

Q-Algorithm Utilizing Access Control by Group Based on EPC-G2 Protocol

Xiaofeng Yao¹, Wenbo Xu², Wei Zhang¹, Lixiu Wu¹

¹Jiangsu Key Construction Laboratory of IoT Application Technology (Taihu University of Wuxi), Wuxi Jiangsu

²School of Internet of Things Engineering, Jiangnan University, Wuxi Jiangsu

Email: djyxf@163.com, xwb@jiangnan.edu.cn

Received: Dec. 8th, 2018; accepted: Dec. 21st, 2018; published: Dec. 28th, 2018

Abstract

This paper presents a novel anti-collision algorithm called Q_{gac} -Algorithm that drastically enhances the capture-effect in RFID system by utilizing access control by group, according to the standard and improved Q-Algorithm based on EPC-Gen2 Protocol. In order to enhance the capture-effect, Q_{gac} -Algorithm divides all tags into multiple groups depending on received signal strength at the beginning of executing. Then, according to the difference of signal intensity, a pair of groups most likely to produce capture effect is selected for recognition. Numerical simulation results with Matlab platform represent that Q_{gac} -Algorithm can effectively improve the capture-effect in RFID system, and greatly reduce collision probability, outperforming the other existing schemes significantly.

Keywords

EPC-Gen2 Protocol, Group, Access Control, Capture-Effect, Q_{gac} -Algorithm, Signal Strength

基于EPC-G2协议的分组访问控制Q算法

姚晓峰¹, 须文波², 章伟¹, 武利秀¹

¹江苏省物联网应用技术重点建设实验室(无锡太湖学院), 江苏 无锡

²江南大学物联网工程学院, 江苏 无锡

Email: djyxf@163.com, xwb@jiangnan.edu.cn

收稿日期: 2018年12月8日; 录用日期: 2018年12月21日; 发布日期: 2018年12月28日

摘要

根据EPC-Gen2协议中的标准Q算法以及现有的改进Q算法, 提出一种采用分组访问控制方法来提高RFID

系统俘获效应的 Q_{gac} 算法。为了提高系统的俘获效应,该算法在执行Q算法之前根据标签接收到的信号强度将所有标签分组,然后根据信号强度差异选定一对最有可能产生俘获效应的分组进行识别。在Matlab平台上的仿真结果表明, Q_{gac} 算法能有效地提高RFID系统的俘获效应,减少识别冲突的概率,从而进一步提高了RFID系统的识别性能。

关键词

EPC-Gen2协议, 分组, 访问控制, 俘获效应, Q_{gac} 算法, 信号强度

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

物联网中射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)是一种非接触识别技术,它通过无线信道获取物体的相关数据从而自动识别该物体[1]。该识别过程无需人参与,所以RFID能够被广泛运用在如物流系统、生产管理与控制、防伪与安全控制等众多领域当中。然而,RFID系统在并发识别多个电子标签时所产生的冲突问题始终是影响系统性能的关键问题之一。

为了解决这一问题,各种防冲突方案纷纷出现。目前解决阅读器识别多个标签时的冲突问题的算法大致分为两类:ALOHA时隙算法和二叉树算法[2][3]。其中,ALOHA时隙算法由于简单、容易实施而成为目前的主流算法。ALOHA时隙算法中目前用得较多的是EPC-Gen2协议[4]中提出的Q算法,提高了系统的识别效率,但是由于进行数据传输所需的时隙数是固定的,不能随意进行动态调整,当标签数量多时,时隙数不够用,导致时隙内标签的碰撞率急剧上升,也急剧的降低了系统的识别效率和信道利用率;当标签数量少时,如有的时隙内没有标签在传输数据,则会产生许多空时隙,造成时隙的浪费。

文献[5]中的 Q_{ext} 算法对这些问题进行了很好的研究,但只是从理论上分析了俘获概率 α 对识别性能的影响,并没有提出如何增大RFID系统俘获效应的俘获概率的有效方案。而本文的 Q_{gac} 算法提出了一种采用分组访问控制的方法解决此问题,有效地引进并增强了RFID系统的俘获效应,进一步提高了RFID系统的识别性能。

2. EPC-Gen2 标准 Q 算法简介

在每个识别周期,读写器首先通过Query指令开启新的盘存(inventory)周期,指令中含槽计数器参数Q,用于控制标签在该盘存周期发出响应的概率。参与识别的标签应在 $(0, 2Q - 1)$ (标准附录推荐的Q初始值为4)范围内产生一个随机数,并将其载入槽计数器(Slot Counter)中,每过一个时隙,随机数即减1,当标签随机数为零时进入应答状态并立即响应。

在识别过程中,参数Q决定标签产生随机数的范围,以及读写器是否改变识别时隙大小以适应标签数的变化,因此直接影响了系统的识别性能。在标准附录推荐的算法中,Q值由一个参数C来决定。其中, Q_{fp} 为Q的浮点表示,读写器对Q四舍五入取整后作为Query命令中的Q值,C的典型值为 $0.1 < C < 0.5$ [4],Q值越大C值越小。然后,该算法会根据不同类型的标签响应——成功、冲突、空闲,逐一处理每个时隙。若没有标签响应,则为空闲时隙,此时 Q_{fp} 的值减去C值;若有两个或两个以上标签同时进行响应,即发生冲突时, Q_{fp} 的值加上C值;而当其只有一个标签响应时, Q_{fp} 保持不变。然后,通过

对 Q_{fp} 取整得到 Q 的值。最后, 根据当前的 Q 值更新帧尺寸的大小。其流程如图 1 所示。

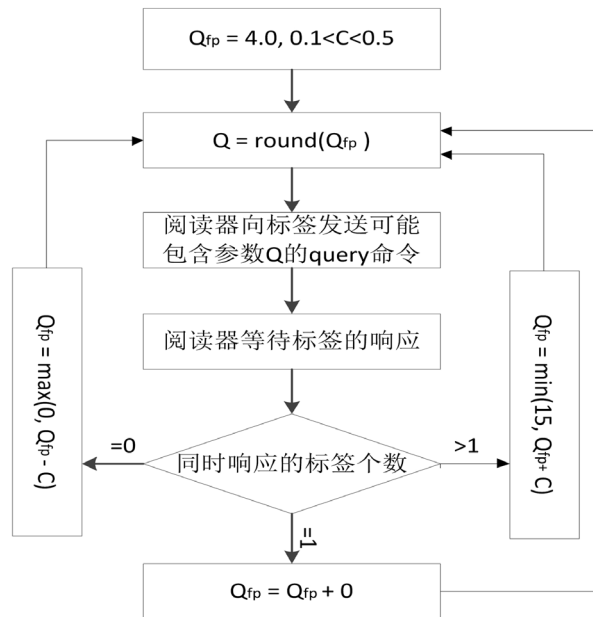


Figure 1. Flow chart of Q algorithm for EPC-Gen2 protocol
图 1. EPC-Gen2 协议 Q 算法流程图

该算法相对于传统的纯 ALOHA、帧时隙 ALOHA (FSA, DFSA) 算法而言, 在识别过程中, 参数 Q 决定了标签产生的随机数的范围, 参数 C 决定了是否改变帧长以适应标签数目的变化, 从而直接影响系统的性能。该算法并不消耗大量的运算去估算待识别标签的数量, 只是去统计碰撞时隙、空闲时隙的次数。当接入信道连续的发生 $1/C$ 次碰撞或空闲时, Q 值进行加 1 或减 1 操作。因此, 大大提高了 RFID 的识别性能[3]。但它也存在如下问题: 1) 俘获效应问题, 若没有考虑, 导致在计算时隙冲突率和成功率时, 使得理论值与实际值相差较大; 2) 参数 C 的取值问题, 由于没有分开考虑导致时隙冲突和时隙空闲的发生概率及解码时间不同。文献[5]中 Q^+ 算法针对时隙冲突和时隙空闲引进了两个新的参数 C_i 和 C_c , 并且通过仿真发现, RFID 系统的识别效率与 C_i/C_c 的值, 以及 C_i 、 C_c 的值有关。但该算法并没有把俘获效应考虑在内, 因此得到的结果并不十分准确。文献[6]针对此问题提出了改进的 Q_{ext} 算法, 通过引进俘获效应, 对俘获概率对识别速率以及吞吐率的影响作了详细的研究与分析。但该算法只是提出了俘获效应的俘获概率对 RFID 系统识别性能的影响, 没有给出如何增大俘获效应的俘获概率的方法。针对此问题我们展开研究, 得到了下面的改进的 Q_{gac} 算法。

3. Q_{gac} 算法描述与分析

3.1. 俘获效应

俘获效应是在标签的识别过程中产生的, 它是指标签在答复阅读器请求命令时, 由于反射信号功率不同, 存在弱功率信号被强功率信号覆盖的标签漏读现象, 严重影响系统识别效率。

3.2. 算法描述与分析

参照文献[7], 我们先假设如图 2 这样的场景。在这个场景中, 单个阅读器位于整个区域的中心, 识别其覆盖范围内的所有标签, 而此时所有标签均已按接收信号强度差异被划分到 A、B、C 三组。其中 A

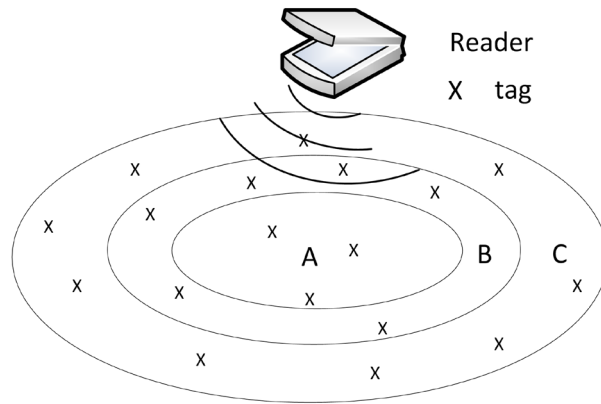


Figure 2. Implementation scenario map of Q_{gac} algorithms based on packet access control

图 2. 基于分组访问控制的 Q_{gac} 算法实施场景图

组的接收信号最强，B 组其次，最后是 C 组。然后我们假定当同一组中的多个标签同时响应阅读器，或者相邻的两组 A 和 B 或者 B 和 C 中的多个标签同时响应阅读器时都会发生碰撞，而只有当 A 中的一个标签和 C 中一个或多个标签同时响应时才会发生俘获效应。其中当 A 和一个 C 各有一个标签同时响应阅读器时，俘获概率 $\alpha = 1$ ；当 A 中有一个标签，而 C 中有多个标签同时响应阅读器时，俘获概率 $\alpha < 1$ 。在 Q_{gac} 算法中，我们用 N 来表示标签的总数量， Q 表示帧时隙尺寸的指数， k 表示某个时隙的标签数量， α_{k+1} 表示 A 中的 1 个标签和 C 中 k 个标签同时响应时，识别成功的概率。 N_A 、 N_B 、 N_C 分别用来表示 A、B、C 三组的标签数量，于是就有 $N = N_A + N_B + N_C$ 。我们用如下三个式子来分别计算一个时隙冲突、成功、空闲的概率：

$$p_{succ}^{N,Q} = \binom{N}{k} \frac{1}{2^{Qk}} \left(1 - \frac{1}{2^Q}\right)^{N-k} + p_{cap} \quad (k=1) \quad (1)$$

$$p_{idle}^{N,Q} = \binom{N}{0} \left(1 - \frac{1}{2^Q}\right)^N \quad (k=0) \quad (2)$$

$$p_{coll}^{N,Q} = 1 - p_{succ}^{N,Q} - p_{idle}^{N,Q} \quad (k \geq 2) \quad (3)$$

其中 p_{cap} 表示发生俘获效应识别成功的概率，

$$p_{cap} = B(N_A, 1, 1/N) B(N_C, 1, 1/N) + B(N_A, 1, 1/N) B(N_C, k, 1/N) \alpha_k \\ = \frac{N_A}{N} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{N_A-1} \frac{N_C}{N} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{N_C-1} + \frac{N_A}{N} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{N_A-1} \binom{N_C}{k} \frac{1}{N^k} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{N_C-k} \alpha_{k+1} \quad (k > 1) \quad (4)$$

我们用 χ, β, γ 来分别表示 $N_A/N, N_B/N, N_C/N$ ，当 $N \rightarrow \infty$ ，

$$p_{cap} = \chi e^{-\chi} \gamma e^{-\gamma} + \chi e^{-\chi} \binom{N_C}{k} \frac{1}{N^k} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{N_C-k} \alpha_{k+1} \quad (k > 1) \quad (5)$$

其中 e 为自然对数的底， $\chi + \beta + \gamma = 1$ ，并且 $0 \leq \chi, \beta, \gamma \leq 1$ 。

另外，在文献[8]中提到了平均俘获概率 α ，并且有如下等式：

$$\alpha = \sum_{i=2}^N p_{cap}(i) p_{col}(i) \quad (6)$$

其中 $p_{cap}(i)$ 表示当有 i 个标签冲突时，发生俘获效应成功识别的概率。而 $p_{col}(i)$ 表示某个时隙有 i 个标

签冲突的概率, N 为实际标签数量。根据文献[8]中的结论得知, 当 $i > 2$ 时, $p_{cap}(i)$ 和 $p_{col}(i)$ 的值都非常小, 所以当 $k > 1$, $\alpha_{k+1} \approx 0$ 。由此可得, (5)式可以化简成如下形式:

$$p_{cap} = \chi e^{-\chi} \gamma e^{-\gamma} \quad (7)$$

对于(7)式, 我们可以求得它的最大值:

$$\max p_{cap} = \frac{1}{4e}, \quad N \rightarrow \infty \quad (8)$$

此时 $\chi = 1/2, \beta = 0, \gamma = 1/2$ 。(8)式说明俘获效应最大值可达 $1/4e$, 也就是说按照我们的方案引进了俘获效应之后时隙 ALOHA 算法最大吞吐率将提高 25%。(8)式同样说明当 B 组标签数量为 0, 而 A 组和 C 组标签数量相等时, 俘获效应将达到最大值。

由文献[9][10]得知, 在最优条件下, 有如下等式成立:

$$\frac{C_i}{C_c} = \frac{T_{coll}}{T_{idle}} \times \frac{p_{coll}}{p_{idle}} = 1.98 \times (e-2)(1-p_{cap}) \quad (9)$$

其中 T_{coll} 、 T_{idle} 分别表示时隙冲突与时隙空闲时的解码时延, 然后我们由文献[5], 我们可以得到如下结论:

1、当待识别标签数量 N 已知时,

$$C_c = -0.0491 \ln(N) + 0.534 \quad (10)$$

$$C_i = 1.98 \times (e-2)(1-p_{cap})C_c \quad (11)$$

2、当待识别标签数量 N 未知时,

C_c 从(0.1, 0.5)中任取一值,

$$C_i = 1.98 \times (e-2)(1-p_{cap})C_c \quad (12)$$

改进后的 Q 算法亦即 Q_{gac} 算法流程如图 3 所示。

4. Q_{gac} 算法的仿真与分析

在 Matlab 平台下, 我们在考虑了俘获效应的情况下对 EPC-G2 协议中的传统 Q 算法, 文献[6]中的 Q^+ 算法, 文献[11]中的快速 Q 算法, 以及本文提出的基于分组访问控制的 Q_{gac} 算法进行了仿真实验。在该过程中, 我们假设待识别标签数 T 为 1000, 且这些标签被划分成 A、B、C 三组。其中, 只有 A 组和 C 组之间存在俘获效应, 然后将 B 组标签数占总标签数的比例 β 分别取值为 0.7、0.5、0.3, 对于 β 的每一种取值我们将以上 4 种算法反复运行 100 次, 对得到结果求平均值。其中, 4 种算法 ($\beta = 0.7$) 识别 1000 标签的识别效率对比如图 4 所示, 4 种算法 ($\beta = 0.5$) 识别 1000 标签的识别效率对比如图 5 所示, 4 种算法 ($\beta = 0.3$) 识别 1000 标签的识别效率对比如图 6 所示。

观察图 4、图 5、图 6 这 3 个仿真结果图可以得出以下结论:

1) 在包含俘获效应的环境下, 传统 Q 算法、 Q^+ 算法、快速 Q 算法以及本文提出的 Q_{gac} 算法的识别效率均比没有俘获效应的情况下要高。在没有俘获效应的情况下, 时隙 ALOHA 算法的极限效率为 $1/e$, 亦即约为 0.368, 从上面的仿真结果图可以看出, 4 种算法在 $\chi = 0$ 时, 即 A 组标签数为 0 时, 也就是不会和 C 组发生俘获效应的情况下, 它们的识别效率几乎相同, 均约为 0.34, 接近最优值。但当 A 组标签数由 0 逐渐增加时, 也就是和 C 组发生俘获效应的俘获概率增加时, 它们的识别效率也逐渐提高, 并很快超过了没有俘获效应时的时隙 ALOHA 算法的极限效率 0.368 这一值。这充分证实了 RFID 系统中的俘获效应可以大大提高系统的识别效率;

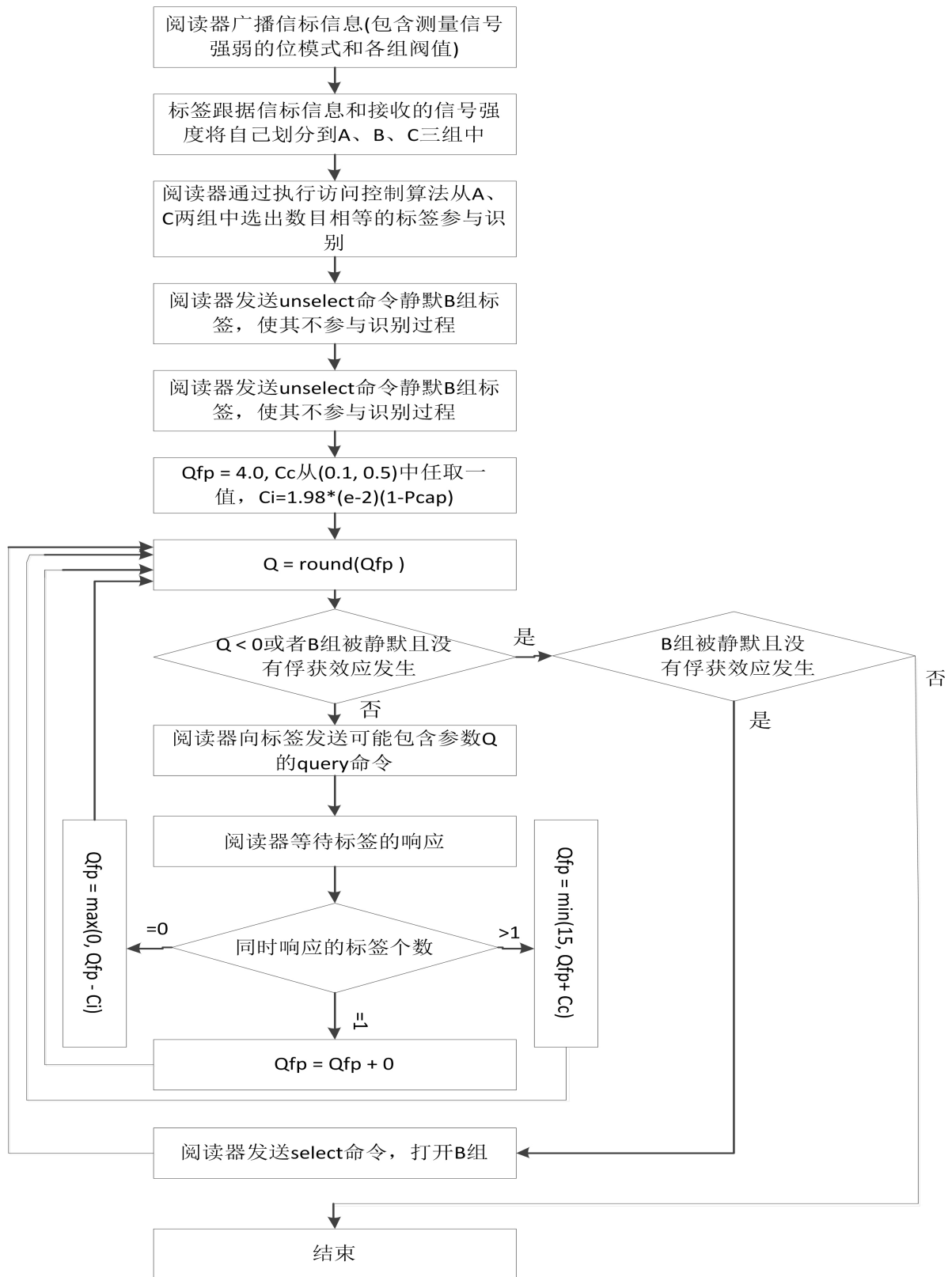


Figure 3. Q_{gac} algorithm flow chart
图 3. Q_{gac} 算法流程图

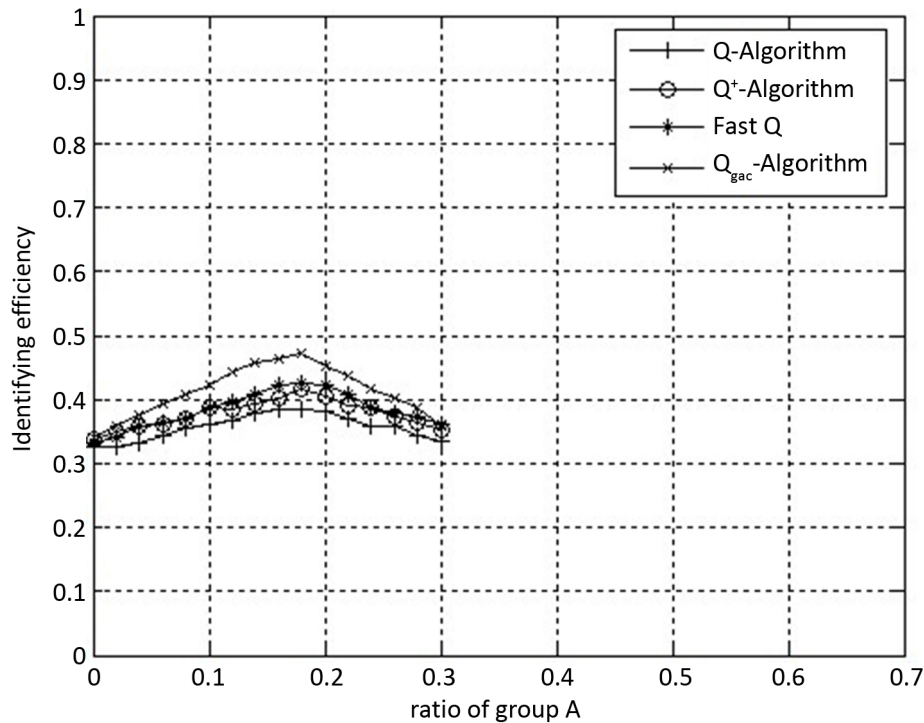


Figure 4. Comparison of recognition efficiency of four ($\beta = 0.7$) algorithms for 1000 labels recognition

图 4. 4 种算法($\beta = 0.7$)识别 1000 标签的识别效率对比

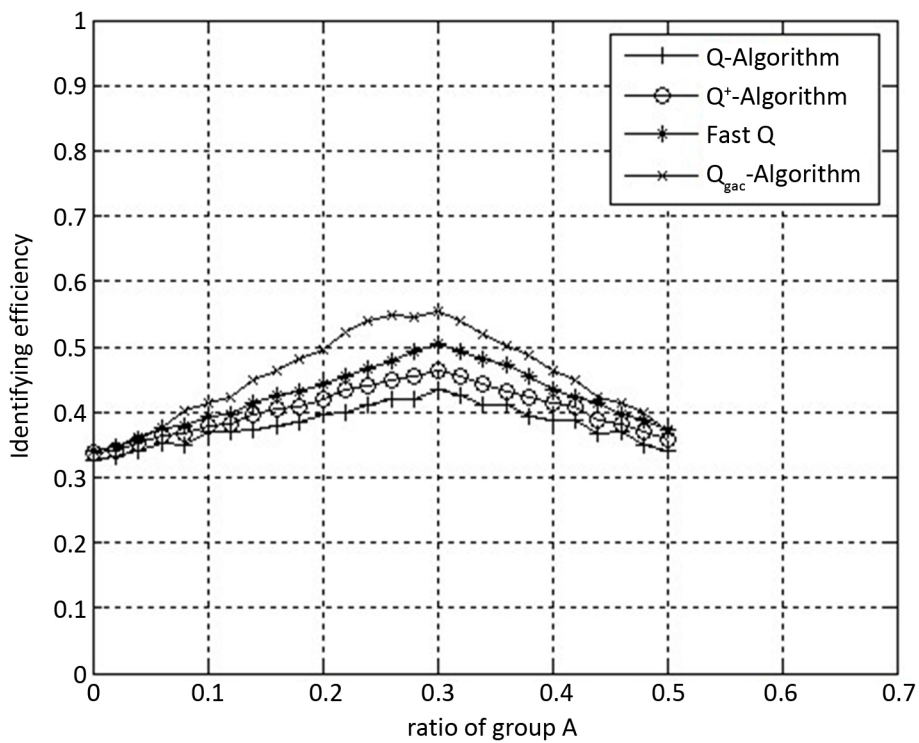


Figure 5. Comparison of recognition efficiency of four ($\beta = 0.5$) algorithms for 1000 labels recognition

图 5. 4 种算法($\beta = 0.5$)识别 1000 标签的识别效率对比

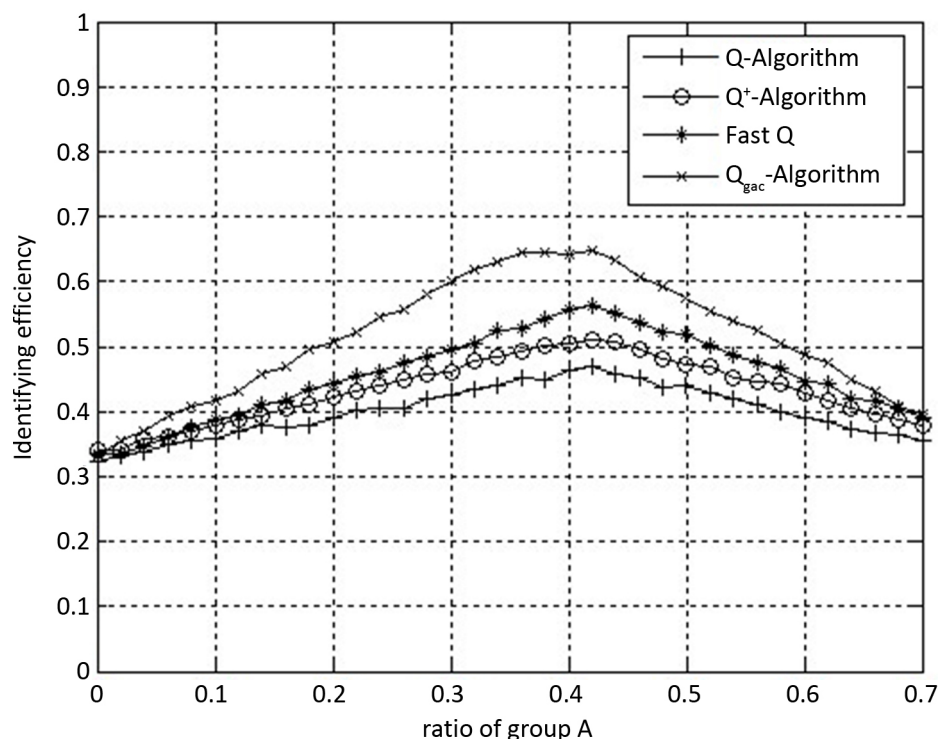


Figure 6. Comparison of recognition efficiency of four ($\beta = 0.3$) algorithms for 1000 labels recognition

图 6. 4 种算法($\beta = 0.3$)识别 1000 标签的识别效率对比

2) 在同等环境下, 传统 Q 算法、Q⁺ 算法、快速 Q 算法以及本文提出的 Q_{gac} 算法的性能依次提高。相对于 EPC-Gen2 中的传统 Q 算法, Q⁺ 算法通过将时隙冲突和时隙空闲时参数 Q 的浮动因子 C 分开来考虑, 引进了 C_{coll} 和 C_{idle}, 提高了 Q 值的精确度, 使其更加接近最优值, 从而提高了识别效率; 快速 Q 算法, 在 Q⁺ 算法的基础上, 考虑到了系统参数中的冲突解码时延 T_{coll} 和空闲解码时延 T_{idle} 之间的差异, 改进了 C_{coll} 和 C_{idle} 比例关系, 进一步提高了 Q 值的精确度, 使其更快地收敛于最优值; 而本文的 Q_{gac} 算法则在快速 Q 算法的基础之上, 从提高俘获效应的俘获概率这一角度出发, 通过根据标签接收到阅读器信号的强弱, 将所有标签进行分组, 然后选取其中最有可能发生俘获效应的两组, 并静默其余分组进行识别, 最大程度利用俘获效应, 有效提高俘获概率, 大大提高了系统的识别效率。

3) 当 B 组标签数占总标签数的比例逐渐减少时, 4 种算法识别效率的峰值逐渐增大。其中本文建议的 Q_{gac} 算法的峰值由 $\beta = 0.7$ 时的 0.47 增加到 $\beta = 0.5$ 时的 0.55, 最后增加到 $\beta = 0.3$ 时的 0.64。这充分说明了当 A、C 组标签数占总标签数的比例越大, 并且 A 组和 B 组标签数相当时, RFID 系统的俘获效应的俘获概率达到最大值。

由以上结论, 我们可以总结得出, 提高 RFID 系统的俘获效应的俘获概率可以有效提高系统的识别效率。而本文提出的基于 EPC-G2 协议, 通过采用分组访问控制策略的 Q_{gac} 算法, 能最大程度的利用俘获效应, 提高俘获概率, 从而大大提高 RFID 系统的识别性能。

5. 结语

影响 RFID 系统识别性能关键因素之一是冲突问题。而根据文献[3]中 Q_{ext} 算法得知, 增大 RFID 系统中的俘获效应的俘获概率可以大大提高系统的识别效率。本文就如何提高 RFID 系统的俘获效应, 提出了一种分组访问控制的 Q_{gac} 算法。为了尽可能利用俘获效应, 该算法在识别过程开始之前, 根据标签接

收信号的强度将标签分组, 然后先选取其中最能发生俘获效应的两组进行识别, 直到没有俘获效应发生为止, 最后对剩下的所有标签进行识别, 直到结束。仿真结果表明, Q_{gac} 算法能有效提高 RFID 系统的俘获效应, 且识别效率明显高于现有的各种改进的 Q 算法, 对 RFID 系统的识别性能有很大的提升。在未来的研究工作当中, 我们将继续进一步研究如何提高 RFID 系统俘获效应的俘获概率, 从而进一步降低 RFID 系统的识别冲突率, 提高系统的整体性能。

参考文献

- [1] 陈毅红, 冯全源. 基于捕获效应的预约时隙分配 RFID 防碰撞协议研究[J]. 计算机学报, 2015, 38(12): 2375-2388.
- [2] 陈天鹅, 程载和. 基于冲突树的 RFID 自适应防碰撞算法[J]. 计算机应用, 2010, 30(7): 1728-1730.
- [3] 陈楼, 张伟, 黄瑞玲. 基于 EPC-G2 协议的带俘获效应的 Q 算法[J]. 计算机工程, 2012, 38(8): 271-273.
- [4] 李慧, 张治国. 不定长 RFID 标签反碰撞识别算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(20): 241-243.
- [5] EPC Global Inc. (2006) EPC[®] Radio-Frequency Protocols Class-1generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz-960 MHz Version 1.2.0. <https://wenku.baidu.com/view/aa406b33b90d6c85ec3ac656.html>
- [6] Lee, D., Kim, K. and Lee, W. (2007) Q+-Algorithm: An Enhanced RFID Tag Collision Arbitration Algorithm. *Ubiquitous Intelligence and Computing, 4th International Conference (UIC 2007)*, Hong Kong, 11-13 July 2007, 23-32. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73549-6_3
- [7] 刘传辉, 李川. 一种基于捕获效应的防碰撞算法设计[J]. 测控技术, 2015, 34(5): 23-30.
- [8] Shin, W.J. and Kim, J.G. (2009) A Capture-Aware Access Control Method for Enhanced RFID Anti-Collision Performance. *IEEE Communications Letters*, **13**, 354-356. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2009.081970>
- [9] Li, B. and Wang, J.Y. (2011) Efficient Anti-Collision Algorithm Utilizing the Capture Effect for ISO 18000-6C RFID Protocol. *IEEE Communications Letters*, **15**, 352-354. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2011.011311.101332>
- [10] Wang, C., Daneshmand, M., Sohrawy, K. and Li, B. (2009) Performance Analysis of RFID Generation-2 Protocol. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, **8**, 2592-2601. <https://doi.org/10.1109/TWC.2009.080437>
- [11] Teng, J., Xuan, X. and Bai, Y. (2010) A Fast Q Algorithm Based on EPC Generation-2 RFID Protocol. *2010 6th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM)*, Chengdu, 23-25 September 2010, 1-4. <https://doi.org/10.1109/WICOM.2010.5601078>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-8801, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: csa@hanspub.org