

一种双权重参数的 RFID 防碰撞 Q 值算法研究

任守纲 杨帆 徐焕良

(南京农业大学信息科学技术学院 南京 210095)

摘要 标签防碰撞算法是 RFID 技术研究的热点,也是高强度、大规模应用的关键。在研究了 EPC-C1G2 标准防碰撞机制中推荐的 Q 值调整算法的特点后,针对其不足,提出了一种双参数的 Q 值调整算法——ODWQA,详细阐述了算法的思想、运算流程和关键参数确定方法。在 ODWQA 算法中,将单一的调整参数 c 分解为两个权重参数 c_1 和 c_2 ,分别对应着碰撞和空闲两种情况,用来调控碰撞时隙和空闲时隙的个数。接着通过实验分析,确定了在不同 Q 值条件下权重参数 c_1 和 c_2 的最优取值。最后对 ODWQA 算法进行了仿真测试,结果表明,该算法能够有效减少碰撞时隙的个数,增大系统的吞吐率,降低标签的识别时延。

关键词 RFID,防碰撞算法,EPC-C1G2,Q 值

中图分类号 TP301.6,TP309 **文献标识码** A

Research on Double Weight Parameter Anti-collision Q Value Algorithm in RFID System

REN Shou-gang YANG Fan XU Huan-liang

(School of Information Sciences and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract One of hot research in RFID technology is Tag anti-collision algorithm, which is the key to high strength and large-scale application. Firstly, this paper analyzed the characteristics of the Q value adjustment algorithm recommended in the EPC-C1G2 standard anti-collision mechanism. In order to solve the Q values adjusting algorithm problem, a new Q value of double parameter adjusting algorithm, called ODWQA algorithm, was proposed. The idea of algorithm, the process of operation and the key parameter determination method were introduced. In this algorithm, by splitting the single parameter c into two weight parameter c_1 and c_2 to deal with the case of collision and idle respectively so that the number of collision slots and idles slots can be controled. Followed by laboratory analysis, the value of the best weight parameters under different Q values was determined. Simulation results show that the proposed algorithm can not only decrease the number of collision slots but increase the system throughput and fewer time slots than previous work.

Keywords RFID, Anti-collision algorithm, EPC-C1G2, Q value

1 引言

无线射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)是提高物品识别速度和效益的关键技术。与条码系统相比,RFID 具有非接触式、远距离、大容量和适应性强等特点,在降低成本后,可以广泛用来替代条码技术。在 RFID 中,所有的标签都有相同的带宽,并且不能够相互沟通,当大规模的标签同时发送各自数据时,从标签反向散射的不同消息很容易互相干扰和破坏,这就是 RFID 技术的标签碰撞问题^[1]。RFID 标签碰撞问题解决的优劣,将直接关系到 RFID 技术大规模应用的成败。

目前解决 RFID 标签冲突的算法分为两大类,分别为树类算法和 ALOHA 类算法。其中树类算法的收敛速度慢,而 ALOHA 算法具有识别标签速度快、受系统中标签数目影响小、实施成本低等优点,因此 ALOHA 算法在 RFID 系统中得到了广泛应用。ALOHA 类算法包括纯 ALOHA、时隙

ALOHA 两类、帧时隙 ALOHA 算法^[3-5]和动态帧时隙 ALOHA 算法(Dynamic Framed Slotted ALOHA, DFSA)^[2,6,7,9]。帧时隙 ALOHA 的系统效率较低^[8],有学者又提出了动态帧时隙 ALOHA。在动态帧时隙 ALOHA 算法中,每个标签随机地选择一个时隙发送它的数据以避免碰撞,帧的大小和标签的数量对系统的效率具有重大影响。动态帧时隙根据当前时隙的情况调整下一帧的帧长,但由于读写器在读取前不知道要读取标签的数量,因此它需要通过观察当前帧的碰撞和空闲标签的数量来估计下次读取的标签数量,从而决定下一帧的大小。

EPCglobal 提出的 EPC-C1G2 协议采用的防碰撞算法叫 Q 算法(QA, Q algorithm)^[10-13]。它允许读写器在帧中的任何一个时隙调整帧长,这种算法最大的优势在于当标签的数量远小于或者远大于帧长的时候,可以提高系统的读取性能。QA 算法采用单一参数调整 Q 值,使得 Q 值的调整不够灵敏。针对该不足,本文提出了一种最优双权重 Q 算法(Optimum

到稿日期:2013-04-17 返修日期:2013-08-14 本文受江苏省科技支撑计划项目(BE2011339),中央高校基本科研业务专项资金项目(Y0201100080),江苏省科技支撑计划重大项目(BE2011398),江苏省工业和信息产业转型升级专项引导项目(2011CSZ1,2011CCZ1)资助。

任守纲(1977—),男,博士,副教授,主要研究方向为物联网技术应用、人工智能;杨帆(1988—),男,硕士生,主要研究方向为 RFID 防碰撞算法研究;徐焕良(1963—),男,博士,教授,主要研究方向为物联网关键技术,E-mail:huanliangxu@njau.edu.cn.

double weight Q algorithm, ODWQA), 详细阐述了该算法的思想、算法运算流程和关键参数确定方法。仿真结果显示, 该算法能够缓解初始阶段帧长和标签数目不匹配而造成的时隙浪费现象, 提高了系统吞吐率, 降低了识别时延。

2 基本 EPC-C1G2 防撞算法

EPC-C1G2 提出的 QA 算法是在动态时隙 ALOHA 算法基础上改进的时隙随机算法。EPC-C1G2 协议中读写器采用了 3 组基本的操作命令来管理标签群, 其分别为 Select、Inventory 和 Access 操作。其中最重要的是 Inventory 操作, 它包括 Query、QueryAdjust、QueryRep、ACK 和 NAK 指令。

Query 指令用于开启新的盘存 (inventory) 周期, 指令中含时隙计数参数 Q , 用于控制标签在该盘存周期随机选择一个时隙作为应答时隙。参与识别的标签应在 $[0, 2^Q - 1]$ 范围内产生一个随机数, 并将其载入自身时隙计数器 (Slot Counter, SC) 中。只有 SC 的值为 0 的标签才会向读写器发送 RN16 (16 位的随机数) 作为应答信息。因此 Query 命令会出现 3 个结果: 成功回复、碰撞回复和空回复。

QueryAdjust 指令在不改变 Inventory 操作其他参数的前提下, 更改参数 Q 的值 ($Q, Q+1, Q-1$)。接收到该命令的所有标签将重新在 $[0, 2^Q - 1]$ 间产生一个随机数。若产生的是 0, 则该标签将返回一个 RN16。

QueryRep 指令将使所有标签持有的随机数自减, 若有标签计数至 0, 则该标签将返回一个 RN16。

当有多个标签时隙计数器计数至 0 时, 就会发生碰撞, 当无标签计数至 0 时, 就会发生空闲。此时读写器将有两种选择操作, 如图 1 所示。

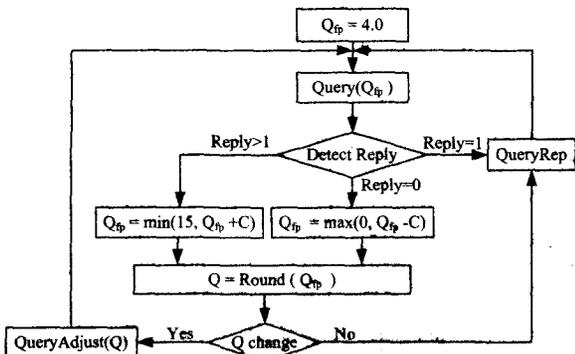


图 1 QA 算法的工作流程

1) 若发生碰撞, 发送 QueryAdjust($Q+1$); 若发生空闲, 发送 QueryAdjust($Q-1$), 调整帧长到最佳状态。

2) 发送 QueryRep 继续识别后续的标签。

可见, 当碰撞或空闲产生时, 读写器并不会立即发送 QueryAdjust($Q+1$) 或 QueryAdjust($Q-1$), 因为多个标签在 2^Q 个时隙中有某两个标签产生随机数的可能性比较大, 偶尔的一次冲突或空闲并不能说明当前标签数量相对于 Q 的值来说偏大或者偏小, 所以只是将 Q 的值增大或者减少 c 。显然, QA 算法通过常数 c 调整 Q 值。因此当前帧大小与下一帧大小有如下关系:

$$Q_{i+1} = \text{round}(Q_i + c(S_c - S_e)) \quad (1)$$

其中, S_c 和 S_e 分别表示是当前帧中碰撞时隙和空闲时隙的个数, $\text{round}(x)$ 为取 x 最近整数的函数。

3 ODWQA 算法

在理想通信状态下, 任一时刻发生碰撞时隙的概率要小

于空闲时隙的概率, 则在一帧中出现碰撞时隙的个数要小于空闲时隙的个数。在 QA 算法中, 对发生碰撞时隙和空闲时隙使用相同的参数 c 调整 Q 值, 即将碰撞时隙和空闲时隙同等看待, 不利于时隙的分布达到最佳的状态, 因此不利于提高系统的效率, 降低系统时延。

3.1 ODWQA 算法

ODWQA 算法将原始的单一调整参数 c 分解为两个权重参数 c_1 和 c_2 , 来联合调整 Q 值, 调整方案为:

$$Q_{i+1} = \text{round}(Q_i + c_1 S_c - c_2 S_e) \quad (2)$$

其中, c_1 和 c_2 为权重参数, c_1 用来调整碰撞的情况下 Q_{fp} (Q 的浮点形式) 的值, c_2 用来调整空闲的情况下 Q_{fp} 的值。

ODWQA 算法要求空闲时隙的个数要不小于碰撞时隙的个数, 则有 $c_2 \leq c_1$, 且只有当 Q 值很小时, c_1 和 c_2 的取值才会趋近于相等。EPC-C1G2 协议推荐的 c 值为 0.1 到 0.5 的浮点数, 故权重参数 c_1 和 c_2 的取值范围为: $0.1 \leq c_2 \leq c_1 \leq 0.5$ 。

3.2 ODWQA 算法工作流程

ODWQA 算法工作流程如图 2 所示, 主要分为 3 步: 标签回复检测、标签回复处理和标签读取。在标签回复处理中, ODWQA 算法使用了两个取整函数: Floor 函数和 Ceil 函数, 分别处理碰撞和空闲两种情况。具体的算法流程如下。

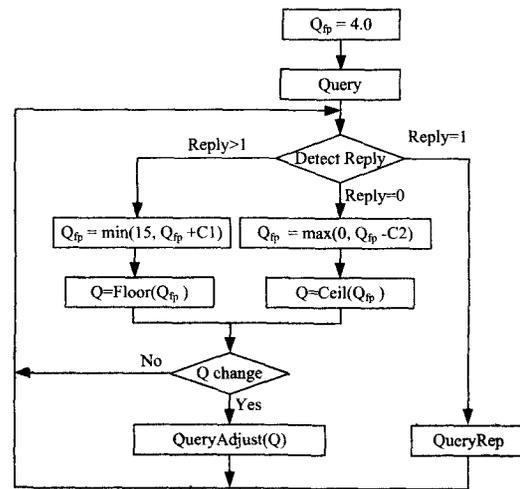


图 2 ODWQA 算法工作流程

1) 读写器向选择的标签群发送 Query 指令, 开启一个新的盘存周期。Query 指令中含有时隙计数参数 Q , 收到 Query 指令的标签从 $[0, 2^Q - 1]$ 范围内产生一个随机数存入自身的 SC 中。

2) 如果标签自身的 SC 值为 0, 则该标签向读写器发送自身 RN16, 否则保持沉默。

3) 读写器等待标签的回复, 则可能会出现 3 种不同的情况, 分别是:

a) 碰撞回复, 即回复的标签个数大于一个。此时 Q_{fp} 更新为 $Q_{fp} + c_1$, 利用 Floor 函数向下取整获取新的 Q 值。若 Q 值未变化, 则发送 QueryRep 指令, 返回步骤 2) 继续识别剩余标签; 否则读写器发送包含新 Q 值的 QueryAdjust 指令, 返回步骤 2) 继续识别剩余标签。

b) 正确回复, 即回复的标签个数只有一个。此时 Q 值不发生变化, 读写器发送 QueryRep 指令, 返回步骤 2) 继续识别剩余标签。

c) 空回复, 即没有标签的回复。此时 Q_{fp} 更新为 $Q_{fp} - c_2$,

利用 $Ceil$ 函数向上取整获取新的 Q 值。若 Q 值未变化,则读写器发送 $QueryRep$ 指令,返回步骤 2)继续识别剩余标签;否则发送包含新 Q 值的 $QueryAdjust$ 指令,返回步骤 2)继续识别剩余标签。

4)重复前面的相似步骤,直到所有的标签识别完毕,退出程序。

3.3 权重参数的选择

在 ODWQA 算法中,权重参数 c_1 和 c_2 的取值将对 RFID 系统效率产生重要的影响, c_1 和 c_2 的最优值可以使系统工作在最佳状态。

在 QA 算法中, Q 值与单一参数 c 的最佳关系如表 1 所列。当 Q 值增大时, c 值相应的变小。

表 1 帧大小 Q 与参数 c 的最佳关系

Q 值	对应的时隙数	c 的取值
1-2	2,4	0.5
3-4	8,16	0.4
5-7	32,64,128	0.3
8-9	256,512	0.2
10-15	1024 及以上	0.1

在 ODWQA 算法中, c_1 和 c_2 需要满足如下规则:

- (1) $c_1 > \max[c, c_2]$;
- (2) c_2 的值在 c 值上下浮动;
- (3) $0.1 \leq c \leq 0.5$ 。

现假设在同一 Q 值,权重参数 c_1 和 c_2 与单一参数 c 有如下关系:

$$c_1 = k_1 + c, k_1 > 0 \quad (3)$$

$$c_2 = k_2 + c, k_1 > k_2 \quad (4)$$

其中, k_1 和 k_2 分别是权重参数 c_1 和 c_2 的调节因子。

本文通过数据模拟的方法,采用系统吞吐率作为评判标准,确定式(3)和式(4)中权重参数调整因子 k_1 和 k_2 的值。系统吞吐率定义为:

$$S = \frac{slot_{succ}}{slot_{total}}$$

其中, S 为系统吞吐率, $slot_{succ}$ 为识别所有标签成功时隙的个数, $slot_{total}$ 为识别所有标签所需要的时隙个数。

利用 ODWQA 算法,在 Matlab 中,分别对相同 Q 值下的不同 k_1 和 k_2 的取值组合进行仿真,得到其对应权重参数下的系统吞吐率。例如 $Q=8$,即标签量为 256 时的仿真如图 3 所示,当 $k_1=0.07, k_2=-0.02$ 时, $c_1=0.27, c_2=0.18$ 处的峰值最高,即系统的吞吐率最大。故当 $Q=8$ 时,最优权重值为 $c_1=0.27, c_2=0.18$ 。

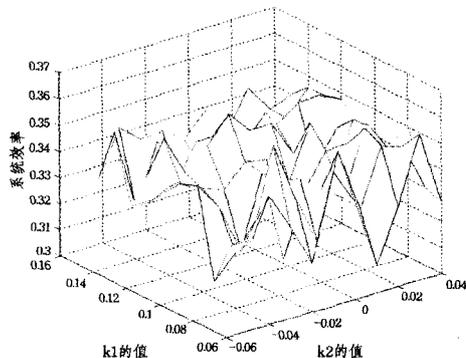


图 3 $Q=8$ 时权重 c_1 和 c_2 的最优值

通过 Matlab 仿真,可以得到在不同 Q 值下,调节因子 k_1, k_2 和最佳权重参数 c_1, c_2 的值,如表 2 所列。

表 2 不同 Q 值对应的最佳权重

Q 值	k_1	k_2	c_1	c_2
1	0	0	0.5	0.5
2	0	0	0.5	0.5
3	0	-0.05	0.5	0.45
4	0.08	-0.01	0.48	0.39
5	0.12	0.01	0.42	0.31
6	0.08	-0.05	0.38	0.25
7	0	-0.08	0.3	0.22
8	0.07	-0.02	0.27	0.18
9	-0.01	-0.06	0.19	0.14
10	0.03	0	0.13	0.1

4 仿真实验

本文用计算机仿真的实验结果验证本文提出的方法,计算机仿真采用蒙特卡洛方法,所有结果由独立做 100 次试验平均得到。

4.1 仿真实验 1: 系统吞吐率和识别时延

常规标签规模下(标签从 100 到 1000 递增变化),将 ODWQA 算法识别时延(通过平均时隙总数来衡量)和系统吞吐率与几种经典的 ALOHA 算法、QA 算法及经验算法($c=0.8/Q$)进行对比。其中 FSA 算法的帧长固定为 128 和 256。

图 4 显示了 ODWQA 算法在不同的初始 Q 值下系统吞吐率的变化。从图中可以看到在不同的初始 Q 值下系统吞吐率并没有大幅度的变动,因为 ODWQA 算法可以通过权重参数 c_1 和 c_2 快速、有效地调整 Q 值,使其迅速达到最优值,缓解初始阶段帧长和标签数目不匹配而造成的时隙浪费现象。

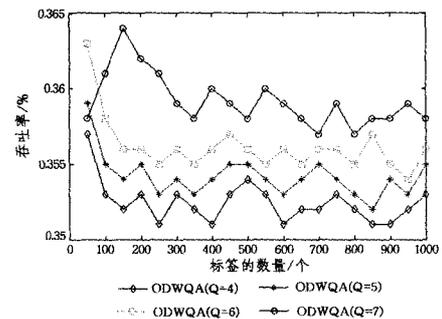


图 4 ODWQA 算法不同初始 Q 值间的系统吞吐率比较

图 5 显示了几种不同识别算法的系统识别时延。FSA 算法随标签数量增加性能急剧下降,且需要最多的时隙,而 ODWQA 算法所用的时隙最少。当标签为 1000 时,ODWQA 算法只需要 2876 个时隙,识别时间比 LowerBound 算法(3339)和 QA 算法(3012)分别降低了 13.8%和 4%。

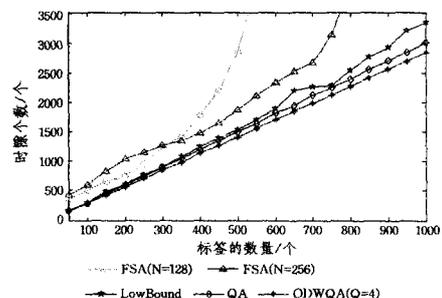


图 5 ODWQA 算法与其它算法识别时延的比较

图 6 显示了几种不同识别算法的系统吞吐率。从整体的性能来看,FSA 算法吞吐率最低,经验算法能够使系统吞吐

率维持在 34%，而 ODWQA 算法在初始 $Q=4$ 时系统的吞吐量已经能够稳定在 35.1% 以上。

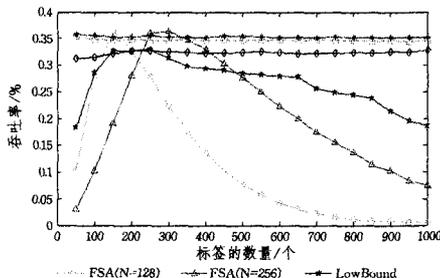


图 6 ODWQA 算法与其它算法系统吞吐率的比较

4.2 仿真实验 2: 帧内散列方式

图 7 和图 8 分别为常规标签群下(标签数量从 100 到 1000 递增变化),使用 ODWQA 和 QA 两种不同机制时碰撞时隙 S_c 和空闲时隙 S_e 的数量。

图 7 显示了碰撞时隙 S_c 的个数。ODWQA 算法相对 QA 算法明显减少了碰撞时隙 S_c 的个数,且随着初始 Q 值的增大,碰撞时隙的个数也相对减少。当标签量为 1000 的时候,QA 产生的 S_c 为 910,ODWQA 算法($Q=4$)将其减少到 789,减少了 13.3%。当调整 $Q=6$ 和 $Q=7$ 时, S_c 分别下降到 763 和 738,比 QA 机制降低了 16% 和 19%。

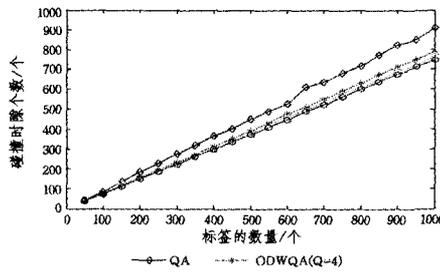


图 7 ODWQA 算法与 QA 算法的 S_c 数量

图 8 显示了空闲时隙 S_e 的个数。ODWQA 算法并没有以牺牲增大空闲时隙个数为代价减少碰撞时隙的个数,而是基本与 QA 算法产生空闲时隙的个数维持相等。当标签量为 1000 的时候,QA 产生的 S_e 为 1032,ODWQA 算法($Q=4$)产生的 S_e 为 1070。当增大初始 Q 时, S_e 的个数也随之增大。

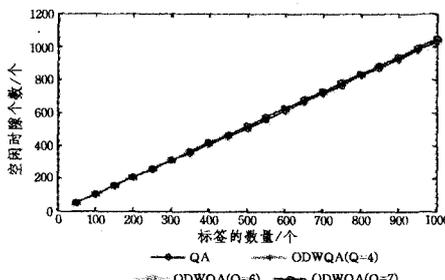


图 8 ODWQA 算法与 QA 算法的 S_e 数量

结束语 本文在研究 EPCglobal-C1G2 反碰撞算法基础上,提出了一种 ODWQA 算法。ODWQA 算法针对 QA 算法中使用单一调整参数调整 Q 值的不足,给出了一种新的 Q 值调整方案,将原来的单一调整参数 c 分裂为两个权重参数 c_1 和 c_2 ,分别用来对应空闲和碰撞这两种情况。通过计算机数据模拟,确定了不同 Q 值相对应的最优双权重参数取值。ODWQA 算法可以通过它本身快速和有效地调整 Q 值来减少初始帧长对系统读取性能的影响。最后,进行了两组仿真

实验,结果显示,与 EPCglobal-C1G2 的 QA 算法相比,ODWQA 算法在系统吞吐量、识别效率和准确性方面都有很大提高,例如在标签量为 1000、初始 Q 为 4 的时候,ODWQA 算法比 QA 算法减少了 13.3% 的碰撞时隙,识别时延比 QA 算法降低了 4%,使系统的吞吐量维持在 35.1% 以上。

本文通过大量数据模拟的方式确定了不同 Q 值下的最优权重参数 c_1 和 c_2 ,但由于该类算法的模拟数据都是采用随机数产生的,与实际的应用环境还有一定距离,因此下一步将加强该算法在应用中的适应性和鲁棒性的研究。

参考文献

- [1] Finkenzeller K. RFID Handbook: Radio-frequency Identification Fundamentals and Applications (Second Edition) [M]. England: John Wiley and Sons, 2003; 1-10
- [2] Schoute F C. Dynamic frame length aloha [J]. IEEE Transactions on Communications, 1983, 31(4): 565-568
- [3] Vogt H. Multiple object identification with passive RFID tags [C] // Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Hammamet, Tunisia; IEEE, 2002; 1-6
- [4] Vogt H. Efficient object identification with passive RFID tags [C] // Proceedings of International Conference on Pervasive Computing, Zurich, Switzerland, Springer-Verlag, 2002; 98-113
- [5] Floerkemeier C. Transmission control scheme for fast RFID object identification [C] // Proceedings of the 4th Annual International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, Washington D. C., USA; IEEE, 2006; 457-462
- [6] Floerkemeier C, Wille M. Comparison of transmission schemes for framed ALOHA based RFID protocols [C] // Proceedings of the International Symposium on Applications on Internet Workshops, Washington D. C., USA; IEEE, 2006; 92-97
- [7] Cha J R, Kim J H. Novel anti-collision algorithms for fast object identification in RFID system [C] // Proceedings of the 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems, Washington D. C., USA; IEEE, 2005; 63-67
- [8] Lee S R, Joo S D, Lee C W. An enhanced dynamic framed ALOHA algorithm for RFID tag identification [C] // Proceedings of the 2nd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, Washington D. C., USA; IEEE, 2005; 166-174
- [9] Chen W T. 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] EPCglobal. EPC radio-frequency identity protocols class-1 generation-2 UHF RFID protocol for communications at 860MHz~960MHz [R]. version 1. 2. 0. Oct. 2008
- [11] Lee D, Kim K, Lee W. Q+-Algorithm; An Enhanced RFID Tag Collision Arbitration Algorithm [J]. Ubiquitous Intelligence and Computing: Lecture Notes in Computer Science, 2007, 4611; 23-32
- [12] Maguire Y, Pappu R. An optimal Q-algorithm for the ISO 18000-6C RFID protocol [J]. IEEE Trans. Automation Science and Engineering, 2009, 6(1): 16-24
- [13] Fan X, Song I, Chang K. Gen2-based hybrid tag anti-collision Q algorithm using Che by shev's inequality for passive RFID systems [C] // IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications, Sept. 2008; 1-5