

RFID 系统阅读器反碰撞算法分类与研究

郭雷勇^{1,2}, 谭洪舟¹, 高守平², 郭笑梅²

(1. 中山大学 信息科学与技术学院, 广东 广州 510275;

2. 湘南学院 计算机系, 湖南 郴州 423000)

摘 要:随着 RFID 技术的快速发展, 阅读器的碰撞问题日益突出。目前国内外出现了不少解决碰撞问题的相关算法, 为了便于对这些阅读器反碰撞算法进一步的理解, 就这些算法进行分类, 把当前的阅读器反碰撞算法分为基于调度 (Scheduling-based) 和基于有效范围 (Coverage-based) 的反碰撞算法两大类, 并将每种算法详细的分析研究, 最后综合考虑多方面的因素, 对这些算法进行总体的评价, 通过相关资料分析知道在所有的这些算法中 Aloha 反碰撞算法效率最低, 而双信道的阅读器反碰撞算法效果最好。

关键词:RFID; 反碰撞; 阅读器碰撞问题; 介质访问控制

中图分类号:TN92

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)09-0013-04

Taxonomy and Survey of RFID Reader Anti-collision Protocols

GUO Lei-yong^{1,2}, TAN Hong-zhou¹, GAO Shou-ping², GUO Xiao-mei²

(1. School of Information Science and Technology, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Department of Computer, Xiangnan University, Chenzhou 423000, China)

Abstract: With RFID technology rapid development, there are more and more key technologies that have to be studied. The reader collision problem (RCP) is one of that. At present there are several methods to deal with it. The paper would research and classify the methods to RFID reader anti-collision. The methods are divided into scheduling-based methods which prevent RFID readers from simultaneously transmitting signal to a RFID tag, and coverage-based methods, which minimizes collision possibility by optimizing the overlapping areas of clusters which RFID readers have to cover up. Finally it give an estimation for it by taking into account for various factors.

Key words: radio frequency identification system; anti-collision; reader collision problem; media access control

0 引言

RFID(无线射频自动识别技术)作为一种自动识别技术,越来越多地被用于工业和制造业的供应链实物识别与跟踪。RFID系统由一个阅读器和一组电子标签(简称标签)组成。阅读器是与天线连接的发送与接受的模块,而标签是功能很小的与天线连接的小芯片^[1]。

许多的应用要求阅读器在相互距离很近的情况下操作,由于距离很近,来自与某个阅读器的信号可能干扰别的阅读器发出的信号。这种干扰就称之为阅读器碰撞^[2]。阅读器对标签的碰撞是多个阅读器同时读取一个标签而产生的碰撞,除了不正确的操作,阅读器碰

撞也会导致 RFID 的读取速度的减小,因此减少碰撞非常关键,而这些减小碰撞的方法成为 RFID 系统阅读器反碰撞算法(以下简称反碰撞算法)。此外这个问题对于移动的阅读器网络也是不能忽视的。

由于 RFID 系统也具备无线通信的一些特点,所以反碰撞问题实际上等同于无线通信中的信道分配问题,但是由于以下原因,传统的介质访问机制 (MAC) 不能被直接用于 RFID 系统:

首先,在 RFID 系统中的移动设备(例如标签)的功能非常有限,所以无法实施象传统移动设备那样强大的功能,例如标签甚至没有频率的识别功能。其次,RFID 系统能控制频率和时隙,但是在传统的信道分配问题中,只有频率是可以被控制的资源。最后,持续的通信在 RFID 系统的通信中不是必需的,这使得 RFID 系统的网络具有更强的抵抗噪声的能力;同时它们忍受大量的噪声,但依旧可以满足性能要求。更重要的是 RFID 系统提供了频率分配时所无法达到的灵活的水平。

收稿日期:2009-01-16;修回日期:2009-04-04

基金项目:广东省教育部产学研结合项目(2008B090500173)

作者简介:郭雷勇(1973-),男,博士研究生,讲师,研究方向为 RFID 技术,盲信号处理;谭洪舟,博士,教授,博导,研究方向为智能信息处理,盲信号处理。

但是由于与无线通信模型的相似性,目前发表的大部分反碰撞算法都是由 MAC 协议发展而来,或者是在 MAC 协议基础上的改进。

1 RFID 阅读器反碰撞算法分类

目前国内外研究 RFID 阅读器反碰撞算法(以下简称反碰撞算法)不是很多,而国内就更少,公开发表的反碰撞算法主要分为基于调度(Scheduling-based)和基于有效范围(Coverage-based)两大类解决方案。基于有效范围的反碰撞算法核心思想是通过减小阅读器之间的重叠区域来减小阅读器之间的碰撞,该类算法相对基于调度的方案来说比较少;而基于调度的反碰撞算法核心思想是防止阅读器同时发送信号给标签,以避免碰撞发生,自 RFID 阅读器碰撞问题提出以来,该类算法一直是反碰撞算法的主流。反碰撞算法分类如图 1 所示。

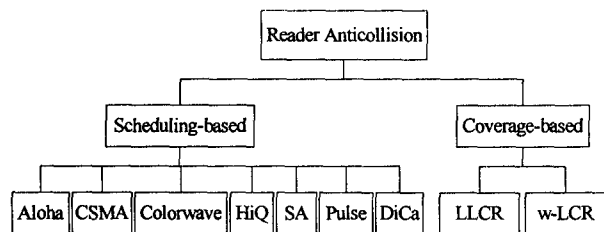


图 1 RFID 阅读器反碰撞算法分类

2 反碰撞算法研究与分析

2.1 基于有效范围的反碰撞算法

基于有效范围的反碰撞算法目前主要有 LLCR 和 w-LCR,该类算法主要是通过对阅读器发射功率大小的调节,从而调节阅读器的通信范围,减小阅读器之间的重叠区域,达到减小阅读器之间碰撞的目的。

(1) LLCR(Low-Energy Localized Clustering for RFID networks)算法。

LLCR^[3]通过调整 RFID 阅读器的聚类半径 R ,使得代价函数 f 最小,从而减小阅读器的碰撞。聚类半径模型如图 2 所示,半径 R 的大小由公式(1)决定。

算法分为初始阶段和聚类半径调节阶段,初始阶段主要做的工作就是确定聚类中心点 CRDP,聚类的半径 R ;而聚类半径调节阶段主要是在一定的约束条件 r_i^2 下,通过功率调节控制代价函数 $f(r_1, r_2, r_3, \phi_1, \phi_2, \phi_3)$,使其达到最小。

$$R = \overline{N1CRDP} + \overline{N2CRDP} + \overline{N3CRDP} \quad (1)$$

$$f(r_1, r_2, r_3, \phi_1, \phi_2, \phi_3)$$

$$= \frac{1}{2} \sum_{k=1}^3 \phi_k r_k^2 \frac{E_k}{\frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 E_k} - S_{triangle} \quad (2)$$

$$r_i^2 = (x_{CRDP} - x_i)^2 + (y_{CRDP} - y_i)^2 \quad (3)$$

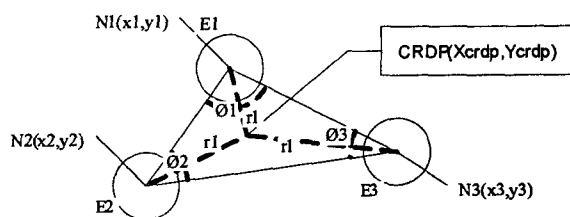


图 2 LLCR 算法模型

R, r_i^2 与 $f(r_1, r_2, r_3, \phi_1, \phi_2, \phi_3)$ 如公式(1)、(2)和(3)及图所示,而公式(2)中 E_k 表示阅读器的能量, $S_{triangle}$ 为三角形的面积。

(2)w-LCR(weighted Localized Clustering for RFID networks)算法。

w-LCR^[4]算法与 LLCR 算法模型一样,如图 2 所示。不同的是,在计算公式(2)时增加了处罚函数与奖励函数,这样更加平衡了代价函数 f ,使得计算不是那么敏感,增加了算法的鲁棒性。同时 w-LCR 算法在效率和稳定性方面都比 LLCR 算法要强。

2.2 基于调度的反碰撞算法

基于调度的反碰撞算法是目前阅读器反碰撞算法的主要方法,有很多阅读器反碰撞算法都属于基于调度的方法,该类算法核心思想是防止阅读器同时给标签发送信号,以此达到避免阅读器之间的碰撞。

(1)Class I Generation 2 UHF 算法。

Class I Generation 2 UHF^[5]是由 EPCglobal 起草使用的频分复用算法,是超高频的第二代标准。它分别使用阅读器传输和标签传输,那样使得阅读器只与阅读器产生碰撞而不会与标签发生碰撞,而标签也只与标签产生碰撞而不会与阅读器产生碰撞。这样分开,解决了阅读器与阅读器碰撞,因为阅读器数据传输与标签数据传输是在独立的信道中进行。但是标签没有频率选择功能,当两个不同的频率同时去读同一个标签时,还是会产生阅读器对标签的碰撞。因此在这个标准中多阅读器对标签的碰撞还是不能避免。

(2)ETSI EN 302 208(CSMA)算法。

ETSI EN 302 208(CSMA)^[6]是欧盟采用的 RFID 阅读器反碰撞标准,该标准采用 CSMA 机制。阅读器先在数据信道监听有没有数据在传输,如果信道闲,则马上传输数据;否则,则采取退避。该算法与传统的 CSMA 协议相似,比较简单,实施起来比较容易。但是阅读器可能无法通过载波监听到碰撞的发生,同时最主要的是该算法无法解决传统无线网络隐终端和暴露终端的问题,这些特点也就注定了 ETSI EN 302 208 标准的效率不会很高。

(3)Colorwave 算法。

Colorwave^[7]算法是基于分布式 TDMA 的算法,每个阅读器选择一个任意的时隙去传输。如果碰撞发生,阅读器选择一个新的时隙传输,并发送一个正在传输的信号给周边的邻居,提示其它阅读器选择新的时隙。如果任何邻居有同样的颜色(时隙),那么阅读器就选择一个新的颜色同时发送一个正在传输的信号,接着继续。如果传输成功的概率小于某个阈值则最大颜色数增加,否则减小。

Colorwave 算法是众所周知在这个领域非常经典的算法之一,包括了一系列的算法,例如 DCS (Distributed Color Selection)、VDCS (Variable - Maximum Distributed Color Selection) 等。但是 Colorwave 算法要求非常严格的阅读器之间时间同步。同时 Colorwave 算法假设阅读器能探测到 RFID 系统中阅读器之间的碰撞。事实上,在 Ad Hoc 网络中时间同步是很难达到的,同时要求阅读器能探测到那些发生在标签之间的碰撞也是不符合实际的,除非标签也参与碰撞的探测。

(4) Pulse 算法。

Pulse^[8]算法试图通过在 RFID 系统中使用两个信道来解决阅读器碰撞的问题。其中一个信道(数据信道)被用来在阅读器与标签之间通信,另一个信道(控制信道)用来在阅读器之间的通信。那样,在控制信道上的控制信息传输不会影响到数据信道上数据信息传输。Pulse 算法使用了一种在无线网络中闻名的机制,那就是当阅读器正在与标签数据交换时会在控制信道周期性地发送“beacon”信息给周边的邻居,以便告诉周边的邻居自己正在读取数据。在 Pulse 算法中阅读器的碰撞通过分成两个独立的信道来避免。

Pulse 算法是一种性能比较优越的算法,充分考虑了其它算法没有考虑的阅读器网络的隐终端和暴露终端问题,相应的在效率方面有了很大的提高。但是这种周期性的发送信息给周边的邻居,将导致阅读器能耗加快。虽然与前面的算法相比,Pulse 算法在效率等各方面都有很大的提高,但是隐终端和暴露终端的问题还是没有完全解决。

(5) DiCa (Distributed Tag Access with Collision - Avoidance) 算法^[4]。

DiCa 算法^[9]与前面的算法比较,DiCa 算法不要求集中协调和全局的时间同步。实际上 DiCa 是在 Pulse 算法基础上的改进算法。因此这两种算法有很多相同处,例如,它们都是使用两个独立的信道来传输信息和数据。不同之处在于 DiCa 在读取数据时不再是周期性地发送信息给周边的邻居阅读器,而是在读取数据结束后再发送读取结束信息,这样在控制能耗方面可以取得很好的效果,另外 DiCa 很好地处理了隐终端和

暴露终端问题,这样,很大程度上提高了阅读器处理数据的效率。

但是 DiCa 算法在采取退避算法时未考虑阅读器的具体位置,不管阅读器之间是否存在干扰区域都直接进行退避,如图 3 中,由于 A 和 C 没有重叠区域,它们之间不存在干扰,也就是说 A 和 C 是不可能发送碰撞,所以采取退避算法实际上是浪费了时间,因为在 B 完成数据读取后,A 和 C 可以马上进入读取数据的状态,这样在读取数据的时间上造成一定的浪费。

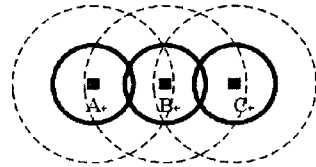


图 3 DiCa 算法缺陷一

同时在阅读器竞争数据信道的控制权的时候也未考虑其公平性的问题。如图 4 所示,如果 A 比 C 先要求读取数据,而在退避的时候刚好 C 取得优先权而进入数据读取状态,因为退避是随机选择时间,这样对于 A 来说是不公平的。

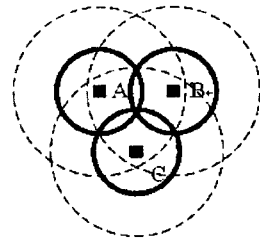


图 4 DiCa 算法缺陷二

(6) HiQ (Hierarchical Q - Learning Algorithm) 与 SA (Simulated Annealing Algorithm)。

HiQ^[10]算法试图通过学习阅读器的模式和有效地安排频率和时隙来最小化阅读器的碰撞。HiQ 是异质的分布式、局部的算法,该算法基于一种称为 Q-learning 的强制性学习算法。Q-learning 是被用来决定频率和时间的分配。通过重复的与 RFID 系统交互,Q-learning 试图去发掘一种在所有时隙上的最优频率分配方案。

但是标签没有频率的识别能力,因此当两个不同的频率同时去读取同一个标签时,标签无法决定把信息返回给哪个阅读器,最终导致碰撞的发生。同时由于使用了智能处理的方法,增加了阅读器设计的复杂性。

SA^[11]算法主要是利用模拟退化算法,把阅读器反碰撞问题就转化为信道争用的问题,该算法与 HiQ 算法一样都是属于智能信息处理的算法,因此也具有如 HiQ 算法一样的不足。

3 各种算法比较

3.1 基于有效范围的反碰撞算法

这两种算法都有如下的一些缺陷。都没有充分考虑阅读器读取数据的通信范围,不管要求阅读器读取数据超过最大范围,还是要求小于读取的门限,都会极大地消耗阅读器的功率,从而对阅读器造成极大的损害,甚至失效;阅读器必须知道自己的准确位置,这势必提高阅读器构造的复杂性;由文献可以看出该算法计算公式比较复杂,计算的复杂性显然会导致效率和功耗的降低,因为计算时间的增加会影响阅读器的读取效率,而运算量的增加也会消耗更多的功率;同时该算法使用的是集中式的管理方式,在通信的过程中要求对阅读器族聚类,这种集中式的管理一方面要求族头消耗更多的功率,同时任何一个族头的失效会导致该族的所有节点失效,也就是说该类算法的鲁棒性不强;从上面分析也可以看出,基于有效范围的算法只是使阅读器碰撞最小化,而不能完全消除阅读器的碰撞。

3.2 基于调度的反碰撞算法

基于调度的反碰撞算法由于其多样性,具体的情况比较复杂,优缺点分析在前面已有说明,这里不再单独详述。但是可以看出,由于 RFID 系统的传输特性与传统的无线通信的相似性,前面很多协议都有着传统信道分配协议痕迹,甚至有些只是一点改进而已。而且可以看出反碰撞问题其实就是在解决 RFID 系统通信的信道分配,而这里的分配不象传统无线通信的只是频率的分配,RFID 系统通信的分配资源包括了频率和时隙,那是因为传统无线通信可以控制的资源只有频率,而 RFID 系统通信则有频率和时隙。

3.3 反碰撞算法综述

在阅读器碰撞问题中,单信道数据传输无法完全解决隐终端和暴露终端问题,这与传统的蜂窝通信技术相似,如 Aloha、CSMA 和 Colorwave 等,而 LLCr 与 w-LCR 也应该是属于单信道协议,这也注定单信道数据传输协议的效率由于受隐终端和暴露终端问题影响,其效率不会很高。

同时由于标签的功能非常有限,它不能识别阅读器的频率,这样导致使用多信道去解决碰撞的问题时,碰撞还是无法避免,因此使用多信道去处理阅读器也不是最佳方案,这里最典型的算法是由 EPCglobal 起草使用超高频的第二代标准 Class I Generation 2 UHF,当然 HiQ 与 SA 也应该是属于此类。

由上分析,可见双信道协议是最佳选择,从相关文档也可以看到,从效率角度来说,Pulse 比前面的算法都高,而 DiCa 又比 Pulse 效率要高,因此就要求高效率而言,可以考虑使用双信道去解决阅读器碰撞问题。

4 结束语

根据文档相关数据,同时根据上面的分析,从各个角度考虑,对前述各种算法做出一个总体评价。

如表 1 所示,Aloha 与 CSMA 算法简单,实施容易,但是效率不高;而 Pulse 与 DiCa 采用的是双信道,还考虑了隐终端和暴露终端的等问题,所以其效率相对是比较好的,当然其缺点就是阅读器的设计会比较复杂;其它的算法各方面都居中。

表 1 各种算法性能比较

指标 算法	信道数	效率	复杂度	总体评价
LLCR	单	一般	高	一般
w-LCR	单	一般	高	好
Aloha	单	低	低	不好
CSMA	单	低	低	不好
Colorwave	单	低	一般	好
HiQ	多	一般	高	一般
SA	多	一般	高	一般
Pulse	双	高	一般	很好
DiCa	双	高	一般	很好

总之,各种算法都有其优缺点,不同的应用目的应选择不同的算法。

参考文献:

- [1] Finkenzeller K. RFID Handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards and identification[M]. Chichester: John Wiley, Leipzig, dritte edition, 2003.
- [2] Engels D W, Sarma S E. The reader collision problem[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC '02). Hammamet, Tunisia: [s. n.], 2002: 641-646.
- [3] Kim J J, Lee W, Yu J, et al. Effect of localized optimal clustering for reader anti-collision in RFID networks: fairness aspects to the readers[C]// IEEE International Conference on Computer Communications and Networks. Seoul, Korea: [s. n.], 2005: 497-502.
- [4] Kim J, Lee W, Jung J, et al. Weighted Localized Clustering: A Coverage-Aware Reader Collision Arbitration Protocol in RFID Networks[C]// Embedded software and systems: second international conference, ICESS 2005. Xi'an, China: [s. n.], 2005: 542-553.
- [5] Cha K, Jagannathan S. Adaptive Power Control Protocol With Hardware Implementation for Wireless Sensor and RFID Reader Networks[J]. IEEE Systems Journal, 2007, 1(2): 145-159.
- [6] ETSI EN 302 208-1, 2 v1.1.1[S/OL]. 2004-09. CTAN;

(下转第 20 页)

一段时间内,合肥市降水系统发生了突变。

(2)从总体来看,hurst 指数都接近 0.7,大于 0.5,具有持续性,即过去的上升或下降趋势在未来仍然持续;周期均在 15~25 年,说明未来一二十年合肥市降水系统仍维持过去的趋势。

(3)3~5 月: U 统计量均小于 0,呈下降趋势,春季的 U 统计量为 -2.0769,呈明显下降趋势,说明未来春季降水量会有明显的下降趋势。

(4)6~8 月: U 统计量基本大于 0,呈上升趋势,其中 6 月有明显上升趋势,夏季 U 统计量为 0.6536,呈稍微上升趋势,说明未来夏季降水量会有上升。

(5)9~11 月: 9 月 U 统计量小于 0,呈较明显的下降趋势,而 10~11 月 U 统计量大于 0,呈稍微下降趋势,上升和下降会相互制约,因此未来秋季降水不会有明显的变化。

(6)12~2 月: U 统计量均大于 0,呈上升趋势,其中 1 月有明显的上升趋势,冬季的 U 统计量为 2.8177,呈明显的上升趋势,说明未来冬季降水量会有明显的上升趋势。

2)利用 M-K 法检验年降水量,试验结果如图 2 所示。

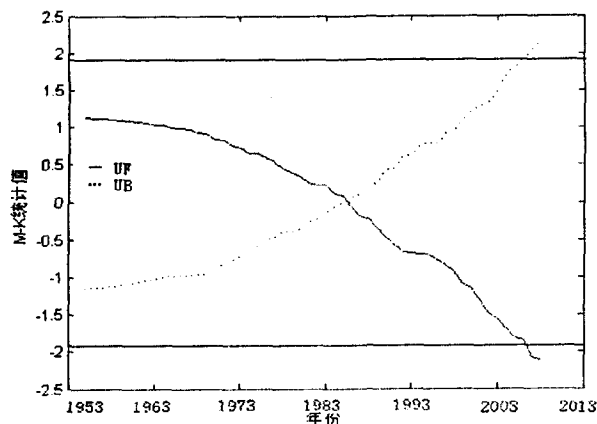


图 2 1953~2007 年合肥市年降水量突变判别曲线(M-K 法)

从图 2 中可以看出:

合肥市自 1953~2007 年合肥市年降水量有呈现下降趋势,同时, $M-K$ 统计量在显著性水平 0.025 的临界线之间,表明合肥市年降水量没有呈现某一明显的变化趋势;突变点在 1986 年附近,这与前面得到的“突变年份均在 20 世纪七、八十年代”结论一致。

3 结束语

文中在小波变换去噪的基础上,将 R/S 法和 M-K 法相结合,针对 50 多年的合肥市的降水量时间序列,从突变点、趋势特征、非周期循环长度以及预测未来发展趋势等方面,研究了合肥市降水系统的演化规律和未来发展那趋势。

参考文献:

- [1] 秦年秀,姜 彤,许崇育.长江流域径流趋势变化及突变分析[J].长江流域资源与环境,2005,14(5):589-594.
- [2] 王小霞,徐宗学,阮本清.天津市降水量变化趋势的时空分布特征[J].干旱区资源与环境,2008,22(9):92-97.
- [3] 龚 宇,邢开成,王 璞.沧州地区近 40 年来气温和降水量的变化趋势分析[J].中国农业气象,2008,29(2):143-145.
- [4] 李水根,吴纪桃,分形与小波[M].北京:科学出版社,2000.
- [5] Kendall M G. Rank correlation methods[M]. New York: Oxford Univ. Press,1975.
- [6] Mandelbrot B B, Wallis J R. Some long run properties of geophysical records[J]. Water Resource Research,1969,5(2):321-340.
- [7] Ichiyangl K, Yamanaka M D, Muraji Y, et al. Precipitation in N. Cpell between 1987 and 1996[J]. International Journal of Climatology,2007,15(2):245-256.
- [8] 于延胜,陈兴伟. R/S 法与 Mann-Kendall 法综合分析水文时间序列未来的趋势特征[J]. 水资源与水工程学报,2008,19(3):41-44.

(上接第 16 页)

<http://www.etsi.org>.

- [7] Waldrop J, Engels D W, Sanna S E. Colorwave: An anticollision algorithm for the reader collision problem[C]//IEEE WCNC 2003. New Orleans, Louisiana, USA: [s. n.], 2003.
- [8] Birari S. Mitigating the Reader Collision Problem in RFID Networks in Mobile Readers[D]. Bombay: Indian Institute of Technology, 2005.
- [9] Hwang K, Kim K, Eom D. DiCa: Distributed Tag Access with Collision-Avoidance Among Mobile RFID Readers[C]//Zhou X. EUC Workshops 2006. Seoul, Korea: [s. n.], 2006: 413-422.
- [10] Ho J, Engels D W, Sarma S E. HiQ: A Hierarchical Q-Learning Algorithm to Solve the Reader Collision Problem[M]. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2006.
- [11] Lin C F, Lin Y S F. A Simulated Annealing Algorithm for RFID Reader Networks[C]//Wireless Communications and Networking Conference, 2007. (WCNC 2007). Hong Kong, China: [s. n.], 2007.