

# 医院物流传输系统智能调度算法可靠性研究

王浩

河北医科大学第二医院, 河北 石家庄 050000

**[摘要]**在现代医院运营管理中, 物流传输效率直接关系到医疗服务水平、临床响应速度和整体运营成本。随着智慧医院建设的发展, 气动物流轨道小车系统作为一种高速、安全、自动化的物流传输方式, 已成为实验标本、药品、病理样本等物资快速调配的重要环节。然而, 系统运行中仍存在网络通信不稳定、路线冲突、调度不均衡、拥堵与延迟等问题, 影响整体运行性能。为此, 本研究从系统调度算法优化与网络可靠性提升两个方面展开分析。研究首先探讨物流轨道特点、流量负载模型与运输节点交互机制; 然后基于医院物流业务的时效性需求, 提出基于优先级的动态调度算法、基于预测模型的负载均衡策略以及冲突消解机制; 最后从网络架构、冗余设计、实时监测与容错策略角度分析系统可靠性提升路径。研究结果表明, 智能调度与可靠性设计的协同优化可显著提高医院物流系统的效率与稳定性, 对于构建高水平智慧医院具有重要意义。

**[关键词]**医院物流; 气动物流轨道小车; 调度算法; 网络可靠性; 智慧医院

DOI: 10.33142/ucp.v3i1.19234

中图分类号: U466

文献标识码: A

## Research on the Reliability of Intelligent Scheduling Algorithm for Hospital Logistics Transmission System

WANG Hao

The Second Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** In modern hospital operation and management, logistics transmission efficiency is directly related to the level of medical services, clinical response speed, and overall operating costs. With the development of smart hospital construction, the pneumatic logistics rail car system, as a high-speed, safe, and automated logistics transmission method, has become an important link in the rapid allocation of experimental specimens, drugs, pathological samples, and other materials. However, there are still issues such as unstable network communication, route conflicts, uneven scheduling, congestion and delays during system operation, which affect overall operational performance. Therefore, this study analyzes the optimization of system scheduling algorithms and the improvement of network reliability from two aspects. The study first explores the characteristics of logistics tracks, traffic load models, and the interaction mechanism between transportation nodes; Then, based on the timeliness requirements of hospital logistics business, a priority based dynamic scheduling algorithm, a load balancing strategy based on predictive models, and a conflict resolution mechanism are proposed; Finally, analyze the path to improving system reliability from the perspectives of network architecture, redundancy design, real-time monitoring, and fault-tolerant strategies. The research results indicate that the collaborative optimization of intelligent scheduling and reliability design can significantly improve the efficiency and stability of hospital logistics systems, which is of great significance for building high-level smart hospitals.

**Keywords:** hospital logistics; pneumatic logistics track car; scheduling algorithm; network reliability; smart hospital

### 引言

医院物流传输系统承担着标本、药品、血液制品等物资的快速调配任务, 是高效医疗服务体系的重要组成部分。传统人工递送模式不仅效率低、劳动强度大, 还易产生误差。气动物流轨道小车系统凭借其全自动化、高速、封闭式运行方式, 有效解决了医院内部短距离高频物流需求, 实现了医疗物资的快速、安全运输。然而, 随着医院业务量持续增长与系统运行负载的不断提高, 物流轨道网络中的拥堵、消息延迟、路径冲突和调度效率不足等问题日益凸显, 加之医院场景对紧急任务响应时间极为敏感, 使得智能调度算法成为提升系统性能的核心技术。此外, 网络架构作为系统通信与调度执行的基础, 其可靠性直接影响

系统能否在高负载下稳定运行。因此, 有必要从算法优化与网络可靠性设计两方面开展系统研究, 以确保医院物流传输系统在复杂环境中高效、安全、可持续运行, 为智慧医院建设提供技术支撑。

### 1 医院气动物流轨道系统的运行特点与技术需求分析

#### 1.1 气动物流轨道系统的结构组成与运行机制

气动物流轨道系统通常由轨道管线、分拣节点、发送终端、接收终端、中央控制器、负压与正压设备等部分构成。轨道通过正负压空气驱动小车运行, 采用闭环式网络结构, 将医院不同科室连成一体, 实现多点间快速物资传输。系统运行的关键在于轨道网络是否设计合理、控制命

令是否能够快速下达、各节点的协同能力是否能够满足高频流量需求。随着医院规模扩大,轨道路线数量与节点复杂度呈指数级增长,增加了调度算法设计难度。

### 1.2 医院物流业务的实时性与多样化需求

医院内部物流分为常规业务和紧急业务两类。常规物资包括普通药品、医保物品及文件等,具有时效性要求但延迟成本相对较低;紧急业务如抢救药品、血样、病理样本等,则需要在极短时间内送达,任何传输延误都可能影响临床诊疗效果。因此,调度算法必须支持任务分类、优先级判断和实时路径重构功能,以避免轨道拥堵与资源占用过度导致的延迟。此外,医院不同科室的业务量波动较大,需要算法具备动态调整能力。

### 1.3 系统网络的复杂性与高可靠性要求

气动物流系统依赖网络完成调度指令的传输,包括路径规划、节点状态上报、设备监控等。网络结构往往由交换机、服务器、传感器与控制终端共同组成,其运行不仅受到物理线路布局影响,还可能受医院环境中的电磁干扰、网络负载波动等因素影响。因此,需要通过网络冗余设计、节点容错机制及实时监控来确保系统在高负载、高复杂度运行场景下仍具备较高可靠性。

## 2 医院物流传输系统智能调度算法的理论基础与模型建构

### 2.1 基于图论的轨道网络模型构建

轨道系统可以抽象为由节点与边组成的有向图模型,其中节点代表分拣点、终端和分叉点,边代表轨道路径。对于节点之间的距离、压力差、轨道曲率等参数进行量化,可为调度算法提供基础数据。此外,不同节点之间的路径容量、交通强度和可用性也需要纳入模型。通过建立加权图模型,可使用最短路径算法、最大流算法及网络流量预测模型分析系统运行瓶颈,为后续智能调度提供理论基础。

### 2.2 多任务优先级调度模型

医院物流需求包含大量紧急任务,调度算法需根据任务类型和优先级动态调整资源分配。依据时间敏感度可将任务分为一级紧急、二级紧急和普通任务三类。一级任务优先抢占路径,二级任务采用加权调度方式,而普通任务由系统在空闲路径下进行分配。通过设置优先级权重与时延惩罚函数,可构建动态调度模型,使系统在多任务竞争环境下实现最优路径选择。

### 2.3 冲突检测与消解机制模型

轨道网络中可能出现多车同向或逆向冲突、分岔点拥堵及节点拥塞等情况,因此需要建立基于时空约束的冲突检测模型。通过识别各轨道段占用时间区间,算法可预测某时间段内的潜在冲突,并提前做出调整,如等待、绕行或合并路径。设置安全间隔时间与空间占用阈值,可确保冲突消解机制具备稳定性与可控性。

## 3 智能调度算法在气动物流小车系统中的应用策略

### 3.1 基于动态最短路径的实时调度策略

传统静态最短路径算法基于固定权重进行计算,难以应对医院业务量在不同时段频繁波动的运行环境。在高峰负载条件下,轨道占用状态与节点流量变化迅速,路径最优性随时间不断变化,调度系统需要具备实时调整能力。动态最短路径模型通过持续更新轨道权重,将节点流量、轨道使用率与任务优先级纳入计算过程,使路径搜索结果更加贴近实际运行状态。加权 Dijkstra 算法能够在权重变化后快速完成全局路径更新, A\* 算法借助启发式函数提升搜索效率,增量式最短路径算法则在局部变化场景下减少重复计算开销。这类算法在医院气动物流系统中可实现毫秒级响应速度,确保调度指令快速生效,提升系统在复杂工况下的灵活性与运行效率。

### 3.2 负载均衡调度策略

在医院业务集中运行的高峰时段,气动物流系统的主干轨道往往承载大量运输任务,局部路径易出现流量拥堵现象。通过构建轨道利用率模型,系统可对各段轨道的实时负载水平进行持续监测与评估,准确反映当前运行压力。调度算法依据负载变化动态调整任务分配策略,将普通运输任务引导至利用率较低的路径,缓解主干通道的运行压力。对于对时效性要求较高的紧急任务,系统可提前预留专用通道,确保运输过程顺畅,避免因路径冲突造成延误。基于负载均衡思想的调度机制,有助于提升整体系统吞吐能力,缩短任务等待与运输时间,使气动物流系统在复杂工况下仍能保持高效、稳定运行。

### 3.3 基于预测模型的调度优化

通过引入时间序列预测方法,如 ARIMA 模型与 LSTM 神经网络,气动物流系统可对未来业务量变化趋势进行分析与判断,为调度决策提供前瞻性依据。模型可结合历史任务数据、时间分布特征及科室运行规律,识别业务高峰出现的可能时段。当预测结果显示检验科在特定时间段内样本运输需求显著上升,系统可提前调整调度策略,预设高优先级运输路径与资源分配方案,保障样本及时送达。基于预测结果进行调度规划,有助于平衡系统负载,避免任务在短时间内集中触发所带来的运行压力。该类预测调度机制能够降低网络与设备的瞬时负荷,减少拥堵与延迟风险,为医院物流系统的平稳、高效运行提供有力支撑。

## 4 网络可靠性设计与系统容错机制

### 4.1 网络架构的冗余设计与链路备份

为保障调度命令在复杂运行环境中的稳定传输,系统在网络架构层面需引入多重可靠性设计。双机热备架构可在主服务器异常时实现无缝切换,避免核心控制功能中断。双链路冗余与多路径传输机制为数据通信提供了多重保障,当主链路发生故障,备用链路能够在极短时间内接管

业务,维持调度指令的连续下发。基于服务器集群的部署方式,系统可根据负载变化动态分配计算资源,提升整体处理效率。负载均衡设备的引入有助于缓解单点压力,降低设备故障风险。配合异地容灾中心的建设,系统在极端情况下仍可保持基本运行能力,从架构层面提升医院气动物流系统的安全性与可靠性。

#### 4.2 实时监控与异常检测机制

气动物流系统的稳定运行依赖于完善的实时监控平台,对轨道节点状态、网络流量、传输延迟、丢包率以及小车运行位置等关键数据进行持续采集与分析。通过对系统运行参数的集中展示与动态更新,运维人员可直观掌握整体运行状况,及时发现潜在风险。监控平台可根据预设阈值自动触发报警提示,在异常出现初期即引导人员定位网络瓶颈或故障节点,避免问题进一步扩大。结合历史数据与大数据分析技术,系统能够识别运行过程中的异常行为模式,如节点压力异常升高或轨道出现堵塞迹象,从而为维护决策提供依据。该类监控与分析机制有助于提升故障响应效率,缩短处理周期,保障医院物流系统的连续性与可靠性。

#### 4.3 容错性与系统恢复策略

气动物流系统在长期运行过程中,可能受到硬件老化、电磁干扰或网络波动等因素影响,进而出现局部功能失效的情况。通过引入完善的容错策略,系统在异常发生时仍可维持基本运行能力,避免整体瘫痪。当某一节点发生故障,调度系统可依据实时状态信息自动调整运行策略,绕过异常节点并重新规划运输路径,保障任务继续执行。在控制中心出现故障的情况下,分布式架构下的局部节点可临时承担调度职责,维持区域内物流活动的有序运行。借助数据镜像、运行日志备份及快速恢复机制,系统可在故障排除后迅速恢复正常状态,缩短停机时长。上述措施有助于提升气动物流系统的稳定性与安全性,为医院关键物资运输提供持续可靠的技术保障。

### 5 医院物流智能调度系统的未来发展方向

#### 5.1 强化人工智能算法在调度系统中的应用

未来的智能调度算法将更多引入深度学习与强化学习等人工智能技术,通过对大量运行数据的分析实现自主学习与持续优化。算法在运行过程中可综合考虑轨道状态、任务优先级、载荷类型及历史调度结果等多种因素,逐步形成更具适应性的决策机制。基于轨道环境构建的强化学习模型,能够在反复仿真与实际反馈中不断修正策略,使系统在复杂工况下依然保持高效运行。随着学习过程的深入,调度算法可更准确地预测拥堵风险与设备负载变化,从而提前调整路径选择,减少冲突与等待时间。该类算法的应用有助于提升气动物流系统的整体稳定性与响应能力,为医院物流运行提供更加智能、可靠的技术支撑。

#### 5.2 建设高可靠性、低延迟的专用通信网络

未来医院在基础设施建设中,可引入 5G 专网与工业以太网等高带宽、低时延的通信技术,为气动物流系统构建更加可靠的网络底座。稳定、高速的通信环境有助于减少数据传输中的延迟与丢包现象,保障物流指令的及时下发与准确执行。随着网络能力的提升,系统可持续接入管道状态、设备运行参数与任务负载等多维数据,为智能调度平台提供更加完整的实时信息支撑。算法在数据质量和更新频率提升的条件下,能够更精确地进行路径规划与任务分配,从而提升整体运行效率。网络架构的优化也有利于系统扩展与升级,为后续引入人工智能分析、远程运维及跨系统协同奠定技术基础,推动医院物流管理向智能化与精细化方向发展。

#### 5.3 与医院信息系统深度集成

将气动物流系统与 HIS、LIS、EMR 等信息系统实现深度整合,不仅能够打通数据壁垒,还能提升医院整体运行效率。标本采集完成后,信息系统可自动识别任务类型并推送指令,由气动系统快速响应,自动安排运送路径和调度车厢,避免人工干预带来的延误。药品出库信息一旦生成,系统即可依据用药紧急程度、目标科室位置和当前管道状态智能匹配最优路线,实现自动派车运送,有效保障医疗物资的及时供应。任务执行过程中,物流状态与信息系统保持实时同步,各环节数据动态可视,便于医护人员掌握运送进度,也为后期管理提供完整的追溯依据。

### 6 结论

医院气动物流轨道小车系统作为重要的智慧医院基础设施,其性能直接影响医疗服务效率。研究表明,通过构建基于图论与优先级模型的智能调度算法,可有效解决路径冲突、拥堵和延迟问题;通过提升网络可靠性、增强冗余结构和容错能力,可显著提高系统稳定性。未来应加强人工智能与调度系统的融合,提高自主决策能力;同时升级医院通信网络与信息集成水平,以实现更加高效、安全、智能的医院物流系统。本研究为医院物流系统技术优化提供理论参考与实践价值。

#### [参考文献]

- [1]郑汝婷,何士俊,钟丽君.FOCUS-PDCA 循环在降低住院药房轨道物流小车送药差错率中的应用[J].中国处方药,2024,22(8):43-47.
- [2]王永,杭永付,汪皖青,等.轨道物流实时跟踪系统在某院中心药房的实践应用[J].医疗装备,2024,37(8):22-25.
- [3]陈亮.医院轨道物流系统建设与管理探析[J].中国医院管理,2019(1):12-14.

作者简介:王浩(1986—),男,汉族,毕业学校:河北工业职业技术学院,现工作单位:河北医科大学第二医院。