

基于调度方式的阅读器防碰撞算法

刘玮, 吴晓波, 张伟伟, 张春园

(后勤工程学院, 重庆 401311)

摘要: **目的** 阅读器碰撞是射频识别技术(RFID)的常见问题,常见的防碰撞算法没有同时考虑阅读器碰撞的2种情况,并且对硬件要求高,这影响了RFID系统数据通信的效率。提出了基于调度的阅读器防碰撞算法。**方法** 采用中央服务器调度方式,建立混合整数规划模型,按一定的规则,将频率和时间隙分配给阅读器;在2种不同阅读器距离及同时考虑吞吐率和均衡率的情况下,对提出的算法与CSMA算法进行了对比。**结果** 在同时考虑吞吐率和均衡率的条件下,基于调度的阅读器防碰撞算法优于CSMA算法。**结论** 该算法能够提高吞吐率和均衡率。

关键词: 射频识别技术;防碰撞;调度方式

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)21-0127-05

An Anti-collision Algorithm Based on Schedule Mode for Reader

LIU Wei, WU Xiao-bo, ZHANG Wei-wei, ZHANG Chun-yuan

(Department of Logistics Information & Logistics Engineering, Chongqing 401311, China)

ABSTRACT: Objective Reader collision is a common problem in RFID. The common anti-collision algorithm do not consider the two types of reader collision simultaneously and have high requirements of hardware, which influences the efficiency of data transmission in the process of RFID data communication. The aim of this paper was to propose an anti-collision algorithm based on schedule mode. **Methods** The algorithm was proposed based on the anti-collision of scheduling, which adopted the central server. The mixture integer programming model was established to optimize the resources among the readers. At 2 different reader distances, and considering both the throughput rate and the equality rate, the proposed algorithm was compared with the CSMA algorithm. **Results** When considering both the throughput rate and the equality rate, the algorithm based on schedule mode was superior to the CSMA algorithm. **Conclusion** This algorithm could enhance the throughput rate and the equality rate.

KEY WORDS: radio frequency identification (RFID); anti-collision; schedule mode

无线射频识别技术(RFID, Radio Frequency Identification)作为新兴的识别技术,具有容量大、体积小和寿命长等特点,可应用于非可视识别、多目标识别、快速读写和定位等领域,被广泛地应用于包装、仓储、军事物流等领域^[1-2]。RFID系统由标签和阅读器组成。为了覆盖一定区域,在多个阅读器组成的网络中,相邻阅读器在其信号交叠区域内会相互产生干扰,发生阅读器碰撞^[3]。目前,常见的有“阅读器—标

签”和“阅读器—阅读器”2类碰撞,多数的调度策略仅仅单一的考虑避免某类碰撞,没有同时考虑2种碰撞的情况。为此,对基于调度的防碰撞算法进行研究,提出了一种改进的阅读器防碰撞算法。

1 阅读器碰撞类型

阅读器碰撞类型见图1。常见的阅读器碰撞有以

收稿日期: 2014-05-28

作者简介: 刘玮(1989—),男,四川人,后勤工程学院硕士生,主攻无线射频防碰撞算法研究。

下2类^[4]。

1) “阅读器—阅读器”碰撞。阅读器之间的距离满足关系: $2D_n < D_{12} < D_n$ (D_n 为阅读器有效读距离, D_{12} 为2个阅读器之间的距离, D_n 为阅读器的干扰距离), 且在相同的频率上进行通信, 当第1个阅读器(R_1)输出的信号足够强时, 第2个阅读器(R_2)接收到该信号, 这样就可能干扰第2个阅读器与它读写范围内标签的正常通信而发生碰撞a, 见图1a。

2) “阅读器—标签”碰撞。当多个阅读器同时阅读同1个标签时, 引起了阅读器到标签之间的碰撞。这里分为2种情况: 一是阅读器阅读范围未重叠, 阅读器之间的距离满足关系 $D_n < D_{12} < D_n + D_n$, R_2 的干扰信号对 R_1 的识别信号在标签(T)处产生干扰, 发生碰撞b, 见图1b; 二是阅读器阅读范围重叠, 当距离关系满足 $D_{12} < 2D_n$, R_1 和 R_2 同时对标签T阅读时, 会发生碰撞c, 见图1c。

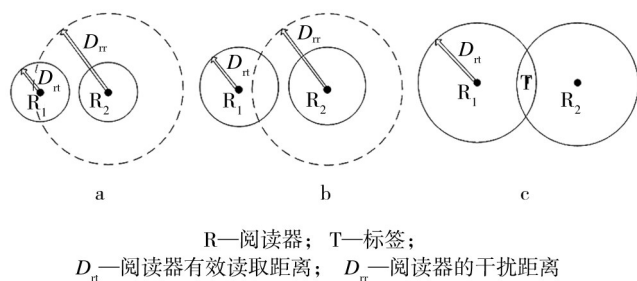


图1 阅读器碰撞类型

Fig.1 The sorts of reader collision

2 阅读器防碰撞算法

2.1 现有阅读器防碰撞算法

近几年, 随着多阅读器在协同工作环境中的应用越来越广泛, 阅读器防碰撞问题开始得到重视。目前阅读器防碰撞算法主要分为以下2类。

1) 基于调度的防碰撞算法。采用中央服务器统一收集阅读器之间的碰撞消息^[5], 将系统的资源分配给各个阅读器使用, 防止阅读器同时发送信号给标签而产生信号干扰。常用的算法有 CSMA, HiQ, Pulse, Colorwave 和 DCS 等^[6-7]。算法的缺点是需要消耗大量资源来建立并维护整个网络, 当系统出现微小变化时, 需要对整个网络的资源重新调整, 收敛速度慢^[8]。

2) 基于功率控制的防碰撞算法。通过对阅读器

的功率范围进行动态调整, 使每个阅读器能够在同一时间采用不同功率, 从而减小阅读器之间的重叠区域, 获得最大的阅读范围。常用的算法有 LLCRC, w-LCR, PPC, APAA 和 DAPC^[9-10]等。这类算法比较复杂、功耗大, 容易降低整个系统的识别效率, 对系统的硬件要求比较高, 需要引入新的中心控制设备^[11]。

由此, 尽管现有算法已在无线射频识别系统中应用广泛, 但仍存在着高功耗、高成本等缺点。

2.2 基于调度方式的多阅读器防碰撞算法

算法在调度方式的基础上和密集多阅读器环境下, 采取中央服务器集中调度的方式, 在不额外增加硬件的条件下, 通过建立混合整数规划模型, 解决多目标优化问题^[12]。将频率和时隙合理分配给各个阅读器, 从而降低“阅读器—标签”和“阅读器—阅读器”之间的碰撞, 提高系统的吞吐率和均衡率。

2.2.1 算法原理及流程

在阅读器工作之前, 中央服务器根据收集阅读器的相关信息, 包括位置信息和碰撞信息等, 采用基于混合整数规划模型的调度算法, 根据相关的约束条件和阅读器的优先级来分配资源, 从而避免“阅读器—标签”和“阅读器—阅读器”碰撞的发生, 每个工作周期结束, 中央服务器重复上述过程。阅读器能够在现有的硬件条件下进行配置, 而不需要额外增加硬件开销。通过建立3个约束条件, 对时隙和频率进行合理分配。

1) 当有2个或2个以上的阅读器, 阅读器与阅读器之间的距离关系满足 $D_{ij} < 2D_n$ 时, 就会出现“阅读器—标签”和“阅读器—阅读器”碰撞。在这种情况下, 阅读器如果工作在同一时隙, 由于标签不能选择频率, 就会发生碰撞。在这种情况下, 为避免碰撞发生, 阅读器可以被分配相同或不同的频率, 但不能获得相同的时隙。

2) 当阅读器之间的距离满足关系 $2D_n < D_{ij} < D_n + D_n$ 时, 则会发生碰撞b。在这种情况下, 中央服务器允许阅读器拥有相同的频率, 或者处在相同的工作时隙中, 但不能同时拥有相同的频率和相同的时隙, 否则就会发生碰撞。

3) 当阅读器之间的距离满足关系 $D_{ij} > D_n$ 时, 阅读器与阅读器互不在干扰范围内, 不会发生阅读器碰撞, 因此, 频率和时隙分配不受限制。

该算法关注的是按照阅读器的优先级,根据阅读区域内的标签数目划分优先级,区域内标签数目越多,优先级越高,需要的时隙数越多。优先级越高,阅读器识别区域内的标签数目越多,得到的工作时隙越多,使时隙得到有效利用。优先级的范围满足 $P_i \in [0, 1]$ 。算法结合 TDMA 思想,将每个时间帧划分为许多小时隙,每个阅读器被分配 1 个传输频率和 1 组连续的工作时隙,通过这种方法来避免碰撞。算法的流程见图 2。

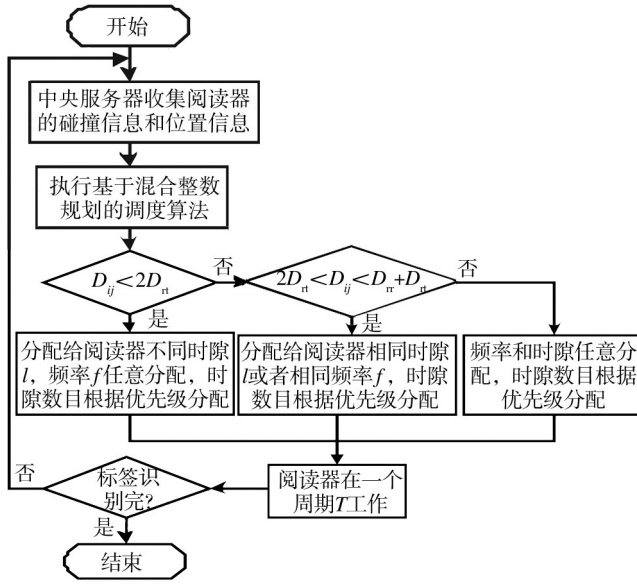


图2 算法流程

Fig.2 The flow chart of the algorithm

2.2.2 算法目标

1) 最大化系统的工作总时隙数,实现整个系统吞吐率的最大化;

2) 根据每个阅读器的需要,实现时隙数的均衡分配,避免阅读器的询问区域内只有少量的标签,造成时隙的浪费,从而得到大量的工作时隙。

2.2.3 算法假设

1) 阅读器的位置和阅读区域内的标签数已知,有学者^[13-14]也给出了 RFID 系统的定位算法和估算标签数量的算法;

2) 阅读器周围没有障碍物阻碍信号的传播,阅读器采用全向天线,传播范围近似球形;

3) 假设所有阅读器均需要最大数量的时隙来识别标签,即令所有阅读器的优先级 $P_i=1$ 。

2.2.4 算法分析

基于混合整数规划调度算法的优化目标是最大

化系统工作的总时隙数和满足资源分配的均衡性。目标函数为:

$$\max Z = (1-k) \sum_{l \in L} \sum_{f \in F} \sum_{i \in N} y_{lf}(i) + ka \sum_{i \in N} P_i \quad (1)$$

式中: L 为每个频率信道的时隙数; F 为可用频率数; N 为阅读器数; k 为与资源分配相关的权重因子,用于调整吞吐率和均衡率; a 为资源配置的变量,是所有阅读器中获得时隙数最少情况,是介于阅读器获得的时隙数和需要的时隙数之间的值; $y_{lf}(i)$ 表示时隙和频率的分配,即阅读器 i 获得频率 f 和时隙 l ; P_i 为阅读器优先级; $(1-k) \sum_{l \in L} \sum_{f \in F} \sum_{i \in N} y_{lf}(i)$ 用于最大化吞吐率,使整个识别标签的总时隙数最多; $ka \sum_{i \in N} P_i$ 与均衡率相关,用于最大化变量 a , a 通过优先级获得 $\sum_{i \in N} P_i$ 。

可以根据需要,调整值来改变吞吐率和均衡率, $k=0$ 时,吞吐率最大; $k=1$ 时,均衡率最大。

调度模型的主要约束包括如下。

1) 0-1 变量的约束。

$$y_{lf}(i) = \begin{cases} 1 & \text{阅读器 } i \text{ 使用频率 } f \text{ 和时隙 } l \\ 0 & \text{未使用 } f \text{ 和 } l \end{cases} \quad (2)$$

$$y_{l_f}(i) = \begin{cases} 1 & \text{时隙 } l \text{ 是阅读器 } i \text{ 第 1 个工作时隙} \\ 0 & \text{相反} \end{cases} \quad (3)$$

$$y_{l_f}(i) = \begin{cases} 1 & \text{时隙 } l-1 \text{ 是阅读器 } i \text{ 第 1 个工作时隙} \\ 0 & \text{相反} \end{cases} \quad (4)$$

其中: $i \in N, f \in F, l \in L$ 。

2) 防碰撞的约束。

$$\sum_{f \in F} y_{lf}(i) \leq 1 \quad (5)$$

$$y_{l_f}(i) + y_{l_f}(j) \leq 1 \quad i, j \in N, D_{ij} \leq 2D_n \quad (6)$$

$$y_{l_f}(i) + y_{l_f}(j) \leq 1 \quad 2D_n < D_{ij} < D_n + D_n \quad (7)$$

其中: 式(5)表示阅读器最多只能获得 1 个频率,未获得频率的阅读器不能在任何时隙工作; 式(6)表示当 $D_{ij} \leq 2D_n$ 时,同一个时间帧内,阅读器不能获得相同的工作时隙,避免阅读器碰撞, f_1 与 f_2 可以相同,也可以不同; 式(7)表示当 $2D_n < D_{ij} < D_n + D_n$ 时,阅读器可以获得相同的频率和不同的工作时隙,或者相同的工作时隙和不同的频率,但不能同时获得相同频率和相同时隙,避免发生碰撞 a 和碰撞 b。

3) 时隙分配的约束。

$$y_{lf}(i) + y_{l-1f}(i) = x_{l_f}(i) - x_{l_f}(i) \quad l \geq 2 \quad (8)$$

$$\sum_{i \in L} x_{lf}(i) \leq 1 \quad (9)$$

$$\sum_{i \in L} \sum_{j \in F} y_{lf}(i) \geq a \quad (10)$$

其中:式(8)表示如果 s 为分配给阅读器的一段连续工作时隙的第1个时隙,则 $x_{lf}(i) = 1$;式(9)表示每个阅读器最多只能获得一段连续的工作时隙;式(10)表示分配给阅读器的时隙都是连续的,同时表示阅读器获得时隙数最少的情况。

3 算法仿真与分析

某大型物流基地,采用超高频RFID,采用每行4个阅读器的矩阵分布,保证区域内的标签都能识别,采用文献[15]的阅读器功率为3.2 W,有效读取范围为10 m,干扰范围为1000 m,每个时间帧长为4 s,每帧的时隙数为1600个,每个时隙长2.5 ms,可用频率4个。阅读器数目分别取2,4,⋯,12,仿真主要通过提出的算法与CSMA算法吞吐率和均衡率的对比,以说明算法好坏。分别对阅读器距离为 D_{ij} 为15 m和500 m进行仿真, k 分别取0.1,0.5和0.9,结果见图3—4。

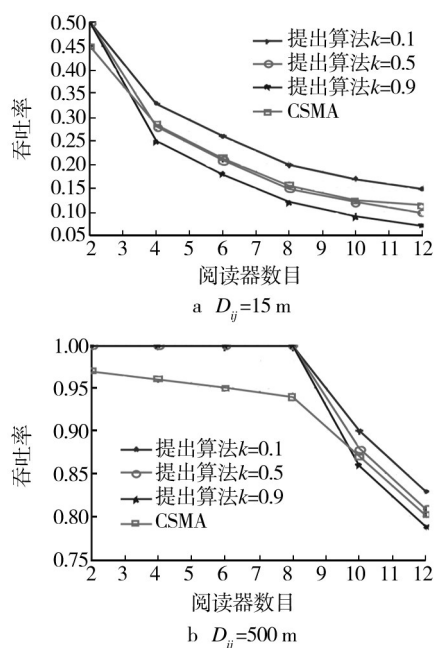


图3 吞吐率比较

Fig.3 Comparison of the throughput rates

由图3a和图4a可以发现,当阅读器之间的距离为15 m时,前述a,b,c碰撞同时发生,随着阅读器数量增多,分配给每个阅读器的时隙减少,吞吐率下降。 k

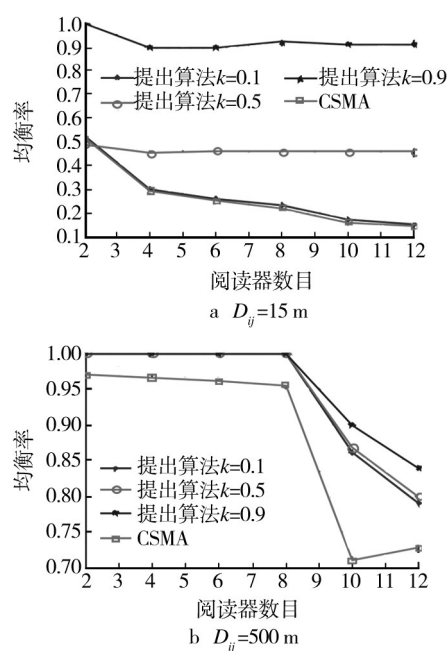


图4 均衡率比较

Fig.4 Comparison of the equality rates

越大,吞吐率越低,这是因为 k 与资源分配的均衡性有关,会导致一些空闲时隙不被分配;当 $k=0.1$ 时,提出算法的吞吐率高于CSMA算法,2种算法的均衡率相接近;随着 k 增大,2种算法的吞吐率相接近,但是提出算法的均衡率逐渐高于CSMA算法,在 $k=0.9$ 时达到最大值。由图3b和图4b可以发现,当阅读器之间的距离为 $D_{ij}=500$ m时,不发生c碰撞,在阅读器数目不大于8时,提出算法的吞吐率为1,这是因为任何相邻的2个阅读器频率不同,从而避免a,b碰撞,而CSMA算法在阅读器数目不大于8时不能达到1,这是因为该算法随机选择频率,容易导致相邻2个阅读器选择一样的频率。当 $k=0.1$ 时,2种算法的吞吐率差距不大,并且吞吐率都大于0.95。由于缺少资源均衡机制,随着阅读器增多,CSMA算法的均衡率下降越快,相同条件下,提出的算法其均衡率明显高于CSMA算法。由图3—4可以得出结论:在同时考虑吞吐率和均衡率条件下,提出算法优于CSMA算法。

4 结语

大部分算法都需要增加额外的硬件,并且没有同时考虑“阅读器—标签”和“阅读器—阅读器”之间的碰撞,不能有效利用网络资源。对此,在不额外增加硬件的基础上,通过采取集中调度的方式,建立混合

整数规划模型,同时对时隙和频率进行分配,以提高吞吐率和均衡率。仿真结果表明,提出算法在吞吐率和均衡率方面均优于CSMA算法。

参考文献:

- [1] 王鹏,王铭坤. RFID技术在军事物流领域中的应用[J]. 包装工程,2012,32(23):108—110.
WANG Peng, WANG Ming-kun. Application of RFID Technology in Military Logistics[J]. Packaging Engineering, 2012, 32(23):108—110.
- [2] 曹乐,袁艳,史欢欢,等. RFID和二维条码在香烟防伪中的组合应用[J]. 包装工程,2013,34(019):63—65.
CAO Le, YUAN Yan, SHI Huan-huan, et al. Combined Application of RFID and Two-dimensional Bar Code in Cigarette Anti-counterfeiting[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(019):63—65.
- [3] 于惠钧,刘晓燕,朱永祥. RFID标签阅读器系统防冲突算法的研究[J]. 包装工程,2008,29(5):46—48.
YU Hui-jun, LIU Xiao-yan, ZHU Yong-xiang. Study on Anti-collision Algorithms in RFID Reader System[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(5):46—48.
- [4] 陈颖,张福洪. RFID传感网络中多阅读器碰撞算法的研究[J]. 传感技术学报,2010,23(2):265—268.
CHEN Ying, ZHANG Fu-hong. Study on Reader Anti-Collision Algorithm in RFID Sensor Networks[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2010, 23(2):265—268.
- [5] MEGUERDITCHIAN C, SAFA H, HAJJ E W. New Reader Anti-collision Algorithm for Dense RFID Environments[C]// Electronics, Circuits and Systems (ICECS), 2011 18th IEEE International Conference on.IEEE, 2011:85—88.
- [6] LI Zhong-hua, HE Chun-hui. Optimal Scheduling-based RFID Reader-to-reader Collision Avoidance Method Using Artificial Immune System[J]. Applied Soft Computing, 2013, 13(5):2557—2568.
- [7] GANDINO F, FERRERO R, MONTRUCCHIO B, et al. Probabilistic DCS: An RFID Reader-to-reader Anti-collision Protocol[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2011, 34(3):821—832.
- [8] DJEDDOU M, KHELLADI R, BENSSALAH M. Improved RFID Anti-collision Algorithm[J]. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 2013, 67(3):256—262.
- [9] 陈颖. 一种新的多阅读器防碰撞算法的研究[J]. 杭州电子科技大学学报,2013,32(5):112—115.
CHEN Ying. Research on a Novel Reader Anti-collision Algorithm[J]. Journal of Hangzhou Dianzi University, 2013, 32(5):112—115.
- [10] ANGERER C, LANGWIESER R, RUPP M. RFID Reader Receivers for Physical Layer Collision Recovery[J]. Communications, IEEE Transactions on, 2010, 58(12):3526—3537.
- [11] 吴黎明,陈泰伟,项颖. 新颖的物联网RFID传感系统防冲突算法[J]. 计算机应用,2013,33(3):614—617.
WU Li-ming, CHEN Tai-wei, XIANG Ying. Novel Anti-collision Algorithm of RFID Sensor System for Internet of Things [J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(3):614—617.
- [12] 许丹,夏少连,丁强,等. 基于启发式混合整数规划法求解大规模机组组合问题[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(21):1—6.
XU Dan, XIA Shao-lian, DING Qiang, et al. Fast Unit Commitment Based on Heuristic Mixed Integer Programming [J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(21):1—6.
- [13] 郭来功,黄友锐,蔡俊. 优化的动态帧时隙ALOHA防碰撞算法[J]. 计算机应用研究,2012,29(11):4141—4143.
GUO Lai-gong, HUANG You-rui, CAI Jun. Optimized Dynamic Framed Slotted ALOHA Anti-collision Algorithm[J]. Application Research of Computers, 2012, 29(11):4141—4143.
- [14] HAORU S, KO D, AN S. Power-aware Location-based Anti-collision Protocol for RFID-sensor Networks[C]// Ubiquitous and Future Networks, 2009.ICUFN 2009.First International Conference on.IEEE, 2009:40—45.
- [15] HO J, ENGELS D W, SARMA S E. HiQ: a Hierarchical Q-learning Algorithm to Solve the Reader Collision Problem [C]// Applications and the Internet Workshops, 2006.SAINT Workshops 2006. International Symposium on.IEEE, 2006:4.