

基于 UWB 技术的智能调度系统的研发及应用

杨树平¹，孟凡国¹，张玉泉¹，孙洪喜²，刘相胜²

(1. 朝阳浪马轮胎有限责任公司，辽宁 朝阳 122000；

2. 青岛弯弓信息技术有限公司，山东 青岛 266042)

摘要：橡胶轮胎生产涉及中间多道工序，产生十多种半部件，物流效率对于企业生产尤为重要。传统的管理方式依靠人工进行管理，难以保证按照先进先出的原则进行使用，并且易造成物料超期的现象。本文通过 UWB 定位技术，对物料流转小车进行自动定位，对物料的位置进行实时感知，准确感知物料的实际物理位置。并且通过智能调度系统实现物料的智能调度，物料严格按照 FIFO 的原则进行使用，对即将超期的物料进行预警，从而确保物料库存的精准控制，从而提升物料流转效率，避免超期料的现象。从而降低库存成本、提高生产效率，增强企业的效益和市场竞争能力。

关键词：智能化；数字化；智能物流调度；智能制造

中图分类号：TQ330.493

文献标识码：B

文章编号：1009-797X(2025)08-0030-06

DOI:10.13520/j.cnki.rpte.2025.08.007

0 引言

轮胎行业在国家的重大战略和重大工程实践中发挥着重要作用。轮胎制造过程为流程+离散混合型制造模式。轮胎生产涉及负责的工序，涉及十多种半部件，物料的输送对生产效率至关重要。传统的轮胎制造企业物料流转以人工搬运为主。物料的先进先出及库位管理以手工管理为主，存在库位存放不准确等现象，导致物料超期的现象时有发生，影响了生产效率及质量的稳定性。因此提出基于 UWB 定位技术的物料管理方法，实现物料流转小车的自动定位。系统实时定位物料的位置，从而给物流人员进行提示，系统依据工序计划和物理存放位置给出智能调度的规划，从而提高物料流转的效率，从而提升生产效率、物料存放的效率。助力企业提升企业竞争力，向智能制造工业 4.0 转型升级。

下面从系统架构设计、UWB 定位技术、系统功能、实施效果等方面对该平台进行简要介绍，首先介绍系统总体架构设计。

1 系统架构设计

系统基于总体规划设计，构建软硬件整体解决方案，部署智能物料调度系统，实现物料的快速流转，系统架构图如下图 1 所示。



图 1 系统架构图

智能物料调度系统由服务器、网络、定位基站、定位标签组成。主要功能简述如下：

1.1 定位标签

物料工装部署定位标签，根据设定的频率定时向基站设备发送标签的位置信息。设备的结构小巧美观，自由佩戴、安装固定。内置自动节电处理模块，通过标签内置的振动传感器能智能识别标签的运动、静止状态。

1.2 定位基站

高精度定位基站，实现物料的位置定位，具有接收定位标签的定位脉冲数据功能，将接收到的定位标

作者简介：杨树平（1978—），男，工程师，副总经理，主要从事橡胶轮胎行业生产运行管理，主管工厂的装备、生产及数字化创新管理等工作。

签信号上传定位算法服务器。支持一路 POE 以太网口，通过 POE 交换机对设备供电，通过以太网接口标准 TCP/IP 协议与上位机服务器进行数据通信。

1.3 网络层

部署交换机等网络，讲定位基站进行组网，并接入局域网，实现定位基站与服务器应用平台的实时通讯。

1.4 应用层

部署服务器，服务器部署智能物料调度系统，实现对物料工装的精确定位，并且获知计划和执行情况，生成调度指令，发送给物流人员进行物料的准确、快速查找和物料输送。

2 UWB 定位原理

UWB 定位系统由 UWB 定位基站和定位标签组成，定位的原理基于其超宽频带（通常大于 500 MHz）的无线信号传播特性（如图 2），主要通过飞行时间（TOF）和到达时间差（TDOA）等测距方法来实现高精度定位。定位算法实现对 UWB 标签位置的实时解算。UWB 定位标签根据项目定位项目具体要求（即项目被定位物体位置刷新率）定时从休眠模式主动唤醒后，通过接收现场基站发送的脉冲讯号，定位标签根据讯号到达时间差定位算法^[1]，实时解算出被定位物体的位置坐标信息。

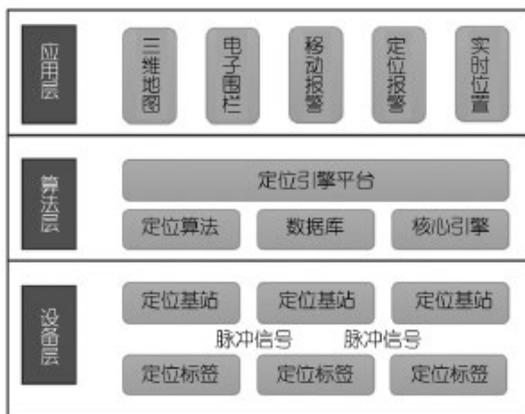


图 2 定位原理模型

定位标签通过 UWB 通信方式将解算的位置信息发送给定位基站设备后，通过定位基站上的通讯模块将位置信息发送到定位引擎平台。定位引擎平台实时将位置记录保存到数据库。通过应用层的平台软件展示实时的位置信息，为物料的管理提供精准的位置数据。

测距原理如下：UWB 的定位核心在于精确测量信号传播的时间，并利用无线电波在空气中的固定传播速度（约 30 cm/ns）来计算距离。并基于 CNN-LSTM 组合神经网络的运动目标轨迹定位方法，为了提高轨迹预测性能，在数据预处理阶段使用 MLP 算法对 NLOS 数据进行剔除，并在组合网络中采用自适应学习率以提高训练过程的收敛速度和避免陷入局部极小值的问题^[3]，使得定位精度得到最大保证。

(1) 飞行时间 (TOF): 测量信号从定位标签 (Tag) 到定位基站 (Anchor) 之间的传播时间。公式 $d=TV$ ，其中， d 为距离， T 为信号传播时间， V 为无线电波速度。

(2) 双向飞行时间 (TWR)，由于设备时钟可能不同步，可以使用双向通信测距。设备 A 发送 UWB 信号到设备 B，设备 B 记录接收时间并回传，A 再计算往返时间，去除时钟偏差的影响。

(3) 到达时间差 (TDOA)：部署多个基站，每个基站接收到 UWB 信号的时间略有不同。通过计算不同基站间的时间差，利用三边测量法确定位置。

3 部署方案

在车间部署定位基站，在物料工装部署定位标签，应用系统部署在服务器上，实现定位引擎的部署和应用。

3.1 定位基站

具有接收定位标签的定位脉冲数据功能，将接收到的定位标签信号上传定位算法服务器。支持一路 POE 以太网口，通过 POE 交换机对设备供电，通过以太网接口标准 TCP/IP 协议与上位机服务器进行数据通信。

产品特性：

- (1) 32 位 RISC 高速中央处理器，快速处理业务逻辑和传递信息；
- (2) 基站设备供电方式 POE 或 DC5V 供电；
- (3) 静电防雷内核设计；
- (4) 1 路以太网 RJ45 接口，支持标准以太网 TCP/IP 通信协议；
- (5) 内置全向识别天线；
- (6) 单组基站有效覆盖面积大，超过 1 000 m²；
- (7) 体积小巧，现场安装部署方便；
- (8) 指示灯明确反馈工作状态，保障稳健工作；
- (9) 支持设备自诊断维护功能；
- (10) 高可靠设计，满足严苛工作环境要求；

(10) 防护等级：IP65。

3.2 定位标签

根据设定的频率定时向基站设备发送标签的位置信息。设备的结构小巧美观，自由佩戴、安装固定。内置自动节电处理模块，通过标签内置的振动传感器能智能识别标签的运动、静止状态。

产品特性：

- (1) 32 位 RISC 高速中央处理器，快速处理业务逻辑和传递信；
- (2) 3.6 V 锂亚硫酰氯电池、电池拆卸更换简单方便；
- (3) 高达 300 ms 定位脉冲刷新（可定制刷新频率）；
- (4) UWB 高精度定位系统，可达 20 cm 级定位精度；
- (5) 体积小巧，现场安装部署方便；
- (6) 指示灯明确反馈工作状态，保障稳健工作；
- (7) 开机后自动定时上传电池电压，实现设备低电压报警功能（结合灵耀物联网平台）；
- (8) 支持设备自诊断及预测性维护功能；
- (9) 高可靠设计，满足严苛工作环境要求；
- (10) 防护等级：IP67。

4 业务流程

物料在生产完毕后，系统绑定定位标签和生产信息的对应关系。平台系统实时读取空余库位信息，依据出库规律和入库的最短路径，计算最佳存放位置，

指示物料的存放位置，通知物流人员按照系统指示入到指定库位。入库后定位标签进行实时比对，如果与指示不符，更新系统平台信息，绑定到实际的存放位置。当下工序使用物料时，根据计划给出领料信息，系统依据 FIFO 规则，结合自身定位、追踪、环境地图构建、路径规划等功能^[2]，指示合格的物料的存放位置。指引物流人员进行出库。出库后更新库存，系统平台进行实时的展示，如图 3 所示。

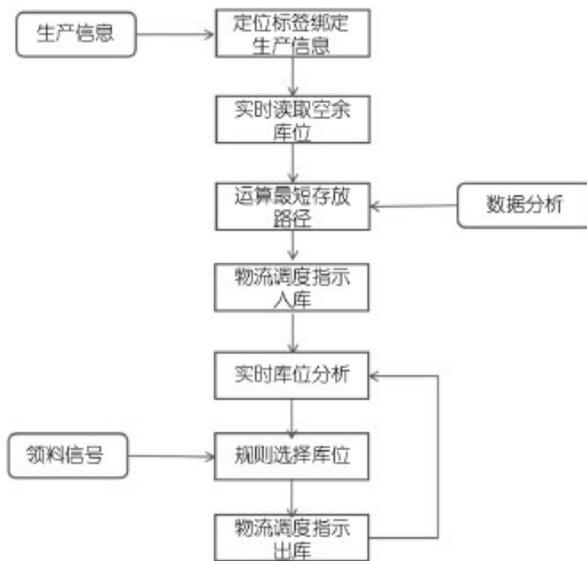


图 3 业务流程图

5 系统功能

基于 UWB 技术的智能调度系统的功能如图 4 所示。

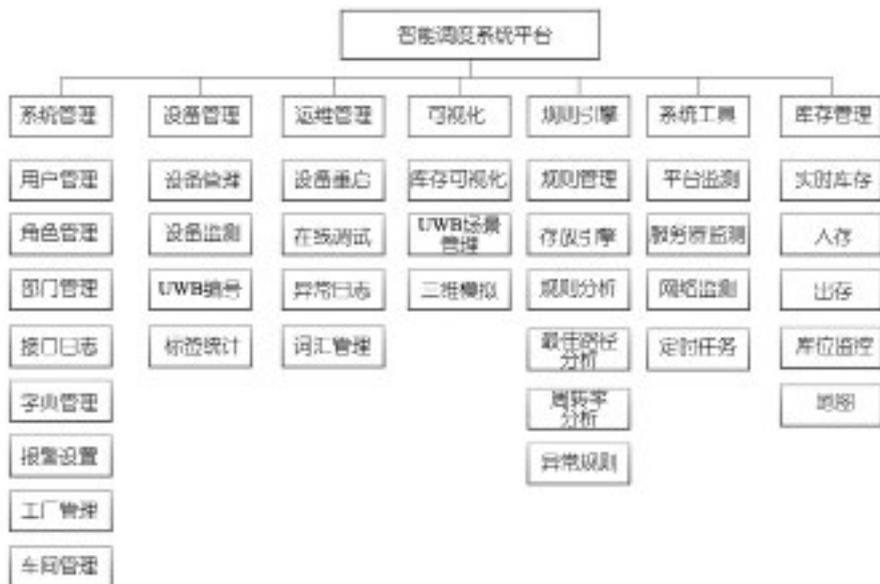


图 4 系统功能架构图

5.1 系统管理

系统管理通过用户权限、设备监控、数据处理、安全控制、日志审计、告警预警、系统配置、集成兼容、性能优化及备份恢复等功能，实现高效、安全、智能的运营管理。确保系统稳定运行、数据互联互通、风险可控，并为企业提供精准决策支持，提升管理效率与业务连续性。

记录用户操作、系统异常、设备报警等信息，方便溯源和审计。配置 UWB 基站、标签信息，设置定位精度、更新频率等参数。

5.2 设备管理

UWB 设备状态监控：监测 UWB 基站、标签的电量、信号强度、在线状态，防止数据丢失。

设备绑定：设备与物料、物料工装进行绑定，确保数据准确性。

设备故障报警：设备异常时（如信号丢失、低电量等）自动报警，并通知运维人员。

OTA 远程升级：远程更新 UWB 设备固件，保持系统最新功能。

5.3 运维管理

实时健康监测：对服务器、数据库、UWB 设备运行状态进行监控。

告警机制：设备离线、电池低电、信号干扰等异常情况触发告警，并推送至管理人员。

自动数据备份：定期备份 UWB 位置数据、库存信息，防止数据丢失。

远程维护：远程诊断设备问题，提高运维效率。

异常日志：异常日志进行记录，方便运维管理。

5.4 可视化

实时定位看板：在 2D/3D 电子地图上显示半制品物料位置，支持历史轨迹回放。

库存可视化：以热力图、分区管理等方式展示不同区域的物料分布情况。

物料物流路径规划：显示物流工装输送任务在工厂中的路径，并动态调整运输任务。

数据报表：生成库存变动、物料流转、设备状态等可视化报表，支持导出。

库存可视化：实时显示库存、库位存放物料情况。

UWB 场景管理：UWB 模式下物料库存管理。

三维模拟：三维模拟现场物料的实时存放情况，给物流及管理人员提供直观的物料信息。

5.5 规则引擎

动态路径优化：基于 UWB 定位数据，智能分配物料输送任务，减少路径冲突。

智能调度：根据生产需求、库存情况，调整物料调度策略，提高效率。

规则管理：对物料输送规则、库位存放规则进行动态设定。

存放引擎：对库位存放、移动规则、超期报警阈值等进行设定。

规则分析：根据规则对物料进行分析，异常及时报警。

最佳路径分析：根据历史数据，后工序领料位置，利用机器学习等算法对路径进行智能的分析。

周转率分析：对物料周转率进行分析，从而优化存放引擎，使得物料出入库效率达到最优。

异常规则：设定异常规则，异常进行实时的报警。

5.6 系统工具

数据导入 / 导出：支持 Excel、CSV 数据批量导入导出，提高数据管理效率。

API 接口：提供 RESTful API，支持与 ERP、MES、WMS 等系统集成。

日志分析：结合 AI 分析系统日志，预测设备故障风险，提升维护效率。

平台监测：平台具备智能监测功能，监测定位基站和标签的情况。

服务器监测：对服务器的性能、运行参数进行监测。

网络监测：对网络的性能等情况进行监测。

定时任务：定时对物料进行分析，从而优化引擎和物料存放。可以对物料进行优化存储。

5.7 库存管理

实时库存监控：结合 UWB 定位数据，动态更新库存状态，精准掌握库存数量、位置。

入库 & 出库管理：入库：AGV/ 人工将半制品存入指定库位，系统自动记录位置信息。

出库：自动分配任务至 AGV，精准取出半制品，提高物流效率。

FIFO & LIFO 管理：支持先进先出 (FIFO)、后进先出 (LIFO)，满足不同工艺需求。

库存盘点：通过 UWB 定位数据，自动盘点库存，减少人工干预，提高精确度。

实时库存：实时统计分析物料的存放情况、库位、

余量、存放时间等信息。

入库：入库进行调度

出库：出库进行智能调度

库位监控：库位的存放物料情况进行实时的监控

地图：形成物料库存的地图，对物流和管理人员提供决策分析的支持。

6 实施效果分析

浪马和弯弓合作实施部署的智能调度系统，成功在浪马进行应用，显著提升企业的生产效率、降低运营成本、提高安全性，并推动智能制造的发展，取得了显著的经济和社会效益。

6.1 提高生产效率，降低运营成本

UWB 提供厘米级定位，提高物料等资源的可视化管理，减少时间浪费。减少人工干预，优化物流路径，提高运输效率。通过数据分析优化设备利用率，避免资源浪费。

6.2 优化能源管理

精准监测与智能调控能源消耗，提高能源利用率，降低能耗成本，助力绿色低碳生产。

6.3 降低人工成本

减少手动记录和调度，降低管理成本。通过实时定位，合理安排人员，减少无效移动。

6.4 降低损耗与能耗

智能路径规划减少设备运行时间，降低能耗。

6.5 实现高效智能调度

基于 UWB 定位数据，实现自动化任务分配，如物料调度、叉车调度等。优化物流路径和任务分配，减少工厂的等待时间。

6.6 生产流程优化

结合 UWB 和 WMS（仓储管理系统），优化物料配送路线，提高生产线供给效率。

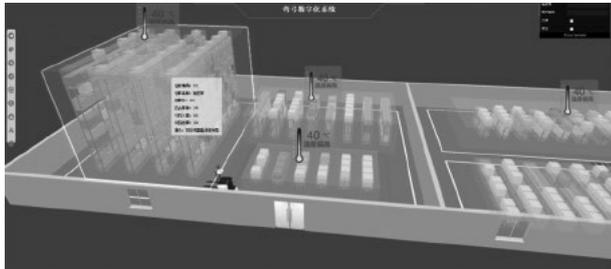


图 5 可视化仿真

6.7 精准数据分析

通过 UWB 采集的数据，分析生产瓶颈，优化调度策略。

6.8 提高管理透明度

通过 UWB 实时监控各个环节，管理者可以随时掌握生产、物流、人员等情况。减少经验决策，提高管理科学性。实现数据驱动决策。

6.9 智能仓储

UWB + WMS 实现精准库存管理，提升供应链响应速度。

6.10 高效物料输送执行

减少物料配送时间，提高订单处理效率。

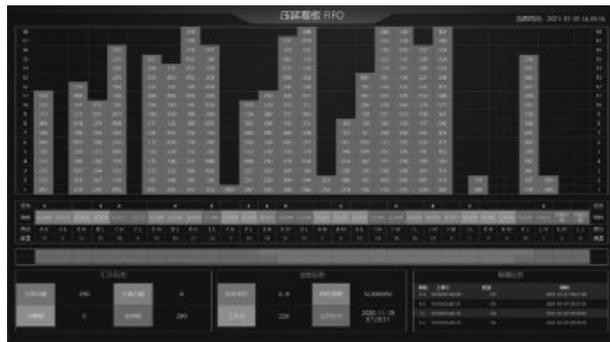


图 6 实时库位示例

7 结论

随着工业 4.0、智能制造等国家战略推进，数字化、智能化已成为产业升级的必然趋势。高精度定位、自动化调度、智能化管理、绿色低碳等方面，推动制造行业的数字化升级。实现了智能、高效、安全、便捷的物料管理模式^[4]。通过自动的定位，减少人工寻找物料的时间，提升物流效率，降低成本。助力企业快速响应客户需求，提高企业市场竞争力，实现高质量发展。

参考文献：

- [1] 王晓青, 李博予, 王宾飞, 等. 室外环境下的 UWB 基站自定位方法 [J]. 沈阳理工大学学报, 2025(2), 28-33.
- [2] 陈万著, 陈国庆, 聂钰薇, 等. 基于 UWB 定位的空地协同系统 [J]. 智城实践, 2025(01), 10-12.
- [3] 潘锦铨, 范皓然, 陈建飞. 基于组合神经网络的 UWB 室内定位方法研究 [J]. 电子设计工程, 2024(21), 1-7.
- [4] 吴燕飞, 卢衍海, 马晓晨, 基于智能 WMS 的无人值守仓储系统研发与应用 [J]. 智能处理与应用, 2023(02), 98-101.

