

doi: 10.12052/gdutxb.160125

基于RFID的工业园区生产物流联动智能管理系统

吴 强¹, 刘 轩¹, 屈 挺^{1,2}, 张 婷¹

(1. 广东工业大学 广东省计算机集成制造重点实验室, 广东 广州 510006;

2. 暨南大学 电气信息学院, 广东 珠海 519070)

摘要: 为解决工业园区中生产物流信息不同步、执行效率低、运作成本高等问题, 将AUTOM标准物联网架构扩展为多决策、多阶段无缝信息传递的新架构, 提出三层两级生产物流联动机制. 在分析工业园区的生产物流运作流程的基础上, 结合先进的物联网技术, 开发了工业园区环境下的生产物流联动智能管理系统, 该系统的智能设备联动、感知联动、信息耦合联动、决策联动等关键技术实现了生产物流信息实时化、协同化、智能化管理, 提高了生产物流执行效率.

关键词: 工业园区; 物联网技术; 生产物流联动; 智能管理

中图分类号: TP274 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-7162(2017)03-0096-09

RFID-based Production Logistic Synchronization Intelligent Management System in the Industrial Park

Wu Qiang¹, Liu Xuan¹, Qu Ting^{1,2}, Zhang Ting¹

(1. Guangdong CIMS Provincial Key Lab, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;

2. College of Electrical and Informatics, Jinan University, Zhuhai 519070, China)

Abstract: Many problems, such as production logistic information un-synchronization, low efficiency of execution and high operation costs, exist in industrial parks. To address these problems, standard AUTOM information infrastructure is extended to a new infrastructure which supports multi-stage and multi-decision unit seamless information exchanging. And a new "three-stage two degree" production logistic synchronization has been proposed. An industrial park production logistic synchronization intelligent management system based on production logistic operation process analysis and advanced IoT technology are proposed. This system includes four key technologies, intelligent equipment synchronization, sensing synchronization, information coupling synchronization and decision-making synchronization. Apart from realizing real-time synchronization and intelligent management of production logistic information, it also improves execution efficiency.

Key words: industrial park; IoT technology; production logistics synchronization; intelligent management

工业园区是在一定的土地范围内部, 以产业集聚或产业链耦合为基础, 通过详细的规划与提供工业设施而建设的区域, 园区内包括制造商、供应商、工业园区公共仓库(Supply Hub in Industrial Park, SHIP)等多方企业. SHIP为制造商与供应商提供原材料和成品运输与存储活动, 缓解了资源紧张、避免仓储和运输设备投资、管理与维修风险等^[1-2]. 随着客户需求多样化, 园区内生产物流运作模式由大批量、少品种转化为小批量、多品种、高频率, 大大地增加了

生产与物流执行难度. 如何提升工业园区生产物流执行效率以快速应对客户市场需求是工业园区生产物流运作中急需解决的一个重要内容.

生产物流指生产过程中发生的物流活动, 是生产中各个活动相互关联的重要过程, 其占据生产时间的90%以上, 对生产全流程运作效率起决定性作用. 当前, 德国在工业4.0的战略部署中将生产物流作为着重关注的环节^[3], 物联网系统已广泛独立应用于生产物流各环节当中, 如实时制造系统^[4-5]、仓库管理

系统^[6-7]、车队管理系统^[8-9]。由于工业园区中生产物流的各决策单元之间信息交互存在很大的局限性,多环节之间的实时信息衔接不当造成生产计划的执行能力差、成品下线堆积、物料供应不及时等问题。因此,在工业园区中如何将生产和物流各环节的资源有效联动,使各决策单元纵向动态实时决策与横向运作流程协调成为了本文的挑战。

RFID技术是通过无线电信号识别特定目标并读写数据,可自动精准捕获物理对象信息,实现数据可视化、透明化、精准追踪^[10]。1999年Brewer将RFID应用于资源追溯^[11],随后引发国内外学者在制造行业中对物联网的引用进行探索^[12-14]。香港大学黄国全教授在2006年对制造物联网框架进行了详细的阐述^[15],并于2011年建立了可扩展的AUTOM通用性制物联网信息架构^[16]。目前,利用物联网技术对生产、物流资源的追溯与自动识别发展到执行系统的

动态过程管理直至对整个生产计划的全流程智能化决策^[4, 17-19],但未能实现多企业联动优化决策。

本文以RFID技术在工业园区大规模应用为前提,以多企业生产与SHIP中各环节动态性为研究对象,分析了工业园区中生产物流的运作流程、问题与难点,提出三层两级动态联动机制,结合物联网技术开发了生产物流联动智能管理系统并详细阐述其关键技术,推动工业园区生产物流信息透明化,实现集成化、实时化、精益化生产物流联动协同优化管理。

1 生产物流联动运作分析

1.1 生产物流运作流程分析

工业园区中存在制造商、供应商和SHIP 3种类型企业,SHIP物流车辆循环前往各供应商取货并在SHIP内完成交叉转运后按照制造商需求循环配送。其生产物流运作流程如图1所示。

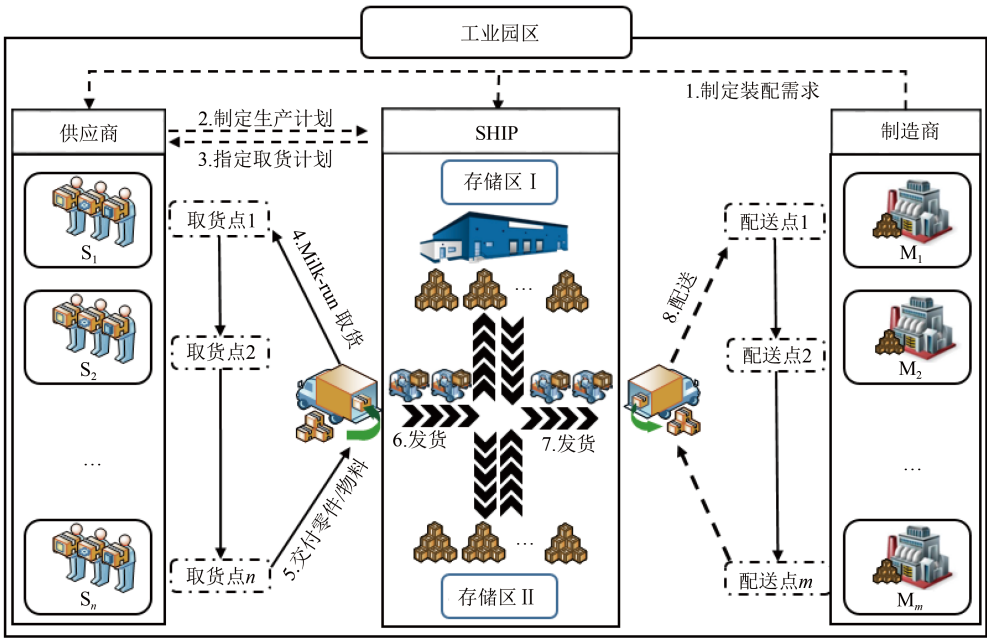


图1 工业园区中基于SHIP的生产物流运作流程图

Fig.1 Production logistic operation process chart in SHIP

详细运作流程是:(1) 制造商制定装配计划并向供应商和SHIP下达物料需求订单;(2) 供应商制定生产计划并拟定分时段取货计划,发送至SHIP;(3) SHIP根据仓库和车辆资源制定取货计划并下达运输任务;(4) SHIP物流车辆按照规定的取货时间、取货点、取货量采用Milk-run循环取货的方式到各取货点取货;(5) SHIP物流车队取货完毕后返回SHIP中心交付物料;(6) SHIP仓库收货并将所取物料存储在指定库位;(7) SHIP仓库按照制造商需求备货并通知SHIP车辆发货;(8) SHIP物流车辆循环配送物料,最

终返回SHIP,完成配送任务。

1.2 生产物流问题分析

工业园区中的生产物流模式具有物料需求量少、配送频率高、配送周期短等特点。由于各环节都是相互独立的决策单元,其决策目标不考虑其他环节的约束,一旦实际运作过程中出现随机动态性,将导致计划决策与现场执行不一致,使得物料供应无法满足生产需求,造成装配生产线不能连续生产。主要表现在以下几个方面。

(1) 客户需求变动. 客户紧急加单、产品数量增加或减少都将使生产与物流发生变化.

(2) 产品下线时间不确定. 生产线设备故障、原材料供应不及时等导致零件完工时间的不确定, 随着时间的推移, 零件生产速率和数量波动性会不断增加.

(3) SHIP物流运输效率低. 物流车辆在运输过程中由于交通、天气、取货时间不确定等造成取货计划混乱、车辆装载率低、订单配送延迟等问题导致物流运输成本高.

(4) 生产和物流计划执行效率低. 执行过程中任意一个或多个决策体的动态波动都会导致生产和物流运输节拍不一致, 影响生产物流计划执行节拍的连续性和稳定性.

1.3 生产物流联动运作难点分析

针对上述问题, 可通过生产物流联动优化管理, 实现联动决策需实时监控生产、下线、运输等多环节的执行状态. 由于工业园区架构体系、区域特点、信息水平、资源等因素限制, 实现生产物流联动具有难点如下.

(1) 生产与物流信息的实时获取. 生产、物流执行过程中产生的数据量庞大, 实时数据信息的动态JIT获取是生产与物流联动的支撑体.

(2) 纵向管理层决策信息不同步. 决策层无法精准从执行层洞悉当前执行状态, 执行层在实际执行过程中受到动态干扰后无法及时传递给决策层并实时动态调整.

(3) 横向执行层运作衔接不一致. 执行层各环节的动态性无法实时共享与调整, 整个生产物流的运作呈现出局部管控、自身优化, 并非全局管控、动态优化.

(4) 动态性干扰具有多层级特性. 不同程度的动态性干扰产生资源需求的量级是不同的, 小范围的动态性可通过自身调整, 大范围的动态性不仅需要自身调整, 还需要与其他子系统协同优化以保证系统的稳定性.

因此, 生产物流联动优化不仅要建立信息实时捕获、处理、共享架构, 还要设计多层级动态联动执行机制.

2 生产物流联动信息系统方案设计

2.1 基于RFID的生产物流联动信息架构

本文提出的RFID智能生产物流实时信息架构是在Huang^[13]提出的AUTOM框架基础上, 利用物联

网技术对多层级多阶段动态信息实时优化管理的新架构. 如图2所示为RFID智能生产物流联动信息架构, 主要由执行设备联动、对象感知联动、信息服务联动、应用决策联动等4部分构成.

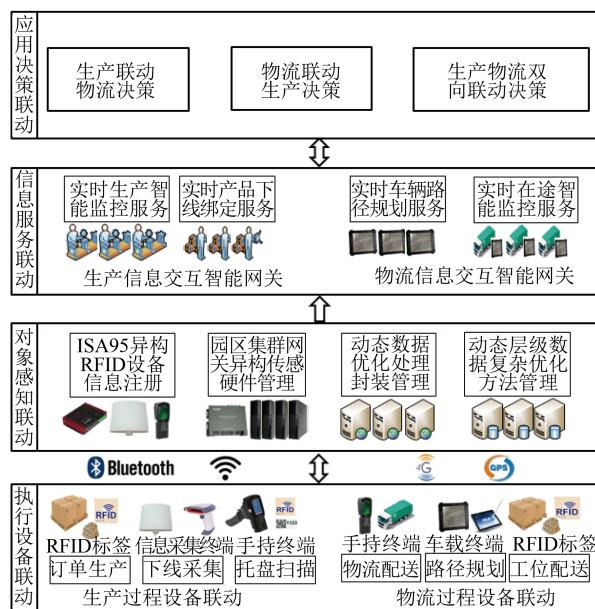


图2 RFID智能生产物流联动信息架构

Fig.2 RFID intelligent production logistic synchronization information infrastructure

执行设备联动: 对实体对象(如生产设备、托盘、车辆等)通过无线网络技术实现生产物流过程中“物—物”相连, 是信息实时、精准获取的基础.

对象感知联动: 通过设备信息注册、异构传感硬件管理、动态数据优化封装、动态层级数据管理等技术, 实现多层级多阶段信息主动感知与传递.

信息服务联动: 通过实时生产智能监控、实时产品下线绑定、实时车辆路径规划、实时在途智能监控等获取生产物流实时状态, 实现多动态信息实时联动服务与增值处理过程.

应用决策联动: 按核心决策体的不同分为生产联动物流决策、物流联动生产决策、生产物流双向联动决策3种模式, 实现了生产现场智能优化管理、实时资源监控、动态优化决策、物流优化配送、行驶路径优化等集成服务、透明管理和智能决策.

2.2 三层两级生产物流联动机制

物联网环境下的三层两级生产物流联动机制具体表现为: 制造商、SHIP和供应商3个层级的决策体, 预规划和实时修正规划两级, 其中实时修正规划阶段可根据动态性的大小分自身优化、生产物流协同优化与SHIP补货. 三层两级生产物流联动机制流程如图3所示.

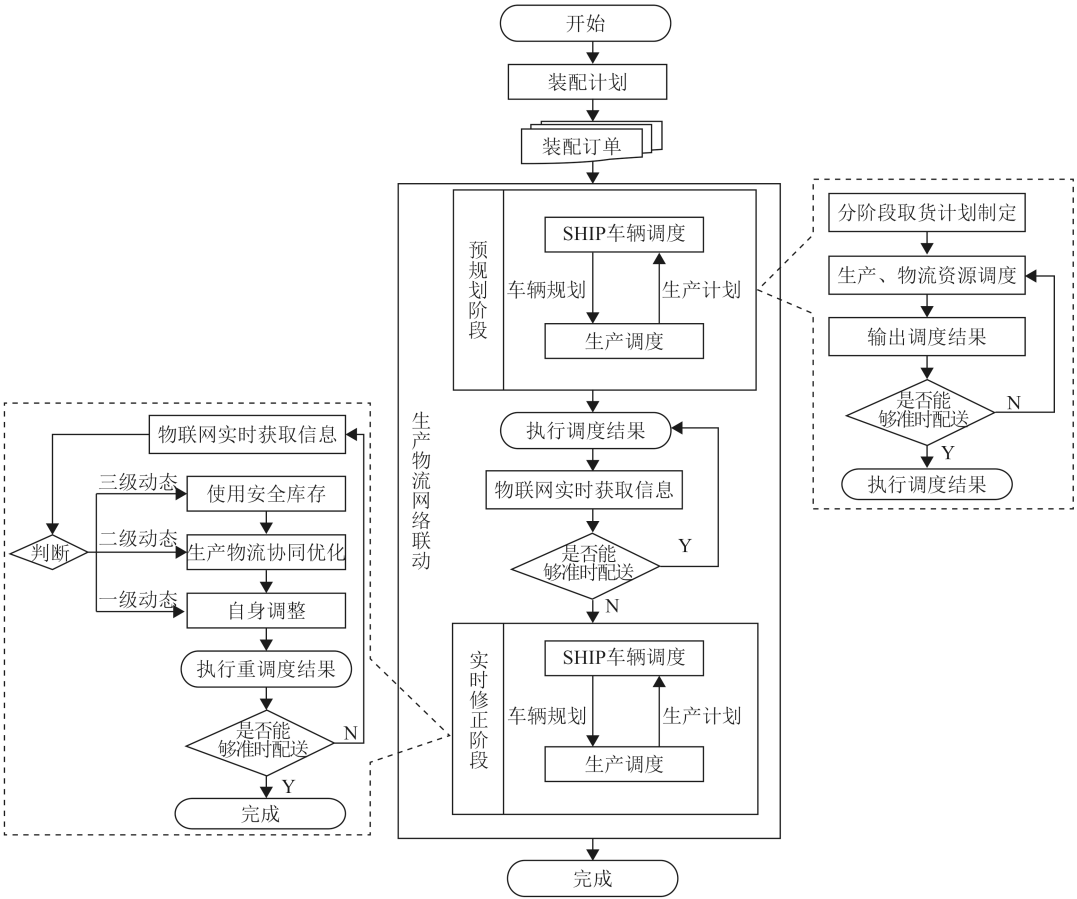


图3 三层两级生产物流联动机制

Fig.3 Three-stage two degree production logistic synchronization mechanism

联动流程描述为:(1) 制造商下达装配计划并生成装配订单;(2) 预规划:SHIP物流与供应商依据当前资源状态(如:设备产能、车辆资源、交货期),生成生产和物流联动的预规划决策;(3) 执行预规划结果并利用物联网技术实时捕获生产与物流信息,判断是否存在动态性;(4) 当动态性存在且达到一定阈值时触发实时修正规划:按照动态性大小确定联动方案;(5) 执行动态联动优化结果并实时监控,直至联动结束。

该联动机制核心是多层级多阶段生产物流静态数据预决策与动态数据实时修正决策.静态数据预决策是资源配置过程,动态数据实时修正决策是对动态信息实时迭代修正与优化处理的过程.通过静态与动态阶段优化将纵向管理层之间信息交互管理,横向执行层之间信息有机融合,实现物联网信息驱动的多层级、跨阶段生产物流动态联动。

3 RFID智能生产物流管理系统整体方案设计

本章介绍了生产物流管理系统包括基础信息管

理、RFID智能生产管理、RFID智能物流管理、RFID智能仓储管理、RFID实时数据信息管理,详细说明系统所含关键技术,并对系统使用流程与联动功能进行展示。

3.1 系统模块设计

3.1.1 基础信息管理

基础信息管理系统是RFID智能生产物流对象采集的基础,其通过ATUOM智能信息网关与采集对象松散耦合,实现基础资料信息的精准整合与可视化管理。

智能信息网关由软件服务器和硬件极限采集器组成的主动式推送信息通道,对订单信息上传与下达、生产信息精确捕获和物流对象实时采集等,驱动各个子系统自动获取识别对象,实现智能信息网关对采集对象的“即采即用”.智能信息网关通过与Web Service信息技术结合,通过信息流节点融合以实现多系统异构信息的批量数据整合与可视化管理。

3.1.2 RFID智能生产管理

生产管理模块主要包括生产任务调度管理、生产监控管理、物料供应管理、物料缓存管理、零件装

配管理和产品下线管理. 利用RFID无线射频技术对生产加工工位和实时物料供给监控, 实现生产过程对关键流程控制点的动态信息的实时感知与优化管理.

(1) 生产任务调管理. 生产调度员通过手持平板获取生产订单后依据现有生产资源信息结合调度算法生成调度结果, 当车间实际生产发生动态性影响时, 生产调度员根据当前可用生产资源对生产订单重调度, 实现生产过程智能控制.

(2) 生产监控管理. 实现生产进度监控和产品质量监控. 生产进度监控是利用RFID采集生产单元的实时数据并对生产状态实时监控, 产品质量监控则是通过RFID采集信息判断加工后产品是否合格.

(3) 物料供应管理. 当某工位所需物料达到某一阈值时, 自动触发配送管理系统并生成配送任务.

(4) 生产加工管理. 通过部署RFID设备对生产线机器与所需物料管理, 解决机器负荷分配不均、衔接不当、信息不明等问题, 实现了多并行机加工过程的精益化控制与智能检测.

(5) 物料缓存管理. 通过RFID标签与物料进行绑定以识别生产线上缓存区待加工物料, 解决生产线物料缓存区物料识别困难、交接繁琐、存量不清等问题.

(6) 产品下线管理. 实时采集下线产品并通过智能信息网关生成物流取货任务并通知物流车辆取货.

3.1.3 RFID智能物流管理

物流管理模块主要包括车辆信息管理、配送路径管理、车辆位置获取、实施路径优化和扩展信息加载. 物流管理过程通过RFID无线射频技术捕获车辆、驾驶员、车位和路径等信息并通过智能网关耦合后以Web界面可视化, 实现对SHIP车辆智能任务调度、智能路径规划和智能车辆管理等功能.

(1) 智能物流任务. RFID设备采集加工工位、下线点和配送点信息并安排车辆循环配送与取货. 当某位置发生动态影响时, 自动触发自适应车辆任务分配算法进行任务重调度.

(2) 车辆信息管理. 包括车位管理和车辆出入管理. 通过RFID门禁报警器、Alien读写器、RFID天线和工业显示器等按照车辆属性和库位资源等进行自动化管理.

(3) 配送路径规划. 驾驶员实时获取配送与取货任务, 系统根据任务地理位置规划行驶路径并推送至车载终端.

(4) 车辆位置获取. 通过GPS自动导航定位系统实时获取车辆所在位置与其行驶的路径.

(5) 实时路径优化. 当某一个或多个取货点/配送点需求信息变更时, 触发行驶路径优化功能, 降低运输成本.

(6) 扩展信息加载. 通过XML文件扩展园区信息, 重新规划道路、取货点、配送点.

3.1.4 RFID智能仓储管理

智能仓储管理模块利用RFID对高频出入库、多产品频繁周转等大量复杂信息的精准信息捕获功能实现对物料的入库、库内交叉转运、出库等智能管理.

(1) 智能入库管理. 智能核对物料信息(如收货区、库位、托盘和物料数量等)并通过叉车平板电脑推送给叉车司机, 自动分配入库任务.

(2) 交叉转运管理. 获取库内资源信息, 协助叉车司机执行库内运输任务.

(3) 智能出库管理. 智能核对发货物料信息(如发货区、库位、托盘和物料数量等), 确保物料出库信息的及时性、准确性和高效性.

3.1.5 RFID实时数据信息管理

RFID实时数据信息模块将物料需求、生产进度、物流车辆和行驶路径等关键节点动态数据信息实时精准捕获并存储在系统数据库中, 通过可实时操作的算法对生产物流过程中出现的动态性进行分析并处理, 生成当前最优结果来指导生产和物流过程中的实际运行操作. 同时, 还可显示实时捕获数据的动态分析报表, 为不同岗位工作人员决策提供依据.

3.2 生产物流联动管理系统涉及的关键技术

基于物联网的生产物流联动管理系统涉及物联网硬件、动态信息、计算机技术、智能决策与多学科优化等多方理论、方法. 本文所涉及的RFID智能生产物流联动关键技术包括: 基于RFID的智能执行设备联动技术、基于RFID的智能对象感知联动技术、基于RFID的智能信息服务联动技术和基于RFID的智能应用决策联动技术.

(1) 基于RFID的智能设备联动技术. 它是实现生产物流实时信息主动感知的基础, 针对生产物流过程中涉及的多层级多阶段动态信息实时采集, 实现“物-物”互联与多源信息耦合. 如图4所示, RFID设备通过RFID标签层、读写器层、集成显示层等实现“物-物”多源信息耦合, 其中RFID标签将生产设备、物流车辆、托盘和产品等相互连通并通过RFID读写器实现多源信息采集, 最终在各种集成端集成显示.

(2) 基于RFID的智能感知联动技术. 它是实时获取动态信息的主要方式与途径, 主要包括: 多层多阶段数据主动感知、生产物流过程智能分析与封装和

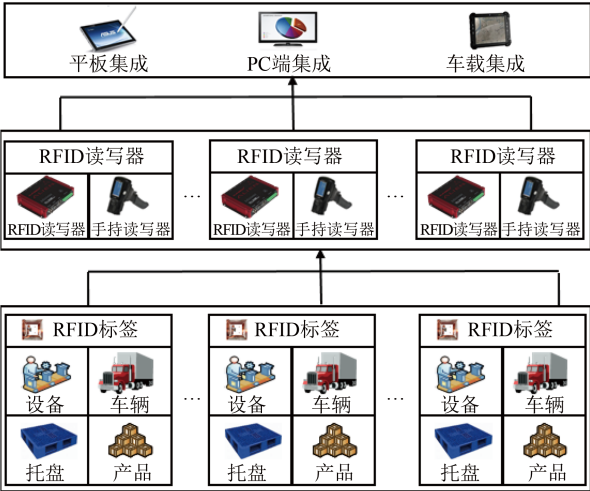


图4 基于RFID的智能设备信息联动

Fig.4 Intelligent device information synchronization based on RFID

多源信息耦合增值. 多层多阶段数据主动感知是对实时信息的主动感知,实现新事件与动态事件的数据获取;生产物流过程智能分析与封装是对各关键点主动感知的信息按照一定的规则进行优化分析与分层处理;多源信息耦合增值是对封装的信息识别与判断并通过自适应智能算法生成可视化图表. 如图5所示,多源信息通过“物-物”互联与智能传感技术为生产、物流、仓储之间的联动执行过程提供服务,实现工业园区信息集成联动优化.

(3) 基于RFID的智能信息耦合联动技术. 生产物流多层次多阶段关键点信息的监控感知、动态处理和智能决策服务的过程,实现了信息的可视化管理与智能化决策,为各决策单元决策提供可靠数据依据. 如图6所示,多源实体物质通过物联网智能设备

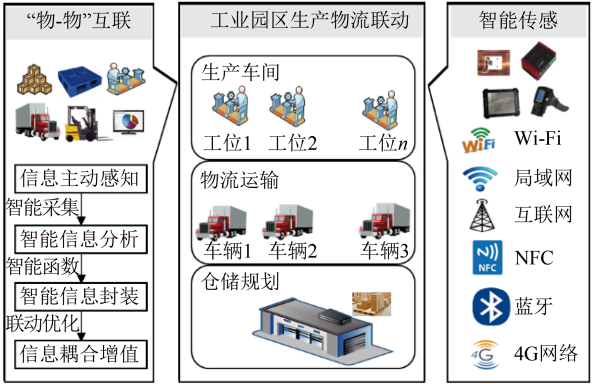


图5 基于RFID的智能感知联动

Fig.5 Intelligent sensing synchronization based on RFID

感知技术与联动技术实现全流程信息精准采集,在园区级系统主导控制下对生产、物流和仓储各子系统信息实时捕获,通过各系统多次交互,实现对采集信息智能处理并输出联动优化结果.

(4) 基于RFID的智能决策联动技术. 对生产物流信息全面监控管理与信息追溯,实现信息的智能决策与联动处理. 在工业园区中生产与物流相互影响,两者之间的联动决策管理是生产物流联动决策的深度应用,其优化目标是充分考虑生产和物流的动态性之后的全局最优策略. 联动运作模型如下:

① 目标函数: 系统运作总成本最低

$$\min f(W) = W_p^2 + W_w^2. \tag{1}$$

② 生产物流联动优化一致性约束

$$J_p^* = (W_p - Z_p)^2 = 0, \tag{2}$$

$$J_w^* = (W_w - Z_w)^2 = 0. \tag{3}$$

③ 生产成本

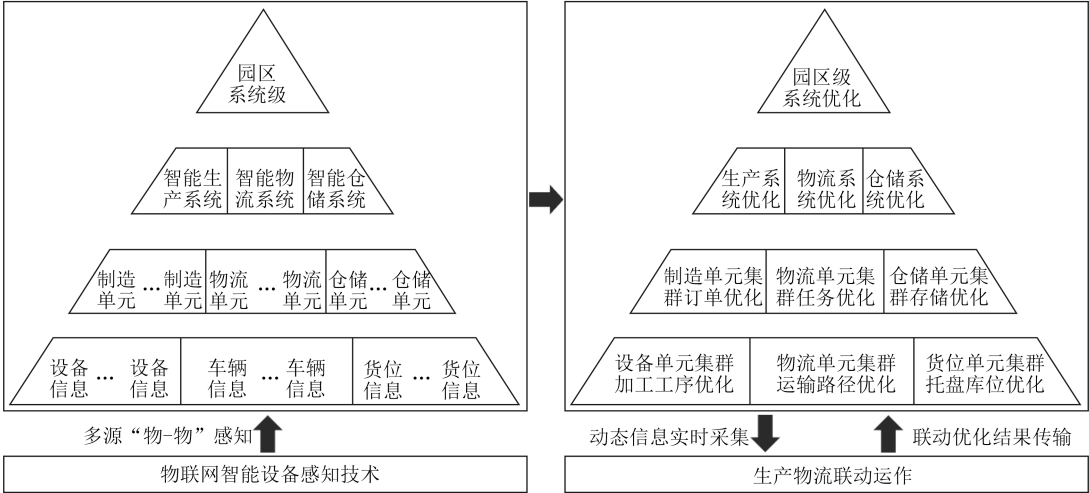


图6 智能信息耦合联动优化技术框架

Fig.6 Intelligent information coupling synchronization optimization technology frame

$$\min Z_p = p_i + p_{imc} \times t_{im} + \sum_{m=1}^a \sum_{i=1}^n \max(0, t_{iml} - d_{im}). \quad (4)$$

④ 物流成本:

$$\begin{aligned} \min Z_w = & \sum_{w=1}^b f_{cw} + \sum_{w=1}^b \sum_{r=0}^a \sum_{s=0}^a v_w \times d_{rs} + \\ & \alpha \sum_{w=1}^b \max\{0, \sum_{i=1}^a q_{wi} - w_w\} + \\ & \lambda \left[\sum_{i=1}^a \sum_{w=1}^b \max(0, a_{wi} - l_i) + \sum_{i=1}^a \sum_{w=1}^b \max(0, e_i - a_{wi}) \right] + \\ & \gamma \left[\sum_{m=1}^n \sum_{i=1}^a \max(0, n_{mi} - l_{mi}) \right] \end{aligned} \quad (5)$$

符号意义说明如下:

W_p : 生产子系统的设计变量;

W_w : 物流子系统的设计变量;

Z_p : 生产成本;

Z_w : 物流成本;

p_i : 第*i*个企业的生产设备折旧成本;

p_{imc} : 第*i*个企业的订单*m*的生产成本;

t_{im} : 第*i*个企业的订单*m*生产加工时间;

t_{iml} : 第*i*个企业的订单*m*的生产延期时间;

d_{im} : 第*i*个企业的订单*m*的交货期;

f_{cw} : 第*w*型车的固定发车成本;

v_w : 第*w*型车的行驶速度;

d_{rs} : *r*与*s*两点的距离;

α : 车辆延期的惩罚系数;

q_{wi} : 第*w*型车在第*i*个企业取货量;

w_w : 第*w*型车的额定载重;

λ : 违反取货时间窗约束惩罚系数;

a_{wi} : 第*w*型车到达第*i*个企业的时间;

l_i : 最晚到达第*i*个企业的时间;

e_i : 最早到达第*i*个企业的时间;

γ : 车辆配送延期惩罚系数;

n_{mi} : 第*i*个企业的第*m*个订单的实际配送时间;

l_{mi} : 第*i*个企业的第*m*个订单的配送交货期.

其中, 式(1)为园区联动系统级目标优化函数; 式

(2)与式(3)为一致性约束; 式(4)中, 第1项表示设备折旧成本, 第2项表示与单位加工时间成正比的加工成本, 第3项表示订单延期交货的惩罚成本; 式(5)中, 第1项表示固定发车成本, 第2项表示与行驶距离成正比例关系的可变运输成本, 第3项表示超载罚款值, 第4项表示违反取货时间窗约束惩罚成本, 第5项表示配送延期惩罚成本.

3.3 联动系统运作流程与功能

RFID智能生产主要操作流程为: 生产计划制定→生产进度监控→RFID智能缓存→加工资源监控

→产品下线管理. RFID智能物流主要操作流程为: 物流计划制定→RFID仓库管理→智能配送管理→RFID车辆管理→智能取货管理. RFID智能生产物流联动管理系统运作流程如图7所示.

(1) 计划联动: 生产计划制定与物流计划制定联动, 实现对生产和物流两者的任务协同调度, 即生产企业按其订单制定生产计划与物料需求计划, SHIP物流管理员根据生产企业的物料需求计划制定物料JIT定点配送计划.

(2) 监控联动: 生产进度监控与RFID仓库管理联动, 实现生产进度与SHIP仓库物料联动监控、生产订单JIT智能仓库预规划与实时生产计划联动监控管理. 车间生产实时获取SHIP库位物料车间生产现状对物料需求精准掌控与管理, SHIP仓管员根据生产计划进行库位预规划, 当生产计划发生变动时, SHIP根据实时获取生产信息进行联动规划.

(3) 配送联动: 生产线缓存与原料配送管理联动, 实现对生产线缓存区原料JIT供给与多点循环配送管理. SHIP实时获取生产线各缓存区物料需求数量后根据仓库物料资源与物流车队资源安排SHIP车辆循环前往各配送点配送物料, 在配送过程中, 物流车辆实时获取各配送点需求信息, 并进行实时路径规划.

(4) 资源联动: 生产资源调度与物流资源调度联动管理. 生产资源的调度过程中充分考虑物流资源限制, 物流资源的调度需配合生产调度, 生产资源与物流资源两者多次交互运作并优化出最优执行结果, 可有效降低生产物流成本, 提高园区生产效率.

(5) 取货联动: 产品下线与循环取货管理联动, 实现对产品的多点Milk-run循环取货与产品JIT入库管理. SHIP实时获取各下线点产品信息并安排物流车辆循环前往各取货点取货, 在取货过程中, 物流车辆实时获取各点取货数量, 根据车辆载货量实时更新取货路径, 降低取货成本.

4 结论

随着制造物联网技术的发展, 基于RFID的制造物联网系统可高效、精准地实现工业园区中生产物流执行过程中的多源信息实时采集、动态监控、优化分析、精准预测和联动决策等要求. 本文运用先进制造物联网技术开发了一套工业园区环境下基于RFID的生产物流联动智能管理系统, 实现对多企业生产物流集成协同优化管理与实时生产物流联动调度, 该系统拓展了SHIP的生产物流运作思维模式, 对

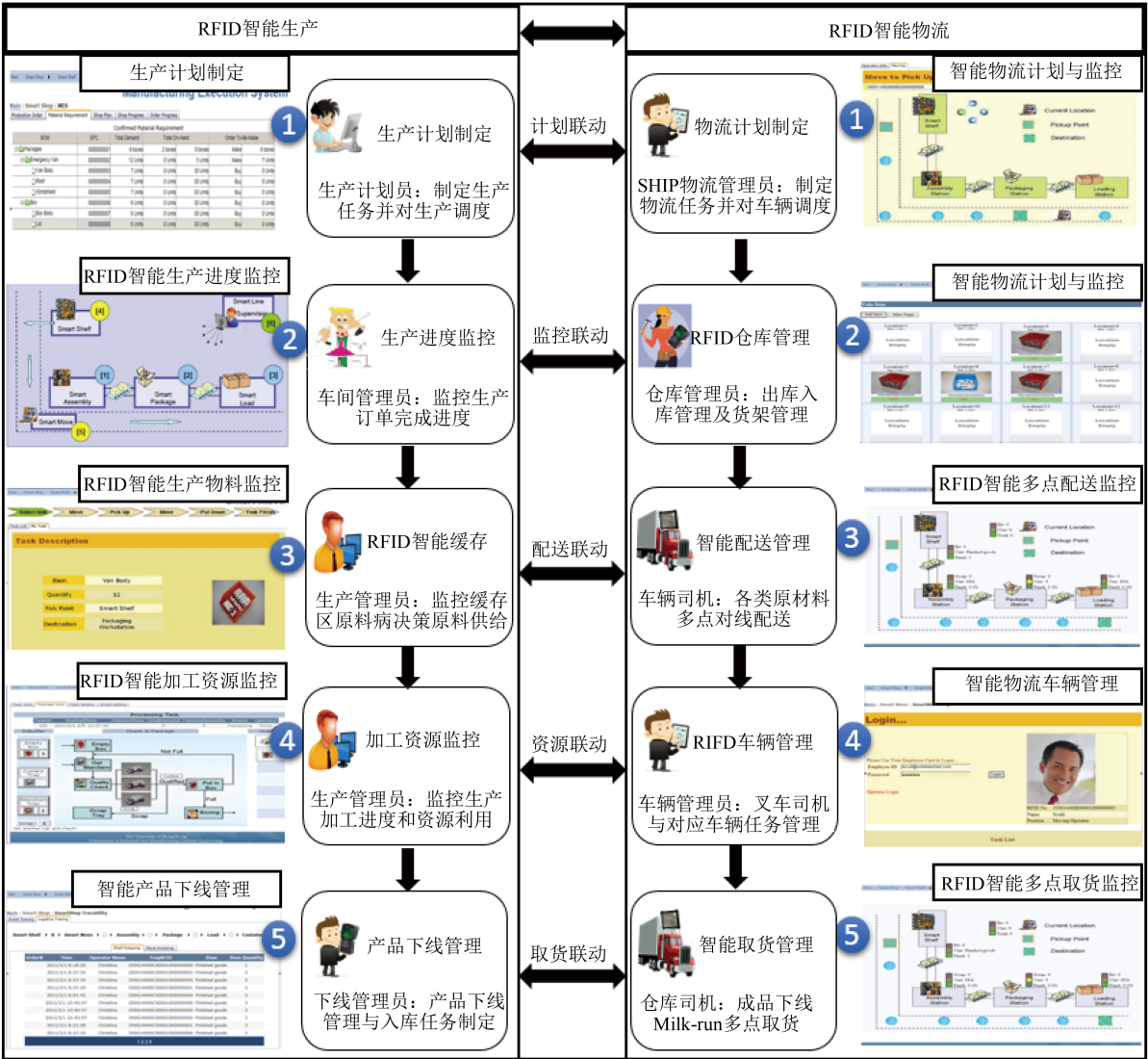


图 7 SHIP中基于RFID的生产物流联动运作流程

Fig.7 Production logistic synchronization operation process in SHIP based on RFID

中国制造业发展质量和水平具有重要的借鉴价值,为建设数字化、网络化和智能化的工业园区奠定基础.

参考文献:

[1] QIU X, LUO H, XU G, *et al.* Physical assets and service sharing for IoT-enabled Supply Hub in Industrial Park (SHIP) [J]. International Journal of Production Economics, 2015, 159(2): 4-15.

[2] 张霞, 鲁德银, 蔡根女. 基于产业集群的工业园区研究的理论综述及其启示[J]. 科技进步与对策, 2005, 22(4): 171-173.

ZHANG X, LU D Y, CAI G N. The revelation and summarize of the theory on industry section based on industry cluster [J]. Science & Technology Progress and Policy, 2005, 22(4): 171-173.

[3] 房殿军. 面向工业4.0的智能工厂与智能物流系统建设[J]. 物流技术与应用, 2015(6): 90-94.

FANG D J. Industry 4.0 oriented intelligent industry and intelligent logistics system construction [J]. Logistics & Material Handling, 2015(6): 90-94.

[4] 张映锋, 赵曦滨, 孙树栋, 等. 一种基于物联技术的制造执行系统实现方法与关键技术[J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(12): 2634-2642.

ZHANG Y F, ZHAO X B, SUN S D, *et al.* Implementing method and key technologies for IoT-based manufacturing execution system [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2012, 18(12): 2634-2642.

[5] 程翱, 屈挺, 王宗忠, 等. 基于排队论的生产物流运输资源优化配置方法[J]. 广东工业大学学报, 2015, 32(4): 83-87.

CHENG A, QU T, WANG Z Z, *et al.* Optimal configuration of transportation resources based on queuing theory in a production logistics system [J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2015, 32(4): 83-87.

[6] HUANG G Q, ZHANG Y, JIANG P. RFID-based wireless manufacturing for real-time management of job shop WIP

- inventories [J]. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2008, 36(7): 752-764.
- [7] WANG H W, CHEN S, XIE Y. An RFID-based digital warehouse management system in the tobacco industry: a case study [J]. *International Journal of Production Research*, 2010, 48(9): 2513-2548.
- [8] 汤雅连, 蔡延光, 郭帅, 等. 单车场关联物流运输调度问题的混沌遗传算法[J]. *广东工业大学学报*, 2013, 30(3): 53-57.
- TANG Y L, CAI Y G, GUO S, *et al.* Single-depot incident vehicle routing problem based on chaos genetic algorithm [J]. *Journal of Guangdong University of Technology*, 2013, 30(3): 53-57.
- [9] CHOW H K H, CHOY K L, LEE W B, *et al.* Design of a RFID case-based resource management system for warehouse operations [J]. *Expert Systems with Applications*, 2005, 30(4): 561-576.
- [10] PAPIN C, DENOUEL Y A, LAUGIER D, *et al.* Digital manufacturing: history, perspectives, and outlook [J]. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture*, 2009, 223(5): 451-462.
- [11] BREWER A, SLOAN N, LANDERS T L. Intelligent tracking in manufacturing [J]. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1999, 10(3): 245-250.
- [12] 刘卫宁, 黄文雷, 孙棣华, 等. 基于射频识别的离散制造业制造执行系统设计与实现[J]. *计算机集成制造系统*, 2007, 13(10): 1886-1890.
- LIU W N, HUANG W L, SUN D H, *et al.* Design and implementation of discrete manufacturing industry MES based on RFID technology [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2007, 13(10): 1886-1890.
- [13] CHOI S H, YANG B, CHEUNG H H, *et al.* RFID tag data processing in manufacturing for track-and-trace anti-counterfeiting [J]. *Computers in Industry*, 2015, 68: 148-161.
- [14] TAO F, CHENG Y, XU L D, *et al.* CCIoT-CMfg: cloud computing and internet of things-based cloud manufacturing service system [J]. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2014, 10(10): 1435-1442.
- [15] HUANG G Q, WRIGHT P K, NEWMAN S T. Wireless manufacturing: a literature review, recent developments, and case studies [J]. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2008, 22(22): 579-594.
- [16] HUANG G Q, QU T, FANG M J, *et al.* RFID-enabled gateway product service system for collaborative manufacturing alliances [J]. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 2011, 60(1): 465-468.
- [17] QU T, LEI S P, WANG Z Z, *et al.* IoT-based real-time production logistics synchronization system under smart cloud manufacturing [J]. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2015, 84(1-4): 147-164.
- [18] KIM J S, LEE H J, OH R D. Smart integrated multiple tracking system development for IOT based target-oriented logistics location and resource service [J]. *Journal of Human Hypertension*, 2015, 9(5): 195-204.
- [19] ZHONG R Y, LAN S, XU C, *et al.* Visualization of RFID-enabled shopfloor logistics big data in cloud manufacturing [J]. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2015, 84(1-4): 5-16.