

文章编号: 1674-8190(2022)01-144-07

基于 RFID 技术的机载设备维护管理系统

朱志胜, 丁淑君, 许松林

(中国商用飞机有限责任公司 上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘要: 无线射频识别(RFID)技术近年来在民用航空机场运输领域得到了较为广泛的应用,但在国内民用航空制造领域和飞机运营维护领域还未得到推广应用,其中大量的工作仍通过原始人工处理等方式进行。提出一种将 RFID 技术应用于民用飞机机载设备全生命周期维护和管理系统,对其关键组成部分的功能及配置进行说明,并通过一项客舱应急设备的例行维护任务对该系统进行验证。结果表明:本文提出的系统可以实现机载设备全生命周期的高效维护和管理,具有广阔的应用前景。

关键词: 民用航空; RFID 技术; 电子工单; 机载设备管理; 全生命周期

中图分类号: V267

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2022.01.17

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Airborne Equipment Maintenance Management System Based on RFID Technology

ZHU Zhisheng, DING Shujun, XU Songlin

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Commercial Aircraft Corporation of China Ltd., Shanghai 201210, China)

Abstract: In recent years, the radio frequency identification (RFID) technology is widely used in the field of civil aviation airport transportation, but it is rarely used in the field of domestic civil aviation manufacturing and aircraft operation and maintenance, and lots of work are still carried out by original manual observation. Efficiency and accuracy can be greatly improved by using RFID technology reasonably. In this paper, a system using RFID technology applied to the life cycle maintenance and management of civil aircraft airborne equipment is proposed. The function and configuration of its key components are explained, and a routine maintenance task for cabin emergency equipment is adopted to verify the system. The results show that the system can realize the efficient maintenance and management of the entire life cycle of airborne equipment, and has a great application prospect.

Key words: civil aviation; RFID technology; electronic work order; airborne equipment management; entire life cycle

收稿日期: 2021-03-11; 修回日期: 2021-05-09

通信作者: 朱志胜, zhuzhisheng@comac.cc

引用格式: 朱志胜, 丁淑君, 许松林. 基于 RFID 技术的机载设备维护管理系统[J]. 航空工程进展, 2022, 13(1): 144-150.

ZHU Zhisheng, DING Shujun, XU Songlin. Airborne equipment maintenance management system based on RFID technology[J].

Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2022, 13(1): 144-150. (in Chinese)

0 引言

一架民用运输飞机包括上百个机载设备,这些机载设备必须在飞机全生命周期内持续维护,使其保持适航状态。飞机及机载设备的维护包括“定期维护”和“视情维护”两种^[1]。前者属于传统的维护方式,也是目前航空公司主流的维护方式,体现了以预防事故为中心的维护思想。由于大部分故障在发生前都有一个发展过程,“视情维护”的理念是基于实时监控设备或系统的运行状态来预测故障的发生,即“健康管理系统”。在传统的定期维护方面,航空公司主要通过“机载设备履历本”来记录和管理机载设备日常使用、维护等信息^[2]。在飞机健康管理方面,已从早期简单的自检测设备(BITE)演变为实时监测飞机健康状态信息并下载到地面^[3]。飞机制造商波音公司和空客公司在某些机型上分别建立了飞机健康管理(Aircraft Health Management,简称 AHM)系统和飞机维修分析(Aircraft Maintenance Analysis,简称 AIRMAN)系统,实时收集飞机的状态信息^[4]。飞机运营商中国南方航空公司开发了自己的远程实时监控系統,中国国际航空公司(简称国航)在 AHM、AIRMAN 系统基础上做二次开发对国航运行的飞机设备故障进行实时监控^[5]。可见机载设备维护策略正由基于时间的“定期维护”逐步向基于状态监控的“视情维护”发展^[6]。目前飞机机载设备维护管理实践中以“定期维护”为主,“视情维护”为辅,但两者又各有不足。在“定期维护”中虽已实现“机载设备履历表”的电子化和信息化,但仍然以人工录入和维护数据为主,无法高效准确地监控和维护设备的状态,包括设备的健康管理、维修维护记录、物理定位与追踪等。在视情维护理念下的“健康管理系统”中目前仅针对部分重要机载设备做实时状态监控,即便如此还面临机载设备供应商所提供的设备软件即数据通信格式不一致以及空地数据无线传输的带宽限制等问题。此外,民用飞机机载设备的维护管理不仅限于设备维修维护这一环节,还涉及机载设备的采供、装配、财务、出入库管理等环节。RFID 技术作为一个较为成熟的物联网技术,有可能将上述业务环节综合起来,提高工作效率。在国内民用飞机制

造领域,目前仅在飞机装配环节有基于 RFID 的数字化装配管理系统的研究^[7]。

在国外,空客公司、波音公司以及其他航空公司已尝试在民航领域应用 RFID 技术^[8]。波音公司最早在飞机工具管理中使用 RFID 技术,并配备了所有包含历史以及运输、航线和海关信息的 RFID 微芯片的工具和工具箱^[9];而空客公司则是对其地面设备和工具进行 RFID 标记^[10];之后波音公司与日本航空、美国阿拉斯加航空等合作开展关于 RFID 技术的研究^[11]。空客 A350、A380 飞机已逐步采用 RFID 技术管理机载设备。在国内民航运输和维修领域,中国东方航空公司与中国南方航空公司等运营商在航空管理、库房管理等方面均开展了 RFID 技术的应用研究^[12]。国内部分飞机维修机构在飞机某个机载设备维护上采用 RFID 技术进行了应用尝试^[13-16],但是还未有采用 RFID 技术对机载设备进行全生命周期的维护管理用于应用研究的案例。

本文提出一种民用飞机机载设备在全生命周期中维护与管理系統,介绍该系统根据机载设备全生命周期维护管理的业务流程,以客舱应急设备检修工作为例对系统进行验证,对本系统推广应用挑战较大的三个因素进行分析。

1 系统实现

1.1 系统架构

本文所述的系統(如图 1 所示)包括一个基于云数据库的服务平台(以下简称“数据库平台”)^[100];一个手持终端设备^[200],作为 RFID 读写器,与波音公司发明的“用于在飞机上实时 RFID 定位的方法和系統”不同,波音公司发明的系統为固定位置 RFID 读写器^[17],而本文所述系統为便携式移动读写器;一组安装于机载设备上的 RFID 标签^[300]。手持终端设备^[200]具备蜂窝网络通信功能、RFID 射频发射与接收功能。数据库平台^[100]与手持终端设备^[200]之间通过无线网络传输数据,无线网络包括但不限于 5G、WiFi 等,具体取决于应用环境。用户通过手持终端设备^[200]可以及时上传数据至数据库平台^[100],反之也可以通过手持终端设备^[200]随时从数据库平台

【100】获取数据。RFID 标签【300】采用无源高频标签,它与手持终端设备【200】的无线适配距离达 10~15 m。

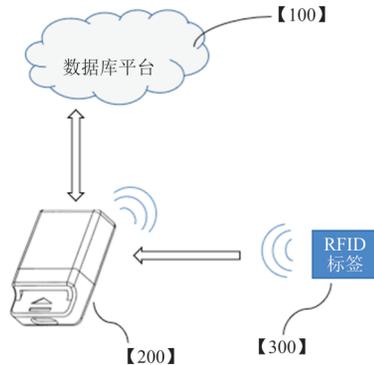


图1 系统架构

Fig. 1 System configuration

1.2 数据库平台

系统中的数据库平台关联了企业的一般业务数据库,如图 2 所示,包括财务与采供系统【102】、机载设备健康管理系统【103】、工单管理系统【104】、物料申领系统【105】等。

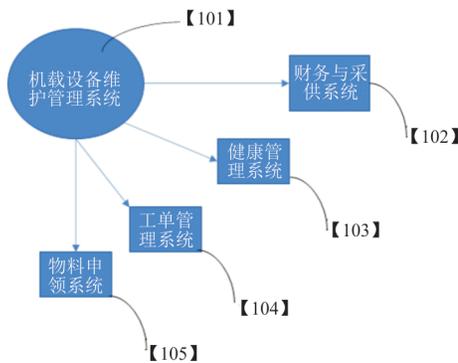


图2 数据库平台

Fig. 2 Database configuration

财务与采供系统【102】是企业既有的业务数据库,机载设备维护管理系统【101】从中获取设备的采购信息,如名称、件号、序列号数量、单价、适航批单等数据,并反馈工时统计信息、设备/耗材使用信息等数据至财务与采供系统【102】。健康管理系统【103】是企业既有的业务数据库,机载设备维护管理系统【101】从中获取设备的定检计划、维护记录、维修记录、故障报告、可靠性与维修性数据等,并反馈相关的维修维护信息等数据至健康管理系统【103】;工单管理系统【104】是企业既有的业务数据库,机载设备维护管理系统【101】从

中获取设备的工单派发计划,并反馈工单作业报告等数据至工单管理系统【104】。物料申领系统【105】是企业既有的业务数据库,机载设备维护管理系统【101】从中获取设备的库存信息、出入库信息等数据,并将设备的及时物理位置信息等数据反馈给物料申领系统【105】。

1.3 机载设备维护管理系统

机载设备维护管理系统包括用户管理、功能管理、飞机管理、机载设备管理等功能模块。其中用户管理模块主要是用于授权用户维护和管理该系统;工单管理模块用于向终端派发电子工单以及接收和管理从终端接收到的工单流程、工时信息、工单作业报告等;飞机管理模块用于定义和管理现有飞机的基本信息,包括飞机型号、飞机注册号、制造序列号、飞机机载零部件清册信息、飞机机载设备安装位置信息等;机载设备管理模块用于定义和管理机载设备的基本信息,包括设备名称、件号、序列号数量、单价、适航批单、定检计划、维护记录、维修记录、故障报告、可靠性与维修性数据、设备申领记录、设备实时位置管理等信息。各系统功能模块如图 3 所示。

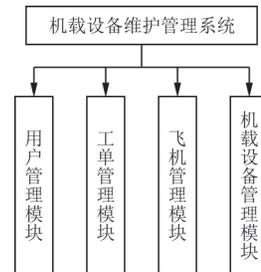


图3 机载设备维护管理系统功能模块

Fig. 3 Function modules of equipment maintenance and management system

1.4 手持终端

手持终端设备包括用户管理、工单管理、RFID 射频信号收发、蜂窝网络信号收发等功能模块,如图 4 所示。其中用户管理模块主要是用于登陆用户的审核及授权;工单管理模块用于接收、处理工单任务,上传工单报告等;RFID 射频信号收发功能模块用于手持终端和 RFID 标签之间的数据传输;蜂窝网络信号收发功能模块用于和机载设备全生命周期管理系统之间的数据传输。

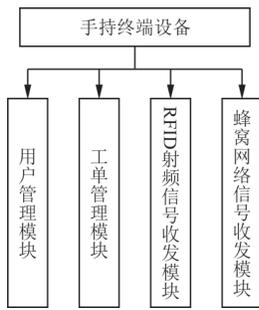


图 4 手持终端设备功能模块

Fig. 4 Function modules of handheld terminal equipment

2 应用实践

2.1 业务流程

从飞机制造商或飞机运营、维修商角度而言,所采购(或自制)的机载设备先后经历的主要业务流程如图 5 所示,包括检验出厂、检验入库、领用出库、装机、定期维护、拆卸、故障入库、送修出库、定点维修,再返回检验出厂的闭环流程。一般来说,在每个业务流程环节均通过相应的表单来记录和控制机载设备的实时状态。

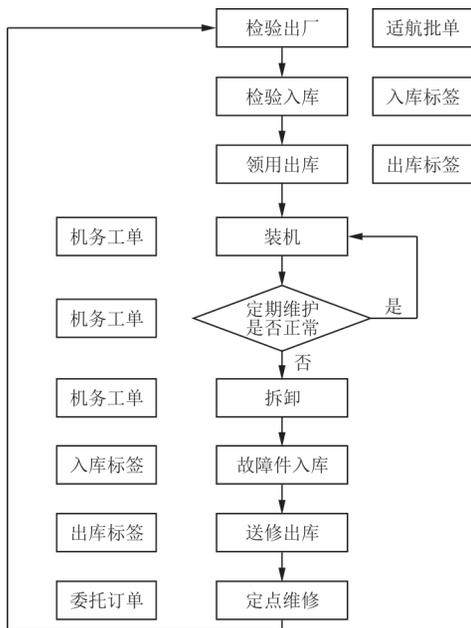


图 5 机载设备生命周期作业流程

Fig. 5 Entire life cycle process of airborne equipment

系统利用 RFID 技术,通过读/写每个业务环节的表单数据来实现对机载设备全生命周期的监控和管理。具体可描述为通过 RFID 技术,在每个业务环节扫描机载设备上的 RFID 标签以写入或

读出相应的状态表单。

2.2 客舱应急设备检修工作实例

客舱应急设备包括便携式灭火瓶、救生衣/筏,这些设备需要在航线上定期维护。航空公司机务在手持终端登录,通过身份验证后,可获得当前该用户待处理的工单任务列表,如图 6 所示。



图 6 手持终端待办任务页

Fig. 6 Task page in waiting of handheld terminal

点击图 6 中第一项,执行“航线维护”工单,机务手持具备 RFID 阅读器功能的终端设备,在客舱过道行走时,贴有 RFID 标签的设备会自动向 RFID 阅读器发出信号,传输信息。相关 RFID 位置感知技术领域的研究表明,RFID 终端设备能够准确感应到贴有 RFID 标签的设备的具体位置,精度可达到“最后一米”^[18],该精度已满足本应用场景的精度要求。执行维护工单如图 7 所示,红色圆点表示设备缺失,终端设备未在固定位置识别到相应的设备,需机务进行人工确认;绿色方块表示正常,终端设备被识别,且当前仍在正常使用期限内;黄色菱形表示即将到期,根据设备反馈信号,该位置设备即将超出使用期限,需要做进一步维护处理。全部检查完成后,点击“生成工单报告”按键,获得工单报告,进入页面如图 8 所示。机务可在工单报告中输入检查结果,并报告有无异常等。此外,机务还可以针对图 7 中的单个设备查询追溯其维护历史记录,如图 9 所示。

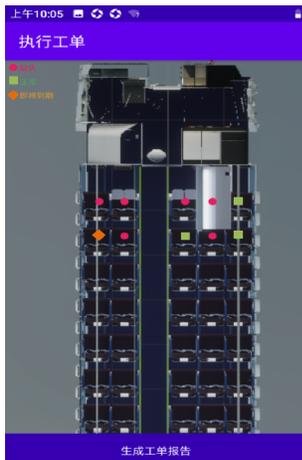


图 7 执行维护工单

Fig. 7 Execute work order of maintenance



图 8 工单报告页

Fig. 8 Report page of work order

日期	操作	经办人
2019-05-16	定点维修	**
2019-05-16	送修出库	**
2019-05-16	故障件入库	**
2019-05-16	拆卸	**
2019-05-16	定期维护	**
2019-05-14	定期维护	**
2019-05-12	定期维护	**
2019-05-10	定期维护	**
2019-05-02	装机	**
2019-05-02	领用出库	**
2019-04-15	检验入库	**
2019-02-28	检验出厂	**

图 9 手持终端产品历史追溯页面

Fig. 9 History searching page of handheld terminal

2.3 手持终端操作流程

本系统根据航空公司机务工作实践开发,利用 RFID 技术将机载设备连入网络,开发电子工单管理系统,实现工单的派发、执行、工单报告编制以及机载设备维修维护追溯的全过程管理。

手持终端操作系统操作过程如图 10 所示,第一步,登录系统;第二步,浏览所有待办任务;第三步,选择并执行工单;第四步,编制与生成工单报告。考虑到业务实践的需求,该电子工单系统还具备查阅产品历史维护记录的功能。

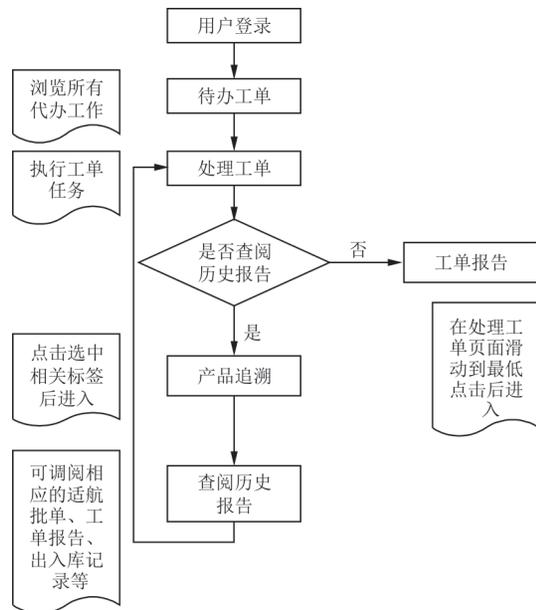


图 10 手持终端操作流程

Fig. 10 Operation process of handheld terminal

3 典型应用场景与局限性分析

3.1 客舱时寿件维护

客舱时寿件主要指救生衣、救生筏、灭火器、氧气瓶等安装在客舱内,同时需要在航线上进行定期维护的机载设备。目前此类工作主要是由机务通过目视检查的方式进行,这种检查方式存在诸多由人为因素导致的潜在风险,如忘记检查点、忽略检查点、对检查项目的评判标准掌握程度不一致等,且这种检查方式效率低。波音公司 B777 飞机氧气瓶维护的项目,使用 RFID 技术后,检查时间只需要 8.5 min 即可完成^[19]。而借助本系统,机务通过手持 RFID 终端设备在客舱过道走一圈即可完成客舱所有时寿件的检查,并在线编制和提交工单报告。

3.2 飞机重要LRU件维护

LRU(Line Replaceable Unit)是指航线可更换设备,对于飞机上重要的LRU件要在航前或航后做例行检查。例如通过RFID技术对起落架进行健康监控,以帮助降低运营和维护成本^[20]。本系统能够在此类检查中发挥作用,提高效率。

3.3 推广应用面临的挑战

RFID技术在上述场景中的应用仍然有局限性,主要表现在以下4个方面。

(1) 标签的安装

将RFID标签安装在机载设备上通常有三种方式,分别为粘接、铆接或螺接、绑扎^[21]。可以根据不同的设备类型,恰当地选用这三种方式。但是在目前,RFID标签主要由OEM(飞机制造商)实施安装,在实践中会遇到大量的机载设备,由于设备外形、机载设备位置等因素,导致这三种方式均无法牢固地将RFID标签安装在设备上。因此建议由上游机载设备生产商在设备设计和生成时就将RFID标签一并安装好,但是需要由OEM大力推动并获得上游机载设备生产商的支持。

(2) 适航问题

在民航应用领域需要获得适航当局批准的应用一般有:备件管理、飞机部件管理、航空货运、维修维护等^[22]。而局方的适航符合性审查将耗费大量的时间,这对申请方(OEM或航空公司)来说意味着增加了成本,因此应用推广难度很大。

(3) 标签成本

近些年RFID标签越来越轻薄,价格也越低,已经从21世纪初的1美元左右降到0.1美元左右^[23],但是与传统的条码标签相比,RFID标签仍然没有成本优势。

(4) 标准规范

RFID技术在航空领域主要的通用标准是ATA Spec2000《物料管理电子商务规范》^[24],适用于航程和可靠性数据交互协议;SAE AS5678《航空器用要求的无源无线频率识别(RFID)标签》^[25],阐述了标签的耐温、耐压、抗冲击和腐蚀等性能要求;我国的相关标准为MN/T 1025—2009《民用航空行李运输无线RFID规范》^[26],适用于民用航空运输企业的行李运输服务^[27]。整体来说,RFID技术在航空制造业和维修维护领域的标准

规范虽有一定的基础,但尚不完善,不利于RFID技术在此领域的推广使用。

4 结 论

(1) 本文提出了一种基于RFID技术的机载设备维护管理系统。通过利用RFID技术,对机载设备进行维护状态的监控、数据管理与检索,实现机载设备在制造、运营、维护等各个操作业务环节过程的监控和管理,极大提高了机载设备全寿命周期的自动化、信息化管理效率,可以在机载设备制造、运营及维护等领域得到广泛应用。

(2) RFID技术在其他行业应用广泛^[28],这些行业往往比民用航空业更能作为早期应用方对该技术做出响应。在民用航空领域,越来越多的航空公司、机场和飞机制造商将这项技术作为未来的关键战略优势。

参 考 文 献

- [1] 梅晓川,陈亚莉. 航空飞行器维修技术发展综述[J]. 航空发动机, 2009(6): 52-57.
MEI Xiaochuan, CHEN Yali. Overview of aircraft maintenance technology development[J]. Aeroengine, 2009(6): 52-57. (in Chinese)
- [2] 来云峰,张志谦. 新舟民机国产机载设备履历本改进研究[J]. 航空维修与工程, 2015(3): 62-64.
LAI Yunfeng, ZHANG Zhiqian. Research on airborne equipment logbook of MA60[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2015(3): 62-64. (in Chinese)
- [3] 李兴旺,汪慧云,沈勇,等. 飞机综合健康管理系统的申请与发展[J]. 计算机测量与控制, 2015(4): 1069-1079.
LI Xingwang, WANG Huiyun, SHEN Yong, et al. Application and development of integrated vehicle health management system in aviation field[J]. Computer Measurement and Control, 2015(4): 1069-1079. (in Chinese)
- [4] 曹全新,杨融,刘子尧. 民用飞机健康管理技术研究[J]. 航空电子技术, 2014, 45(4): 15-19.
CAO Quanxin, YANG Rong, LIU Ziyao. Prognostics and health management technical study for civil aircraft[J]. Avionics Technology, 2014, 45(4): 15-19. (in Chinese)
- [5] 李春生,张磊,张雷. 飞机健康实时监控技术现状[J]. 中国民用航空, 2013(10): 65-67.
LI Chunsheng, ZHANG Lei, ZHANG Lei. Technology status of aircraft health realtime monitoring[J]. China Civil Aviation, 2013(10): 65-67. (in Chinese)
- [6] 李长杰,谢小东,明新国. 基于状态监测的民机机载设备寿命预测方法现状研究[J]. 机械制造, 2013, 51(8): 42-45.
LI Changjie, XIE Xiaodong, MING Xinguo. Research on current status of civil aircraft airborne equipment life predic-

- tion methods based on condition monitoring[J]. Machinery, 2013, 51(8): 42-45. (in Chinese)
- [7] 王广侃, 李艳军, 曹愈远, 等. 基于 RFID 的民机数字化装配管理系统研究[J]. 航空制造技术, 2018, 61(6): 78-83. WANG Guangkan, LI Yanjun, CAO Yuyuan, et al. Research of civil aircraft digital assembly management system based on RFID[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2018, 61(6): 78-83. (in Chinese)
- [8] MALYKHINA E. RFID tags fly with airplane parts[J]. Information Week, 2004, 22: 1-3.
- [9] ARKELL D. Boeing has championed radio frequency ID technology and bar coding[J]. Boeing Frontiers, 2007(3): 32-35.
- [10] ANDONOVIC V. RFID as a modern brand protection technology[J]. Acta Technica Corviniensis: Bulletin of Engineering, 2014, 7: 141-144.
- [11] DASTJERDI P. RFID applications in airline maintenance operations[J]. Journal of Air Transport Studies, 2015, 6(2): 23-42.
- [12] 邱素满. 基于 RFID 技术的救生衣管理系统设计与实现[J]. 航空维修与工程, 2018(1): 90-92. QIU Suman. Design and implementation of lifejacket management system based on RFID[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2018(1): 90-92. (in Chinese)
- [13] 广州飞机维修工程有限公司. 一种 RFID 技术的飞机救生衣管理系统: CN208126442U[P]. 2018-11-20. GAMECO. Aircraft life vest management system based on RFID technique: CN208126442U [P]. 2018-11-20. (in Chinese)
- [14] 佚名. 用于状态指示的系统、射频识别装置和密封: CN105989320(A) [P]. 2016-10-05. Anon. System for status indication, radio frequency identification device and sealed object inspection method: CN105989320(A) [P]. 2016-10-05. (in Chinese)
- [15] Boeing Company. System and method for tamper detection using rfid devices: 16152230. 5[P]. 2020-04-29.
- [16] SHARMA P, JAMWAL A, AGGARWAL A. Major challenges in adoption of RFID for Indian SME's[J]. International Research Journal of Engineering and Technology, 2018, 5(6): 2247-2255.
- [17] 佚名. 用于在飞机上实时 RFID 定位的位置和系统: CN108121926A[P]. 2018-06-05. Anon. Methods and systems for real time RFID locating onboard an aircraft: CN108121926A [P]. 2018-06-05. (in Chinese)
- [18] 邱兰馨, 黄樟钦, 梁笑轩. RFID 标签位置感知技术综述[J]. 计算机应用研究, 2017, 34(12): 3521-3525. QIU Lanxin, HUANG Zhangqin, LIANG Xiaoxuan. Survey of indoor location-aware technology for RFID tag[J]. Application Research of Computers, 2017, 34(12): 3521-3525. (in Chinese)
- [19] 朱新宇, 李宝国. RFID 技术推动民航安全高效管理[J]. 西安航空学院学报, 2016, 34(1): 55-59. ZHU Xinyu, LI Baoguo. RFID technology promoting the safe and efficient management[J]. Journal of Xi'an Aeronautical University, 2016, 34(1): 55-59. (in Chinese)
- [20] YANG S, CRISP M, PENTY R V. RFID enabled health monitoring system for aircraft landing gear[J]. IEEE Journal of Radio Frequency Identification, 2018, 2(3): 159-168.
- [21] SEIDENMAN P, SPANOVICH D J. RFID 在维修中的应用[J]. 航空维修与工程, 2015(9): 43-44. SEIDENMAN P, SPANOVICH D J. High-memory RFID applied in maintenance[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2015(9): 43-44. (in Chinese)
- [22] 朱新宇, 吴雷明, 张洪涛. RFID 技术在民航领域的应用与展望[J]. 中国民航飞行学院学报, 2013, 24(3): 5-8. ZHU Xinyu, WU Leiming, ZHANG Hongtao. Application and prospect of RFID technology in civil aviation[J]. Journal of Civil Aviation Flight University of China, 2013, 24(3): 5-8. (in Chinese)
- [23] 薛焜. RFID 技术在民航行李运输中的应用[J]. 民航学报, 2020, 4(3): 85-88. XUE Yu. Application of RFID in baggage transportation in civil aviation[J]. Journal of Civil Aviation, 2020, 4(3): 85-88. (in Chinese)
- [24] ATA. E-business, specification for materials management: ATA Spec2000[S]. US: ATA, 2002.
- [25] SAE. Passive RFID tags intended for aircraft use: AS 5678A—2015[S]. US: SAE, 2015.
- [26] 中国民用航空局. 民用航空行李运输无线 RFID 规范: MN/T 1025—2009[S]. 北京: 中国民用航空局, 2009. CAAC. Civil aviation radio frequency identification (RFID) specification for interline baggage: MN/T 1025—2009[S]. Beijing: CAAC, 2009. (in Chinese)
- [27] 姜国强. 航空领域射频识别 (RFID) 技术应用研究[J]. 航空标准与质量, 2018(2): 45-47. JIANG Guoqiang. Study on application of aviation radio frequency identification (RFID) technology [J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2018(2): 45-47. (in Chinese)
- [28] SANTONINO M D, KOURSARIS C M, WILLIAMS M J. Modernizing the supply chain of airbus by integrating RFID and blockchain processes[J]. International Journal of Aviation Aeronautics and Aerospace, 2018, 5(4): 1265.

作者简介:

朱志胜(1982—),男,硕士,高级工程师。主要研究方向:民用飞机系统工程、民用飞机驾驶舱与客舱仿真与人机功效等。

丁淑君(1992—),女,硕士,工程师。主要研究方向:机场与航线适应性、飞机运营维护等。

许松林(1981—),男,硕士,研究员。主要研究方向:客户选型、产品客户化。

(编辑:丛艳娟)