

基于中间件的 RFID 系统冗余阅读器判别算法

陈阳^{1,3} 陈坚泽¹ 李超²

(1.广东云伴智能科技有限公司, 广东 广州 510000 2.华南理工大学, 广东 广州 510000

3.广东省计算机学会, 广东 广州 510000)

摘要: 在大规模 RFID 系统中, 冗余阅读器判别是系统性能优化的重要途径。首先, 对现有的 RFID 系统冗余阅读器判别算法进行分析和比较; 然后, 结合各判别算法的特点提出一种基于中间件的 RFID 系统冗余阅读器判别算法。仿真实验结果表明: 本文提出的 MNRCBA 算法可有效提高冗余阅读器的检出率, 且具有更好的系统部署合理性。

关键词: RFID; 中间件; 冗余阅读器; 判别算法

中图分类号: TP391.44

文献标识码: A

文章编号: 1674-2605(2021)02-0004-06

DOI: 10.3969/j.issn.1674-2605.2021.02.004

0 引言

射频识别 (radio frequency identification, RFID) 技术以非接触、低成本的特点广泛应用于仓储管理、物流跟踪和生产监控等领域^[1]。通常情况下, 为防止 RFID 标签漏读, 在工作区域布设尽可能多的阅读器, 以实现 RFID 标签的全覆盖。但这会造成大量冗余数据, 影响 RFID 系统的整体性能。在 RFID 系统中, 当某个 RFID 阅读器覆盖的所有标签同时被其他阅读器覆盖时, 该 RFID 阅读器为冗余阅读器。冗余阅读器是产生冗余数据的重要来源之一^[2]。为判别冗余阅读器, 降低 RFID 系统能耗, 国内外许多研究人员对 RFID 冗余阅读器判别算法进行了研究。

经典 RFID 冗余阅读器判别算法包括冗余阅读器消除法 (redundant reader elimination, RRE)^[3]、分层消除优化法 (layered elimination optimization, LEO)^[4]、基于计数的算法 (count based algorithm, CBA)^[5]。研究人员在经典算法基础上, 通过组合或改进使判别结果更优, 如改进的冗余阅读器消除方法 (improvable redundant reader elimination, IRRE)^[6], RRE+LEO^[7], RRE+CBA^[8]等。其中, 吕石磊^[9]提出基于中间的 RFID 系统阅读器去冗余算法 (middle -based redundant reader elimination, MRRE), 利用 RFID 中间件的标签

信息判别冗余阅读器, 不需要系统拓扑信息及频繁地对标签写入信息, 有效减少其他判别方法因阅读器对标签频繁写入而导致的误判或漏判冗余阅读器问题, 为冗余阅读器判别方法研究开辟了新路径。这些算法都以找到更多冗余阅读器为目的, 忽略了 RFID 阅读器部署合理性问题, 导致有时出现保留的冗余阅读器干涉区域较大, 产生较多干扰信号, 影响 RFID 系统性能。通过研究相邻阅读器的性质可解决该问题, 如基于邻近覆盖密度法 (neighboring coverage density, NCD)^[10]、邻近阅读器竞争消除算法 (neighbor-reader competitive elimination algorithm, NRCEA)^[11]等。

本文在分析现有 RFID 冗余阅读器判别算法的基础上, 总结各判别算法的特点, 并提出一种基于中间件的 RFID 系统冗余阅读器判别算法。首先, 以 CBA 算法的启发策略找出确定的非冗余阅读器; 然后, 运用 RRE 思想对剩余的 RFID 阅读器赋予权值, 并结合 NRCEA 思想对赋权规则进行改进; 最后, 采用 RFID 中间件技术实现 RFID 冗余阅读器的判别。

1 RFID 冗余阅读器相关研究

早在 2009 年, CARBUNAR 等^[3]首次提出冗余阅读器是影响 RFID 系统性能的基础问题之一, 并指出即使在知道 RFID 系统拓扑的前提下, 判别冗余阅读

器也是一个非确定多项式（non-deterministic polynomial, NP）问题。RFID 冗余阅读器判别算法的目的是使工作区域内的 RFID 阅读器，在实现区域标签全覆盖的同时数量最少、布局更合理、阅读器间信号干扰更小，从而降低系统能耗，改善系统性能。

RFID 系统示意图如图 1 所示，其中 R_1, R_2, R_3, R_4 是 4 个阅读器，圆形表示 RFID 阅读器的读取范围； T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 是 5 个标签。

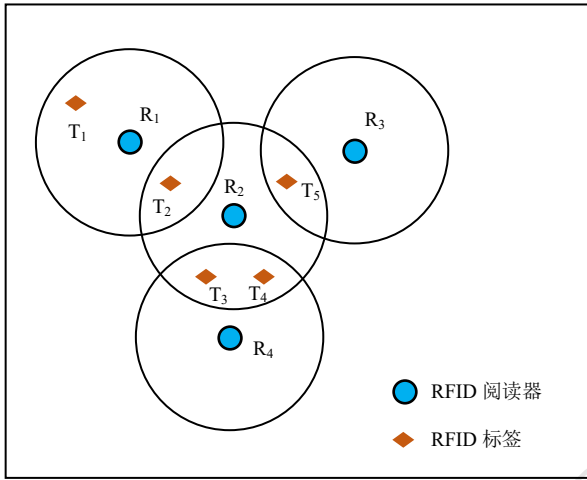


图 1 RFID 系统示意图

由图 1 可以看出：关闭阅读器 R_3 和 R_4 ，5 个标签仍然能被全部读取，即 R_3 和 R_4 为冗余阅读器。但 R_1 和 R_2 存在干涉区域，会产生干扰信号。如果关闭 R_2 ，保留 R_1, R_3, R_4 ，此时 RFID 系统实现 5 个标签全覆盖，且不存在干涉区域，避免干扰信号。

1.1 RRE 算法

RRE 算法^[3]基于贪心算法设计，其关键思想是根据 RFID 阅读器读取的标签数目对阅读器进行赋权。该算法能够较直观和简单地判别冗余阅读器。但当 RFID 系统中阅读器布设密度较高时，读取范围严重重叠，RRE 算法的判别能力可能失效。

1.2 CBA 算法

CBA 算法^[5]采用的启发策略使该算法能够保证每次判别的非冗余阅读器一定是非冗余的。该算法在判别非冗余阅读器上有明显优势，有效避免了误判而导致的标签漏读情况。然而，该算法受判别顺序影响

较大，不同判别顺序对判别结果影响较大。

1.3 NRCEA 算法

NRCEA 算法^[11]的主要思想是比较相邻阅读器的共享标签数，从而量化各个 RFID 阅读器间的汇聚度，并认为汇聚度越高的阅读器能够识别的标签越多，在网络中发挥的作用也越大。该算法取消了迭代运算，具有计算量小、效率高的特点。该算法将可读取更多标签且具有更多共享标签的阅读器优先保留。但具有更多共享标签的阅读器，往往与其他阅读器的重叠区域较多，也意味着这些阅读器可能具有更多的干扰信号，不利于 RFID 系统性能提升。

2 MNRCBA 算法

由于以下 3 种原因，上述算法可能存在对冗余阅读器误判和漏判的情况：1) 阅读器与标签一对一的写入方式；2) 阅读器与标签通过读写操作实现交互的通信方式；3) 阅读器对标签的读写距离不等的特性。因此，本文借鉴文献[9]提出的利用中间件存储分析 RFID 阅读器读入标签信息的方法，提出一种基于中间件的 RFID 系统冗余阅读器判别改进算法（middleware-neighbor reader-count based algorithm, MNRCBA）。首先，运用 CBA 找出确定的非冗余阅读器；然后，改进 NRCEA 算法，即将读取标签数最多且共享标签数最多为优先保留阅读器的原则，变成读取标签数最多且相邻阅读器最少为优先保留阅读器原则；最后，根据计算的优先权，运用 RRE 思想进行冗余阅读器判别。

MNRCBA 算法步骤：

1) 工作区域内，RFID 阅读器读入其识别范围内的标签信息，并传送到 RFID 中间件，建立“阅读器——标签”矩阵 A ，其元素 $a(i, j)$ 定义为

$$a(i, j) = \begin{cases} 0, & T_j \not\subset R_i \\ 1 & T_j \subset R_i \end{cases}, (R_i \in R_s, T_j \in T_s) \quad (1)$$

式中， R_s 为 RFID 中间件接收到的标签信息对应的阅读器集合； T_s 为 RFID 中间件接收到的标签集合；

$T_j \not\subset R_i$ 表示阅读器 R_i 没有读取到标签 T_j 的信息；
 $T_j \subset R_i$ 表示阅读器 R_i 读取到标签 T_j 的信息；

2) 将矩阵 A 各行相加，得到列向量 An ，列向量 An 的数值表示各阅读器所能读取的标签数量的总和；将矩阵 A 各列相加，得到行向量 Am ，行向量 Am 的数值表示能读取该标签的阅读器个数；

3) 根据 CBA 算法思想，将行向量 Am 中元素等于 1 的标签所对应的阅读器设定为非冗余阅读器，并锁定这些阅读器对应的标签；

4) 令步骤 3) 中被锁定的标签在矩阵中置 0，得到更新后的矩阵 A' ；

5) 对矩阵 A' 重复步骤 2) 和步骤 3)，迭代运算至“阅读器——标签”矩阵中各列相加得到的行向量中所有元素均大于 1；

6) 设步骤 5) 中得到的“阅读器——标签”矩阵为 M ，则对 M 矩阵中仍然需要判别的阅读器逐一查询，获得这些阅读器相邻阅读器；其规则为：获得所查询阅读器的标签集合，根据标签集合中每个标签对应的阅读器，获得相邻阅读器集合，得到相邻阅读器个数；

7) 计算各阅读器查询权重因子 W ，其原则是读取标签数最多且相邻阅读器最少的阅读器权重因子越大，反之越小，其运算公式为

$$W_{Ri} = \omega \frac{T_{Ri}}{T_{\max}} + (1 - \omega) \left(1 - \frac{R_{Ni}}{R_{\max}} \right) \quad (2)$$

式中， $T_{\max}$ 为总标签数量； $R_{\max}$ 为总阅读器数量； T_{Ri} 为阅读器 R_i 的可读标签数； R_{Ni} 为阅读器 R_i 的相邻阅读器个数； ω 为比重因子， $\omega \in [0, 1]$ ，其取值决定了读取标签数量与相邻阅读器数量对权重影响度的占比；

8) 按各阅读器的权重因子大小顺序逐个选择阅读器，锁定所选择阅读器的标签，更新“阅读器——标签”矩阵 M ，直到矩阵中所有元素为 0，此时未被选择的阅读器即判别为冗余阅读器。

分析 MNRCBA 算法可知：经过步骤 1)~5) 后，

剩下的阅读器基本上与其相邻阅读器具有重叠区域，而重叠区域以 NRCEA 算法将读取标签数最多且共享标签数最多为优先保留阅读器的原则时，阅读器更容易存在干涉区域而使干扰信号增大。而以相邻阅读器更少原则进行改进，则可避免这些干涉区域的出现，得到布局更完善的 RFID 系统。

MNRCBA 算法伪代码如下：

```

for j=1 to  $T_{\max}$ 
    for i=1 to  $R_{\max}$ 
        if ( $A(i,j)=1$  and  $Am(j)=1$ )
            then NonRReader(j)←readerID(i)
        end if
        if ( $R_i(j)=\text{intersect}(\text{ones}(i,j), A'[(i,j)|a(i,j)=1])$ )
            then  $A[(i,j)|a(i,j)=1]←0$ ;
        end if
         $T_R(i)←A_n(i)$ 
         $R_M(i)←\text{length}(R_{Ni})$ 
         $W_R(i)←\omega \frac{T_{Ri}}{T_{\max}} + (1 - \omega) \left( 1 - \frac{R_{Ni}}{R_{\max}} \right)$ 
    for l=1 to  $R_{\max}$  by sorted( $W_R(i)$ )
        if (ReaderID(l) unlocked)
            for k=1 to  $T_{\max}$ 
                if ( $A'(l,k)=1$  and  $A'm(k)=1$ )
                    then NonRReader(k)←readerID(l)
                else
                    then RedReader(l)←readerID(l)
                end if
            end for
        for h=1 to  $T_{\max}$ 
            if ( $A'(l,h)=1$  and RedReader(l)=1)
                then  $A'[(i,j)|a(i,j)=1]←0$ ;
            end if
        end for
    end if
end if
    
```

```

end for
end for
end for

```

3 实验与分析

在 Matlab R2018a 平台对本文提出的 MNRCBA 算法进行实验仿真分析。硬件环境为：Intel(R) Core(TM) i5-7200U CPU。仿真实验根据 RFID 系统的实际应用场景，抽象出标签与阅读器的随机分布结果。如图 2 所示，实验区域设定为 1000×1000 单位长度，其中，“·”表示 RFID 标签，“○”代表阅读器的识别区域，当·在○里，表示该标签能够被该阅读器识别。实验分别仿真研究 RRE 算法、CBA 算法、NRCEA 算法和 MNRCBA 算法的冗余阅读器判别效果、RFID 系统标签信息量以及 RFID 系统部署合理性。其中参数设置为：阅读器数量范围 $R_{\max} \in [100, 600]$ ；标签数量范围 $T_{\max} \in [1000, 6000]$ ；设定阅读器识别区域 $d=100$ ；比重 $\omega=0.6$ ，对实验数据各进行 100 次试验取平均值作为实验结果。

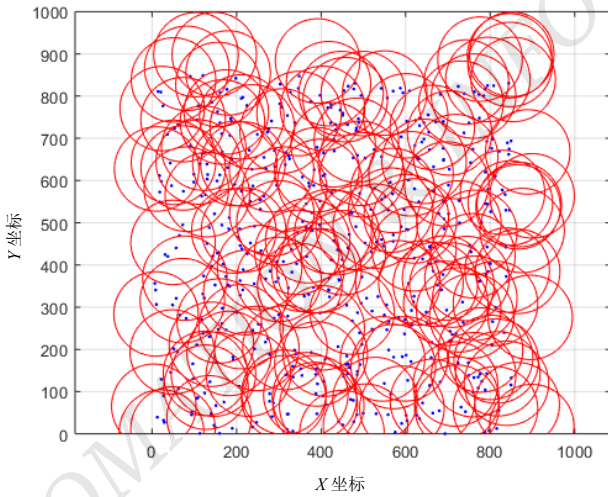


图 2 RFID 系统阅读器与标签仿真拓扑图

3.1 冗余阅读器判别效果分析

1) 将标签数量设为 2000 个，然后阅读器数量从 100 个开始依次增加 100 个，直增至 600 个，考察 4 种算法能够找出的冗余阅读器数量，实验结果如图 3 所示。

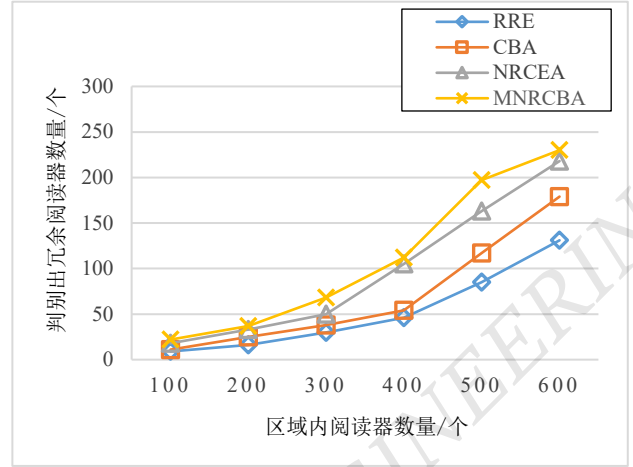


图 3 各算法判别效果（2000 个标签）

由图 3 可知：在标签数量不变且阅读器较少时，4 种算法找出的冗余阅读器数量相当，RFID 性能相当。但随着 RFID 阅读器数量增加，MNRCBA 算法找出的冗余阅读器相对较多，RFID 性能提升明显；而 CBA 算法、NRCEA 算法性能相当，RRE 算法性能相对较差。

2) 将阅读器数量设定为 500 个，然后标签数量从 1000 个开始依次增加 1000 个，直增至 6000 个，考察 4 种算法能够找出的冗余阅读器数量，实验结果如图 4 所示。

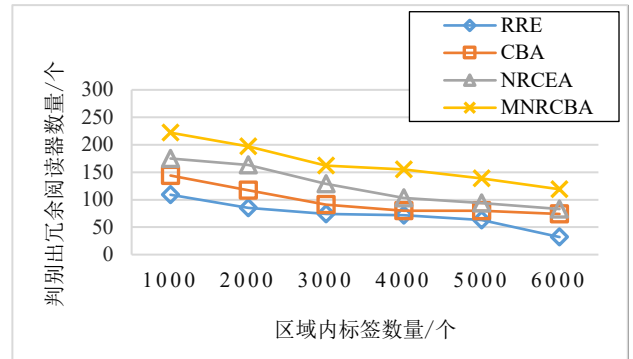


图 4 各算法判别效果（500 个阅读器）

由图 4 可知：MNRCBA 算法相对于其他 3 个算法找出的冗余阅读器数量更多，且在标签数量较少时具有较高性能，而 CBA 算法和 RRE 算法在标签数量较大时（约 3000 个）才具有较好的判别效果。

3.2 RFID 系统标签信息量分析

RFID 系统标签信息量分析主要衡量判别算法对冗余阅读器判别消除后, 剩余阅读器共享标签的数量, 共享标签的数量越少表示 RFID 系统读入的标签重复率越少, 后续数据处理更容易。一般采用标签总量溢出率 (rate of overflow, RoF) 进行量化, 其公式为

$$RoF = \frac{\sum_{R_i \in NRR} TN(R_i)}{T_{\max} \times R_r} \quad (3)$$

式中, NRR 为 RFID 系统消除冗余阅读器后阅读器集合; $TN(R_i)$ 为阅读器 R_i 的可读标签集合; $T_{\max}$ 为 RFID 系统标签总数; R_r 为 NRR 对标签的平均读取率。

将阅读器数量设定为 500 个, 然后标签数量从 1000 个开始依次增加 1000 个, 直增至 6000 个, 考察 4 种算法的系统标签信息量, 实验结果如图 5 所示。

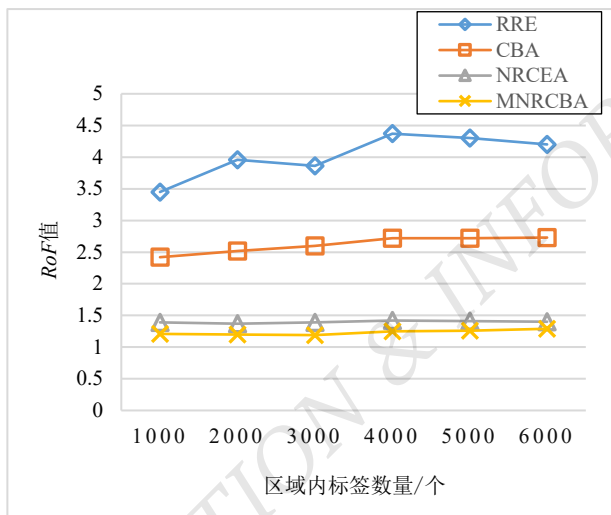


图 5 各算法 RoF 值比较

由图 5 可知: MNRCBA 算法和 NRCEA 算法的 RoF 值远远小于 CBA 算法和 RRE 算法的 RoF 值, 表示 MNRCBA 算法和 NRCEA 算法在消除冗余阅读器的同时能够保证共享标签的数量在较小范围内, 且 MNRCBA 算法比 NRCEA 算法稍有优势。

3.3 RFID 系统部署性能合理性分析

系统标签信息量分析主要衡量判别算法对冗余

阅读器判别消除后, 剩余阅读器对标签的读写冲突发生概率。理想情况是在满足所有标签全覆盖的同时实现各阅读器独立工作而互不干涉, 即 RFID 系统没有相邻阅读器。一般采用平均相邻阅读器数量 (average quantity of neighbor readers, ANR) 来进行量化评估, 其公式为

$$RNA(R_i) = \{R_j | R_j \in RN(R_i) \wedge R_j \in NRR\} \quad (4)$$

$$ANR = \sum_{R_i \in NRR} \frac{|RNA(R_i)|}{|NRR|} \quad (5)$$

式中, $RNA(R_i)$ 为消除冗余阅读器后系统阅读器 R_i 的相邻阅读器集合; $RN(R_i)$ 为未消除冗余阅读器时阅读器 R_i 的相邻阅读器集合; $|\bullet|$ 为对应集合内的元素数量。

将阅读器数量设定为 500 个, 然后标签数量从 1000 个开始依次增加 1000 个, 直增至 6000 个, 考察 4 种算法的系统部署性能合理性, 实验结果如图 6 所示。

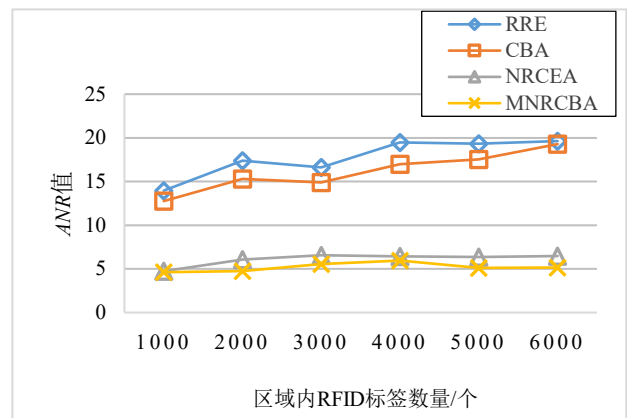


图 6 各算法 ANR 值比较

由图 6 可知: 经 MNRCBA 算法和 NRCEA 算法判别后的 RFID 系统部署性能明显优于 CBA 算法和 RRE 算法, 且 MNRCBA 算法比 NRCEA 算法有较明显优势, 这是因为 MNRCBA 算法的原则是尽可能少的相邻阅读器, 与系统部署性能合理性要求相符合。

4 结论

针对大型 RFID 系统在布设阅读器时,为达到标签全覆盖而导致的冗余阅读器问题,提出一种基于中间件的 RFID 系统冗余阅读器判别算法——MNRCBA 算法。该算法结合 RRE 算法、CBA 算法和 NRCEA 算法的优点,并以读取标签数最多且相邻阅读器最少的阅读器作为优先保留原则,有效提高消除冗余阅读器后 RFID 系统的部署性能。实验仿真结果表明:本文提出的 MNRCBA 算法在冗余阅读器判别效果、RFID 系统标签信息量以及 RFID 系统部署合理性 3 方面均取得较好性能。

参考文献

- [1] 刘畅.RFID 中间件数据处理方法研究[D].南京:南京邮电大学,2017.
- [2] 何涛,刘畅,徐鹤,等.一种基于中间件的 RFID 阅读器去冗余高效算法[J].计算机技术与发展,2017,27(6):27-31.
- [3] CARBUNAR B, RAMANATHAN M-K, KOYUTÜRK Mehmet, et al. Efficient tag detection in RFID systems[J]. Parallel and Distributed Computing, 2009, 69(2): 180-196.
- [4] HSU C-H, CHEN Y-M, KANG H-J. Performance-effective and low complexity redundant reader detection in wireless RFID networks[J]. EURASIP Journal on Wireless Communication and Networking, 2008, 22: 138-145.
- [5] PAN S-Y, YANG Z-Y. A count based algorithm for redundant reader elimination in RFID application system[C]. intelligent system design and engineering applications(ISDEA), 3rd international conference on intelligent system design and engineering application, 2013: 30-33.
- [6] 姜跃.RFID 系统的冗余阅读器消除改进算法 I-RRE[J].计算机工程与应用,2011,47(5):101-103.
- [7] IRFAN N, YAGOUB M-C. Efficient algorithm for redundant reader elimination in wireless RFID networks[J]. International Journal of Computer Science Issues, 2010, 7(3): 1-8.
- [8] 徐伟,杨智应.一种 RFID 网络系统中消除冗余阅读器的高效算法[J].现代计算机(专业版),2015(17):36-41.
- [9] 吕石磊,余顺争.一种基于中间件的 RFID 系统阅读器去冗余算法[J].电子学报,2012,40(5):965-970.
- [10] MA M, WANG P, CHU C-H. A novel distributed algorithm for redundant reader elimination in RFID network[C]. 2013 IEEE International Conference on RFID-Technologies and Application (RFID-TA), 2013: 1-6.
- [11] 郭稳涛,郑剑,李兵.一种高效的 RFID 系统冗余阅读器消除算法[J].东北师大学报(自然科学版),2018,50(3):72-78.

Identification Algorithm for Redundant Reader of RFID System Based on Middleware

Chen Yang^{1,3} Chen Jianze¹ Li Chao²

(1.Guangdong Yunban Intelligent Technology Co., Ltd, Guangzhou 510000, China 2.South China University of Technology, Guangzhou 510000, China 3. Guangdong Computer Academy, Guangzhou 510000, China)

Abstract: In large-scale RFID system, redundant reader identification is an important way to optimize system performance. Firstly, the existing RFID system redundant reader identification algorithms are analyzed and compared; then, combined with the characteristics of each identification algorithm, a middleware based RFID system redundant reader identification algorithm is proposed. Simulation results show that the proposed MNRCBA algorithm can effectively improve the detection rate of redundant readers, and has better system deployment rationality.

Key words: RFID; middleware; redundant reader; identification algorithm

作者简介:

陈阳,男,1984年生,高级工程师,主要研究方向:计算机、电子信息技术应用等。E-mail:gdcc_chenyang@foxmail.com