

一种基于图论的 RFID 防冲突建模与优化方法

陈泰伟, 吴黎明, 吴学文, 项 颖

(广东工业大学 信息工程学院, 广东 广州 510006)

摘 要: 针对 RFID 系统的超高频段、多读写器的静态拓扑结构, 研究读写器冲突问题, 并提出了一种图论的图着色算法与遗传算法相结合的防冲突干扰方法. 该静态预定义算法对读写器冲突建立图论模型, 将读写器时隙分配问题公式化为图论模型的 K-顶点着色问题, 优化遗传算法并用于求解图的 K-顶点着色问题, 以求得读写器网络所需的最小时隙数和最优的时隙分配方案. 最后将该算法应用于实例. 实验结果表明该方法具有可行性和实用性, 并能够有效地防止读写器冲突干扰.

关键词: UHF RFID; 读写器冲突; 图着色; 遗传算法

中图分类号: TP31

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)06-0185-04

An Approach of RFID Anti-collision Modeling and Optimizing Based on Graph Theory

CHEN Tai-wei, WU Li-ming, WU Xue-wen, XIANG Ying

(Faculty of Information Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Based on the study of the UHF RFID reader collision in the multi-reader static topological network, in this paper, a new reader anti-collision approach by making use of graph coloring and genetic algorithm is proposed. By modeling a reader collision graph, this preset algorithm converts time slot assignment into the problem of K-vertex graph coloring, and optimizes genetic algorithms to solve the problem of K-vertex graph coloring, in order to find out the minimum time slot number and its optimal assignment. Finally, this algorithm is applied to an instance. The simulation shows that the reader anti-collision algorithm is effective, practical and feasible for UHF RFID reader to defend collision.

Key words: UHF RFID; read collision; graph coloring; genetic algorithm

1 引言

目前对标签冲突的研究较多, 相关成果丰富, 如基于 ALOHA 法、基于二进制法等, 而对于读写器冲突问题研究较少. RFID 防冲突问题与计算机网络冲突问题类似, 但是由于 RFID 系统中的一些限制, 使得传统网络中的很多标准的防冲突技术都不适于或很难在 RFID 系统中应用^[1]. 本文着重研究多超高频读写器冲突的问题, 并采用图论中的图着色理论与遗传算法相结合, 求出各个节点时隙分配最优解, 从而最小化静态网络中的多读写器冲突.

2 超高频 RFID 冲突问题的分析

超高频 RFID 发射的信号功率很大, 根据 FCC 的规定, 工作在 915 MHz ISM(Industrial Scientific Medical)频段的 RFID 读写器输出功率变换范围为 0~30 dB($P_{\max}=1\ 000\ \text{mW}$)^[2], 无源 UHF RFID 标签采用反向散射调制的工作方式向读写器传送数据. 在理论上, 输出功率越高读写器的读写区越大, 同时其干扰范围也越大^[2]. 当多个读写器同时工作时, 一些读写器的读写区或干扰区有可能与其他临近的读写器的读写区或干扰区相互交叠, 导致冲突, 主要分为两种类型.

2.1 读写器对读写器的频率干扰

假设 UHF RFID 读写器天线为全向天线^[3],则在理论上,其读写区和干扰区可视为球形.当两个读写器之间没有足够的距离时,读写器因使用同一时隙同一频率而屏蔽或干扰了对方的发射和接收信号,导致读写器不能正常工作.此干扰就称为读写器之间的频率干扰.

图 1 所示为读写器间频率干扰的示意图,其中 R_1 为读写区半径, R_2 为干扰区半径,读写器 Read1 位于 Read2 的干扰区,当标签 Tag1 和 Tag2 反向散射回到 Read1 的信号很容易被读写器 Read2 发射的信号干扰,造成 Read1 接收到标签 Tag1 和 Tag2 信号的信噪比降低,无法正常读取标签信息.这种干扰即使两个读写器的读写区域不相互交叠也有可能发生.

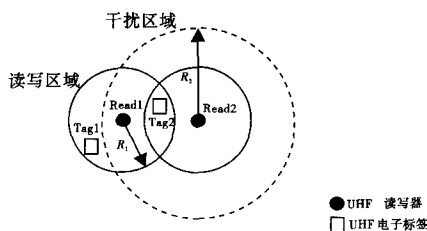


图 1 读写器与读写器之间的频率冲突

2.2 读写器对标签的冲突

当一个 UHF 电子标签同时位于两个或多个 UHF 读写器的读写区域或者干扰区域时,多个读写器同时试图读写电子标签时就会发生读写器与标签的冲突干扰.

如图 2 所示,读写器 Read1 和 Read2 发出的射频信号可能会在标签 Tag3 和 Tag4 上发生冲突,两个标签所接收的信号为两个读写器发射信号的矢量和,生成一个未知的信号,标签无法调制和解调信号,导致标签 Tag3 和 Tag4 都无法被识别.

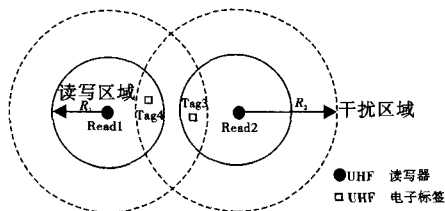


图 2 读写器与标签之间的冲突

当两个读写器的读写区交叠时,也可能产生这种标签冲突,如图 2 中 Tag2 同时受到 Read2 对其产生的标签冲突而不能被识别.

UHF RFID 系统的读写器冲突问题实质就是

信道争用的问题^[2],要保证通信质量,需要协调各个读写器节点的发送与接收,定义各个节点监测问题及其处理方式.目前的读写器防冲突算法可以分为两类:基于竞争(分布式)和基于调度(集中式).基于竞争主要思想是网络中的读写器节点通过竞争机制占用通信资源,其优点是适应动态的拓扑结构,识别效率高;缺点是由于 RFID 的特性,实现复杂,对于密集型网络难以保证 QoS 和公平性,其代表性算法有 CSMA/CA 等.本文针对静态拓扑结构,提出图着色理论与遗传算法相结合的集中调度式 TD-MA 控制算法,解决 RFID 多读写器冲突问题.

3 基于图着色理论的建模与求解

为了有效解决读写器冲突干扰,提高识别效率,减少 RFID 系统复杂度以及算法的开销,本文提出将读写器网络的时隙分配等效为无向图的着色,结合图着色理论,并利用遗传算法的隐并行性和优秀的全局寻优能力,求出最优着色方案.

3.1 读写器网络的建模

UHF RFID 读写器网络可被模型化为一张平面向量多维图 $G=(V, E_f, E_t)$,其中顶点集 V 代表所有读写器,边集 E_f 代表频率干扰,边集 E_t 代表标签干扰,边集 E_f, E_t 分别赋有权值,表示两顶点发生冲突的概率.

当读写器网络 $G_R=(V, E_f, E_t)$ 中的边集 E_f 和 E_t 的权值高于某个阈值时,生成边导出子图 $G_R=(V, E)=(V, E_f, E_t)$,即为干扰图,其中顶点 V 仍然代表读写器,边界 E_{f1} 和 E_{t1} 是边集 E_f, E_t 中的一个子集,表示在读写器工作过程中,该边的两顶点之间将实际发生冲突干扰.

考虑超高频 RFID 工作频率主要位于 ISM 频段(在 860~960 MHz 之间和 2.45 GHz 附近)^[4],频段较窄且与多种无线设备共用此频段,采用多重频率增加读写器成本的同时,势必加重外界无线设备信号对 UHF RFID 系统的干扰.本文采用对顶点 V 着色等效于对读写器进行时隙分配.

本文构造一个由 $N \times M$ 个读写器构成的规则拓扑结构,描述读写器网络如下:

以 $r_{i,j}$ 分析,与 $r_{i,j}$ 产生冲突干扰的邻近顶点 $V_{i,j}=\{r_{u,v} \in V \mid i-1 \leq u \leq i+1, j-1 \leq v \leq j+1, u, v \in N+\}$,数量随着 $r_{i,j}$ 的位置不同而不同,记为 K ;若 $r_{i,j}$ 与 $r_{u,v}$ 着色相同,则其关联边 $e=r_{i,j}r_{u,v}$ 的权值 $P(r_{i,j}, r_{u,v})=1$;否则 $P(r_{i,j}, r_{u,v})=0$. 因此,表 1 对应的模型化为图 3.

表 1 静态规则拓扑结构

	$r_{i-1,j-1}$	$r_{i-1,j}$	$r_{i-1,j+1}$
	$r_{i,j-1}$	$r_{i,j}$	$r_{i,j+1}$
	$r_{i+1,j-1}$	$r_{i+1,j}$	$r_{i+1,j+1}$

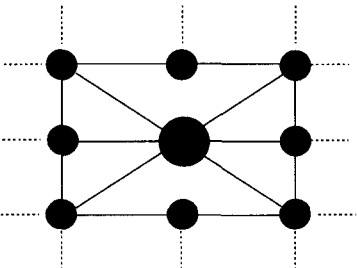


图 3 拓扑结构模型化图

采用 T 个颜色数对 $N \times M$ 个顶点进行颜色分配,从左到右,从上到下,对每个顶点着色颜色,设 $N \times M=3 \times 3=9$,颜色集为 $\{1,2,3\}$,分配方案 $X=[3 \ 1 \ 1 \ 2 \ 3 \ 1 \ 2 \ 2 \ 1]$,其干扰图为图 4。

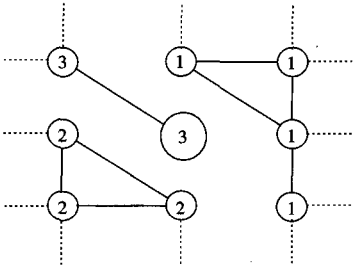


图 4 干扰图

顶点 $r_{i,j}$ 所受冲突干扰程度定义如下:
顶点冲突程度=干扰图中 $r_{i,j}$ 关联边个数/完全图中 $r_{i,j}$ 关联边个数

公式化为

$$E(r_{i,j})=\sum_{\substack{u \neq i, v \neq j \\ u \in N, v \in M}} P(r_{i,j}, r_{u,v})/K \tag{1}$$

$E(r_{i,j}) \in [0,1]$,值越低则冲突越小。

评价着色方案的好坏取决于各个顶点着色后总的颜色重复程度,记为

$$\text{Collisionvalue}=\sum_{i \in N, j \in M} E(r_{i,j}) \tag{2}$$

归一化为

$$\text{Collisionvalue}=\frac{\sum_{i \in N, j \in M} E(r_{i,j})}{N \times M} \tag{3}$$

根据式(1)~(3),求得分配方案 X 中各个顶点的冲突程度为 $E(X)=[1/3, 2/5, 2/3, 2/5, 1/8, 3/$

$5, 2/3, 2/5, 1/3]$, X 的整体冲突程度为 $3.925/9=0.436 \ 1$,显然,该分配方案不宜采纳.求时隙分配最优解,就是求该 Collisionvalue 的最小值。

3.2 基于遗传算法的优化求解

图着色是一个困难的 NP-完全问题,不存在多项式时间的精确算法^[5],但是,可以运用启发式算法对图着色问题进行求解.遗传算法是一种借鉴生物界自然选择和自然遗传机制的随机搜索算法,具有良好的全局搜索性能,减少了具备最优解的风险,鲁棒性强,适用于并行处理,搜索不依赖于梯度信息^[6],为问题提供了通用求解框架,逐渐成为重要的智能算法之一。

本文运用遗传算法求解类似表 1 的静态拓扑结构的 K -着色方案,其中 K 为最小颜色数(时隙数)。

基于表 1 的静态拓扑结构,用 K 个颜色数对 $N \times M$ 个顶点进行染色编码,采用基本字符的编码机制,将每个颜色视为染色体中一个基因, $N \times M$ 决定了染色体长度。

算法求解的部分伪代码:

```
.....
For Colorcount=max, -1, min
(1) 创建基向量,并创建基本字符编码的初始种群;
(2) 根据式(1)~(3),求得每个个体的干扰程度 Collisionvalue;
While 迭代次数 gen≤Maxgen
(3) 对干扰程度向量基于排序方式的适应度分配;
(4) 采用随机遍历抽样方式从种群选择部分个体,比例取决于代沟 GGAP;
(5) 以交叉概率对有序染色体对进行杂交,更新种群;
(6) 根据基向量,以变异概率对染色体中的某个或某一些基因进行变异,生成新种群;
(7) 重新计算最新种群中染色体的干扰程度;
.....
(8) 可获取对应 Colorcount 的最小干扰程度,及其对应的分配方案;
.....
End
.....
(9) 比较不同 Colorcount 的最小干扰程度,得出最小颜色数(时隙数),以及对应最优分配方案;
.....
```

End

.....

4 仿真与结果分析

根据表 1 所示的拓扑结构,选取四组实验,相关参数如表 2 所示,每组问题均求解 10 次. 本文使用 Matlab R2010a 及英国 Sheffield 大学遗传算法工具箱对问题进行求解. 最小时隙数的求解结果如表 2 所示.

表 2 各实验组的参数设置及仿真结果

读写器 规模 $N \times M$	种群 规模	代沟 GGAP	交叉 率 P_c	变异率 P_m	迭代 次数	仿真结果 最小时隙数
3 * 3	40	0.9	0.8	0.7/9	500	4
4 * 5	60	0.9	0.8	0.7/20	500	4
7 * 7	80	0.9	0.8	0.7/49	500	5
6 * 10	100	0.9	0.8	0.7/60	500	6

对第四组 6 * 10 进一步实验,分析求解其求解最小时隙数的过程,及其对应最优分配解. 图 5 所示为 6 * 10 个读写器在不同时隙数下的最小冲突程度和平均冲突程度的变化曲线.

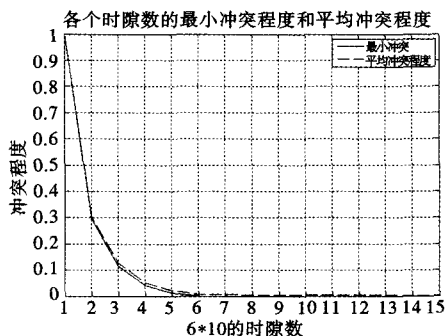


图 5 最小时隙数的求解

根据图 5 所求的最小时隙数 6 对 6 * 10 拓扑结构求解最优分配方案,其对应的遗传算法的性能图如图 6 所示.

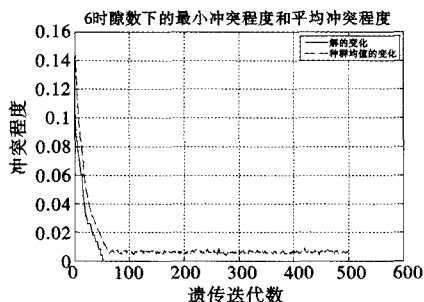


图 6 6 * 10 读写器拓扑结构在 6 时隙下的性能图

用 6 个时隙数[0,1,2,3,4,5]对 6 * 10 拓扑结构分配时隙,对应的一组最优分配方案如下:

5	2	5	3	5	1	5	2	1	3
0	3	1	4	0	4	0	3	0	2
4	2	0	5	2	1	2	1	4	5
3	5	1	3	4	0	4	5	2	3
4	2	0	5	2	5	2	3	4	1
1	5	3	4	3	1	4	0	5	0

表 2 表明了有效的最小时隙数与读写器网络拓扑结构相关,所求结果符合了图论的平面着色的四色猜想和五色定理.

由图 5 可知,时隙数越小,系统的冲突干扰可能性越大,但是如果时隙数过大,虽然解决了超高频 RFID 系统的冲突,但是读写器的响应时间将越长,制约了系统的实时性和可靠性. 合理的选择最小时隙数,可以解决了静态网络中超高频 RFID 的冲突干扰,同时保证了 RFID 系统的吞吐率,避免了读写器的响应时间过长.

图 6 中显示了 6 时隙下,超高频 RFID 系统求解最优分配方案的求解过程,其冲突程度随着遗传算法迭代,最终获得时隙值的最优分配. 多次实验计算,平均迭代次数为 50 次.

本文的遗传算法根据不同的读写器拓扑结构,设计不同的参数和遗传算子,能够有效克服算法早熟收敛,保证求解的正确性.

5 结束语

本文针对多读写器冲突干扰进行了研究,在分析读写器冲突原因及分类的基础上,提出图着色与遗传算法相结合算法. 该算法中将对读写器时隙分配公式化为图着色,并运用遗传算法的全局寻优能力,确定最终的时隙分配方案. 仿真结果说明了该算法能有效防止读写器冲突干扰程度,保证系统实时性和可靠性,降低了算法复杂度,提高算法效率.

参考文献:

- [1] 吴博,周铜,王栋. RFID 防碰撞算法分析与研究[J]. 微电子学与计算机,2009,26(8):237-242.
- [2] 白煜. 超高频射频识别(UHF RFID)系统抗干扰策略的研究[D]. 天津:天津大学,2009.
- [3] 康东,石喜勤,李勇鹏,等. 射频识别(RFID)核心技术与典型应用开发案例[M]. 北京:人民邮电出版社,2008.
- [4] 韩益峰. 射频识别读写器的研究与设计[D]. 上海:复旦大学,2005.

(下转第 192 页)

表 4 部分规则在各子数据集的支持度

ID of rule	Data1	Data2	Data3	Data4
3	0	0.172 1	0	0
12	0.132 0	0.038 1	0.021 1	0.072 1
31	0.162 5	0.025 2	0	0
38	0	0	0.021 2	0.125 6
46	0.032 1	0.024 1	0.152 3	0.030 2
53	0.134 2	0.042 1	0.020 3	0

从表 4 中可以得到支持度比较高的规则:第一季度的规则 12、31、53,第二季度的规则 3,第三季度的规则 46,第四季度的规则 38. 很明显地可以看到这些规则在其中一个季度中的支持度远大于平均支持度 $\text{Ravgsupp}(p)$. 对于规则 3,它在 Data2 的模式集中度 $\text{centr}(p)$ 显然比较大,同样规则 38 和规则 46 在 Data4 和 Data3 的模式集中度 $\text{centr}(p)$ 也比较大,则可以将这些数据再细分时间间隔,运行算法第三、四步,再次挖掘与这几个规则相关的模式.

最后,运行算法第五步,除去不需要的规则,保留有用的规则.

实验结果表明,该算法可以挖掘出有用的时态关联规则.

4 结束语

本文提出一种改进的时态关联规则算法,将数据集按时间属性划分成若干个子数据集,时间加入到事务的项集中,并给出了模式平均支持度、数据集平均支持度、模式集中度等相关定义,可挖掘出单个或不同时间区间上的关联规则以及跨时间区间和跨事务的关联规则,并经过了实验的证明. 该算法在实际应用中有较大的意义,可对企业数据、股票数据、银行数据、气象数据等时态数据进行分析和研究.

参考文献:

(上接第 188 页)

- [5] 韩丽霞,王宇平. 图着色问题的新遗传算法[J]. 西安电子科技大学学报:自然科学版,2008,35(2):309-313.
- [6] 胡平,彭记奎. 粗糙集-遗传神经网络在挖掘机故障诊断中的应用研究[J]. 微电子学与计算机,2011,28(3):55-58.

作者简介:

陈泰伟 男,(1986—),硕士研究生. 研究方向为无线射频、

- [1] Agrawal R et al. Mining association rule between sets of items in large database[C]//Proc the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Washington:IEEE,1993:207-216.
- [2] Agrawal R. Fast algorithms for mining association rules[C]//Proc the 20th International Conference on Very Large DataBases, Santiago de Chile:IEEE, 1994:478-499.
- [3] Ale J M,Rossi G H. An approach to eiscovering temporal association rules [C] // Proc of the 2000 ACM Symp on Applied Computing. [s. l.]:ACM, 2000:294-300.
- [4] Chen X,Petrounias I,Heathfield H. Discovering temporal association rules in temporal databases[C]//Proc IADT 98,1998:371-376.
- [5] 辜炜东. 事务数据库中的时态信息挖掘[J]. 计算机工程与应用,2004(18):174-175
- [6] 欧阳为民,蔡庆生. 在数据库中发现具有时态约束的关联规则[J]. 软件学报,1999,10(5):527-532.
- [7] 李少年,孟志青. 双事件时态关联规则的知识发现问题[J]. 计算机科学,2001,29(8):71-73.
- [8] Yingjiu li,Peng Ning. Discovering calendar based temporal association rules[J]. Journal Datu Knowledye Engineering-Special issue: Temporal representation and reasoning, 2003,44(2):193-218.
- [9] Agrawal R,Srikant R. Mining sequential patterns[J]. IEEE Computer Society,1995,16(3):3-14.
- [10] 曾德胜,张师超. 大型时态数据库中的 Burst 模式挖掘[J]. 计算机应用,2006,26(10):2413-2416.

作者简介:

陈 宫 男,(1976—),硕士,讲师. 研究方向为云计算、数据挖掘.

牛秦洲 男,(1956—),博士,教授. 研究方向为网络控制.

人工智能、信息系统.

吴黎明 男,(1964—),教授,硕士生导师. 研究方向为光机电一体化关键技术、数字图像处理技术.

吴学文 男,(1985—),硕士研究生. 研究方向为嵌入式系统开发.

项 颖 男,(1968—),博士,教授,硕士生导师. 研究方向为平板显示器件、电信企业数据仓库的规划和设计.