

按需时隙分配 RFID 防碰撞协议研究

陈毅红^{1,2},冯全源¹

(1.西南交通大学信息科学与技术学院,四川成都 610031;2.西南民族大学计算机科学与技术学院,四川成都 610041)

摘要: 为进一步提高射频识别阅读器的标签识别效率,提出一种按需时隙分配高效防碰撞协议.该协议将识别循环分为预约帧时隙阶段和在帧时隙内读取标签两个阶段,通过帧前预约机制消除读取阶段的空闲时隙,采用预约冲突捕获机制有效地减少了读取阶段的碰撞时隙数.在此基础上,通过选择最优预约时隙随机码位数和最优预约时隙数,实现了该防碰撞协议的识别效率最优化,分析了该协议标签电路复杂性,并给出了适用于本协议的标签数估计方法.性能评估表明:该防碰撞协议的平均识别效率达到 91.28%,在通信复杂性和识别速度方面明显优于现有典型防碰撞协议.

关键词: 射频识别;防碰撞协议;预约;捕获;标签估计

中图分类号: TN92 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2014)02-0377-06

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2014.02.025

An On-Demand Slot Assignment Anti-Collision Protocol for RFID system

CHEN Yi-hong^{1,2}, FENG Quan-yuan¹

(1. School of Information Science & Technology, Southwest Jiaotong University, Sichuan, Chengdu 610031, China;

2. School of Computer Science & Technology, Southwest University of Nationalities, Sichuan, Chengdu 610041, China)

Abstract: In order to further improve the identification efficiency of the Radio frequency identification (RFID) system, an efficient anti-collision protocol based on on-demand slot assignment is proposed. In this protocol, each identification round is divided into two steps including reservation stage and identification stage. The proposed protocol avoids collision frame slots and empty frame slots by the capture mechanism of reservation collisions and by the reservation mechanism of frame slots, respectively. Furthermore, the optimal bit number of reservation random code and the optimal number of reservation slots are given for obtaining the optimal efficiency. The paper analyses the circuit complexity of tag based on the protocol, and proposes the tag estimation method suitable for the protocol. Performance estimation shows that the average efficiency of the protocol is about 91.28% and it significantly outperforms the existing anti-collision protocols in terms of communication complexity and identification speed.

Key words: radio frequency identification (RFID); anti-collision; reservation; capture; tag estimation

1 引言

物联网目前已成为一个研究热点^[1],它由应用层、网络层和感知层构成.射频识别(Radio frequency identification, RFID)是重要感知层技术.RFID系统由阅读器和标签组成,阅读器通过无线信道识别标签.当2个以上标签同时向阅读器发送数据时会发生碰撞,导致阅读器无法识别标签、降低阅读器识别效率.高效防碰撞协议能够有效地减少碰撞率^[2,3],这对于需要快速识别标签的RFID系统显得尤为重要.

在文献中,防碰撞协议分为Tree协议^[2,4]和Aloha

协议^[5,12].Tree协议是一种确定性机制,它能识别阅读器感知区域内所有标签,但时延较长.而Aloha协议采用随机机制,简单且易于实现,因此被广泛应用于RFID标准中.在Aloha协议中,当标签数与帧内时隙数相等时,识别效率最优,故现有研究工作主要关注如何实现帧内时隙数与标签数相同,然而在识别过程中待识别标签数会发生变化,为此提出了帧长随标签数变化而变化的动态帧时隙Aloha协议(Dynamic Framed Slotted Aloha, DFSA),该协议能够在标签数变化时仍然能以最优效率识别标签.EDFSA(Enhanced Dynamic Framed Slotted Aloha)协议^[5]是一种改进型DFSA协议.它采用分组识别标

签办法解决 DFSA 协议中存在的因标签增加所引起帧时隙指数级增长问题. 当标签数变化时, 准确估计标签数是阅读器以最优效率识别标签的一项关键技术. 很多 RFID 技术研究者从事估计标签数的研究工作, 提出了多种标签数估计方法^[6-9]. 近期文献提出了中止剩余低效时隙的读策略^[10]来提高 DFSA 协议效率. 这些协议是在时隙时长相等条件下的研究成果, 但无法从根本上解决时隙 Aloha 协议的低识别效率问题, 它们的识别效率约为 40%. 为此, 研究者又提出了不等时隙长的 DFSA 协议, 它的空闲时隙和碰撞时隙较短, 成功时隙较长, 从而通过时隙内部机制来实现识别效率提高, 性能提升效果明显. 如吴海峰提出的防碰撞协议^[7,8]和 EPC-C1G2 的 Q 算法^[11]. Q 算法通过时隙内预约机制来减少无效空闲时隙和碰撞时隙时长, 达到提高协议性能目的, 但仍然存在较多的空闲时隙和碰撞时隙. 此外, C. P. Wong^[12]提出基于位隙分组的帧前预约机制的防碰撞协议 (Grouping Based Bit-Slot Aloha, GBBSA), 消除了空闲时隙, 但存在较多碰撞时隙. 王中祥等^[13]也提出了类似的协议.

本文在现有研究成果基础上, 研究如何进一步提高 Aloha 防碰撞协议的识别效率. 所提出的防碰撞协议采用了按需分配时隙机制, 将一个识别循环分为预约帧时隙阶段和在帧时隙内读取标签两个阶段. 阅读器根据标签数在读取标签的帧时隙前分配一定数目预约时隙 (Reservation Slot). 标签在其随机选择的预约时隙内向阅读器传送预约随机码 (Reservation Random Code) 以预约一个帧时隙. 该协议称为 RSMBA (Reservation Slot with Multi-Bits Aloha). 该协议与现有 Aloha 协议相比, 通过按需分配用于读取标签 ID 数据的帧时隙, 它不仅能消除读取阶段中的空闲帧时隙, 而且能够明显减少读取阶段中的碰撞帧时隙数, 在读取阶段的绝大多数时隙为成功时隙, 由此识别效率明显提高, 识别效率达到 91.28%, 而现有协议效率为 32.5% 到 59.9% 之间, 此外, 协议的通信复杂性和识别速度也明显下降. 因 RSMBA 协议与传统 DFSA 协议机制有较大差别, 用于现有 DFSA 协议的标签数估计方法不能直接用于 RSMBA 协议, 为此本文提出适用于 RSMBA 协议标签数估计方法, 标签低成本是协议能得以利用的重要因素, 故还将对标签电路复杂性进行分析.

2 RSMBA 防碰撞协议

在 RSMBA 系统中, 预约帧时隙阶段由多个预约时隙 (Reservation Slot) 构成, 读取标签阶段由帧时隙组成. 一个预约时隙代表一个帧时隙 (Frame Slot), 标签随机选择预约时隙表示随机预约了其代表的帧时隙. 在读取标签阶段, 阅读器是否分配每个预约时隙所代表的

帧时隙, 需根据标签预约情况决定, 这也正是预约机制作用. RSMBA 协议流程如图 1 所示, 协议过程如下:

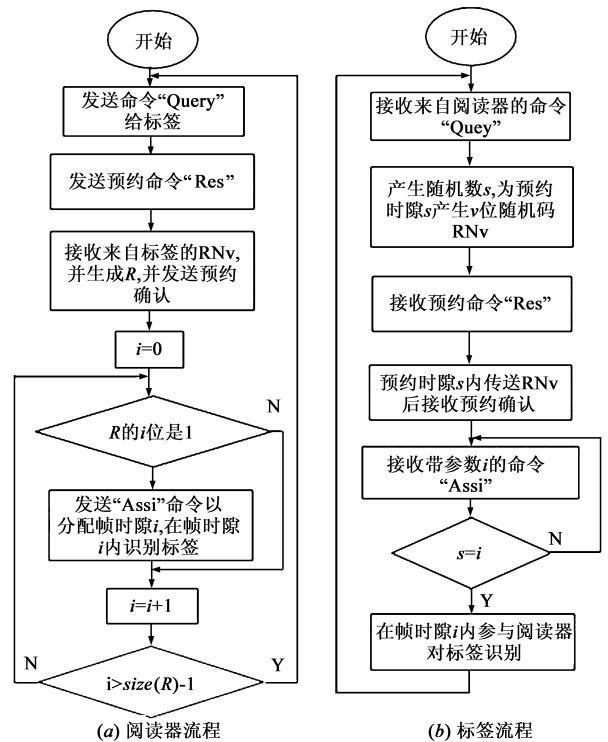


图1 RSMBA 防碰撞协议

(1) 预约帧时隙阶段. 阅读器识别范围内标签随机选择预约时隙并为其该预约时隙产生 v 位随机码 (RNv). 在读取标签阶段, 一些没有被标签选择的预约时隙所代表的帧时隙并不会被阅读器分配, 所以消除了空闲时隙. 当预约时隙被多个标签选择, 就会导致预约冲突 (Reservation Collision). 选择同一个预约时隙的标签所产生的随机码不相同, 阅读器通过曼彻斯特编码 (Manchester)^[3]检测到随机码冲突, 从而捕获预约冲突, 阅读器在读取标签阶段就不再分配该预约时隙所对应的帧时隙, 从而避免了读取标签阶段的碰撞时隙 (Collision Slot). 当然多个标签选择同一个预约时隙, 且它们所产生的 RNv 相同, 则阅读器无法捕获预约冲突, 在读取标签阶段, 阅读器会分配该预约时隙所代表的帧时隙. 在该帧时隙内有多个标签向阅读器传送其 ID 数据, 从而产生识别冲突, 该时隙为碰撞时隙. 不过 v 位 RNv 随机码相同的概率随着 v 的位数增加而降低, 所以阅读器能够有效地减少碰撞时隙. 当预约时隙被一个标签选择时, 则在读取标签阶段, 阅读器分配该预约时隙所代表帧时隙, 且成功地在该时隙内读取标签, 称这种时隙为成功时隙 (Success Slot). 当某一预约时隙没有标签时, 则阅读器在读取阶段不分配该预约时隙所代表的帧时隙, 从而避免了空闲时隙 (Empty Slot). 具体过程

如下:阅读器发送一个带参数 q 的“Query”命令 ($q \in Z^+$, 预约时数 $L = 2^q$). 然后标签在 $(0, 2^q - 1)$ 范围内产生并存储随机数 s 作为所选择的预约时隙, 即预约了帧时隙 s , 并为该预约时隙产生随机码 RN v , 然后阅读器发送一个预约命令“Res”以开始一个预约时段, 该时段为 $L \times v$ 位时长. 标签收到该命令后, 在其预约时隙 s 内传送预约随机码 RN v . 阅读器检测每个预约时隙 i , 如能够成功接收到 RN v , 则将记录预约情况的寄存器 R 的第 i 位置为 1, 否则置 0.

(2) 读取标签阶段. 阅读器根据寄存器 R 各位记录的预约情况分配帧时隙, 并在帧时隙内识别标签. 阅读器从第 0 位到最后位检测 R , 如果 R 的 i 位为 1, 则向标签广播一个时隙分配命令“Assi”, 该命令参数为 i . 标签收到该命令后, 比较其预约时隙号 s 是否等于 i , 如果相等, 则向阅读器传送其 ID 码. 如果只有一个标签传送 ID, 阅读器能成功接收 ID, 然后向标签发送带参数 i 的确认命令 Ack, 以让 s 等于 i 的标签处于静默状态. 如有多个标签的 s 等于 i , 则有多个标签向阅读器传送 ID, 从而在阅读器处发生识别碰撞, 然后阅读器向标签发送 Nak 命令, 以让标签可参加下一识别循环.

现以一个例子来说明识别循环. 该例中的随机码为 5 位 (当 $v = 5$ 时, 识别效率最优, 在 3 节中解释原因), 预约时隙数 $L = 8$ ($q = 3$), 标签数为 6.

预约帧时隙阶段如图 2(a) 所示. 每个标签产生一个随机数 s ($s \in \{0, \dots, 7\}$) 作为所选择的预约时隙号, 并为该预约时隙产生 5 位随机码. 标签 1 和标签 3 选择预约时隙 0, 且有相同随机码 RN5 (“00011”), 阅读器能够成功接收该随机码, 并将寄存器 R 的 0 位置为 1. 标签 4 和标签 6 选择同一个预约时隙 2, 但它们的随机码 RN5 不同 (“10101”和“10111”), 阅读器不能够成功接收该随机码, 故检测到该预约冲突, 所以寄存器 R 的位 2 置为 0. 预约时隙 (1, 7) 均被一个标签选择, 阅读器能够成功接收随机码, 所以寄存器 R 的位 (1, 7) 被置为 1. 而预约时隙 (3, 4, 5, 6) 没有标签选择, 阅读器不能接收标签随机码 RN5, 寄存器 R 的位 (3, 4, 5, 6) 也被置为 0.

读取标签阶段如图 2(b) 所示. 阅读器基于寄存器 R (“11000001”) 与标签通信. 由于预约时隙 0 被两个标签选择, 但阅读器没有检测到该预约冲突, 所以阅读器开启帧时隙 0, 然后标签 1 和标签 3 同时传送其 ID 给阅读器, 在阅读器处发生识别冲突. 而阅读器能够在预约时隙 2 内捕获到预约冲突, 阅读器不分配帧时隙 2, 由此减少了一个碰撞时隙. 阅读器不分配标签未选预约时隙 (3, 4, 5, 6) 对应的帧时隙 (3, 4, 5, 6). 总之, 本阶段没有空闲时隙, 只有成功时隙和少量碰撞时隙. RSMBA 与传统 DFSA 相比, 明显减少了无效帧时隙数.

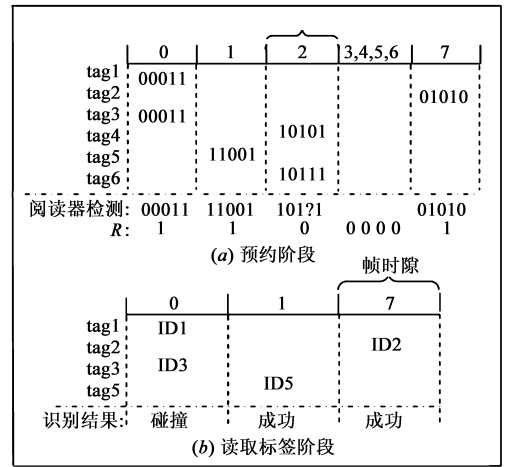


图2 RSMBA一个例子

3 RSMBA 协议分析

从 2 节可知 RSMBA 的参数包括用于计算预约时隙数 L 的 q ($q \in Z^+$) 和随机码 RN v 的位数 v . 这些参数取值将决定协议的性能. 假定阅读器感知区域内标签数为 n .

RSMBA 识别效率分析与协议参数确定 预约时隙数为 $L = 2^q$, 则标签选择某一预约时隙的概率为:

$$p = \frac{1}{L} = \frac{1}{2^q} \quad (1)$$

一个预约时隙被一个标签选择概率为:

$$P_s = C_n^1 p (1-p)^{n-1} = C_n^1 \frac{1}{2^q} \left(1 - \frac{1}{2^q}\right)^{n-1} \quad (2)$$

则被一个标签选择的预约时隙数为:

$$L_{\text{succesd}} = L \times P_s = n \left(1 - \frac{1}{2^q}\right)^{n-1} \quad (3)$$

k 个标签选择同一个预约时隙概率为:

$$P_k = C_n^k p^k (1-p)^{n-k} = C_n^k \left(\frac{1}{2^q}\right)^k \left(1 - \frac{1}{2^q}\right)^{n-k} \quad (4)$$

所以在某预约时隙内, k 个标签产生相同随机码的概率为:

$$P_{ck} = P_k \times C_2^v \left(\frac{1}{2^v}\right)^k = C_n^k \left(\frac{1}{2^q}\right)^k \left(1 - \frac{1}{2^q}\right)^{n-k} C_2^v \left(\frac{1}{2^v}\right)^k \quad (5)$$

由此得到, 在一个预约时隙内, 不少于 2 个标签产生同一个随机码的概率为:

$$P_c = \sum_{k=2}^n P_{ck} = \sum_{k=2}^n C_n^k \left(\frac{1}{2^q}\right)^k \left(1 - \frac{1}{2^q}\right)^{n-k} C_2^v \left(\frac{1}{2^v}\right)^k \quad (6)$$

则碰撞时隙期望数为:

$$L_{\text{collision}} = L \times P_c = 2^q \sum_{k=2}^n C_n^k \left(\frac{1}{2^q}\right)^k \left(1 - \frac{1}{2^q}\right)^{n-k} C_2^v \left(\frac{1}{2^v}\right)^k \quad (7)$$

在预约帧时隙阶段等效帧隙数为:

$$L_{\text{equivalent}} = \frac{L \times v}{\text{size}(ID)} = \frac{2^q \times v}{\text{size}(ID)} \quad (8)$$

这里 $\text{size}()$ 为二进制码的位长函数, 参照 EPC-C1G2 标准, $\text{size}(ID)$ 函数值为 256. 由此可得识别效率:

$$\eta(q, n, v) = \frac{L_{\text{succed}}}{L_{\text{equivalent}} + L_{\text{collision}} + L_{\text{succed}}} = \frac{2^q \times v}{\text{size}(ID)} + 2^q \sum_{k=2}^n C_n^k \left(\frac{1}{2^q}\right)^k \left(1 - \frac{1}{2^q}\right)^{n-k} C_2^1 \left(\frac{1}{2^v}\right)^k + n \left(1 - \frac{1}{2^q}\right)^{n-1} \quad (9)$$

在协议设计过程, 应当考虑获得最优识别效率. 由公式(9)可知变量 (v, q) 是 RSMBA 协议的关键参数. 利用公式(9)得到图 3、图 4 和图 5 来估计这两个参数.

假定需识别的标签数为 400, v 值从 1 到 20 变化, 得到不同 q 值条件下 v 对识别效率的影响, 结果如图 3 所示. 由图可见 4 个峰值均出现在 v 等于 5 附近, 因此假定当 v 等于 5 时, 协议效率接近于最优值.

进一步分析, 当 v 等于 5 时 q 对效率的影响. 图 4 呈现了 10 个 q 值所对应的 10 个效率曲线, 每两个相邻 q 值曲线有一个重要交点, 而这些重要交点的横坐标能够通过公式(10)和公式(11)获得.

$$\eta(q_i - 1, n_i, 5) = \eta(q_i, n_i, 5) \quad (10)$$

$$\eta(q_i, n_{i+1}, 5) = \eta(q_i + 1, n_{i+1}, 5) \quad (11)$$

其中 $q_i \in \{1, \dots, 10\}$, $n_i \in \mathbb{Z}^+$.

两个重要交点间曲线对应于一个 q 值, 当标签数处于相邻两个横坐标值之间时, 效率有一个最大值, 但其波动幅度较小. 这些数据被列在表 1 中.

为证实前面的假定, 在给定 n 和 q 值条件下利用公式(9)分析 v 对效率的影响, 公式中的 n 和 q 分别从表 1 中第 1 列和第 2 列取值, 结果如图 5 所示. 当 v 从 1 增加到 5 时, 效率逐渐增加; 当 v 等于 5 时, 效率接近于最大值; 当 v 从 6 增加到 8 时, 效率逐渐下降, 故选择 5 作为随机码长度时, 识别效率接近于最优值. 由图 5 可知协议效率理论值高于 92.4%. 表 1 也可用于阅读器根据标签数来确定预约时隙数: 当标签数属于第 1 列某

范围时, 阅读器选择第 2 列对应的 q 值, 即预约时隙数为 2^q . 这种确定预约时隙数方法有利于降低 RSMBA 对标签估计准确性要求.

表 1 标签数 (n) 与 q 值

n	q	Maximum η	$\eta(l_i, r_i)$
1 - 2	1	0.9550	$l_i = 0.9550, r_i = 0.9360$
3 - 4	2	0.9380	$l_i = 0.9360, r_i = 0.9300$
5 - 9	3	0.9330	$l_i = 0.9300, r_i = 0.9280$
10 - 18	4	0.9300	$l_i = 0.9280, r_i = 0.9260$
19 - 36	5	0.9290	$l_i = 0.9260, r_i = 0.9250$
37 - 72	6	0.9280	$l_i = 0.9250, r_i = 0.9240$
73 - 144	7	0.9280	$l_i = 0.9240, r_i = 0.9240$
145 - 288	8	0.9280	$l_i = 0.9240, r_i = 0.9240$
289 - 576	9	0.9279	$l_i = 0.9240, r_i = 0.9240$
577 - 1000	10	0.9279	$l_i = 0.9240, r_i = 0.9240$

RSMBA 标签电路复杂性分析 标签生成选择预约时隙的随机数 q 和 $v = 5$ 位随机码共需 $\lceil \log_2 q \rceil + v$ 位随机数. 而 q 最大值由阅读器感知区域最大可能标签数决定, 当 $q = 13$ 时 $L = 8192$, 能够满足实际应用需要, 故 q 需 4 位, 标签共有 $4 + 5 = 9$ 位随机数产生电路. 而 EPC-C1G2 防碰撞协议(Q 算法)需生成 16 位 RN16 随机数, 共需 $16 + 4 = 20$ 位随机数产生电路, 因此, 本文所提出的 RSMBA 协议随机数电路复杂性明显低于 EPC-C1G2 标签. 此外, 标签中还有基于状态机的控制器来执行命令, RSMBA 协议中标签需执行共 5 个(Query、Res、Assi、Ack、Nak), 而 EPC-C1G2 标签需执行主要命令也是 5 个(Select、Query、QueryRep、Ack、Nak), 故 RSMBA 协议标签和 EPC-C1G2 协议标签的控制器电路复杂性相近. 综上分析可知 RSMBA 协议标签电路复杂性低于 Q 协议的标签电路复杂性.

RSMBA 协议标签数估计 针对 DFSA 协议, 已提出了多种标签数估计方法, 大多数估计法基于帧成功时隙数、碰撞时隙数和空闲时隙数来计算标签数. 由于本协议将识别过程分为两个阶段, 每个阶段均有冲突

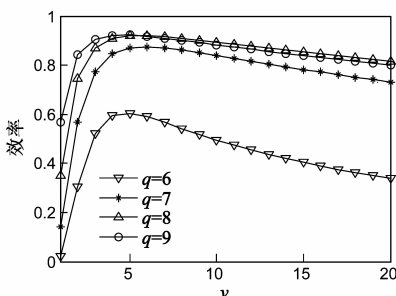


图 3 标签数为 400 时 q 和 v 对效率的影响

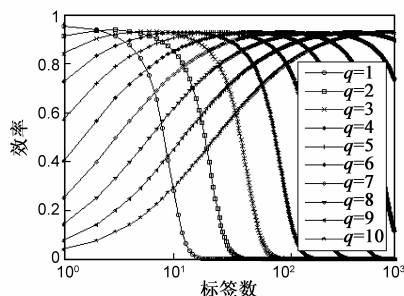


图 4 当 $v=5$ 时 q 对效率的影响

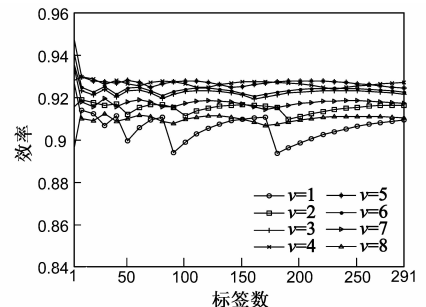


图 5 v 对效率的影响

或碰撞,与传统 DFSA 协议机制有较大差异,因此需要提出适用于本协议的标签数估计方法. 预约帧时隙阶段与 DFSA 协议一样均采用随机方式选择时隙,但阅读器无法检测到所有预约冲突. 一个识别循环结束后,阅读器统计两个阶段总的成功时隙数 z_s 、总的空闲时隙数 z_e 和总的碰撞时隙数 z_c , 可得到适用于 RSMBA 协议的标签数估计方法. 设预约帧时隙阶段空闲的预约时隙数为 R_e , 预约冲突的预约时隙数为 R_c , 初步成功预约时隙数为 R_s , 读取标签阶段的成功帧时隙数为 I_s , 碰撞帧时隙数为 I_c , 则 $z_s = R_s - I_c$, $z_c = R_c + I_c$, $z_e = R_e$. Wen-Tzu Chen 法标签数估计误差在 5% 以内 $P^{[13]}$, 在目前标签数估计法中是最高的, 因此基于 Wen-Tzu Chen 法, 利用式(2), 式(6)得到适用于 RSMBA 的标签数估计公式(12):

$$\bar{n} = \operatorname{argmax} \{ p(n | z_e, z_s, z_c) \} \quad (12)$$

其中: $p(n | z_e, z_s, z_c) = \frac{2^q}{z_e! z_s! z_c!} \times \left[\left(1 - \frac{1}{2^q}\right)^n \right]^{z_e} \times \left[\frac{n}{2^q} \left(1 - \frac{1}{2^q}\right)^{(n-1)} \right]^{z_s} \times \left[1 - \left(1 - \frac{1}{2^q}\right)^n - \frac{n}{2^q} \left(1 - \frac{1}{2^q}\right)^{(n-1)} \right]^{z_c}$

4 性能评估

本文将采用识别效率、通信复杂性和识别速度三个性能指标对防碰撞协议进行评估. 识别效率被用来评估防碰撞协议内在性能, 而通信复杂性和识别速度则是从现实方面来考虑协议性能. 通过比较 RSMBA 和经典协议 (EDFSA、GBBSA 和 Q 算法) 在三个指标差异, 来对 RSMBA 协议进行全面性能评估.

在性能评估中, 待识别标签组中标签数为 1 到 900, 四个协议空中接口通信参数相同 (标签 ID 位数、数据传输速度、识别命令和链路时序). EPC-C1G2 的最大最小 ID 位数分别为 16 和 496, 实验中选用中间值 256. EPC-C1G2 数据传输速率为 26.7kbps 到 128kbps, 实验中采用 96kbps. 参考 EPC-C1G2, 有四个主要识别命令, 包括 'Query', 'QueryRep', 'Ack' 和 'Nak'. 22 位命令 'Query' 用来开启一个帧及分配帧内第一个时隙, 4 位命令 'QueryRep' 用于分配一个新时隙. 4 位命令 'Ack' 用于通知已识别标签处于静默状态. 4 位命令 'Nak' 用于通知未识别标签参与下一识别循环. EDFSA、GBBSA 和 RSMBA 协议的链路时序与 Q 算法相同, 由于篇幅限制, 在此略去. 利用前面所提出的标签估计方法, 通过实验得到每个协议的三个性能指标分别如图 6、图 7 和图 8 所示.

识别效率定义为成功时隙数和总时隙数之比, 因此避免空闲时隙和碰撞时隙能力越强, 效率越高. 为比较这种避免能力, 阅读器在识别完每一组标签后, 统计总时隙数 (total frame slot)、空闲时隙数 (empty frame

slot)、碰撞时隙数 (collision frame slot) 和成功时隙数 (success frame slot) 及等效时隙数 (equivalent frame slot), 实验结果如图 6 所示. 图 6 表明: RSMBA 与其它协议相比, 无空闲时隙, 很少的等效时隙和很少的碰撞时隙. 例如, 当组内标签数为 900 时, EDFSA 总时隙数为 2590, Q 算法总时隙数为 2762, GBBSA 的总时隙数为 1502, 而 RSMBA 的总时隙数为 986, 所以在识别效率方面 RSMBA 明显优于其它协议, 其识别效率达到 91.28%, 这一实验测量值接近于理论值 92.4%.

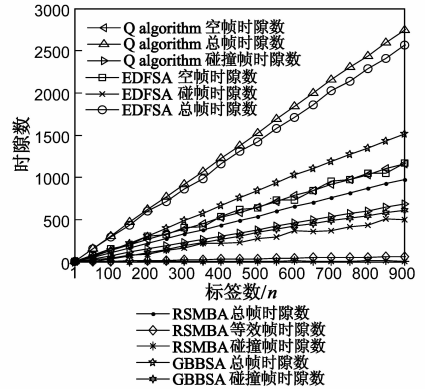


图6 识别效率比较

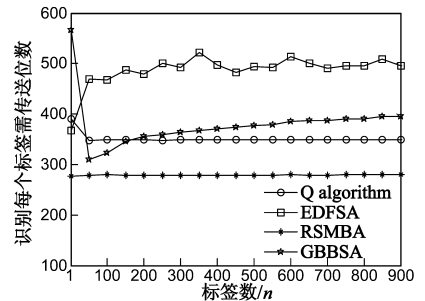


图7 通信复杂性比较

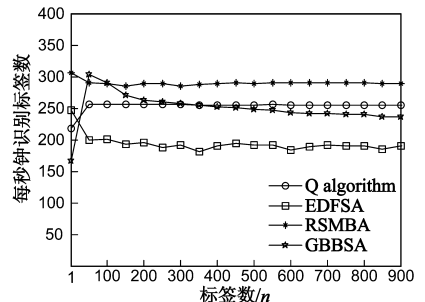


图8 识别速度比较

无线通信系统, 消耗的能量主要用于数据传输, 因此能量消耗通过传送位的多少来计算. 图 7 呈现了四个协议识别每个标签时平均传输位数 (Transmitted bits for one tag identified). 如, RSMBA 协议需要传输 280 位, 而 Q 算法需要 350 位, 所以 RSMBA 能量消耗低于 Q 算法 20%. 图 7 表明 RSMBA 传输位数在四个协议中最少, 原

因在于它以较少时间开销消除了空闲时隙和有效地减少了碰撞时隙,从而显著减少了传输位。RSMBA 在通信复杂性方面的优势有利于其应用于实际 RFID 系统。

在动态环境中,识别速度越快,则标签漏读率越低。图 8 呈现每秒钟平均识别标签数(Number of tags identified per second)。例如 RSMBA 速度为每秒 290 个标签,而 Q 算法速度大约为 260 个标签,前者高出后者 11.5%。图 8 表明 RSMBA 在四个协议中识别速度最快。

5 结束语

在现有的 Aloha 协议中,存在的许多无效空闲时隙和无效碰撞时隙导致低性能问题,该问题在动态 RFID 环境中显得尤其严重,因此本文提出 RSMBA 协议来解决这一问题。RSMBA 协议通过多位随机码来有效避免碰撞时隙,通过帧前预约机制消除空闲时隙。针对 RSMBA 协议,提出了按照标签数来确定预约时隙数方法,该方法降低了标签估计准确性要求。此外,权衡捕获效率和预约开销,得到了协议最优参数(随机码位数)。提出了该协议的标签估计方法,基于该估计方法的实验结果表明,RSMBA 协议识别效率达到 91.28%,而其它协议效率为 32.5%到 59.9%之间。性能评估也表明 RSMBA 在通信复杂性和识别速度方面优于其它协议,标签电路复杂性分析表明该协议标签复杂性低于 EPC-C1G2 协议标签复杂性,协议因此 RSMBA 协议具有良好的应用前景。

参考文献

- [1] 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.
Ning Huan-sheng, Xu Qun-yu. Research on global internet of things' developments and It's lonstruction in china[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(11): 2590-2599. (in Chinese)
- [2] 丁治国,朱学永,郭立,古今.自适应多叉树防碰撞算法研究[J].自动化学报,2010,36(2):237-241.
Ding Zhi-Guo, Zhu Xue-Yong, Guo Li, Gu Jin. An adaptive anti-collision algorithm based on multi-tree search [J]. Acta Automatica Sinica, 2010, 36(2): 237-241. (in Chinese)
- [3] Xiaolin Jia, Quanyuan Feng. An efficient anti-collision protocol for RFID tag identi-fication[J]. IEEE Communications Letters, 2010, 14(11): 1014-1016.
- [4] 张学军,蔡文琦,王锁萍.改进型自适应多叉树防碰撞算法研究[J].电子学报,2012,40(1):193-198.
Zhang Xue-Jun, et al. One anti-collision algorithm based on improved adaptive multi-tree search[J]. Acta Electronica Sinica, 2012, 40(1): 193-198. (in Chinese)
- [5] Su-Ryun Lee, et al. An enhanced dynamic framed slotted Aloha algorithm for RFID tag identification[A]. In The 2nd Intl. An-

nual Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services[C]. San Diego, USA, 2005. 166-172.

- [6] Jun-Bong Eom, Tae-Jin Lee. Accurate tag estimation for dynamic framed-slotted ALOHA in RFID systems[J]. IEEE communications letters, 2010, 14(1): 60-62.
- [7] Haifeng Wu, Yu Zeng. Bayesian tag estimate and optimal frame length for anti-collision aloha RFID system[J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2010, 7(4): 963-969.
- [8] 吴海锋,曾玉. RFID 动态帧时隙 ALOHA 防冲突中的标签估计和帧长确定[J]. 自动化学报, 2010, 36(4): 620-624.
Wu Hai-feng, et al. Tag estimate and frame length for dynamic frame slotted ALOHA anti-collision RFID system [J]. Acta Automatica Sinica, 2010, 36(4): 620-624. (in Chinese)
- [9] Wen-Tzu Chen. An accurate tag estimate method for improving the performance of an RFID anti-collision algorithm based on dynamic frame length ALOHA[J]. IEEE Transactions on automation science and engineering, 2009, 6(1): 9-15.
- [10] Lei Zhu, Tak-Shing Peter Yum. The optimal reading strategy for EPC gen-2 RFID anti-collision systems[J]. IEEE transactions on communications, 2010, 58(9): 2725-2733.
- [11] EPCglobal inc. EPC Radio Frequency Identity protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz-960MHz, version 120[S]. 2008.
- [12] C P wong, Quanyuan Feng. Grouping based bit-slot aloha protocol for tag anti-collision in RFID systems[J]. IEEE Communications Letters, 2007, 11(12): 946-948.
- [13] 王中祥,王俊宇,刘丹,闵昊. BIS:一种降低空时隙开销的 RFID 防碰撞算法[J]. 通信学报, 2009, 30(9): 1-6.
Wang Zhong-xiang, et al. BIS: an RFID anti-collision algorithm minimizing the cost of empty slots[J]. Journal of Communication, 2009, 30(9): 1-6. (in Chinese)

作者简介



陈毅红 男,1972 出生于四川营山,西南交通大学博士研究生,西南民族大学教师,CCF 会员,主要研究方向为 RFID,物联网,嵌入式系统,排队论。

E-mail: cyhsmpi@126.com



冯全源(通信作者) 男,1963 出生于江西景德镇,西南交通大学教授,博士生导师,IEEE 高级会员(IEEE Senior Member),主要研究方向为 RFID 技术,嵌入式系统,移动天线与智能天线系统。

E-mail: fengquanyuan@163.com