签防碰撞协议

RFID 系统和其他无线通信系统类似，标签防碰撞协议运用多路访问机制来解决 RFID 系统的标签碰撞问题。Aloha 机制中，源节点随机选择时隙传输数据，由目标节点处理数据冲突，该机制适合于功能简化的低成本标签，在 RFID 系统中广泛应用，因此本书也基于 Aloha 机制对标签防碰撞协议进行研究，采用这种机制的协议称为 Aloha 标签防碰撞协议，基本类型是帧时隙 Aloha (FSA) 协议。

在 FSA 协议中，当标签数与时隙数相等时，识别效率最优，故大部分研究工作关注如何满足这一最优效率条件。考虑识别过程中待识别标签数会减少，Schoute^[6]提出了帧长随待识别标签数变化的动态 FSA 即动态帧时隙 Aloha (dynamic framed slotted Aloha, DFSA) 协议。

DFSA 基本原理: 阅读器根据待识别标签数分配有一定数量时隙的帧, 该数量作为识别命令参数, 然后标签在该帧内随机地选择某一时隙传送数据。在该时隙内, 如果只有一个标签响应, 则阅读器能够成功接收标签数据, 此时隙为成功时隙; 如有多个标签响应, 则可能会发生标签碰撞, 阅读器无法正确读取标签数, 此时隙为碰撞时隙; 当没有标签响应, 此时隙为空闲时隙。

如何准确估计标签数是实现 DFSA 性能最优的关键, 故多种标签数估计方法被提出^[7-19]。Su-Ryun Lee 等^[20]提出的 DFSA 改进型 EDFSA 协议采用分组办法解决 DFSA 协议中标签增加引起的帧时隙指数级增长问题。此外, Lei Zhu 等^[21]提出了中止剩余低效时隙的读策略, 进一步提高了 DFSA 效率。由于这些协议中标签随机选择时隙原因, 其识别效率较低, 约为 40%。

归纳现有 DFSA 协议的时间分配机制, 可分为随机分配(如 EDFSA)和预约分配, 前者分配的随机性比后者大得多。随机性分配会出现标签多次无法被识别的饥饿现象, 随机性越大饥饿现象越明显。在移动标签环境中, 这种饥饿现象容易引起标签漏读问题, 故随机分配机制引起的标签漏读问题要比预约分配机制严重。目前已知有两种预约分配机制。

第一种是位隙机制, 它在帧开始前, 所有标签向阅读器传送 128 位时隙预约序列, 阅读器根据各标签的预约序列分配时隙, 它不分配空时隙, 但无法消除碰撞时隙。这种机制下标签预约的对象是时隙, 时隙分配随机性变小, 有利于解决标签移动环境中标签漏读问题。如 C.P.Wong 等^[22]提出的 GBBSA 协议和王中祥等^[23]提出的 BIS 算法就是这种位隙机制, 这种机制的识别效率能够接近 60%, 吞吐率也相应得到提高。

第二种是时隙时间预约机制, 标签随机选择时隙响应, 阅读器在各时隙内根据响应情况决定是否继续分配其剩余时间, 如 EPC-C1G2 防碰撞机制^[24]和吴海峰等^[25, 26]提出的不等时长帧时隙 ALOHA 协议。这种机制和随机分配机制相比, 它们识别效率相近, 识别吞吐率提高, 但在解决标签饥饿问题能力方面不如位隙机制。

现有标签估计方法仅估计碰撞时隙中标签数而无法估计标签移动环境中外部到达标签数, 导致 DFSA 识别效率下降。为此, Floerkemeier^[27]提出了 Bayesian SBS 协议, 阅读器根据标签数量变化中止当前帧、计算下一帧长并开始新帧, 该协议性能提高了 23%, 但读写器需要预先知道进入及离开阅读器的概率分布函数, 协议复杂度高。Yu Song-sen 等^[28]提出标签根据碰撞发生情况调整响应命令概率, 以减少碰撞, 识别效率不受标签到达速度影响, 但增加了标签复杂性。

2.6 RFID 中间件

如何解决高层应用系统与 RFID 阅读器连接问题, 本质上是高层应用系统与