

# 基于 RFID 及其路径约束的生产检查流程控制

郑超,高茂庭,吴爱华

(上海海事大学 信息工程学院,上海 201306)

**摘要:**针对生产检测流程控制中,产品可能会沿着多种工位流动,且工位的执行顺序是复杂的问题,文中提出了一种基于 RFID 及其路径约束的生产检测流程控制方法。该方法在产品上贴有 RFID 标签,在产品经过的生产检测工位上安装有阅读器;产品按固定的工位操作顺序进行生产检测,当贴有标签的产品经过每一个工位时就能被阅读器识别,从而判定产品经过的生产检测流程是否按照规定的顺序执行,将这一顺序称之为路径约束。使用 NFA 构造贴有 RFID 标签的产品在生产检测流程中所需要遵守的工位执行顺序(路径约束)。利用构造好的路径,按照设计好的算法先过滤 RFID 数据流,使用清洗后的数据流进行生产检测流程的控制。实验结果表明该算法能有效地控制生产检测的流程。

**关键词:**流程控制;RFID;NFA;数据清洗;路径约束;数据挖掘

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)02-0225-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.02.051

## Production Testing Process Control Based on RFID with Path Constraint

ZHENG Chao, GAO Mao-ting, WU Ai-hua

(College of Information Engineering, Shanghai Maritime University,  
Shanghai 201306, China)

**Abstract:** For the problem that in production testing process control, the goods may flow along with a variety of workstations, and the order of execution is complex, propose a production testing process control method based on RFID with path constraint. With RFID tags in a product, this method needs the product pass on the station which is equipped with RFID readers and through the fixed location with sequence. The readers can recognize it when the product passing each workstation, then determine whether the product after the workstation is in accordance with right order, and this order is called path constraint. Use the NFA to construct the workstation execution sequences (path constraints) which the moving product with RFID tags needs to follow. Applying the path that has been constructed well, filter the RFID data with the algorithm designed, and then control the flow with the cleaned data. Experimental results show that the algorithm can control the production testing process effectively.

**Key words:** process control; RFID; NFA; data cleaning; path constraints; data mining

## 0 引言

生产是一个企业活动的中心,企业需要考虑影响生产的各种因素;企业生产产品的效率和质量是决定一个企业是否成功的关键,而决定这一关键的是企业的生产检测流程控制。生产检测流程控制是产品生产过程中的重要环节,好的生产检测流程控制可以提高企业的生产效率,保证产品的质量。产品生产的流程一般包括原材料采集、加工、检验和运输过程等等。一般的生产检测流程都是按照设定好的步骤来进行,因

此生产检测流程的重点就是如何有效地控制流程的执行与检测。

RFID(Radio Frequency IDentification)是一种无线射频识别技术,其应用射频识别信号对目标物进行识别。射频识别技术是一种内建无线芯片的技术,芯片中可储存一系列信息。射频识别产品的体积可做的极小,并可附着于需要辨别的实体上,以非接触的方式快速读取其储存信息。射频识别技术从 20 世纪 80 年代开始走向成熟,发展迅速,目前已广泛应用于物流管

收稿日期:2014-03-01

修回日期:2014-06-04

网络出版时间:2014-12-27

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61202022)

作者简介:郑超(1991-),男,硕士,研究方向为数据挖掘;高茂庭,博士,教授,系统分析员,CCF 高级会员,研究方向为数据挖掘、数据库与信息系统;吴爱华,副教授,博士,研究方向为数据质量、数据挖掘等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20141227.1341.016.html>

理、供应链管理<sup>[1]</sup>和监控系统等各个领域。

鉴于目前一些企业使用的光电控制方法只能统计产品经过了工位次数,而不能确定是哪种产品经过了工位,且在出现错误时无法准确定位,于是在生产检测流程中使用 RFID 技术,可以很好地追踪确定某一产品是否按照规定的流程来进行生产检测,这种规定的流程即为路径约束。

路径约束<sup>[2]</sup>是规定贴有 RFID 标签的产品必须按照某些特定的路径进行移动。产品生产检测流程中,在需要经过各个工位操作的产品上,贴有 RFID 标签,这个标签具有唯一的标签号(Tag ID),它可以代表生产的产品。产品在生产检测流程中会沿着特定的路径移动,在这样的路径中的每个工位放置阅读器,当产品经过这个工位时,阅读器就能读取到贴在产品上的 RFID 标签,产品即可被阅读器识别,从而产生 RFID 数据流,进而可以方便地判定产品的运动轨迹是否符合生产检测的流程。

在路径约束的基础上使用 NFA(Non-deterministic Finite Automaton)模型来表示贴有 RFID 标签的产品移动时需要经过的路径。根据读取到的 RFID 数据流来控制产品生产检测的流程,使得生产检测流程更加自动化,降低生产成本。但由于 RFID 数据流的不确定性,尤其是漏读的发生率在 30% 以上<sup>[3-4]</sup>,要想使产品生产检测流程控制中能放心地使用 RFID 数据,就需要对其进行一系列的清洗操作。目前对于 RFID 数据流的清洗主要是在漏读、错读和冗余方面<sup>[5-10]</sup>。

鉴于生产检测流程中,生产检测可能会经过多种复杂的路径,文中考虑了多种路径下的生产检测流程控制方法。首先是对读取到的 RFID 数据流进行清洗,然后使用清洗后的数据进行生产检测流程的控制。

### 1 NFA 模型与路径表示

不确定的有穷状态自动机(NFA)<sup>[11]</sup>是一种表示状态转变的图;在文献[12]中也使用了 NFA 进行复杂事件的序列扫描,文章的原理与其有相似之处,但根本目的不同。此处是为了生产检测流程的控制,文献[12]是为了复杂事件的扫描和构造。

图 1 给出一个现实中产品生产检测过程的简单例子,从原材料到成品包装需要经过多次加工和质检的工位。在每一个工位处都放置有阅读器,当产品经过

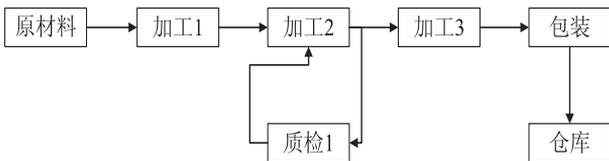


图 1 产品生产检测流程实例

每个工位时,阅读器就可以读取到贴有 RFID 标签的产品。

为了使用 NFA 描述出生产检测流程控制的路径约束图,将图 1 简化为一个路径约束的图,如图 2 上部分所示,每一个点代表图 1 中放置阅读器的工位,例如 A 点代表原材料工位,B 点代表加工 1 的工位,C、E 代表加工 2 和质检 1 之间需要经过多次循环操作,其余点与之类似,H 点代表产品生产完成进入仓库。有向边代表产品及其标签移动的方向。

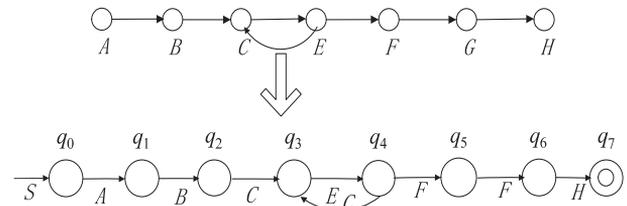


图 2 生产检测流程路径约束图

得到图 2 上部分的生产检测流程路径约束图后,使用 NFA 的方式将其表示出来,如图 2 下部分所示。

分析对于图 2 上部分如何表示成图 2 下部分的过程。NFA 是在一个起始状态  $q_0$ ,当 A 数据读到时,其跳转到了图中的  $q_1$  状态,这代表该标签经过了图 2 上部分的 A 点,即被 A 处的阅读器读取到;在到达  $q_3$  状态后,当读取到 E 数据时跳转到  $q_4$  状态,这时存在一条回路,在  $q_4$  状态时可以读取到 C 数据又跳回到  $q_3$  状态;NFA 图在读取到 H 数据时,终止于  $q_7$  状态。

使用 NFA 可以表示出生产检测过程中产品可能移动的任何复杂的路径,包括环路、多路径和特殊路径等。

### 2 生产检测流程控制算法

生产检测流程中,如果产品没有按照预定的工位流程执行,会给整个生产检测过程带来隐患。在这一章节中,基于 RFID 及其路径约束的方法,来进行产品生产检测流程的控制的算法设计。算法分为两步:第一步进行贴有 RFID 标签的产品被阅读器读到的 RFID 数据流的清洗,第二步使用清洗后的数据进行生产检测流程的控制。首先给出基于 RFID 及其路径约束的基本生产检测流程控制算法,然后再阐述多路径和特殊路径两种情况下生产检测流程的控制,并论述其与基本算法的不同之处。

#### 2.1 基本算法

理想情况下,阅读器在识别产品时没有漏读、错读数据,如果数据流中存在漏读、错读,则代表产品没有按规定路径经过某一工位,生产检测流程出现错误,监控系统发出警告。但实际中,这样频繁的报警是多余的且浪费人力的,因为很多数据的错读、漏读是由于阅

读器的漏读和多读造成的,为此应该先进行 RFID 数据的处理(清洗数据),然后再进行判断。

对于路径的结构,使用有向图的邻接表描述出来。设定图中环路需要重复循环  $N$  次,定义整型参数为  $p$  和  $i$ ,初始值都设为 0,定义一个字符型参数  $x$ ,用于存储读取到的字符。使用一个文件存贮读到的 RFID 数据流。每次补漏一个数据,则  $i++$ ,如果最终  $i$  的结果大于设定的阈值  $M$ ,系统提示生产检测流程漏读过多,不安全。对于处理后的数据流,统计环路发生的次数,经过一次环路  $p++$ ,如果最终  $p$  不等于  $N$ ,则报警提示产品没有按照规定的流程执行。

对于冗余读的处理,有两种方法:一是只保留“最新鲜”的数据,即最近发生的事件,这在现实中是有意义的,例如超市中的物品,一般只考虑其在某一位置最后出现的时刻,这样可以避免多余的数据处理,减少空间的消耗;二是算法只保留“最先出现”的数据,这对于一些实时性要求很高的应用非常重要。

假定算法当读到图中首数据时开始进行下列操作,读到尾数据时结束,作为一次统计。只要有 RFID 数据流,一直执行,定义两个阈值  $N$  和  $M$ ,用文件指针  $fin$ (读)、 $fout$ (写)表示打开后的两个 txt 文档, $fin$  中有阅读器读取到数据流,定义当前节点  $cur$ ,初始设置为有向图的首节点  $S$ 。

算法是使用路径约束的有向图结构顺序匹配 RFID 数据流进行数据清洗。清洗过程中设置  $cur$  为有向图中已经处理过的顶点,对于下一个读数使用变量  $x$  存储,考虑  $cur$  可能有多个邻接点,算法需要遍历其邻接点。如果  $cur$  的邻接点中有值等于  $x$  的顶点,则说明  $x$  是正确的读数,把  $x$  写入文件  $fin$ ,并把  $cur$  设为值等于  $x$  的顶点。如果  $cur$  的邻接点中没有找到顶点的值为  $x$ ,则需要遍历  $cur$  邻接点的邻接点,如果找到值等于  $x$  的顶点,则说明漏读了  $cur$  之后的某一顶点,把漏读的顶点写入文件  $fin$ ,并把  $cur$  设为值等于  $x$  的顶点,否则  $x$  是错读或冗余读,直接删除。算法中处理冗余是只保留最先出现的数据,冗余和错读的处理方式相同。

进行生产检测流程控制的前提是使用干净的 RFID 数据流,图 3 左部分是 RFID 数据流处理的流程图。算法假定 RFID 数据流都是时间有序的,RFID 数据流的时间戳乱序问题已在文献[13]中解决。

使用处理后的 RFID 数据流进行生产检测流程控制的算法流程图,如图 3 右部分所示。算法能高效地解决漏读、错读和冗余读,但对于漏读,算法暂时没有考虑复杂的漏读情形,如果需要处理复杂的漏读情况,算法的复杂度将会显著增加,这些将会在今后的研究中进行改善。

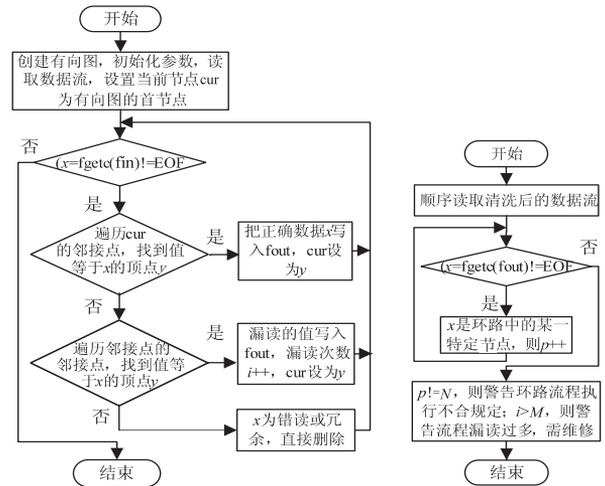


图 3 生产检测流程控制图

## 2.2 多路径下生产检测流程控制方法

在某些产品生产检测流程中,可能会出现复杂的路径情况,在这一小节中,分别论述多路径和特殊路径下的生产检测流程控制方法,然后讨论算法在某些路径下的局限性。

### 2.2.1 多路径下生产检测流程控制

对于阅读器产生的数据流,考虑有多路径,多个标签情况下,处理方法:对于得到的数据流,首先根据 Tag ID 进行分类,然后根据算法分别进行数据清洗和生产检测流程控制。

需要注意的是,如果标签走的路径都是固定的话,且出现图 4 的这种路径时,不能简单地只是使用基本算法进行清洗。对于每一个 Tag ID 的数据处理,如果出现错读时,算法要提出警告,产品生产检测流程执行错误。这种异常路径需要及时反馈给负责人员,否则会生产带来隐患。举例说明,设 Tag 1 规定的路径是  $A、B、C、D、E$ ,如果根据 Tag ID 分类后的数据里是  $A、B、L、D、E$ ,不能简单地使用基本算法进行处理,把  $L$  数据当成错读处理并补漏  $C$  数据,因为这可能是产品生产检测流程经过了错误的工位流程,此时必须提示警告。这是多路径下处理方式与基本算法的不同之一。

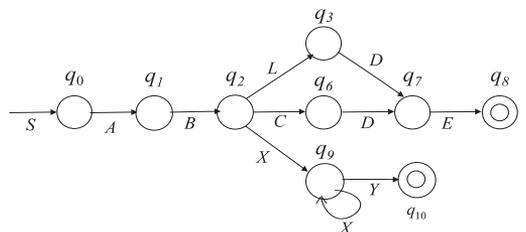


图 4 多路径复杂的情况

### 2.2.2 特殊路径下生产检测流程控制处理

如果对于每一个产品,其生产检测流程已经固定,用上述的方法就可以处理。现在考虑在多路径下,且在某一工位处流程执行方向不确定的情况下,如图 5

所示,对于某一 Tag,在经过 A 后,其可能经过三条不同的选择路径,然后又回归到同一路径,如果读取到的数据流为 A、E、F、G,无法确定标签经过了 B、C 或 D 中的哪一个,此时可以参考历史 RFID 数据值,使用数据挖掘的知识解决这一漏读问题的判定。

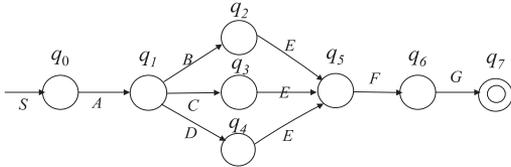


图5 存在漏读数据的判定问题

算法需要使用 RFID 读数的时间属性,即阅读器读取标签经过工位的时间。RFID 数据可以用一个三元组来表示 (Reader ID, Tag ID, Time), 在进行数据处理时,针对图中特定的多路径进行判断,如图6给出的是特殊路径下的数据清洗流程图。

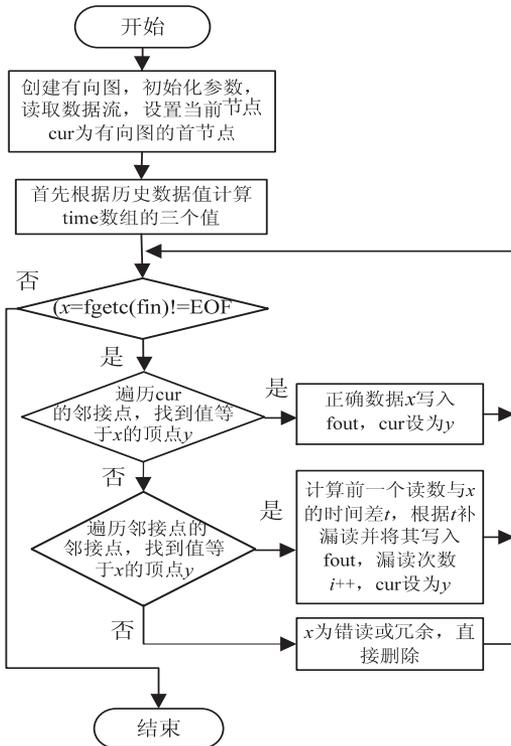


图6 特殊路径下数据清洗算法流程图

与基本算法不同的是,首先是数据的格式,其次是在判定比如数据 A 和 E 之间有漏读时,不是按基本算法直接补漏,而是根据数据之间的时间差进行补漏。首先根据历史的数据值,在以往的数据流中,挖掘数据流中数据之间的联系。根据图5,这里主要挖掘当出现 A、B、E、F、G 数据流时 A 和 E 之间的时间差。使用一个数组 time[3] 来存储求得的时间差;首先求得数据流中,当存在 B 数据时 A 和 E 之间时间差的平均值,赋给 time[0];同理根据历史数据值计算 time[1] (出现 A、C、E、F、G 时 A 和 E 之间的时间差) 和 time[2] (出现 A、D、E、F、G 时 A 和 E 之间的时间差)。实

际数据清洗中,在遇到 A 和 E 之间有漏读时,计算 A 和 E 发生的时间差  $t$ ,取 time 数组中与  $t$  差的绝对值最小的所代表的顶点补漏。目前只是使用数据之间的时间差这一性质(或称约束)来进行简单的判定,现实中可能需要根据多种因素综合判断,如路径的交通状况等等。流程控制方法与基本算法相同。

算法能有效地解决特殊路径的流程控制问题,但其和基本算法中的处理路径不能兼容,这是由于特殊路径中经过 BCD 的路径又都回归到 E 中,这和基本算法处理情况不同。解决的方法就是增加在多路径下是否又回归到同一路径中的判定处理。

### 2.2.3 算法的局限性

然而这里提出的方法也存在一定的局限性,比如在生产检测的路径中,某一节点上存在多条回路,这时无法处理漏读和多读的判定,因为其也有可能是正确的数据流(没有经过环路时)。

## 3 实验分析

为了验证提出的算法的有效性,采用模拟图1生产检测流程中的应用场景。实验方法是,人为地在数据流中添加在此应用场景下可能出现的漏读、错读和冗余读,首先清洗 RFID 数据流,再使用清洗后的数据统计分析出生产检测的执行流程是否按照规定的步骤来执行。

算法在生产检测流程出现错误时,能正确报警。若环路执行次数没有达到设定的次数,能提示警告:没有按照规定的次数执行。数据漏读率较高时,提示监控系统损坏严重,需维修。

实验结果表明,脏数据的比例越高,算法处理的时间越长,这是因为处理脏数据时,算法需要进行更多的判断处理,而正确的数据只需要判断处理一次。

算法的复杂度分析:在数据量为  $n$  的情况下,算法需执行  $n$  次,设生产检测流程中,需要经过的工位数量为  $k$ ,那么每次执行中,遍历比较的次数小于等于  $k$ ,因此算法在最坏情况下时间复杂度为  $O(nk)$ ;最好情况下,RFID 数据流里没有脏数据,每次只比较一次,时间复杂度为  $O(n)$ 。

## 4 结束语

使用 RFID 及其路径约束进行生产检测流程的控制,能有效解决多种路径下的生产检测流程控制。文中提出了生产检测流程控制解决的方案,首先通过 RFID 阅读器识别贴有标签的产品运动轨迹,然后进行 RFID 数据的清洗,最后使用清洗过后的数据进行生产检测流程的控制;还提出了使用数据挖掘技术解决特殊路径下的生产检测流程控制问题。

今后还会将生产检测流程的控制设计成一个系统,使其能广泛应用于企业的生产检测流程控制中;分析针对不同的应用场景,按照什么样的生产流程控制步骤能使得控制的效率和效果最好,还会考虑更多的约束情形,使得生产检测流程控制的安全性更高。目前,提出的算法不能处理在某一点上有多个循环的路径,这将在未来的研究中寻找解决的方法;还会进一步将数据挖掘技术应用在生产检测控制领域,考虑更多地影响产品移动的因素,以解决一些生产检测流程控制中遇到的复杂、难以判断的路径问题。

#### 参考文献:

- [1] Garfinkel S, Rosenberg B. RFID: applications, security, and privacy[M]. [s. l.]: Pearson Education India, 2006.
  - [2] Inoue S, Hagiwara D, Yasuura H. Systematic error detection for RFID reliability[C]//Proc of the first international conference on availability, reliability and security. Austria: IEEE Computer Society, 2006: 280-286.
  - [3] Floerkemeier C, Lampe M. Issues with RFID usage in ubiquitous computing application[C]//Proc of the 2nd international conference on pervasive computing. [s. l.]: [s. n.], 2004: 188-193.
  - [4] Hahnel D, Burgard W, Fox D, et al. Mapping and localization with RFID technology[R]. [s. l.]: Intel Research, 2003.
  - [5] 王妍, 石鑫, 宋宝燕. 基于伪事件的 RFID 数据清洗方法[J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(S): 270-274.
  - [6] 吴爱华. 多固定阅读器下基于路径约束的 RFID 数据清洗算法[J]. 计算机研究与发展, 2011, 48(S): 282-289.
  - [7] 李战怀, 聂艳明, 陈群, 等. RFID 数据管理的研究进展[J]. 中国计算机学会通讯, 2007, 3(2): 32-40.
  - [8] Jeffery R, Alonso G, Franklin M, et al. A pipelined framework for online cleaning of sensor data streams[C]//Proc of ICDE. Atlanta: IEEE Computer Society, 2006: 773-778.
  - [9] 王秋棠, 王鹏, 周皓峰, 等. 基于滑动窗口的概率数据流上的聚集查询[J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(S): 169-174.
  - [10] 谷峪, 于戈, 李晓静, 等. 基于动态概率路径事件模型的 RFID 数据填补算法[J]. 软件学报, 2010, 21(3): 438-451.
  - [11] 蒋宗礼, 姜守旭. 形式语言与自动机理论[M]. 第2版. 北京: 清华大学出版社, 2013.
  - [12] Wu E, Diao Yanlei, Rizvi S. High-performance complex event processing over streams[C]//Proc of ACM SIGMOD. [s. l.]: [s. n.], 2006: 407-418.
  - [13] 刘海龙, 李战怀, 陈群. 乱序 RFID 数据流上的复杂事件检测方法[J]. 西北工业大学学报, 2009, 27(4): 449-454.
- 
- (上接第 224 页)
- [4] 汪同三, 张涛. 组合预测—理论、方法及应用[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2008.
  - [5] 陈青. 在高层建筑沉降预测中组合模型的应用研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2011.
  - [6] 孙光民, 李岩, 王鹏, 等. 用于神经网络手写体字符识别的自适应归一化处理方法[J]. 模式识别与人工智能, 2005, 18(3): 268-272.
  - [7] 崔吉峰, 乞建勋, 杨尚东. 基于粒子群改进 BP 神经网络的组合预测模型及其应用[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2009, 40(1): 190-194.
  - [8] Ham F M, Kostanic I. 神经计算原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
  - [9] 杨梅, 卿晓霞, 王波. 基于改进遗传算法的神经网络优化方法[J]. 计算机仿真, 2009, 26(5): 198-201.
  - [10] Zhao Z, Luo Z, Zhang W. Real estate investment risk assessment based on GABP algorithm of neural network[J]. International Journal of Digital Content Technology & Its Applications, 2012, 6(3): 122-131.
  - [11] 田雨波. 混合神经网络技术[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
  - [12] 张国强, 彭晓明. 自适应遗传算法的改进与应用[J]. 舰船电子工程, 2010, 30(1): 83-84.
  - [13] 李剑, 景博. 自适应遗传算法在多方多议题协商中的应用[J]. 北京邮电大学学报, 2008, 31(6): 67-70.

#### 4 结束语

文中针对海洋环境下武器装备效能的组合预测问题,首先构建了基于 BP 神经网络的组合预测模型,然后对于 BP 神经网络的固有缺点构建了基于 AGABP 的组合预测模型和详细的实现步骤,最后在实际的预测过程中与单项预测作了比较。通过组合预测,充分利用各个单项预测的结果,减小预测的相对误差,降低单一模型选取不当的风险性,验证了基于 AGABP 的组合预测模型的有效性和合理性。

#### 参考文献:

- [1] McLaughlin J W, Henderson S. Applying globe measurements and resources to the study of marine environments[C]//Proceedings of MTS/IEEE Oceans. [s. l.]: IEEE, 2005: 2621-2624.
- [2] Huang Y Y. A methodology of simulation and evaluation on the operational effectiveness of weapon equipment[C]//Proc of 2009 Chinese control and decision conference. Guilin, China: [s. n.], 2009: 17-19.
- [3] Bates J M. The combination of forecasts[J]. Operational Research Quarterly, 1969, 20(4): 451-468.

# 基于RFID及其路径约束的生产检查流程控制

作者: [郑超](#), [高茂庭](#), [吴爱华](#), [ZHENG Chao](#), [GAO Mao-ting](#), [WU Ai-hua](#)  
作者单位: [上海海事大学 信息工程学院, 上海, 201306](#)  
刊名: [计算机技术与发展](#)   
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)  
年, 卷(期): 2015 (2)

引用本文格式: [郑超](#). [高茂庭](#). [吴爱华](#). [ZHENG Chao](#). [GAO Mao-ting](#). [WU Ai-hua](#) [基于RFID及其路径约束的生产检查流程控制](#) [期刊论文] - [计算机技术与发展](#) 2015 (2)