

基于动态预约机制的防碰撞算法

丁治国, 丁 莉, 汤红飞

(解放军电子工程学院 信息管理中心, 合肥 230037)

摘 要: 针对无线射频识别系统中标签预约防碰撞算法不能有效利用预约时隙的问题, 提出一种新的防碰撞算法。将每一轮的标签识别过程分为标签预约和标签读取 2 个阶段。在标签预约阶段, 待识别标签随机选择一个预约时隙发送标签序列号的前一部分, 即传统标签预约算法发送固定长度的短随机序列, 每一轮预约时隙的数量根据估计的标签数量动态调整。在标签读取阶段, 读写器根据预约时隙状态, 通知选择可读预约时隙的标签继续发送序列号的剩余部分。实验结果表明, 该算法采用动态预约机制, 降低了冗余信息的发送量, 可以有效减少碰撞和空闲时隙数。

关键词: 无线射频识别; 动态预约机制; 时隙; 防碰撞算法; 标签

中文引用格式: 丁治国, 丁 莉, 汤红飞. 基于动态预约机制的防碰撞算法[J]. 计算机工程, 2017, 43(2): 317-321.

英文引用格式: Ding Zhiguo, Ding Li, Tang Hongfei. Anti-collision Algorithm Based on Dynamic Reservation Mechanism[J]. Computer Engineering, 2017, 43(2): 317-321.

Anti-collision Algorithm Based on Dynamic Reservation Mechanism

DING Zhiguo, DING Li, TANG Hongfei

(Center of Information Management, Electronic Engineering Institute of PLA, Hefei 230037, China)

[Abstract] In Radio Frequency Identification (RFID) system, in order to overcome the problem that the reservation slot cannot be effectively used in the tag reservation anti-collision algorithm, this paper proposes a new anti-collision algorithm. In the new algorithm, each round of the tag identification process is divided into two steps which are tag reservation phase and tag reading phase. In the tag reservation phase, the tag to be recognized randomly selects the first part of an appointment slot to send tag serial number, named the short random sequence of the fixed length sent by the traditional tag reservation algorithm. The number of reservation slot is dynamic adjusted according to the estimated number of tags. According to the status of reservation slot, the reader notices these tags which choose the readable slots continue to send the remaining part of the serial number in tag reading phase. Simulation results show that the algorithm uses dynamic reservation mechanism, which reduces redundant information transmission, can effectively reduce the number of collision and idle slots.

[Key words] Radio Frequency Identification (RFID); dynamic reservation mechanism; slot; anti-collision algorithm; tag
DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2017.02.053

0 概述

无线射频识别 (Radio Frequency Identification, RFID) 作为新型无线非接触式自动识别技术凭借其存储容量大、识别速度快和安全系数高等优点, 已在物流、销售、运输和定位领域得到广泛应用^[1]。然而, 读写器作用范围内多标签与读写器同时通信的标签碰撞问题依然是制约 RFID 系统性能的重要因素。

受标签技术和成本的限制, 现有的标签防碰撞算法主要基于时分多路技术, 一般包括基于树型的搜索算法^[2-3]和基于时隙随机选择的 ALOHA 算法 2 类。前者按照树形结构, 通过不断修改码查询前缀, 从而减少响应标签的数量, 直至对唯一标签进行识别^[4-6]。由于该类算法可以遍历整个搜索空间, 不存在标签漏检问题, 因此被称为确定性方法。后者标签随机选择时隙与读写器通信, 方法简单易于实现, 但存在一定概率的某一标签长时间内所选择的

基金项目: 中国博士后科学基金 (2012M512079)。

作者简介: 丁治国 (1977—), 男, 博士后, 主研方向为射频识别; 丁 莉、汤红飞, 高级工程师。

收稿日期: 2016-01-19 **修回日期:** 2016-03-18 **E-mail:** dingzg@ah.edu.cn

时隙均发生碰撞,在有效时间内无法被读写器识别,具有漏检风险,即标签饥渴问题,故被称为可能性方法^[7-9]。

传统的可能性方法包括时隙 ALOHA、帧时隙 ALOHA 和动态帧时隙 ALOHA 算法^[1]等,由于其时隙选择的盲目性,算法存在性能瓶颈,RFID 系统的吞吐率难以超过 37%。为此,一些学者^[7-10]提出了不等长时隙和按需时隙分配的方法,通过标签预约机制减少空闲和碰撞时隙的时长,可较大幅度提高算法的识别效率。但该类算法在预约阶段发送的短随机序列仅用于读写器识别预约时隙状态,不包含标签的身份信息,因此,算法的性能仍存在提升的空间^[11-13]。本文在传统标签预约机制的基础上,提出一种基于动态预约机制的防碰撞算法。根据每一轮估计得到的标签数量动态地调整预约时隙数量,并通过在标签预约阶段直接发送标签序列号的前一部分用于识别预约状态,从而减少在标签读取阶段的数据的通信量^[14-15]。

1 动态预约机制及防碰撞算法

1.1 标签预约机制

为了减少标签在随机选择时隙过程中的盲目性,从而减少空闲和碰撞时隙数,文献[7]提出了一种标签预约机制,即将每一轮的标签识别过程分为标签预约帧时隙和帧时隙内标签读取 2 个阶段。在时隙预约阶段,读写器作用范围内的所有标签随机选择预约时隙并发送短随机序列(长度远小于标签的序列号)用于检测预约冲突,对于预约过程中出现的空闲和碰撞时隙,读写器在标签读取阶段将不再分配对应的时隙以减少空闲和碰撞的发生。由于预约时隙的长度远小于标签读取时隙,数据通信量小,代价低,因此标签预约机制可以有效地提高 RFID 系统的识别效率,吞吐率可达 92% 左右。

传统的标签预约机制在预约阶段发送固定长度的短随机序列(文献[7]给出的最佳预约时隙长度为 5 bit),目的仅用于协助读写器识别预约状态(即判断该预约时隙状态为碰撞、空闲或可读),随机序列本身不包含标签序列号的任何信息,从标签识别的角度来说属于冗余信息。在标签读取阶段,标签仍需要发送完整序列号,因此,通信效率仍有进一步提升的空间。如果将标签的序列号分为两部分,分别在标签预约和读取阶段发送。由于任意 2 个标签序列号之间的不相关性,发送的前一部分序列号不仅可用于协助读写器识别预约状态,而且本身就是标签的序列号,这样在标签读取阶段只需发送标签

序列号的后续部分即可,从而可进一步减少数据通信量,提高吞吐率。

一般来说,预约时隙的长度越短,通信的效率越高,但预约错误的概率也越高,即选择了同一预约时隙的多个标签发送了相同的预约码(在新算法中,选择了同一预约时隙的多个标签的前一部分的序列号恰好相同)。由于读写器在该时隙内无法检测到碰撞,因此会通知选择了该预约时隙的标签继续响应,从而导致在标签读取阶段发生碰撞。预约时隙长度的选择应根据待识别的标签数量和标签的序列号长度科学地设置,最优预约时隙长度的选择将在下文中讨论。

1.2 算法描述

如图 1 所示,动态预约机制防碰撞算法(Dynamic Reservation Mechanism Anti-collision Algorithm, DRMAA)的基本步骤如下:

步骤 1 读写器估计待识别标签的数量 N , 分配 L 个预约时隙(当 $L = N$ 时,算法性能最佳),并发送标签预约命令,确定预约时隙长度 m 。可借鉴的标签数量估计算法包括 Lower Bound 算法、Schoute 算法和 Vogt 算法等^[8,10],由于此内容非本文重点,这里不再赘述。

步骤 2 所有待识别标签随机选择其中的一个预约时隙,发送其序列号的前 m 位。

步骤 3 读写器根据标签响应判断每一个预约时隙的状态,并根据每个预约时隙的状态,发送长度为 L 的标签读取命令。在该读取命令中,每比特由 $\{0,1\}$ 2 种状态表示。其中,0 表示不可用时隙,即该时隙在预约时出现空闲或碰撞,在预约时选择了该类时隙的标签在后续的标签读取过程中将保持沉默,即不参与本轮的标签识别;1 表示可读时隙,即该时隙在预约时被有且仅有一个标签所选择,选择该时隙的标签在后续的标签读取过程中保持活跃,继续发送剩余的序列号。

步骤 4 标签收到读取命令后,选择了可读时隙的标签进行一次时隙转换,以计算自己对应的读取时隙号:

$$N_i = i - \sum_{j=0}^{i-1} L_j \quad (1)$$

即选择第 i 个预约时隙号的标签,其读取时隙号 N_i 为预约时隙号 i 减去本序号之前的不可用时隙数。其中, L_j 为标签读取命令中第 j 位对应的值,其值为 0 或 1。标签在对应的读取时隙号内发送自己的后 $M - m$ 比特序列号,不符合读取条件的标签则保持沉默。

步骤5 读写器在读取时隙内依次读取标签序列号, 并通过时隙转换, 将标签预约和标签读取阶段收到的两部分数据拼接成完整的标签序列号, 从而完成本轮的标签识别。读写器判断是否还有未识别的标签, 如果有, 返回步骤1; 如果没有, 则算法结束。

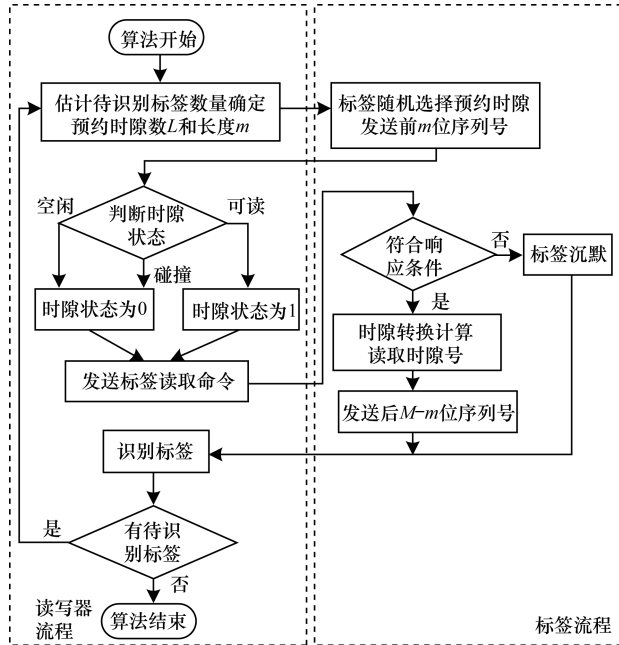


图1 动态预约机制防碰撞算法流程

1.3 实例分析

下面通过一个应用实例分析算法的工作原理。如图2所示, 读写器作用范围内共有6个待识别标签, 其中, Tag2和Tag3, Tag4和Tag5的前 m 位序列号恰好相同, 本轮标签预约时隙数为8。由于标签Tag2和Tag3选择了同一预约时隙, 且发送的前 m 位序列号相同, 因此读写器错误地判断该预约时隙为可读时隙, 而Tag4和Tag5由于选择不同的预约时隙, 因此不会导致误判。

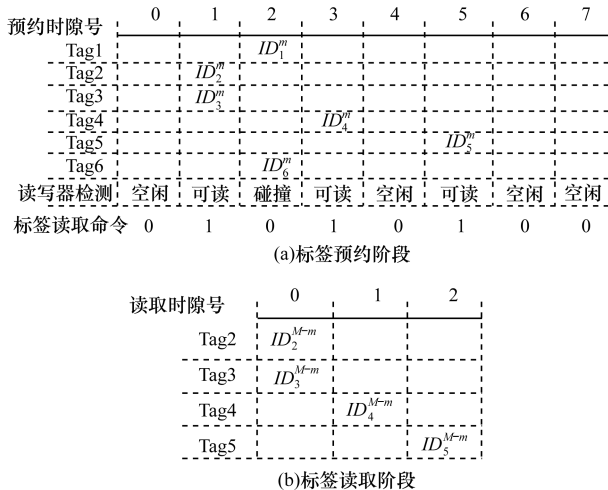


图2 动态预约机制防碰撞算法的实例分析

读写器根据预约时隙的状态, 发送相应长度的标签读取命令“01010100”, 标签收到读取命令后, 将各自选择的预约时隙号与读取命令比对, 标签Tag1和Tag6对应的读取命令为0则标签沉默, 即不参与本轮标签识别。其余标签对应的读取命令为1, 因此进行时隙转换, 并在对应读取时隙内发送后 $M-m$ 位序列号。例如Tag2的预约时隙号为1, 在预约时隙号1之前有1个不可用时隙, 故Tag2的读取时隙号为 $1-1=0$ 。同理Tag5的预约时隙号为5, 在预约时隙号4之前有3个不可用时隙, 故Tag3的读取时隙号为 $5-3=2$ 。

由于Tag2和Tag3选择了同一读取时隙, 因此也会在标签读取阶段发生碰撞。但当 m 足够长时, 发生此类情况概率极低(即恰好有2个或2个以上前 m 位序列号完全相同的标签又随机选择了同一预约时隙), 因此不会对算法的性能产生显著影响。

2 算法性能分析

假设预约时隙的长度为 m bit, 预约时隙的数量为 L , 待识别的标签数量为 N , 标签的序列号长度为 M , 则 k 个标签选择同一个预约时隙的概率为:

$$P_k = C_N^k \left(\frac{1}{L} \right)^k \left(1 - \frac{1}{L} \right)^{N-k} \quad (2)$$

其中, P_0, P_1 和 $\sum_{i=2}^N P_i$ 分别为发生空闲、可读和碰撞时隙的概率。为使 P_1 概率最大, 对式(1)求 L 的导数, 可得 $L=N$, 即预约时隙数等于可读时隙数时, P_1 概率最高^[4]。

在标签预约过程中, 当2个或2个以上前 m 位序列号完全相同的标签又随机选择了同一预约时隙时, 读写器会将该预约时隙误认为是可用时隙, 从而导致在标签读取阶段产生碰撞, 算法的误判概率为:

$$P_w = \sum_{i=2}^N \left(1 - \frac{1}{2^m} \right)^i P_i \quad (3)$$

算法每一轮实际通信量为标签预约阶段、标签读取命令和标签读取阶段传输的数据量之和, 即 $Lm + LP_1(M-m) + L$, 算法每一轮的有效通信量为 $(P_1 - P_w)ML$, 因此算法的吞吐率为:

$$S = \frac{(P_1 - P_w)ML}{Lm + LP_1(M-m) + L} = \frac{(P_1 - P_w)M}{m + P_1(M-m) + 1} \quad (4)$$

由于无法直接通过式(4)对 m 求导计算最优的预约时隙长度, 因此采用对式(4)进行数值分析的方法分析最优 m 的取值。

如图3所示, 预约时隙长度的最优取值范围在

5~8 之间,一般随着标签序列号长度的增加而相应增加,例如标签序列号长度为 128 bit 时,最优预约时隙长度为 5,而标签序列号长度为 256 bit 时,最优预约时隙长度为 6。标签数量和预约时隙数对最优预约时隙长度的取值影响不大,对于一个标签序列号长度固定的 RFID 系统,预约时隙长度无需调整,只需要根据待识别标签数动态调整预约时隙数量即可。

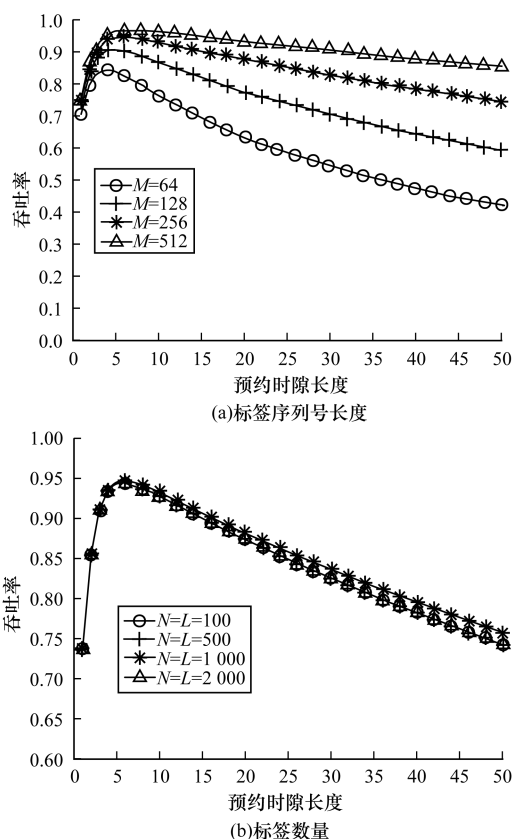


图3 相关参数对最优预约时隙长度 m 取值的影响

为了简化问题,不考虑读写器在分析预约时隙状态以及标签在时隙转换过程中所产生的耗时。当 RFID 系统数据传输率为 s 时,则完成一轮识别耗时为:

$$t = \frac{Lm + LP_1(M - m) + L}{s} \quad (5)$$

3 仿真实验与分析

下面通过计算机仿真验证新算法的有效性。选用 Matlab 作为仿真实验工具,标签序列号由随机序列产生,长度 256 bit, $L = N$, $m = 6$,在不同实验中参数略有调整,仿真结果取相同条件下 100 次实验的平均值。

图 4 为预约时隙长度和数量对算法性能的影响。可以看到在 DRMAA 算法中,当预约时隙长度为 6 bit 时,算法的性能最佳,结论与式(4)数值分析

结果一致。同时,当预约时隙数 L 与待识别标签数量 N 相等时,算法性能最佳。即便预约时隙数与实际标签数相差比较大时($L = 0.6N$),算法的吞吐率仍能达到 93% 以上,仅比最优值下降 2% 左右,说明 DRMAA 算法适用性强,对标签估计算法的依赖性低。而对于经典的动态帧时隙 ALOHA (DFSA) 算法^[1],一旦标签估计算法计算得到的标签数量误差较大,则算法的性能显著下降。

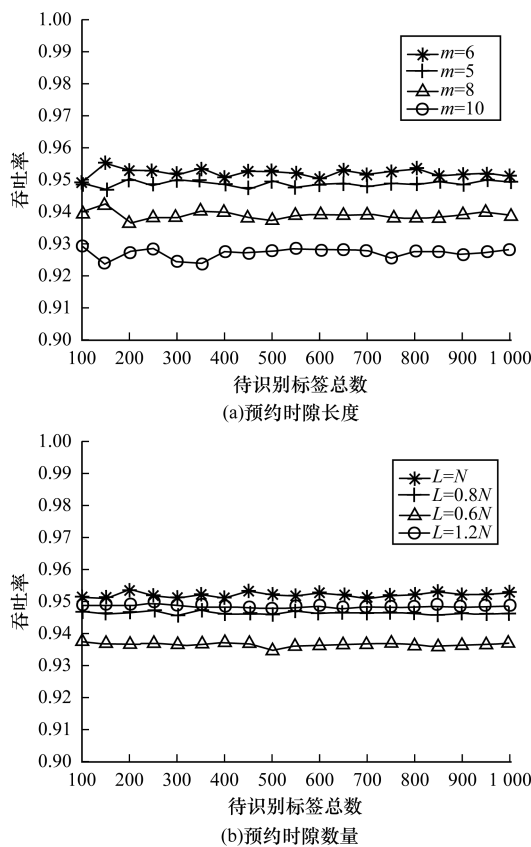


图4 相关参数对 DRMAA 算法性能的影响

图 5 为 DRMAA, RSMBA^[7] 和 DFSA 3 种算法在通信数据量和吞吐率两方面的计算机仿真结果。可以看到,DFSA 算法没有标签预约机制,标签随机选择时隙与读写器进行通信。当读写器识别到该时隙发生碰撞时,标签依然会完整地发送其序列号,从而使得空闲和碰撞时隙消耗过多的时长和通信量,因此,算法的吞吐率较低,一般不超过 37%。RSMBA 算法通过标签预约机制,有效利用预约时隙的状态信息,以较小的预约时隙代价,在标签读取阶段减少了空闲和碰撞时隙数,算法的吞吐率可达到 92% 左右。本文提出的 DRMAA 算法在 RSMBA 算法的基础上,利用标签序列号之间不相关性,使用标签序列号的一部分替代短随机序列,从而减少了标签读取阶段传输的数据量,算法的吞吐率达到 96%。

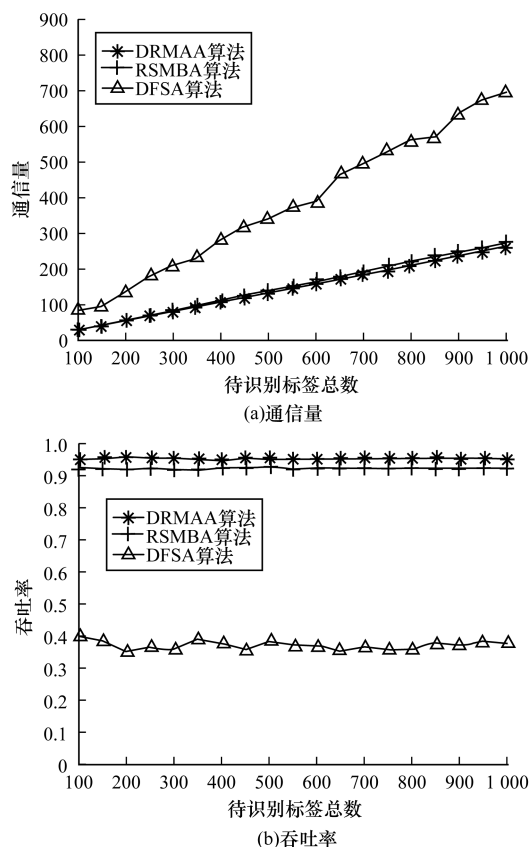


图5 3种算法性能的比较

由于标签不再需要产生伪随机序列,同RSMBA算法相比,DRMAA算法的复杂度更低。与传统的DFSA算法相比,增加的标签预约功能主要在读写器端完成,标签只需要完成简单时隙转换功能,标签成本无需显著增加,因此新算法具有一定的实用性和可行性。

4 结束语

本文针对传统标签预约防碰撞算法不能有效利用预约时隙的问题,提出一种基于动态预约机制的防碰撞算法。该算法将每一轮的标签识别过程分为标签预约和标签读取2个阶段。在标签预约阶段,根据估计的待识别标签数量动态调整预约时隙数,并利用任意2个标签序列号之间的不相关性,发送部分标签序列号替代短随机序列用于识别预约时隙状态,从而减少标签读取阶段传输的数据量,有效提高了RFID系统的吞吐量。

与传统标签预约算法相比,在本文算法中标签不再需要产生伪随机序列,算法的复杂度和实现成本更低,且吞吐率可以达到96%左右。

参考文献

- [1] Finkenzeller K. RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification [M]. [S.l.]: John Wiley & Sons Ltd., 2003.
- [2] Hai Linpeng, Wang Rui, Xiao Liying. A Novel RFID Anti-collision Algorithm Based on Binary Tree [J]. Journal of Networks, 2013, 8(12): 2885-2892.
- [3] Lai Yuancheng, Lin Chih-chuang. A Pai-resolution Blocking Algorithm on Adaptive Binary Splitting for RFID Tag Identification [J]. IEEE Communications Letters, 2008, 12(6): 432-434.
- [4] 丁治国, 朱学永, 郭立, 等. 自适应多叉树防碰撞算法研究 [J]. 自动化学报, 2010, 36(2): 237-241.
- [5] Bai Leqiang, Yang Xi. An Parallel Anti-collision Algorithm Based on Adaptive Multi-tree Search [C]// Proceedings of International Conference on Mechatronic and Computing Technology. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2014: 556-562.
- [6] 丁治国, 朱学永. 基于先验知识的自适应多叉树防碰撞算法 [J]. 计算机工程, 2014, 40(2): 303-307.
- [7] 陈毅红, 冯全源. 按需时隙分配 RFID 防碰撞协议研究 [J]. 电子学报, 2014, 42(2): 377-382.
- [8] 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.
- [9] 吴海峰, 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): 610-624.
- [10] 袁开国, 郝显文, 李争平, 等. RFID 网络中基于 Aloha 防碰撞的标签数目的联合估计算法 [J]. 北京邮电大学学报, 2014, 37(9): 72-76.
- [11] Wu Haifeng, Zeng Yu. 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.
- [12] Eom J B, Lee T J. Accurate Tag Estimation for Dynamic Framed Slotted Aloha in FRID System [J]. IEEE Communications Letters, 2010, 14(1): 60-62.
- [13] 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.
- [14] Wang Hui, Xiao Shangliang, Lin Feiyu. Group Improved Enhanced Dynamic Frame Slotted Aloha Anti-collision Algorithm [J]. Journal of Supercomputing, 2014, 69(3): 1235-1253.
- [15] He Yejun, Wang Xiaoye. An Aloha-based Improved Anti-collision Algorithm for RFID Systems [J]. IEEE Wireless Communications, 2013, 20(5): 152-158.

编辑 顾逸斐