

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.06.032

基于 RFID 的智能分拣系统应用与研究

朱洪波

(中铁一院 轨道交通工程信息化国家重点实验室,陕西 西安 710043)

摘 要:针对动车运用所列车检修过程中存在的工具物料分拣效率低下、工具容易遗漏等问题,研究一种以射频识别(RFID)为核心的数据存储和数据识别技术,并结合该技术构建与应用了工具物料的智能分拣系统,实现了工具物料区域的自动规划和定位,在有效解决上述问题的同时,减少了人力投入,提高了列车检修效率。

关键词:射频识别;列车检修;工具物料;智能分拣;自动规划

中图分类号:U279.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2025)06-0173-05

Application and Research of Intelligent Sorting System Based on RFID

ZHU Hongbo

(State Key Laboratory of Rail Transit Engineering Informatization, First Institute of China Railway, Xi'an 710043, China)

Abstract:In view of the low efficiency of tool and material sorting and the easy omission of tools in the process of train maintenance, this paper studies a data storage and data identification technology with RFID as the core, and by combining with the technology, builds an intelligent sorting system for tool and material realizing the automatic planning and positioning of tool and material area, which reduces labor input and strengthens train maintenance efficiency.

Keywords:RFID; train maintenance; tool material; intelligent sorting; automatic planning

0 引言

动车运用所内检修作业的效率 and 安全性直接影响铁路运营企业的效率和效益^[1]。近几年来随着铁路通线网规模的快速扩张和列车保有量的急剧增加,工作人员面临着检修工作流程复杂、劳动强度大、应用系统智能化程度低、操作效率低下等问题^[2],严重时将发生设备损坏、作业安全事故等。目前,国内检修工具物料主要采用人工分拣、班组自行领取的形式进行人工分拣效率低下,容易造成工具遗漏,并且使用记录本进行登记,会造成借还记录查询困难等,严重影响了动车检修效率。

RFID 技术即射频识别技术,是通过射频信号空间的电磁或电感耦合来识别追踪特定目标并读写数据,从而实现非接触式自动识别。该技术的抗干扰能力好,识别速度快,读取距离远,数据可更新可加密,与传统识别技术相比其具有更大的存储容量^[3]。它能够自动完成信息的采集与处理,广泛应用于产品的自动化生产和运维平台,对于提升供应链管理水平和降低生产运维成本有着

举足轻重的作用^[4]。因此结合 RFID 技术,实现在列车检修过程中工具物料的智能分拣是目前最简便、最有效的方式之一。

本文在已有研究的基础上,设计了一种基于 RFID 技术的工具物料智能分拣系统,实现了对工具物料在收纳箱内存放位置的合理规划以及定位,提高了分拣效率。

1 RFID 技术原理及发展现状

1.1 技术原理

RFID 技术通过将零部件与保存了自身信息的标签集成在一起,采用该技术读取标签内容,就能够获取零部件的信息。再将读取到的信息与后台信息管理系统结合,就能够实现非接触实时信息交互处理^[5]。其系统主要由阅读器和电子标签组成,按照电子标签是否配备有专门的电源,分为被动电子标签和主动电子标签。当电子标签进入天线磁场后,一旦接受了由读取器产生的特定射频信息,被动标签就可以通过感应电流获取电能,进而传递预先储存在器件中的产品信息;主动标签则会主动发送某一频率的信号。当阅读器读到

基金项目:中铁第一勘察设计院集团有限公司科研开发项目(2021KY46ZD(CYH)-10;KY23-B027)

作者简介:朱洪波(1983—),男,浙江诸暨人,高级工程师,硕士,研究方向为轨道交通车辆设计、运用与检修,653313004@qq.com。

上述信息并完成解调、解码和解密后,就会将这些信息发送到中央调度端系统,以便进行相关数据的处理;计算机系统根据逻辑运算判断标签的合法性并做出相应处理,相应指令信号发送到不同的装置中;RFID 标签的数据解调部分将数据从接收到的 RFID 脉冲中解出并发送到控制逻辑中,最终完成存储、发送数据或其他操作。其技术原理如图 1 所示。

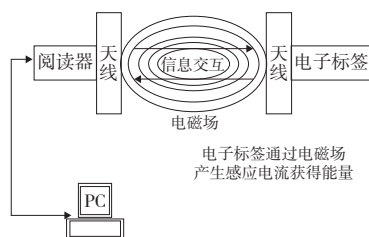


图 1 RFID 技术原理^[6]

1.2 发展现状

RFID 在国外起步较早,其理论基础诞生于 20 世纪 40 年代,目前已成为传感技术的一个热点研究方向。由于其成本低、无源无线等优势,目前在美国土木工程领域该技术已经被投入到构建健康检测系统中^[7];此外各大企业也都相继自发投入到 RFID 技术的研发与应用中,并将 RFID 技术应用于产品的自动化制造流程,部分发达国家将 RFID 技术应用于牲畜疾病追踪与隔离控制。

RFID 技术在国内该领域的起步较晚,但随着近年来国家政策的激励以及轨道交通智慧城轨发展的趋势^[8],该技术也得到了快速发展,已有大量有关 RFID 的制造产业获得成功,相关的产学研项目涉及铁路、生产制造、航空、汽车、食品加工、物流等多个领域^[9]。RFID 技术在铁路及配套运输装备上的应用,可实现线路、车站及站场对机车车辆的计轴计辆、车号识别、车辆配属、车型、制造年月等固定信息的远程在线读取,从而实现高效智能化的管理^[10]。RFID 技术在城市轨道交通车辆基地的应用,可降低现场施工事故发生率^[11]。RFID 技术在智能生产制造方面的积极投入,使得运用 RFID 技术的产品层出不穷,如智能仓库、智能生产线、智能分拣等^[12],极大地提高了生产效率。

虽然目前存在有制造产品不够稳定、RFID 技术在应用过程中存在标签损坏、信息传输不稳定、信息易丢失及失真等问题,但各学校和企业机构依然花费诸多精力积极投入研发中^[13]。李爽

等^[14]提出了一种基于 RFID 技术的纸质海图管理方案,该方案建成的海图管理系统,可满足纸质海图高效管理需要。肖夫克等^[15]提出了一种基于接收信号强度指示器和测量相位融合的无源 RFID 定位方法,实验数据表明,该方法显著提升了农产品包装定位精度,其平均水平定位精度达 94.6%,垂直定位精度达 94.3%。王耀伟等^[16]提出一种基于支持向量机的动态 RFID 系统识读效率分类模型,经测试该系统识读效率分类准确率可达 92.3%。王一坚等^[17]设计了一种应用于轨道交通领域的 RFID 列车定位监测方法,该方法已成功实现对环形试验线运行的磁悬浮列车的高精度定位。

2 工具智能分拣系统方案设计

对于铁路系统而言,高效合理地利用现代智能技术,可以有效提高列车车辆段检修效率,降低成本,增加效益,减轻工作人员负担,保障整个检修任务有序进行。目前部分铁路公司已经结合人工智能算法和图像特征识别算法等技术实现对地铁车辆检修的提质增效^[18]。本节将围绕所提出的工具智能分拣技术展开论述与说明。

2.1 系统方案描述

为解决列车检修过程中存在的人工分拣效率低下、工具容易遗漏、借还记录查询困难等问题,本文围绕智能分拣方案展开,衔接中央服务器和专用智能收纳箱,实现了工具、物料合理规划和定位的功能。

智能分拣涉及存储、识别、传输、搬运、拣选、关联、规划、定位等自动化操作。在智能分拣过程中,系统前端完成目标物料的选取、目标尺寸的确定及转换、目标区域的规划、信息数据的关联和识别;系统后端在相应的指令下完成对应工具物料的最终定位。所内工具物料的合理规划和定位的完成,减轻了检修人员的负担,提高了检修人员在检修过程中的专注度和工作效率。

本系统主要由中央服务器、工具/物料机器人、智能收纳箱等组成。设计方案如下:系统可以根据选配指令,控制物料机器人在物料库内选取目标工具物料,获取目标工具物料的外形尺寸对应矩形的面积,根据面积和最优原则,对目标工具物料的位置进行规划,将规划的区域与对应工具的 RFID 标签进行关联,在智能收纳箱收到 RFID 标签信息后,控制规划区域内的电磁挂钩弹起,对

工具物料进行定位。该系统主要应用于物料工具的储藏仓库,在工具储藏仓库中完成物料工具的智能分拣,应用场景如图 2 所示。

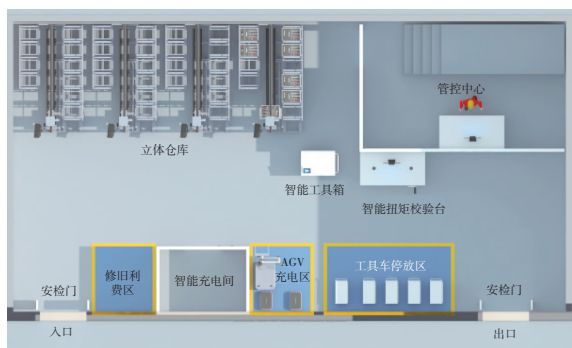


图 2 智能分拣系统应用场景

2.2 系统框架设计

工具智能分拣技术系统构架如图 3 所示,主要包括 3 部分:中央服务器、调度端和执行端。中央服务器采用基于云计算技术的平台架构和基于 RFID 技术的硬件平台,其核心功能是接受检修工具需求的指令,然后将信息数据处理后传递给物料机器人进行相应操作。

调度端是整个系统的核心,起着协调各流程的作用。其核心是依赖物料机器人和 RFID 技术实现数据的存储和识别,并对工具物料位置进行合理规划。

执行端起着操作执行的功能。智能收纳箱在识别到工具物料的 RFID 标签后,控制相应机械结构实现对对应工具物料的定位。

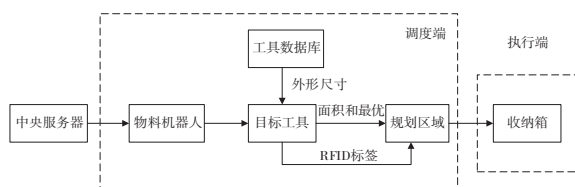


图 3 系统构架

2.3 系统功能实现

系统功能的实现主要分为以下 3 个步骤。

1) 当工具物料需求产生后,检修人员可依托于手持机、操作终端等智能终端设备,在库内任意地点下单支取工器具物料,将需求清单通过手持智能终端上传至服务器系统后,系统会生成工具物料分拣清单并发送控制指令。如图 4 所示,物料机器人在物料库中选取目标工具,并对目标工具物料的 RFID 标签进行存储。

2) 在预存储的工具物料数据库中获得目标工

具的外形尺寸,将目标工具按长宽比例转换为矩形,根据面积和最优原则,将与目标工具物料对应的矩形图形规划至智能收纳箱内,规划的区域会与目标工具物料 RFID 标签进行关联,关联后的数据会发送至选中的智能收纳箱中,同时发送指令,控制物料机器人利用机械手将物料工具放置于收纳箱相应规划位置处。

3) 智能收纳箱在识别到工具物料的 RFID 标签后,控制与当前 RFID 标签关联区域内用于固定当前工具物料的多个伸缩式电磁挂钩弹出,对与当前 RFID 标签对应的工具物料进行定位。



图 4 物料工具机器人

整个系统流程如图 5 所示。从工作人员发送物料工具需求指令到工作人员拿到所需物料工具,形成了一个完整的流程。在此过程中,机器人兼顾物料和工具的取放,实现了一机多用的效果。

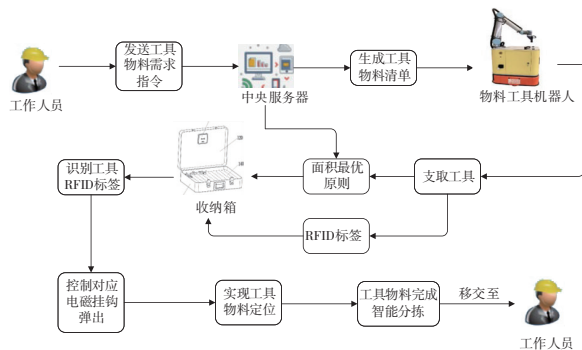


图 5 系统流程图

图 6 为智能收纳箱结构图。智能收纳箱包括箱体、隔板、箱盖、RFID 标签识别装置、电源以及多个电磁控制装置。隔板放置在箱体内,将箱体分割为上腔和下腔。上腔为电磁挂钩的弹出区域和工具物料的存放区域,下腔为电源(图中未标出)、电磁控制装置和电磁挂钩的收纳区。

图 7 所示为电磁控制装置和电磁挂钩。电磁挂钩安装座安装在隔板的下表面,每个通孔对应一个安装座,永磁铁安装在升降柱朝向电磁控制

装置的一端,升降柱远离电磁控制装置的另一端穿过安装座上的中心孔处于通孔内,限位环安装在升降柱朝向电磁控制装置的一侧,复位弹簧套在升降柱上,复位弹簧的两端与限位环和安装座相抵。

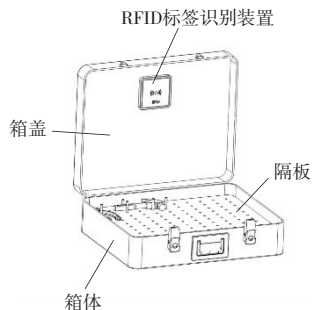
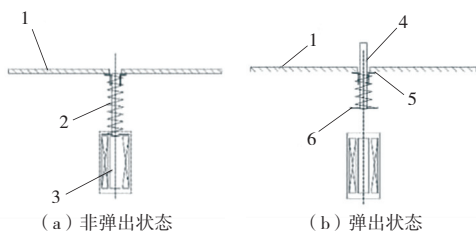


图6 智能收纳箱



1—隔板;2—复位弹簧;3—电磁控制装置;
4—升降柱;5—安装座;6—限位环。

图7 电磁控制装置和电磁挂钩

电磁控制装置与电源连通,电磁控制装置与电磁挂钩一一对应,且位于每个电磁挂钩的正下方。非弹出状态时,电磁挂钩与磁控制装置吸合,电磁挂钩的顶部位于通孔位置。智能收纳箱会与中央服务器进行通信,获取中央服务器规划的存放区域信息,在 RFID 标签识别装置读取要存放至智能收纳箱内工具物料的 RFID 标签信息后,智能收纳箱会控制对应区域内的电磁挂钩弹出,弹出的电磁挂钩围成的图形与要存放到智能收纳箱内工具物料的外形一致,实现对工具物料的收纳。

依托中央服务器、调度端和执行端的协调配合,不仅实现了对工具物料的自动选取,还实现了对工具物料在收纳箱内存放位置的合理规划以及定位。对于检修效率的提高、检修人员负担的减轻起着至关重要的作用。

2.4 系统效果分析

智能分拣系统主要由中央服务器、工具数据库、工具物料机器人、智能调度系统和智能收纳箱等组成;通过与上位工具物料需求管理系统数据对接,实现了工具区域自动规划、定位功能,可根

据检修需求,做到精准定位,快速分拣,这极大地减少了工具物料的支取时间,实现了自动化作业、改善了作业环境、减轻了劳动强度。

本技术的应用减少了约 50% 的人力投入,提高了 45% 的工具物料配送效率,综合缩短了 20% 的检修作业时间,提高了动车检修作业的效率。

3 关键技术

在构建智能分拣系统的过程中,需要采用相关的技术对系统进行支撑。本文对智能分拣系统中的关键技术进行了分析和研究,其涉及 RFID 技术、云计算技术和电磁控制技术。

1) RFID 技术包括信息数据的存储和识别。RFID 系统中的所有标识对象都有一个 ID 代码,以射频耦合方式将标识对象的 ID 标记于 RFID 标签之中,即为 RFID 的数据存储;工具间管理人员录入工具的基础信息,计量工具录入检定标准与检定周期,建立工具的初始档案,实现一物一码、一物一档的精细化管理。

信息数据的识别依靠阅读器完成,阅读器两端分别连接 RFID 标签和中央服务器,在本结构系统中,阅读器与中央服务器会进行通信,获取中央服务器规划的存放区域信息,同时另一端读取要存放至智能收纳箱内的工具物料 RFID 标签信息。

2) 云计算可以实现大数据的计算和共享、应用的协调、任务的调度^[19]。本文提供一种二维空间几何分布最优算法,即利用枚举法解决智能收纳箱面积利用的极值问题,通过对不同物料工具的排列组合,使得智能收纳箱收纳的面积最大。

本系统首先通过云计算的方式将目标工具物料的外形尺寸按照比例转换为矩形,如图 8 所示。其中 $P_1, P_2, \dots, P_n$ 为对应物料工具转换成矩形的面积, M, N 分别为智能收纳箱的长和宽。物料工具在相应的算法下,将与目标工具物料对应的矩形图形规划至智能收纳箱内,可合理地规划摆放在图 9 所示的智能收纳箱中。

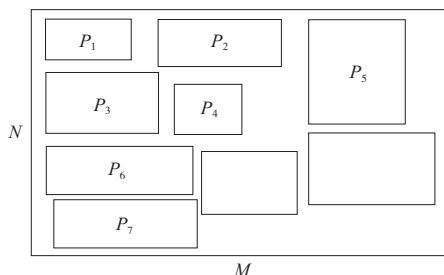


图8 物料工具对应矩形示意图

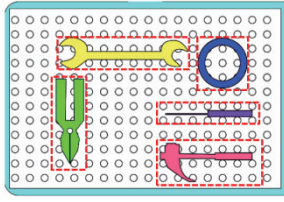


图9 工具收纳示意图

当智能收纳箱中规划的矩形有 n 个时,共有 A_m^n 种排列组合方法,其中 m 为所有物料工具的数量, X_i 、 Y_i 为物料工具按比例转化为所述矩形的长和宽。约束方程如下:

$$\begin{cases} X_1 + X_2 + \cdots + X_{n-1} + X_n \leq M \\ Y_1 + Y_2 + \cdots + Y_{n-1} + Y_n \leq M \\ P_1 + P_2 + \cdots + P_{n-1} + P_n \leq MN \\ 0 \leq X_1, X_2, \cdots, X_{n-1}, X_n \leq M \\ 0 \leq Y_1, Y_2, \cdots, Y_{n-1}, Y_n \leq N \\ N \leq M \end{cases} \quad (1)$$

目标方程为

$$Z = \max \sum_{i=1}^n P_n \quad (2)$$

当所求 $\sum_{i=1}^n P_n$ 最大时,所求 X_i 、 Y_i 、 P_i 、 n 为最优解,此时智能收纳箱的面积利用率达到最大,即实现了工具物料的合理规划。

3) 电磁控制装置结构简单、设计灵活、安装方便,可实现执行机构的快速、准确响应。安装在智能收纳箱中时,电磁控制装置与电磁挂钩一一对应,实现了电磁挂钩弹出的精准控制,能够对不同形状的工具物料进行快速合理的定位。

4 结语

本文研究了基于 RFID 的智能分拣技术方案,重点研究了系统的框架组成和系统中的关键技术,包括 RFID 的信息储存和识别、云计算和电磁控制技术等。解决了列车检修过程中存在的工具物料分拣效率低下、工具容易遗漏、借还记录查询困难等问题。通过各模块的协调配合,实现了工具物料区域的自动规划和定位,减少了人力投入,提高了动车检修作业的效率。

参考文献:

- [1] 刘华伟,刘勇,江帆,等. 机车段内作业智能化系统研究与实现[J]. 机车电传动,2021(6):100-105.
- [2] 贵州兴泰科技有限公司. 应用于检修云服务平台的权限管理系统及管理方法:中国,CN202110442659.2 [P]. 2021-06-22.

- [3] 成程,雷雨. 射频识别技术在土木工程中的应用研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版),2021,53(4):611-616.
- [4] 王雪,钱志鸿,胡正超,等. 基于二叉树的 RFID 防碰撞算法的研究[J]. 通信学报,2010,31(6):49-57.
- [5] 董丽华.RFID 在各种物品管理中的应用[C]//亚太 RFID 技术协会,苏州国际博览中心有限公司.2008 射频识别促进全球物流供应链透明化论坛技术文集.苏州:上海海事大学物流研究中心,2008:297-324.
- [6] 宋岩. RFID 技术在高校图书馆应用反思[J]. 图书馆杂志,2016,35(8):76-81.
- [7] 种玉配,王其昂,张诚,等. 基于 RFID 技术的结构应变传感器研究综述[J]. 自然灾害学报,2021,30(6):13-20.
- [8] 方光华. 城轨信号智能运维系统研究[J]. 机车电传动,2021(2):92-99.
- [9] 陈子明,彭洋. 基于 RFID 技术的航空器维修工具管理难点探究[J]. 中国设备工程,2025(8):56-58.
- [10] 韦永全,张银环,周佳,等. 基于 RFID 技术的高速动车组自动识别系统应用研究[J]. 机车电传动,2015(4):34-37.
- [11] 高晓鹏,郭世成. 基于射频识别和双目视觉技术的车辆基地施工区域人员闯入预警系统[J]. 城市轨道交通研究,2024,27(10):210-214,219.
- [12] 徐东辉,孟范鹏,郝志超. 螺栓智能仓储与分拣系统设计[J]. 机械设计与制造,2025(6):345-349.
- [13] 李红章. RFID 读写射频识别技术在智能制造系统中的应用综述[J]. 信息与电脑(理论版),2021,33(3):173-175.
- [14] 李爽,李雪红,范振凯,等. 基于 RFID 技术的纸质海图管理方案[J]. 海洋测绘,2024,44(5):78-82.
- [15] 肖夫克,时国龙,董大明,等. 基于无源超高频 RFID 的农产品包装智能定位方法[J]. 农业工程学报,2024,40(14):221-231.
- [16] 王耀伟,刘原麟,潘若禹,等. 基于支持向量机的物流传送带场景下 RFID 识读性能研究[J]. 现代电子技术,2024,47(9):150-156.
- [17] 王一坚,张辉波,黄莉娟,等. 基于射频识别的高温超导磁浮列车定位方法[J]. 城市轨道交通研究,2024,27(7):103-107.
- [18] 巫红波,邱伟明,王静,等. 城轨车辆用多股道智能巡检机器人检测系统[J]. 机车电传动,2022(1):45-52.
- [19] 张炳星,高军伟. 基于机器视觉的金属工件智能分拣系统设计[J]. 工具技术,2023,57(3):140-144.

收稿日期:2023-11-17