

基于实时信息的飞机部装车间物料配送框架

刘 括,贾晓亮,屈 琦,陈俊皓,胡 昊

(西北工业大学机电学院,西安 710072)

[摘要] 飞机部件装配车间在物料配送过程中存在提前送料、被动领料的情况,容易导致库存压力大、生产信息滞后、物料配送响应慢的问题。随着信息化、物联网技术的不断发展,MES、ERP、PLM、RFID 和条形码等技术在飞机部装车间得到应用产生了大量的实时信息,为实现飞机部装车间物料配送在正确的时间以正确的形式送达正确的生产工位提供了可能。通过分析飞机部件装配物料配送过程的特点,建立了基于实时信息的飞机部件装配车间物料配送框架,阐述了基于实时信息的飞机部件装配车间物料配送运行过程,设计开发了飞机部件装配车间物料配送系统,并以某飞机中机身装配车间为例验证了该框架的可行性和有效性。

关键词: 飞机部件;装配车间;物料配送;实时信息;中机身

A Material Delivery Framework for Aircraft Component Assembly Shop Based on Real-Time Information

LIU Kuo, JIA Xiaoliang, QU Qi, CHEN Junhao, HU Hao

(School of Mechanical Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710012, China)

[ABSTRACT] In the process of material distribution in aircraft component assembly shops, there are often cases of early feeding and passive picking, which can easily lead to large inventory pressures, lagging production information, and slow material delivery response. With the continuous development of information technology and internet of things technology, MES, ERP, PLM, RFID, bar code and other technologies have been used in aircraft assembly workshops to generate a large amount of real-time information, which is in order to achieve the correct distribution of materials in the aircraft department loading shop. It is possible to deliver the correct time to the correct production station. This paper analyzes the characteristics of the aircraft parts assembly materials distribution process, establishes the material distribution framework of the aircraft parts assembly shop based on real-time information, explains the material distribution operation process of the aircraft parts assembly shop based on real-time information, and designs the aircraft component assembly shop material distribution system. The feasibility and effectiveness of the framework is verified by an example of a fuselage assemble shop in an aircraft.

Keywords: Aircraft component; Assembly shop; Material delivery; Real-time information; Fuselage

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2018.18.094

在“中国制造 2025”及智能制造的背景下,我国对飞机制造业的重视程度不断增加,飞机制造业正朝着智能化、信息化的制造模式不断转型。飞机装配过程是飞机制造中最重要的一环,可分为部件装配和整机装配。对于飞机部件装配而言,物料配送是制约生产效率的关键环节之一。很多学者和专家针对飞机装配中物料配送问题开展了研究。如牛润军和范斌^[1]分析了飞机装配车间物料配送的现状及存在的问题,提出了面向飞机自动化装配的配送管理体系模型。由于飞机部件装配过程中涉及零部件数量多、使用材料种类繁多、装配

过程周期长^[2],传统的领料式配送过程往往存在提前送料、被动领料的情况,容易导致库存压力大、生产信息滞后、物料配送响应慢的问题,已经无法满足当前市场对产能的需求。

随着物联网技术、无线通信技术、自动识别技术(如射频识别、二维码、蓝牙)的迅速发展,制造业正朝着越来越自动化和智能化的趋势发展,越来越多的企业开始将这些技术广泛应用于生产及制造过程中。如张伦彦等^[3-9]对物联网技术在航空领域的应用进行了分析,认为 RFID 技术可以改变装备车间生产与维修过

程的环境和方式,并对国内外的研究进展和需求进行了分析,给出了物联网系统应用框架。在应用物联网等相关技术后,可以实现物料和其他资源的标识、互联和感知,使传统的黑箱装配过程透明化,通过利用获取的大量实时车间信息,为实现在飞机部装车间物料配送中在正确的时间以正确的形式送达正确的生产工位提供了可能。

为了准确、高效地获取并利用飞机部件装配过程中产生的实时信息,以提高飞机部件装配车间物料配送过程的管控水平和能力。本文首先对飞机部件装配物料配送过程进行分析,总结了其特点与需求,并对相关实时信息进行分类,然后建立了基于实时信息的飞机部件装配车间物料配送框架,最后以某飞机中机身装配车间为例验证了该框架的可行性和有效性。

1 飞机部装车间物料实时配送分析

1.1 飞机部装特点

飞机一般分为机头、前机身、中机身、中后机身、后机身等部件,各个部件之间采用长桁接头对接^[10]。飞机部装是将大量的机体结构零件准确定位安放在装配位置上,按一定的方法和顺序连接成组合件、板件、段件,最后将其对接成完整的飞机部件。

与通常的机械产品不同,飞机部件装配过程中涉及的结构更复杂,零件种类更多,仅一架飞机壳体上就有上万件的钣金零件,还不包括更多数量的螺栓、铆钉等标准件,因此很多的零件、附件、半成品、机载设备都有专门的供应厂商;因为飞机部件的外形复杂,尺寸较大,导致飞机的零组件形态大小差异很大;飞机部件装配对零组件的精度、结构性能要求高,比如飞机的蒙皮、壁板等,成形误差要求很高,而且很多结构件的刚度小,容易产生变形。因此,鉴于飞机部装过程的复杂性以及对零组件的高要求性,对于飞机部装过程中的物流进行合理规划、管理非常重要。

1.2 传统飞机部装车间物料配送问题

飞机部装的过程中,装配工作的进行是以装配大纲 AO 为指导,其中包括多道装配指令,每道指令都对装配所进行的操作,使用的零件,对应的工装进行了详细说明。飞机部装车间物料配送就是根据飞机部装过程中的装配要求,配送对应种类及数量的零件及工装。传统物料配送主要是根据相应工艺环节的物料需求提前准备好所需要的物料并进行配送,整体的物料配送是一个“推动”的过程。传统的飞机部装车间物料配送过程中主要存在以下问题:

(1) 飞机部装物料种类多、配送量大,比如仅一架飞机壳体上钣金零件可能就需要上万件,根据装配工艺

清单一次性配送到位,这样会导致库存压力变大,维护费用增高。

(2) 飞机部装站位众多且面积较大使飞机部件装配车间布局更复杂,配送距离增加且配送站位容易错;

(3) 单次配送物料量的大小没有量化的评价,如每次配送只是单独的零组件,或者凭感觉配送多种物料,不能较好地利用配送设备的运力。

(4) 对于插单及急件这类配送任务反应慢,进而影响整个装配线的生产进度。

1.3 飞机部装车间实时信息分类

基于实时信息的飞机部件装配车间能够通过各种物联网技术及相关设备实时获取车间中各类资源的信息,如配送物料的类型及数量、配送设备的工作状态、装配站位的工作进程及状态、线边暂存区的物料实时存储情况等,获得这些实时数据后通过网络系统,将数据传输到应用层的物料配送管理系统,进行数据的分析和处理,最后以配送任务的形式对配送设备进行物料配送导航,实现物料配送的准时化和自动化。本文将飞机部装车间物料配送相关实时信息归纳为:

(1) 装配零组件信息。

飞机部件装配过程中,根据装配工艺的要求,一个部件是由若干个组件装配而成,而各个组件又在各自的装配站位上进行装配,而组件也有可能由其他组件装配而成,形成了一种并行装配过程和串行装配过程并存的装配过程。对于飞机部件装配过程,每个组件的装配过程进度会影响整个装配的进程,为了提高物料配送的效率及准确性,需要对各组件进行 RFID 编码,实现实时信息的采集及装配进程的监控。

(2) 配送物料信息。

在物料配送的过程中,主要是针对飞机部件装配过程中所需要的各种物料进行配送,此处物料是指飞机部件装配过程中所需要的零部件、装配工具和装配工装等对象,通常根据 AO 的要求打包配送。这类对象需要进行 RFID 编码,以采集物料的实时信息并监控其消耗情况。

(3) 配送设备信息。

在飞机部件装配车间中,由于装配过程涉及的零组件差异大,而且相对于传统的流水线车间更加复杂。飞机部件车间由于要提高物料配送效率,改善企业装配自动化水平,使用了具有定位及自动运行能力的 AGV (Automated Guided Vehicle) 设备,由于生产实际情况,同时还使用了原有的桥式起重机和叉车进行物料的配送。对于配送设备,不但需要使用 RFID 对其编码识别,还要使用传感器进行实时位置及工作状态的监控。

(4) 装配站位信息。

物料配送的执行是通过配送设备,配送的对象和目的地则是具有物料需求的装配站位。飞机部件装配过程中的装配站位需要根据装配工艺的要求通过监控物料消耗情况和装配站位的工作状况,发出物料配送的请求。因此装配站位要配备可视化终端进行实时装配进程的监控和物料请求的发送。

1.4 飞机部装物料配送任务实时获取方法

飞机部装物料配送任务的实时获取是指飞机部装车间在收到装配站位,根据装配的进程发出配送请求后,能够综合飞机部装车间中的实时信息以及装配大纲实时生成配送任务。基于飞机部装车间实时信息,本文设计了如矩阵 T 所示的实时任务模型。实时获取的任务总共 N 个,其中第 i 个任务, TN 表示任务的编号; FL 表示任务的初始位置; TL 表示任务的目的地位置,分别由其在车间中 x, y 轴的坐标值具体表示; Tt 表示时间窗, P 表示装配站位级别, MID 表示物料的索引号。

$$T = \begin{pmatrix} TN_1 & FLx_1 & FLy_1 & TLx_1 & TLy_1 & Tt_1 & P_1 & MID_1 \\ TN_2 & FLx_2 & FLy_2 & TLx_2 & TLy_2 & Tt_2 & P_2 & MID_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ TN_i & FLx_i & FLy_i & TLx_i & TLy_i & Tt_i & P_i & MID_i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ TN_N & FLx_N & FLy_N & TLx_N & TLy_N & Tt_N & P_N & MID_N \end{pmatrix}$$

对于所配送的物料属性,结合配送任务的信息模型,设计物料的实时信息模型,存储于矩阵 M 中,对于第 i 个配送任务,其中 $Mcode$ 表示物料的编码, $Mname$ 表示物料的名称, MK 表示物料的种类, MQ 表示物料的量。

$$M = \begin{pmatrix} MID_1 & Mcode_1 & Mname_1 & MK_1 & MQ_1 \\ MID_2 & Mcode_2 & Mname_2 & MK_2 & MQ_2 \\ MID_3 & Mcode_3 & Mname_3 & MK_3 & MQ_3 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ MID_k & Mcode_k & Mname_k & MK_k & MQ_k \end{pmatrix}$$

2 基于实时信息的飞机部件装配车间物料配送框架

本文基于飞机部装车间生产过程,设计了如图 1 所示的基于实时信息的飞机部件车间物料配送框架。主要包括资源感知层、模型支持层、信息集成层、应用层及用户界面层。基于模型支持层,框架通过实时感知层实时监控飞机实际装配过程并采集实时信息;由信息集成层整合被采集的实时信息(包括实时装配进程的信息、线边库存物料的信息、车间配送物料信息及配送设备的状态信息);然后通过应用层分配配送任务;最后通过界面层中的可视化等技术指导完成配送设备进行实时

配送。

(1) 资源感知层。

对装配车间各类资源采集所需要的信息,如装配物料资源、配送设备资源、站位工作状态、线边暂存区、车间配送环境信息、配送过程质量信息以及其他现场设备资源等。使用多元数据感知技术,在各类资源对象上配置能够存储识别信息的元器件,如 RFID、条形码、二维码、电子标签,或者配置能够感知这类信息的设备,如读写器、传感器、扫描仪及定位系统等,使得车间中的各类资源能够被物联网识别并具备系统交互能力,然后经由网络通信技术实现信息的互联及共享。

(2) 模型支持层。

主要是通过互联网、无线网、射频识别、传感器、蓝牙、红外线、数据库、计算机及各类串口等网络通信技术,将资源感知层获取的各类信息数据传入信息集成处理中心,经配送管理模块处理后将处理的结果通过相应的渠道返回到终端,为资源感知和数据传递提供支持和

(3) 信息集成层。

针对资源感知层所获取的数据采集的方式不同,数据类型各异,需要使用中间件技术,实现数据采集与应用系统之间进行数据传输、过滤、格式转换以及存储,有效地对数据进行采集和管理,为应用层提供模型运算信息以便为物料配送的具体执行过程服务。

(4) 应用层。

以信息集成层处理后的数据作为输入,由物料配送管理系统运算处理得到最优配送任务序列组合,得到基于飞机部件装配车间特点的联合配送方案,指导配送物料的分拣、组合,实现配送设备的调度,并在配送任务执行过程中为配送设备提供实时导航、过程管控和质量管理。

(5) 用户界面层。

通过可视化等技术,实时显示各装配站位的工作情况,以及物料配送情况,方便车间管理人员进行装配线生产的统筹计划,也能方便物料配送人员任务执行及装配工作人员操作顺利进行。

3 基于实时信息的飞机部件装配车间物料配送运行过程

基于实时信息的飞机部件装配车间的物料配送模型运行过程如图 2 所示,主要包括:

(1) 根据飞机部件的生产计划,利用 RFID 等技术,对各类生产要素和配送资源运行状态及各类实时数据的采集和处理。

(2) 根据实时获取的物料配送任务的内容,对配

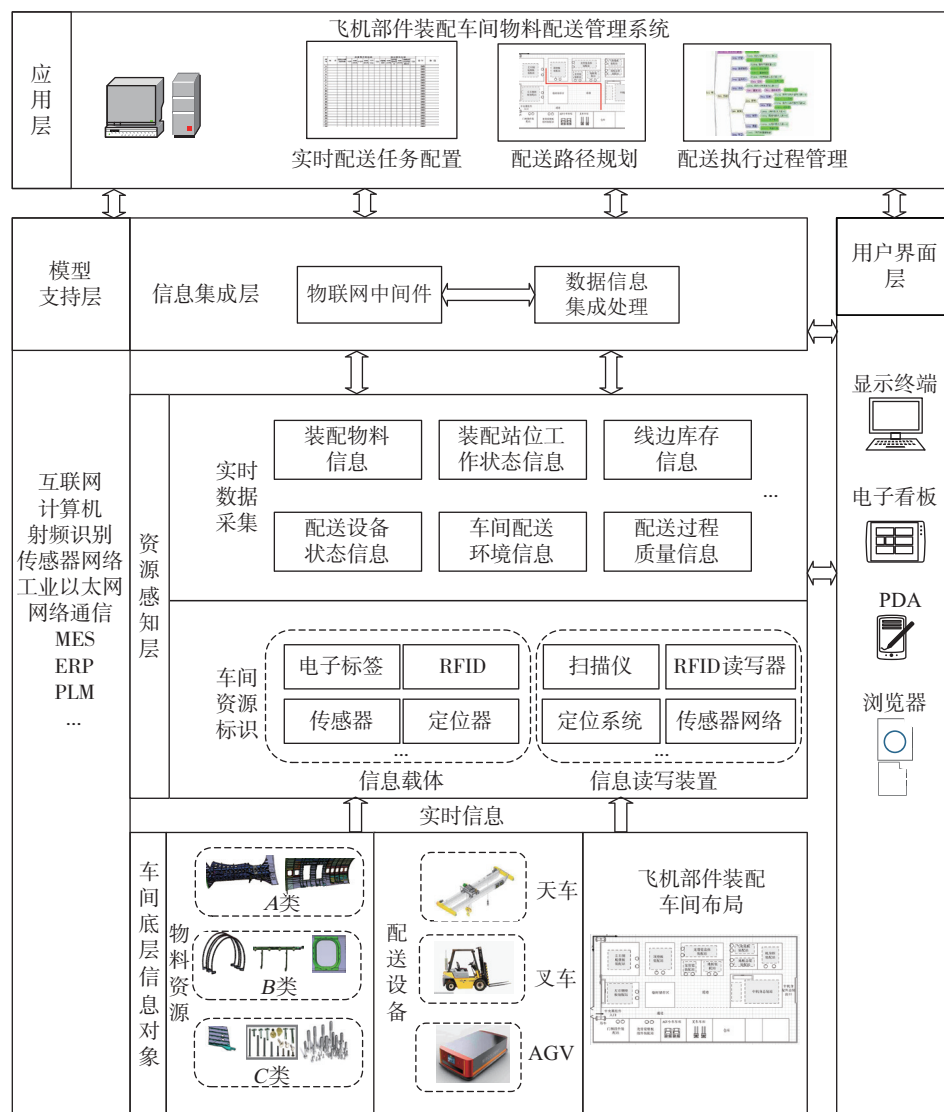


图1 基于实时信息的飞机部件装配车间物流配送模型框架

Fig.1 A material distribution model framework for aircraft component assembly workshop based on real-time information

送任务进行整合并生成任务序列。根据配送任务的具体属性利用 ABC 法^[11]进行分类。然后采用系统聚类的分析方法^[12]确定配送任务的优先级,相应的指标有装配站位工艺层级、物料配送的量和物料配送的距离。

(3) 获得配送任务的优先级后,根据配送设备的当前位置,以及当前的车间实时情况规划到目标站位的路径。在配送过程中如果出现进入通道、通过交叉路口、物料装卸的情况,根据实时信息对配送设备的行为进行控制,最后指导配送设备进行实时配送。

4 实例验证

针对某飞机制造企业的某型飞机中机身部件装配车间生产,本文结合在于该公司 ERP、车间 MES 系统集

成的基础上,基于 Teamcenter 软件平台和物流仿真软件 Plant Simulation 开发了物流配送管理系统,通过生产过程实时数据的获取,以提升物料配送能力,提高配送设备利用率,验证本文提出的框架。

首先根据飞机中机身装配车间的布局图建立飞机中机身装配车间模型(如图 3 所示),通过选择软件类库中相应的对象放入模型层,并调整模型中装配站位、车间通道、仓储区域以及天车的位置和大小。对模型进行调试,使模型运行正常,可得到整个中机身装配车间模型。该飞机中机身装配车间物流配送模型设置了一架天车,一辆叉车和一辆 AGV,用于执行对应的配送任务。

飞机中机身装配车间模型运行过程中,当某个装配站位需要进行物料配送时,就会生成物料配送请求,物

料配送管理系统根据装配站位的信息通过 Teamcenter 平台以及数据库获得所需要物料配送的相关实时信息。在建立的飞机中机身部件装配车间模型运行过程中,每隔 3h 基于实时信息对物料配送过程进行一次优化。某

一时刻物料配送系统获取的物料配送相关实时信息如图 4 所示。

获取实时信息后,物料配送管理系统对物料配送任务进行配置排序,可得如图 5 所示的配置后的物料配送

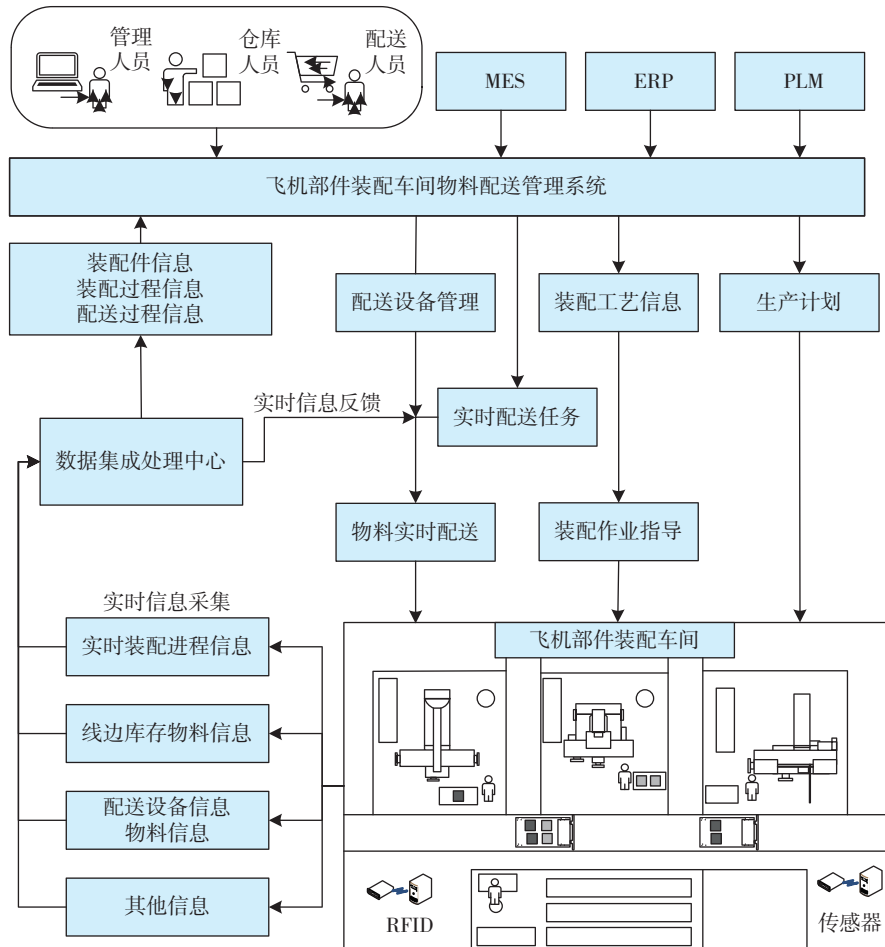


图2 基于实时信息的飞机部件装配车间物料配送运行过程

Fig.2 Material distribution operation process of aircraft parts assembly plant based on real-time information

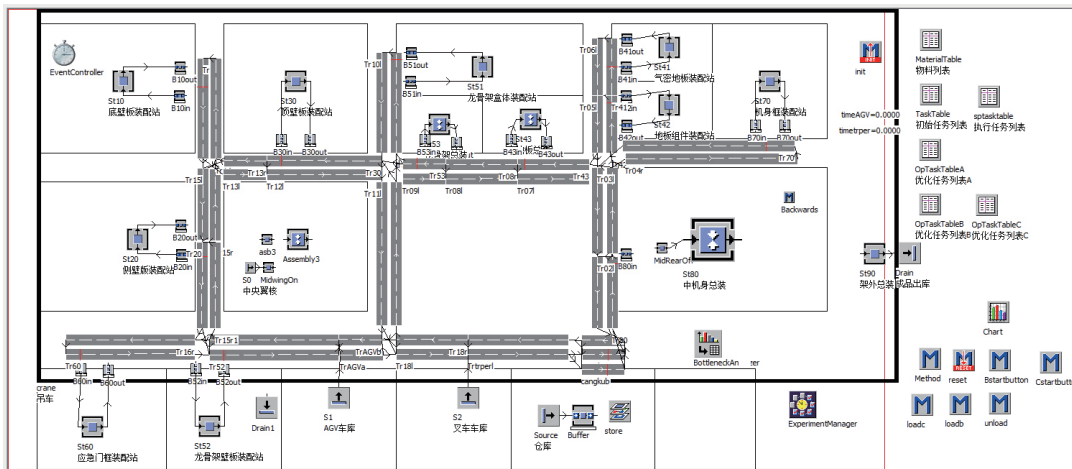
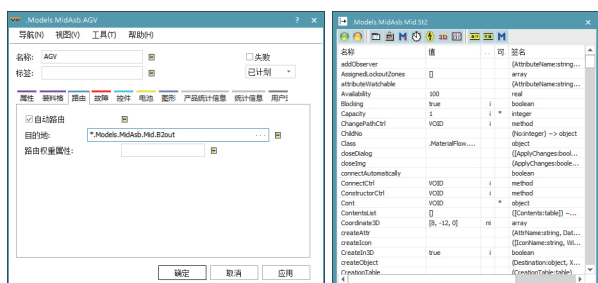


图3 中机身装配车间模型总图

Fig.3 General assembly model of the fuselage assembly

任务列表。

获取优化后的配送任务序列组合后,将优化后的配送任务序列传输给配送设备执行。对于配送任务的组合需要进行路径规划,需要根据车间的实时状况进行路径的规划。物料配送管理系统根据配送任务中记录的



(a) 配送设备信息 (b) 装配站位实时信息

string 1	string 2	string 3	string 4	string 5	string 6	string 7	string 8
任务编号	初始位置x	初始位置y	目的位置x	目的位置y	时间窗	站位级别	物料索引号
1 task1	41	25	12	14	64	2	st10130
2 task2	41	25	12	17	28	2	st20105
3 task3	41	25	19	9	48	2	st30115
4 task4	41	25	43	8	54	3	st41125
5 task5	41	25	43	4	48	3	st51120
6 task6	41	25	28	5	65	3	st51120
7 task7	41	25	5	25	81	2	st61135
8 task8	41	25	52	8	64	2	st70140
9 task9	41	25	43	17	1	1	st80110

(c) 配送任务信息

图4 中机身装配车间物料配送实时信息

Fig.4 Fuselage assembly shop material distribution real-time information

配送目的地坐标进行配送路径的规划,并对配送设备的行为进行控制。配送设备执行配送任务过程如图6所示。

通过对某型飞机中机身装配车间的验证,对直接配送模式与基于实时信息配送模式的运行结果进行对比。如图7所示,可以看出基于实时信息的配送模式比直接配送模式可以有效地节约执行配送任务的时间,减少总配送距离,提高配送设备的工作占比,减少配送设备空车率,有效提升了物料配送的能力。

5 结论

本文通过分析飞机部装车间物料配送过程的特点,给出了基于实时信息的飞机部装车间物料配送框架,结合信息化和物联网技术设计开发了飞机部件装配车间物料配送系统,实现对飞机部件装配过程的实时信息进

string	string	string	table
1	task5	C	仓库
2	optask3	C	仓库
3	optask4	C	仓库
4	optask5	C	仓库

图5 配置后的物料配送任务列表

Fig.5 Configured material delivery task list

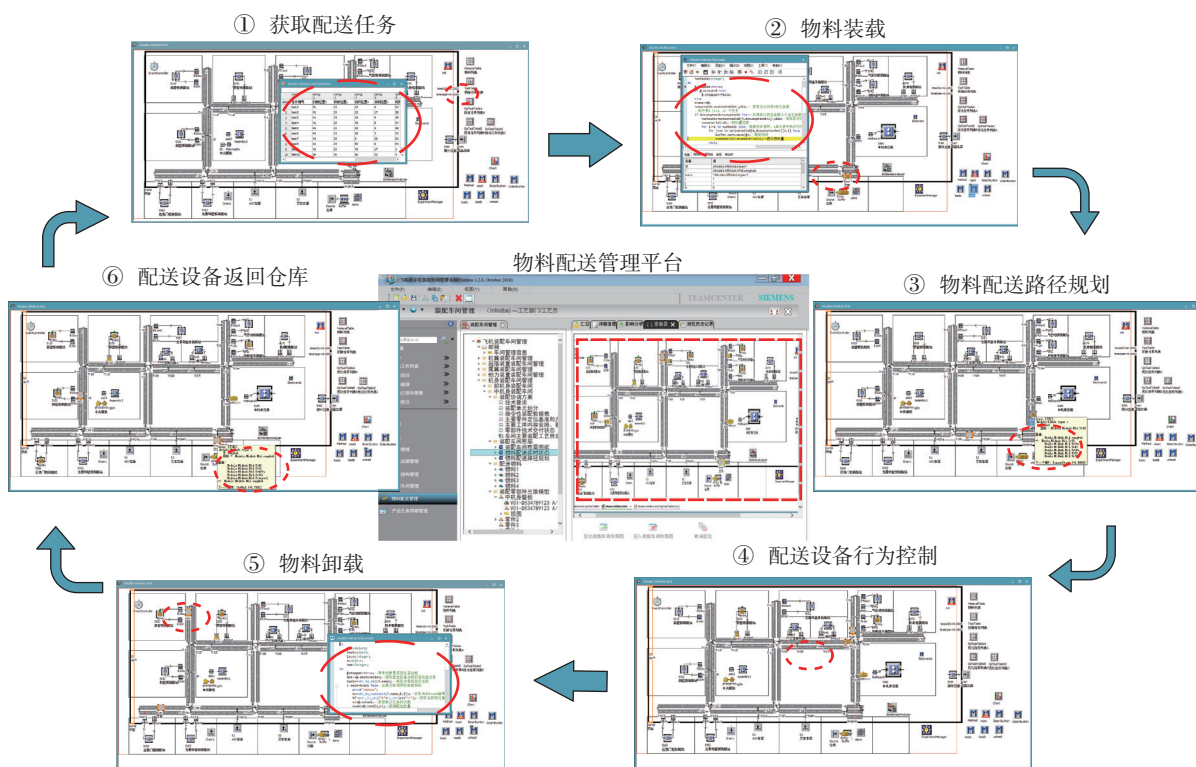


图6 配送设备物料配送执行过程图

Fig.6 Delivery equipment material distribution execution process diagram

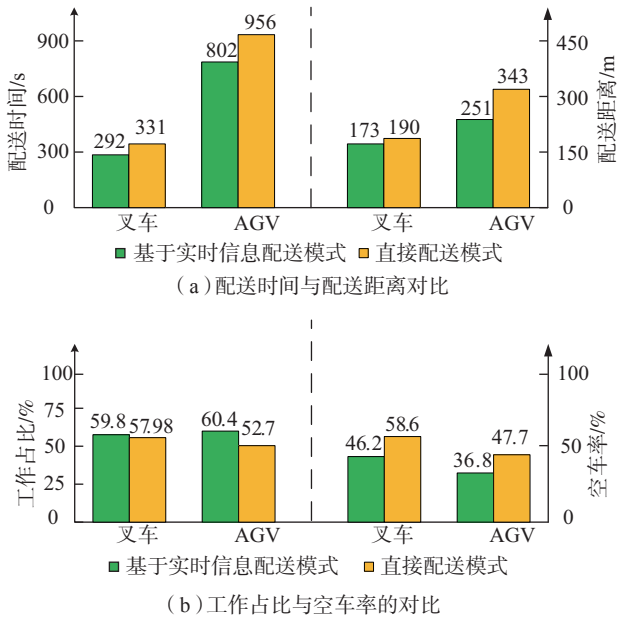


图7 基于实时信息配送模式和直接配送模式运行结果对比

Fig.7 Comparison of operation results based on real-time information distribution mode and direct distribution mode

行采集,根据各装配站位的装配进程对配送任务进行配置,获得优化的实时配送任务序列。通过在某型飞机中机身装配车间的应用验证,可以有效地节约执行配送任务的时间,减少总配送距离,提高配送设备的工作占比,减少配送设备空车率,高效利用配送设备的运载能力,提升车间物料配送的能力。

参考文献

[1] 牛润军, 范斌. 面向飞机自动化装配的物料配送体系研究[J]. 物流工程与管理, 2013(2): 56-57.

NIU Runjun, FAN Bin. Research on material distribution management for aircraft automatic assembly[J]. Logistics Engineering and Management, 2013(2): 56-57.

[2] 刘春, 魏亚飞, 张洪瑞. 生产线仿真技术发展及在航空制造中的应用[J]. 航空制造技术, 2016, 59(16): 57-62.

LIU Chun, WEI Yafei, ZHANG Hongrui. Development of production line simulation technology and its application in aeronautical manufacturing[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2016, 59(16): 57-62.

[3] 张伦彦. 基于RFID的航空生产和维修管理系统研究[J]. 航空制造技术, 2011, 54(19): 60-64.

ZHANG Lunyan. Study of aeronautic MES and MRO based on RFID[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2011, 54(19): 60-64.

[4] 李志宇, 张映锋. 面向物联制造环境的高可靠RFID传感网优化配置方法[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(4): 1040-1045.

LI Zhiyu, ZHANG Yingfeng. Research on the optimal deployment method of RFID-based sensor network for IOT-based manufacturing environment[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2015,

21(4): 1040-1045.

[5] 艾浩军, 张定安, 单志广. 物联网: 技术与产业发展[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011.

AI Haojun, ZHANG Anding, SHAN Zhiguang. Internet of things: technology and industrial development[M]. Beijing: Post & Telecom Press, 2011.

[6] 宋利康, 郑堂介, 黄少华, 等. 飞机装配智能制造体系构建及关键技术[J]. 航空制造技术, 2015, 58(13): 40-45, 50.

SONG Likang, ZHENG Tangjie, HUANG Shaohua, et al. Aircraft intelligent assembly manufacture system construction and its key technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015, 58(13): 40-45, 50.

[7] 刘旭东, 孙文磊, 崔权维. 基于物联网的车间制造系统实时信息提取与控制[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2016(3): 154-157.

LIU Xudong, SUN Wenlei, CUI Quanwei. The real-time information extraction and control of workshop manufacturing system based on IOT[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2016(3): 154-157.

[8] 刘建华, 童维勤. RFID系统中面向服务的动态资源配置优化机制[J]. 通信学报, 2012(8): 93-105.

LIU Jianhua, TONG Weiqin. Service-oriented dynamic resource configuration optimization scheme in RFID system[J]. Journal on Communications, 2012(8): 93-105.

[9] 侯瑞春, 丁香乾, 陶冶, 等. 制造物联及相关技术架构研究[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(1): 11-20.

HOU Ruichun, DING Xiangqian, TAO Ye, et al. Internet of manufacturing things and relevant technical architecture[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2014, 20(1): 11-20.

[10] 林美安. 飞机机身装配工艺及仿真技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010.

LIN Meian. Research on the assembly process and simulation of aircraft fuselage[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2010.

[11] 郭智敏, 严洪森, 陈施华, 等. 备件库存控制方法研究[J]. 计算机集成制造系统, 2003, 9(11): 1028-1032.

GUO Zhimin, YAN Hongsen, CHEN Shihua, et al. Method of spare parts' inventory control[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2003, 9(11): 1028-1032.

[12] 何金海. 物流园区共同配送车辆调度优化研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.

HE Jinhai. Research on logistics park common delivery vehicle scheduling optimization[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2014.

通讯作者: 贾晓亮, 工学博士、教授, 博士生导师, 研究方向为数字化制造、产品生命周期管理、智能制造, E-mail: jiaxl@nwpu.edu.cn.

(责编 大漠)