

# 分段车间组立产品及其零件物流跟踪定位技术研究

张煜<sup>1</sup> 商雷博<sup>2</sup> 黄勇<sup>3</sup> 李军<sup>4</sup>

(123 中国船级社 北京 100007 4 招商局邮轮制造有限公司 江苏省南通市 226007)

**摘要:** 分段车间组立产品及其零件主要通过托盘的形式进行物流配送, 因此根据精益生产理论要求, 要在组立产品及其零件制造和流转过程中, 构建完整的物流管理体系, 以托盘为基本单位开展物流跟踪监控, 进行组织生产和各种管理工作, 构建全面托盘化的管理机制。本文重点以分段车间物料、零部件和中间产品精准定位追踪为目标, 研究基于 RFID 和 UWB 混合定位技术, 加强中间产品、托盘定位和物流设备状态信息采集, 实现对组立产品及其零件相关的物流信息管控的技术方法, 对集配状态实时跟踪, 提高物流管控水平, 细化物流管控颗粒度, 支撑主动物料模式。

**关键词:** RFID、UWB、防撞撞算法

## 引言:

分段车间环境复杂, 在船舶分段车间生产过程中, 从钢板下料, 到小组立完成, 再到中组立前的各类组立产品及零部件, 种类繁多, 周转速度快, 管理相对复杂, 长期处于粗放式的人工管理状态。各类物料、零件的齐套和物流信息的传递, 将直接影响下一道工序的开展, 进而影响分段整体建造效率。分段车间组立产品及其零件物流信息长期无法实现真正的实时反馈、精细管控。而贯穿中间产品建造全工艺流程的生产物流活动, 直接决定了船厂精益管理、智能制造的目标是否能够实现。基于工业互联网标识识别, 精确识别中间产品、托盘、物流设备的身份和状态信息, 实现对整个物流信息的数字化、标准化管理。同时, 在生产过程中实时追踪、监控中间产品流向以及生产进度, 发现各类中间产品配送的制约瓶颈, 促进对物流的精细化管理与控制, 提升船舶分段装配的工艺设计效率与智能化水平。

中间产品物流跟踪的关键功能是要精确定位当前各工位的物料准备情况、托盘等物流载具的位置, 以及中间产品在产线中的位置信息。由于分段车间的特殊环境情况, 造成 GPS 等定位技术的精度较低, 因此, 考虑结合分段车间物流跟踪具体需求, 应用混合定位技术, 实现中间产品物流跟踪。

表 1 室内实时定位技术参数对比

定位技术	定位精度	优点	缺点
红外线	0.4~1cm	定位精度较高	穿透能力差, 易受外界光源影响
超声波	3~10cm	定位精度较高	成本较高, 易受外界环境影响
Wi-Fi	1~20m	低成本	功耗大, 精度低
UWB	0.1~0.6m	高精度, 抗干扰	成本高
RFID	1~3m	定位精度较高, 安全性好	易受环境影响
二维码		信息容量大, 可加密, 成本低	交易出现标识失效

RFID 技术通过特定频段的射频信号实现标签的非接触式自动识别和信息读取。由于射频信号具有较强的穿透能力, 通过提高天线发射功率能够一定程度扩大信号覆盖范围, 同时还可支持多个目标标签的同时读写和自动识别。RFID 技术具有无接触识别、非视距读写、环境适应能力强、安全性高等特点。通过 RFID 标签可以实现大量物流实时数据的采集, 并与生产管理应用无缝对接。

UWB 系统使用有源标签发出信号, 接收器接收信号后上传至定位引擎, 引擎根据 TDOA (到达时间差测量目标位置) 原理, 以及信号到达角度等计算标签的三维精确位置。在较宽的频谱上可传送极低功率的信号, 在 10 米范围内可实现数百 Mbit/s 至数千 Gbit/s 的传输速率, 信号功耗低, 分辨率高, 穿透力和抗多径衰减能力强。UWB 系统的理论定位精度可达厘米级。

通过识读 RFID 标签进行定位的同时获取定位对象的身份信息, UWB 技术能实现分段车间内精确定位, 还具有较强的抗干扰能力。由于船舶制造环境复杂性、多径效应, 单一定位方法无法满足分段建造物流跟踪过程的定位实时性、准确性需求。多技术融合是定位技术在船舶制造业领域应用的必然趋势。利用 RFID 采集分段建造中中间产品物流过程数据, 对复杂分段建造过程 (切割、焊接、拼装等) 的物料、物流设备调配, 及生产协同管理, 实现物料与生产的多层次、

可视化协同管控, 协同生产管理、物流管理的各环节作业, 打通分段建造各工艺环节间数据通道, 建立物料和中间产品物流追踪的基础数据, 提升分段车间物流管理能力。通过分段车间中间产品物流追踪, 设置配送规则, 根据车间待加工产品的位置、工位实时物料需求状态, 智能化匹配物流工具与物料配送计划, 及时调整生产资源 (物料、零部件和物流设备), 有效缩短生产周期, 提高资源利用率。针对制造计划控制层与制造执行层之间的信息互通, 引入 RFID 标签, 对中间产品、物料和零部件进行标识和跟踪。通过工位标识扫码, 以及射频天线读取所对应的范围内的射频标签的配合, 实时采集现场生产数据, 并实现与 MES 系统和 WMS 系统数据和业务的集成, 以提供分段车间中间产品物流追踪精度和物流配送效率。

## 1. 基于 RFID 和 UWB 的混合定位技术思路

船舶分段建造过程中, 各类生产要素随生产活动产生的数据处于动态变化状态, 如物料配送过程中, 配送车辆在车间的位置信息, 在中间产品状态、边线缓存物料状态和物流设备状态随时间变化, 要求 RFID 和 UWB 等定位系统对分段建造过程中中间产品信息和物流定位数据的采集具备高效实时性, 同时 RFID 采集系统提供中间产品、物料的位置信息, 具有一定模糊性, 利用 UWB 系统通过发送三维坐标实现对对象精准定位, 数据采集后需进行异构数据融合处理, 以提取精确的物流追踪定位信息。

采用基于 RFID 和 UWB 技术的混合实时定位方法, 开展分段建造车间定位节点和数据采集节点的部署, 实现实时数据采集、处理和存储, 为上层的生产管理和 LES 系统应用提供数据支撑。

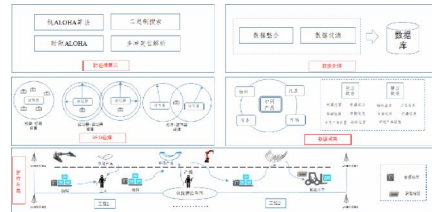


图 1 分段车间实时定位方案技术路线

### (1) 定位布局

分段车间复杂现场环境特性, 存在如金属设备干扰、遮挡等因素影响定位系统准确性。针对分段建造车间中各类生产要素分布和活动区域, 进行定位节点的布局, 包括移动终端、RFID 定位系统读写器与天线、UWB 定位系统传感器、交换机和时间同步线等硬件设备的部署, 完成定位节点的布局, 尽可能提高覆盖切割、配件、坡口加工、打磨、曲加工等生产区域的信号覆盖率。

### (2) 数据采集

车间底层数据的实时感知和利用是支撑上层应用的基础, 利用分段车间定位系统, 对物流设备 (车辆、托盘)、物料 (含零部件)、中间产品等各类生产要素进行实时定位和跟踪, 实现中间产品的物流信息的实时采集。利用 RFID 系统采集分段车间中中间产品物流相关的静态信息, 如物料信息、托盘信息、车辆信息等。利用 UWB 系统实时采集配送车辆信息、托盘所承载物料信息、托盘位置信息、车辆位置信息等动态数据。

#### 1.1 车间定位节点布局

选用 UWB 和 RFID 定位技术及其相关硬件设备, 进行定位节点布局和数据采集设备部署, 以满足现场数据的全面感知和获取需求。

UWB 和 RFID 定位系统具体布置如下图所示,并考虑到射频天线覆盖不到的地方,结合手持移动终端进行辅助定位。

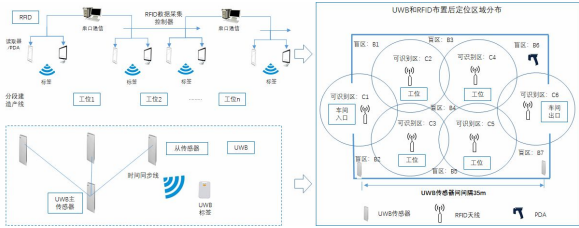


图 UWB 和 RFID 布置和定位区域示意图

针对分段车间中重点被监控的区域,可将车间作业区域划分成可识别区和盲区,区域分布如式(1)所示。

$$R_w = \begin{cases} B_i & (B_i | i=1,2,3\dots) \\ C & \end{cases} \quad (1)$$

其中  $B_i$  代表第  $i$  个盲区;  $C$  代表可识别区。

将 RFID 读写器安置在车间出入口、工位区、边线缓存库等区域,通过绑定 RFID 标签对物料、零部件、中间产品、物流设备等生产要素进行唯一标识,当携带标签的生产要素进入可识别区,读写器可确定其位置区域。中间产品和配送车辆等需要确定其精确位置信息,则对其绑定 UWB 标签,利用 UWB 传感器获取精确坐标数据。

1.2 混合实时定位过程

由于 UWB 设备成本高,为避免各分段作业区域的坐标系建立不统一的问题,本项目利用可识别区和虚拟参考标签的 RFID 精确定位方案。RFID 与 PDA 组合定位方法将分段车间各类生产要素的混合定位过程定义为:车间区域定位、精确定位和盲区定位,如下图所示:

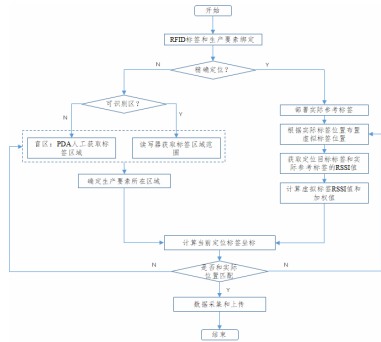


图 混合实时定位过程

(1) 区域定位

采用 RFID 技术进行区域定位,将 RFID 读写器和天线部署在各单元加工区、边线缓存区、出入口等作业区域,形成可识别区和盲区。读写器读写距离可通过改变功率调整,即确定可识别区范围。区域定位快速、易实现,单精度不高。当定位目标携带的标签仅被某一读写器读取时,目标则处于该读写器所覆盖的可识别区内;当被多个读写器同时识别,目标位置则存于多个可识别区的交集区域。若需获取目标确切位置,则需进一步精确定位,确定目标的坐标。

(2) 精确定位

针对 RFID 识别区的精确定位,利用多读写器分别测量参考标签以及目标标签 RSSI 值,通过经验公式计算标签的坐标权值,从而求解出目标标签的坐标。具体如下图。

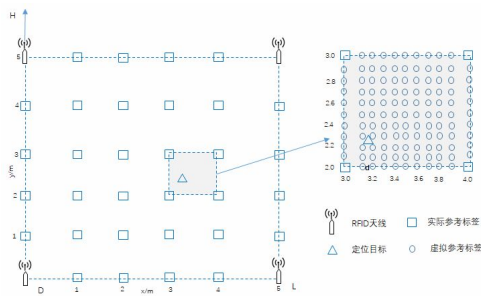


图 基于虚拟标签的精确定位方法

首先建立可识别区独立坐标,按一定规则部署 RFID 实际参考标签,在相邻的实际标签之间规则地插入虚拟参考标签,利用线性插值

法计算实际标签的 RSSI 值,多个读写器获取目标标签可能出现的区域并取交集,然后根据权值公式计算目标最终位置,然后确定其坐标值并存储至数据库。定位过程中,参考标签与待定位生产要素上的标签感知环境相同,降低多径效应对于定位精度的影响。

设某可识别平面区域为  $L \times H$ ,利用实际参考标签将可识别区等分为若干分区,间隔设为  $D$ 。在分区设置虚拟标签,RSSI 值采用拉格朗日插值算法计算。则  $X$  轴虚拟参考标签数量为  $L/d$ ,  $Y$  轴为  $H/d$ 。

设虚拟参考标签表示为  $V_{lh}$ ,则有:  $l \in [1, \frac{L}{d}]; h \in [1, \frac{H}{d}]$ ;

设  $TLH$  表示为  $V_{lh}$  相邻的真实参考标签的集合,  $RSSI_{lh}$  表示为  $V_{lh}$  信号强度;  $V_{ln}$  发送到读写器  $R_n$  的信号强度计算公式为:

$$RSSI_{LH,ij} = TRSSI_{ij} - 10N_{ij} \log(d_{lh,i}/d_{ij}) \quad (2)$$

其中  $TRSSI_{ij}$  表示  $V_{lh}$  相邻  $T$  的信号强度;  $d_{LH,i}$  表示  $V_{lh}$  和读写器  $R_n$  的距离;

权值计算公式为:  $\omega_j = (\frac{\partial RSSI}{\partial d})^2 = (\frac{10N_{ij}}{\ln(10)d_{lh,i}})^2 \quad (3)$

则  $RSSI_{lh,ij}$  复合计算公式为:  $RSSI_{lh,ij} = \sum_{j \in TLH} \omega_j RSSI_{lh,ij} \quad (4)$

最后利用加权质心算法解出生产要素坐标,此方法是将已知点到未知点距离的倒数作为权值,已知点到未知点的距离越远,权值越小,反之则越大。若已知虚拟标签坐标为:  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)$ , 目标标签  $(X, Y)$ , 则

$$X = \frac{\sum_{i=1}^N (\omega_i \times x_i)}{\sum_{i=1}^N \omega_i}, Y = \frac{\sum_{i=1}^N (\omega_i \times y_i)}{\sum_{i=1}^N \omega_i} \quad (5)$$

当生产要素进入可识别区时,可获得标签和参考标签的 RSSI,比较后优选出与目标标签最邻近的参考标签,计算出目标标签的坐标。

(3) 盲区定位

盲区定位采用 PDA 进行人工辅助定位,确定定位坐标的所在区域。实现目标定位的前提是标签被  $n$  个读写器识别,且  $n \geq 1$ 。当  $n=1$  时,标签被 1 个读写器识别,即区域定位。当  $n=0$  时,则定位目标处于盲区,此时可采用 PDA 搜索盲区进行人工定位,检索到标签时即定位坐标位于当前盲区,达到定位目的。

1.3 标签防碰撞算法

由于分段车间中存在大量生产要素,需要使用大量标签进行身份识别,每个工位区域配置读写去后形成多个独立可识别区,多阅读器或多标签同时发出信号,会出现标签碰撞或读写器碰撞的问题,包括标签-标签、阅读器-标签和阅读器-阅读器三类碰撞,且都会导致信号对接失败,标签漏读等。常见情况是标签-标签碰撞,信号通道内信号重叠,如下图。对于生产要素的准确识别和定位必须解决 RFID 标签碰撞的问题。

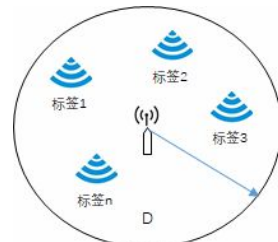


图 标签-标签碰撞

采用 ALOHA 算法采用信号避让,随机发送机制,模型如下图所示。标签主动且随机发出信号,若信道中出现信号重叠,读写器对冲突标签发出信号终端指令,标签在随机时间节点再次发送直至发送成功。整个过程中可能出现再次或连续碰撞。

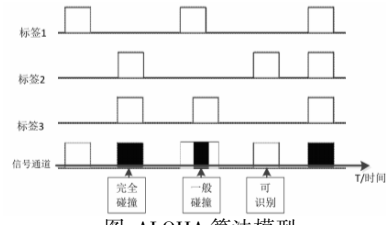


图 ALOHA 算法模型

ALOHA 算法性能通常由输入负载  $G$  和系统吞吐量  $S$  表示。 $S$  可反应出信道利用率,其值越高,表明碰撞概率越小,即识别性能

越好,故而提高算法的吞吐率是最终的目标。设 P 表示标签在一个识别周期内被成功识别的概率,且标签数量服从泊松分布。则吞吐率可表示为:  $S=G \cdot P$  (13)。

T 时间内有 n 个标签发送信号的概率为:  $P(n) = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}$  (14)

定义  $G = \lambda T_0$ , 设在  $t_1$  有一标签发送信号, 则其在  $(t_1 - T_0, t_1 + T_0)$  区间被正确识别的概率为:  $P(0) = e^{-2\lambda T_0} = e^{-2G}$  (15);

则 S 可表示为:  $S = G \cdot P(0) = G e^{-2G} \times 100\%$  (16)

1.4 基于车间混合实时定位的跟踪方法

1.4.1 中间产品、物料和物流工具的跟踪

中间产品、物料跟踪的前提是 UWB 和 RFID 标签初始化信息的设计和写入, 将各类生产要素作为定位对象进行唯一标识。

在托盘、物流车, 以及物料等生产要素在追踪开始时, 将初始化信息写入标签, 在接下来的各作业单元通过读取标签即可确认分段建造工序内容和需要的物料。对于生产线物料和中间产品配送的载具(托盘等), 采用 UWB 标签绑定目标对象以进行跟踪定位和轨迹追溯。标签信息设计如下表所示, 包括托盘信息、配送信息、中间产品信息。

中间产品在工位间流转的跟踪流程如下图所示:

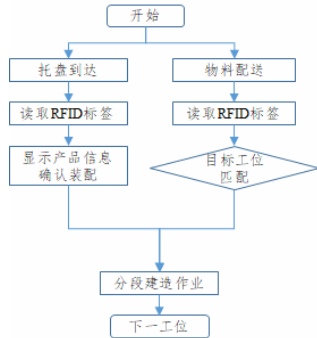


图 中间产品物流追踪流程

将中间产品或物料装入托盘时, 将物料编码或中间产品编码与托盘 RFID 标签对应。在把托盘标签编码与载具(车辆等)的 UWB 标签对应。各工位读取 RFID 标签获取物料、中间产品、托盘信息。UWB 传感器通过接收有源标签信号实时获取托盘, 及所载物料、中间产品的位置。

1.4.2 物料配送过程跟踪

工单对应的物料需求计划数据为分段车间各工位的物料需求单。

序号	字段名称	字段中文名	数据类型	是否必填	说明(业务逻辑说明)	数据样例
1	bom_id	序号	bigint	是	自增主键	1
3	project_id	项目号	nvarchar(100)	是		19605
4	block	分段名	nvarchar(100)	是		604A
5	wc_tray	工位托盘	nvarchar(100)	是		1#工位 0010 安装托盘
6	material_num_outer	物料号(外部名)	nvarchar(100)	是	物料唯一标识	MM41C-BM127A-B1
10	flow_num	流向	nvarchar(100)	是		500
11	discipline	专业	nvarchar(100)	是	用于区分船体与舾装, 若为船体则为“Hull”, 舾装将细分电气、管路等。	
12	category	物量分类	nvarchar(100)	是		管子管件、

			00)			管子管件附件等
13	goods_code	物资编码	nvarchar(100)	是		NA
15	parts_name	名称	nvarchar(100)	是		直梯
16	specification	规格描述	nvarchar(100)	是		B350X3570
17	size	通径		是		DN100
18	material	材质	nvarchar(100)	是		组合件
19	surface_treatment	表面处理	nvarchar(100)	是		BC
20	pipe_type	管子种类	nvarchar(100)	是		NA
21	unit	单位	nvarchar(100)	是		件
22	quantity	数量	int	是	aps 的物料需求计划所需的数量	1
23	weight	重量	decimal(18,2)	是		26.36
25	order_no	订货款号	nvarchar(100)	是		NA
26	resource	来源	nvarchar(100)	是		集配中心/舾装预组区
27	request_time	写入数据时间	datetime	是		
28	Demand_date	需求时间	datetime	是	关联 APS 物料需求计划查出物料的需求时间	2021-08-10
29	Shift	班次	nvarchar(100)	是	APS 中班名称	1*8
30	IsRead	是否已读	int	是	Les 是否已读取 初始为 0, 已读为 1	0

补料时由工位线边库存实时需求拉动, 配货完成后将物资和工位信息写入 RFID 标签, 将物料和托盘绑定 UWB 标签, 对配送过程的车辆、托盘、物料进行实时跟踪和定位。基于实时定位的物料配送和中间产品移动的过程的跟踪管控流程如下图所示:

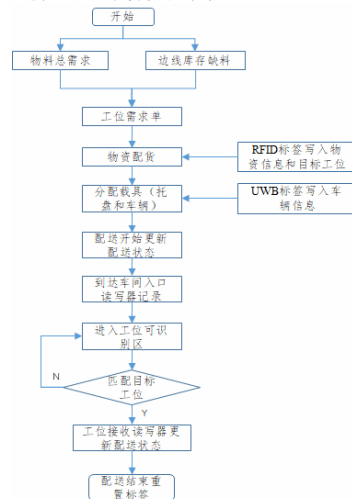


图 物料配送过程跟踪过程管控流程



1. 分段车间物流追踪定位硬件布局

以O点为原点建立分段车间统一坐标,对物料、中间产品配送的托盘、车辆进行移动轨迹追踪和定位。为了对小组立阶段的装载肋板、组件主板、T型主板、筋板扁铁等的托盘,以及打磨后的产品(按肋板数字编号分类叠放)所装托盘、曲加工后产品所装托盘进行定位,按照35米间隔在分段车间相应位置设置UWB传感器,以感知托盘、车辆等载具的UWB标签所发出的信号,以便进行位置定位。

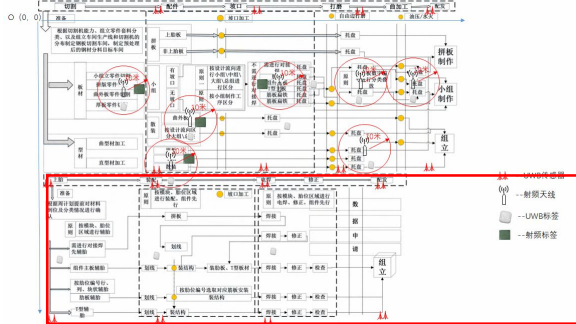


图 分段车间硬件设备部署示意图

在切割环节,配送板材的运输载具赋予RFID标签,将标签与小组立零件、拼板零件、曲外板零件、厚板零件等信息进行绑定,对板材切割状况进行跟踪。

UWB传感器主要部署在配件、坡口、打磨,以及配发工艺环节的区域,用于监控板材运输、装载肋板、组件主板、T型主板、筋板扁铁等的托盘,以及打磨后的产品(按肋板数字编号分类叠放)所装托盘、曲加工后产品所装托盘的位置信息,通过托盘、车辆所装的UWB标签所发出的信号进行载具位置信息的采集。UWB标签的安装对象:①切割环节装载小组立零件、拼板零件、曲外板零件、厚板零件等的载具;②小组的装载肋板、组件主板、T型主板、筋板扁铁等的托盘;③小组的打磨后按肋板数字编号分类叠放的产品所装的托盘;④小组的曲加工后的产品所装的托盘;⑤拼板的坡口加工后的产品所装的载具;拼板的自由边打磨后的产品所装的托盘;⑥型材加工产品的载具;⑦散装的坡口加工产品所装的托盘等。

在板材切割、型材加工、小组的坡口/打磨/曲加工、拼板/小组/散装的打磨等加工环节的工位安装射频天线,用于采集与绑定物料、加工产品信息的RFID标签的信号,将托盘等载具与物料、中间产品信息进行关联。

2. 分段车间物流追踪系统架构

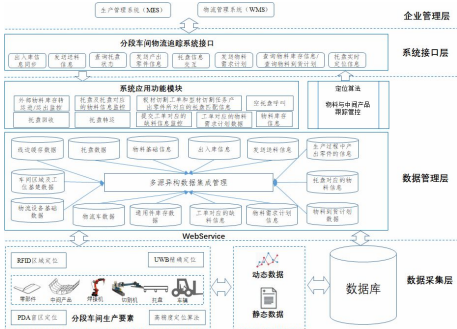


图 中间产品物流追踪应用系统架构

(1) 数据采集层

数据采集层为系统架构的最底层,是实现整个应用系统运行的原始数据支撑。数据来源主要包括分段车间的物料(板材、型材)、零部件(小组立零件、拼板零件、曲外板零件、厚板零件等)、中间产

品(肋板、组件主板、T型主板、筋板扁铁、拼板,以及打磨后产品等),以及物流工具(托盘、车辆)。利用电子标签对这些生产要素进行识别,利用RFID和UWB混合定位系统、信息采集辅助设备(传感器、手持移动终端)采集中间产品等的加工状态,以及物流定位信息。

(2) 数据管理层

各类原始数据经采集层通过网络上传至数据库服务器,原始数据具有多源异构性和实时性,经数据管理层进行处理、融合和集成,转化成可供功能服务层使用的有效数据。数据处理包括对UWB系统采集的位置数据进行过滤处理、RFID数据的过滤处理,提高定位数据的可靠性。数据管理层对生产要素的实时状态数据和定位数据进行整合、集成处理。

(3) 应用服务层

基于数据层提供的规范化数据,应用服务层主要提供外部物料库存转运/运出监控、托盘及托盘对应的物料信息监控、板材切割工单和型材切割任务产出零件所对应的托盘匹配信息、空托盘呼叫、托盘回收、托盘转运、提交工单对应的缺料信息监控、工单对应的物料需求计划数据,以及物料库存信息等功能服务模块。

(4) 系统接口层和企业管理层

分段车间物流追踪系统与分段车间的生产管理、物流管理系统间通过以下的数据接口,实现物流信息的获取。

接口名称	接口功能
入库信息同步	将出入库信息同步到库存
发送送料信息	从生产管理系统获取托盘号及托盘对应物料信息。
查询托盘状态	从LES系统获取指定托盘的状态是否可用。
发送产出零件信息	向生产管理系统反馈生产过程中产出零件的信息(如重量等)。
托盘信息交互	向生产管理系统发送托盘信息及托盘对应的物料信息,进行空托盘呼叫、托盘回收、托盘转运等功能。
叫料	向生产管理系统提供工单对应的缺料信息
发送物料需求计划	APS根据发送工单范围查找出工单对应的物料需求计划数据,通过物料ID联查中间库中物料bom基础数据表

3. 结束语

本文针对船舶建造过程中普遍存在的中间产品、物料等物流追踪精确定位的问题,提出了基于RFID和UWB混合定位技术方案,对于各造船企业开展船舶分段制造的智能化车间建设具有重要意义。

作者简介:

- 张煜(1979.9月—),男,河南郑州,汉,大学本科,高级工程师,数字业务部部门经理,研究方向:信息技术应用,主要从事新技术应用研究,新产品规划。中国船级社,北京,100007
- 商雷博(1985.9月—),男,山东济宁,汉,大学本科,高级工程师,数字业务部技术管理,研究方向:信息技术应用研究,产品研发。中国船级社,北京,100007
- 黄勇(1983.3月—),男,河北承德,满,大学本科,高级工程师,数字业务部技术管理,研究方向:系统构架,软件工程,大数据分析。中国船级社,北京,100007
- 李军(1990.09—),男,安徽阜阳,汉,工学硕士,工程师,实施顾问,研究方向:船舶智能运营平台的研发与实船应用,无人船控制系统的技术研究,从事智能制造行业,5G融合网络研究与示范应用等工作。招商局邮轮制造有限公司,江苏省南通市,226007

项目信息:船舶总装建造分段车间5G应用关键技术研究,项目编号: CJ04N20