

城市AI智能体与数字孪生指挥技术研究及应用

勾佳琪*, 饶大林, 陈 亮

深圳市华世智能科技有限公司, 广东 深圳

收稿日期: 2025年10月25日; 录用日期: 2025年11月13日; 发布日期: 2025年11月21日

摘 要

针对传统指挥系统在复杂应急场景下面临的信息孤岛化、人工依赖度高、智能决策与物理执行脱节等问题, 本文提出并构建了一种“AI智能体具身孪生指挥系统”。该系统深度融合AI大模型、具身智能与数字孪生三大技术, 构建了“感知-决策-执行-反馈”的闭环指挥架构, 并设计了“边缘层-中央层-数字孪生层”三级系统架构。通过边缘层的多模态感知与实时控制、中央层的智能分析与决策生成、数字孪生层的高保真映射与仿真推演, 系统实现了物理空间与虚拟空间的实时交互与动态优化。在危化品工厂安全监控与公安应急指挥等典型场景中的测试结果表明, 该系统能够显著提升隐患排查效率、事故预警准确率与指令执行成功率, 验证了其在提升指挥智能化水平和降低人员安全风险方面的有效性与实用性。本研究及技术应用为解决边缘与中央算力协同、小样本场景下模型泛化识别等技术通性问题提供了新思路, 为应急指挥与公共安全领域的智能化升级提供了可行的技术路径与方法支撑。

关键词

AI智能体, 具身智能, 数字孪生, 指挥系统, 多模态协同, DeepSeek大语言模型

Research and Application of Urban AI Agents and Digital Twin Command Technology

Jiaqi Gou*, Dalin Rao, Liang Chen

Shenzhen Huashi Intelligent Technology Co., Ltd., Shenzhen Guangdong

Received: October 25, 2025; accepted: November 13, 2025; published: November 21, 2025

Abstract

To address the problems faced by traditional command systems in complex emergency scenarios, such as information silos, high reliance on manual operations, and the disconnection between intelligent decision-making and physical execution, this paper proposes and constructs an “AI Agent

*通讯作者。

文章引用: 勾佳琪, 饶大林, 陈亮. 城市 AI 智能体与数字孪生指挥技术研究及应用[J]. 人工智能与机器人研究, 2025, 14(6): 1521-1531. DOI: 10.12677/airr.2025.146142

Embodied Twin Command System". This system deeply integrates three key technologies—AI large models, embodied intelligence, and digital twins—to establish a closed-loop command architecture of “perception-decision-execution-feedback” and designs a three-tier system architecture comprising the “edge layer, central layer, and digital twin layer”. Through multimodal perception and real-time control at the edge layer, intelligent analysis and decision generation at the central layer, and high-fidelity mapping and simulation deduction at the digital twin layer, the system achieves real-time interaction and dynamic optimization between the physical and virtual spaces. Test results in typical scenarios, including safety monitoring in hazardous chemical plants and public security emergency response, demonstrate that the system significantly improves the efficiency of hidden hazard detection, the accuracy of incident early warning, and the success rate of command execution, validating its effectiveness and practicality in enhancing the intelligence level of command processes and reducing personnel safety risks. This research and its technological applications provide new ideas for solving General technical issues such as edge-central computing synergy and model generalization in small-sample scenarios, offering a feasible technological pathway and methodological support for the intelligent upgrade of the emergency command and public safety fields.

Keywords

AI Agent, Embodied Intelligence, Digital Twin, Command System, Multimodal Collaboration, DeepSeek Large Language Model

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

智能指挥系统是维护公共安全、实施消防救援及实现高效城市管理的重要系统，指挥系统的有效性直接关系到突发事件应急响应的效率。随着城市规模扩张与运行耦合度提升，事件场景呈现出高维、非线性、跨域扩散的特征，传统“人-机-图”分离式架构渐显疲态。视频监控、物联网传感与多源警情在接入层被简单堆叠，依赖人工进行主观评判，原本连续的时空数据被切割为孤立的片段，指挥席位不得不在碎片间“拼图式”研判。尤其是在报警情形中，因报警人情绪失控造成的表达不清或内容缺失，进一步放大了人工研判的误差。近年来，虽然警情处理等系统中引入了部分人工智能算法，但多停留在离线训练与简单的仿真层面，与无人机、机器人等物理终端之间缺乏原生闭环，执行层的输出仍须经由人工转译才能形成可执行指令。当无人机深入高温、浓烟、强磁场等极端空间时，在线重规划与实时避障能力仍然不足以满足作业需求。面对危化品泄漏、高层立体燃烧等非常规场景，由于缺少对烟气扩散、结构抗火等机理模型的动态调用，传统的应急预案与静态知识库基本会面临失效的风险，引发次生灾害概率随之抬升。

具身智能与数字孪生技术的并行发展为解决上述难题提供了新的可能性。通过具身智能技术，将“感知-决策-行动”压缩至同一物理载体，可以使算法获得在真实世界中即时自我修正。而依托数字孪生技术，可以用高保真时空网格把城市切片为可计算对象，允许在虚拟维度对灾害演化进行超前仿真模拟。在带来这些优势的同时，新的技术应用也存在一些不足，比如边缘算力限制了具身终端在复杂场景下的推理速度，这导致了模型被迫在精度与时延之间做取舍。值得一提的是，数字孪生体与物理实体之间的细微差别，在指挥调度这种“零容错”要求下会被一定程度的放大，影响决策的准确性。鉴于上述问题，本研究提出并构建了“AI智能体具身孪生指挥系统”，试图在“智能决策-物理执行-虚拟优化”之间构建一条

无转译的协同通道，让算法在孪生沙箱中提前经历灾害极端工况的“数字摔打”，再将收敛后的策略以原生指令形式注入具身终端，使指挥系统获得可生长的领域常识与对环境扰动的实时自我优化能力。

2. 相关研究进展

2.1. 数字孪生技术在指挥调度中的发展与应用

数字孪生技术通过构建物理实体的高保真虚拟镜像，为指挥调度系统实现了从静态可视化到动态仿真的技术发展。在城市级数字孪生应用方面，石珍和王玮(2025) [1] 基于 UE5 引擎构建了实景三维数字孪生平台，采用数据底座层、引擎驱动与数据交互层、应用表现层的三层架构，整合 GIS 数据与城市物联网(UIoT)感知信息，实现了环境仿真、运行监测和指挥调度等功能，显著提升了城市治理的精细化和智能化水平。肖竞辉和陈建(2024) [2] 提出的智慧城市运营指挥调度平台方案，通过“六模块”(如数据层、平台层)与“两体系”(安全保障与标准规范)设计，强调数据中台与视频一张网的深度集成，实现了多源数据共享与实时可视化展示，为城市管理提供了全面的决策支持。梁勇康(2024) [3] 通过集成 XGBoost 与 Constrained-FNN 算法，实现了 5G 网络中 QoS 流的精准流量预测，从而优化资源调度效率并提升系统性能。卞京等(2024) [4] 提出改进蛇优化算法(ISO)，在柔性作业车间调度研究中引入离散化编码与机器负荷平衡机制，有效解决了静态调度问题，显著提高了求解质量与稳定性。

随着应用场景转向高实时性和高动态性的应急指挥需求时，现有数字孪生系统的局限性逐渐显现。李壮等(2024) [5] 的海上井控系统虽然能够模拟井喷与燃烧过程，但其数据采集准确性和模型融合度仍有不足，导致决策过程依赖人工经验，尚未形成与自动化执行设备的闭环联动。肖竞辉和邹旭(2025) [6] 的智慧林业平台虽具备实时云渲染与数据查询优化能力，但其并发量与故障恢复等性能指标表明，数据更新延迟仍可能影响系统的秒级响应。

总体来看，这类系统多侧重于“视觉”与“仿真”层面的展示，而在“决策”与“控制”层面的自动化程度较低，尚未实现完全智能化的闭环优化。

2.2. 具身智能及其在复杂环境中的执行能力发展

具身智能强调智能体通过物理载体与环境交互，形成“感知-决策-行动”的闭环。在硬件载体层面，多模态机器人与无人机技术不断成熟。欧阳日辉等(2025) [7] 通过分析产业生态系统，推动了具身智能在工业制造与家庭服务等场景的规模化应用，指出人形机器人作为最佳具身载体正加速产业化进程。刘永奎等(2025) [8] 构建了具身智能工业机器人(EAI-IR)的六层体系架构，融合多模态大模型与强化学习技术，并在行星减速器装配案例中验证了其高效性与适应性，为工业机器人的自主决策与进化提供了实践支撑。王飞跃(2025) [9] 进一步探讨了从具身智能的人形机器人到平行智能机形人工员工的演进路径，提出基于数字孪生技术实现虚实交互与持续学习的新范式。

在智能控制层面，视觉-语言-动作(VLA)模型成为具身智能研究的核心方向。张文涛等(2025) [10] 系统梳理了离散与连续动作表征策略，提升了具身智能中动作生成的精度与多样性。其中，自回归生成策略可将机器人控制任务转化为序列建模问题，而扩散模型则提升了连续动作的平滑性。文献中也指出，当前具身智能的发展仍面临“智能大脑”与“物理身体”协同不足的问题时，其推理延迟较大，使得具身载体在边缘算力受限的情况下难以应对复杂环境突发事件，从而影响智能决策在“最后一公里”的执行效果。谢远龙等(2025) [11] 进一步指出，分层导航模型虽然提升了系统可解释性，但模块间异构信息的转换瓶颈加剧了响应时延，限制了实时控制能力。

综上所述，具身智能的发展面临从“单体智能”迈向与上层指挥系统深度融合的“群体智能”，需要进一步通过技术创新与产业协同突破现有的性能与响应局限。

2.3. AI 大模型与智能体决策的技术研究进展

随着大模型的广泛应用和国产化大模型的技术突破,以 DeepSeek 为代表的模型在自然语言理解、知识推理和代码生成等方面展现出卓越能力。在专业应用领域,检索增强生成(RAG)技术通过引入外部知识库,有效缓解了大模型的幻觉问题,显著提升了专业问答与决策任务的准确性。

在此基础上,学者们开始探索将大语言模型与决策智能相结合的多领域应用。谷学强等(2025) [12]构建了基于技能、排序与偏好的元博弈模型,融合策略强化学习、博弈树搜索与偏好投票方法,设计了支持生成时规划的智能博弈自适应决策架构,实现了指挥员意图对齐与可解释策略推荐,为兵力分配与多实体协同提供了新范式。刘骥等(2025) [13]将生成式智能体与多模态大模型相结合,引入可解释人工智能(XAI)与多智能体博弈模拟技术,实现了教育决策的循证分析、枚举分析与互动仿真,有效提升了教育政策制定与教学方案优化的科学性。周圣华等(2025) [14]提出“工具过滤-推理-行动”(TF-ReAct)智能体架构,结合工具知识图谱与 RAG 技术,实现了灾后基础设施网络恢复决策的自动化工具调用与流程优化,使任务完成率得到有效提升,显著降低了跨领域工具的使用门槛。

然而,将大语言模型直接应用于工业指挥与控制场景仍面临显著挑战。首先,工业系统中普遍存在“小样本”问题(如特定设备的罕见故障),导致大模型在数据稀缺条件下的泛化识别能力不足。其次,大模型作为“软件智能体”,其生成的决策指令如何无缝、可靠地转化为作用于物理世界的控制命令,仍然需要更深入的研究。决策指令的模糊性以及物理执行器状态的感知缺失,可能造成决策与执行之间的脱节,限制了其在高可靠性工业环境中的应用潜力。

2.4. 研究现状总结与本研究的定位

综观现有研究,数字孪生、具身智能与 AI 大模型三大技术领域均取得了显著进展,但在指挥系统中的融合应用仍存在明显的“割裂”现象。数字孪生侧重于再现与仿真,能够回答“发生了什么”,却难以支撑“如何决策”;AI 大模型具备强大的知识推理与决策生成能力,能够回答“应该做什么”,但缺乏与物理执行层的直接耦合;具身智能则拥有感知与执行能力,能够“亲手行动”,但往往欠缺全局智慧与预演推理机制。

这种技术层面的分离使得当前系统难以形成从感知、决策到执行的端到端智能闭环。本研究正是针对这一现象问题展开,旨在突破单一技术范式的局限,构建“AI 智能体-具身载体-数字孪生”三元协同框架,通过深度融合三者优势,实现指挥系统从“可视、可知”向“智能、善行”的跃迁。

3. 系统理论与整体架构

3.1. 核心概念界定

本研究涉及三个需要明确界定的核心概念。AI 智能体特指以 DeepSeek 等大语言模型为认知核心,具备语义理解、情境推理与动态决策能力的软件实体,它集成了知识进化、决策生成与指令转换等核心能力,构成了系统的“指挥大脑”。具身智能则是指以无人机、轮式机器人等为代表的物理载体,通过搭载高精度定位与多模态传感器,赋予 AI 系统与现实世界进行物理交互的能力,承担着智能决策落地执行的关键职能。数字孪生作为连接虚拟与现实的桥梁,是基于 BIM/GIS 引擎构建的动态虚拟模型,不仅实现物理场景的超高精度可视化,更具备轨迹仿真与故障解算等高级功能,为指挥决策提供可靠的推演环境。这三个核心概念相互支撑,共同构成了本研究理论体系的基础要素。

3.2. 三元协同框架

基于上述概念界定,本文创新性地提出了“AI 智能体-具身载体-数字孪生”三元协同框架,如图

1. 该框架通过建立感知层、决策层、映射与推演层的有机联动，形成了完整的指挥闭环系统。在感知层，具身载体作为系统的前端感知装备深入现场，采集多模态数据并完成初步的环境感知。在决策层，AI 智能体作为分析的智慧枢纽汇聚多方信息，生成最优处置预案并将其转化为可执行指令。在映射与推演层，数字孪生技术实现物理空间到虚拟空间的精准映射，支持行动方案的事前验证。这一框架的创新之处在于建立了“虚拟预演 - 物理执行 - 动态优化”的持续改进机制，使得三个核心要素形成深度协同，在联通融合传统指挥系统中决策与执行方面证实了框架的可行。

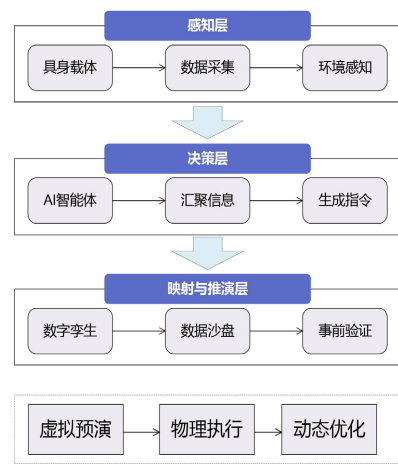


Figure 1. “AI Agent-Embodied Carrier-Digital Twin” ternary collaborative framework
图 1. “AI 智能体 - 具身载体 - 数字孪生”三元协同框架

3.3. 系统整体架构设计

为将三元协同理论框架转化为可实施的系统，系统中进一步设计了“边缘层 - 中央层 - 数字孪生层”三级架构体系。边缘层部署于指挥现场，负责数据采集与实时分析，通过具身载体及其配套的边缘算力模块确保在恶劣环境下的基础作业能力。中央层作为决策核心，以 DeepSeek 大模型为引擎承担多源数据融合与智能决策生成任务，实现警情深度分析与预案生成。数字孪生层则基于 BIM/GIS 引擎与分布式渲染技术构建高精度虚拟环境，为指挥决策提供验证与优化平台。这三级架构通过高速通信网络实现数据与指令的有序流动，各层级既相对独立又紧密协作，共同构建起一个感知灵敏、决策智能、执行精准的现代指挥系统，为实现高效可靠的指挥作业提供了完整的解决方案。

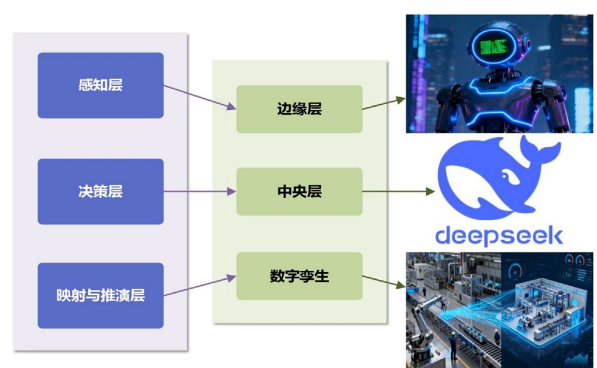


Figure 2. “Edge Layer-Central Layer-Digital Twin Layer” three-level system architecture
图 2. “边缘层 - 中央层 - 数字孪生层”三级系统架构体系

如图 2 所示, 各个层级之间通过协作配合, 把物理感知信息应用最终的智能决策当中。其中像无人机、机器人及机器狗等在现实中的执行终端为边缘层, 这类一般会配备算力模块和较高精度的定位系统, 它能够在现实世界中采集多种数据, 并且能够进行简单避障来应对一些突发情况。边缘层采集的数据需要进行整合分析, 能够实现这类功能的像 DeepSeek 等大模型称为中央层, 它负责处理边缘层数据后与数字孪生层进行融合输出, 通过分析结果生成对应的指令或方案等信息。数字孪生层则是联通现实与数字的层级, 通过分布式渲染和高分辨率虚拟场景的技术将现实世界映射到数据中, 再根据中央层的指令方案在数字世界验证可行后, 同步边缘层对现实世界产生影响。

3.3.1. 边缘层子系统

边缘层子系统作为系统与物理环境交互的核心接口, 其设计需要充分考虑了复杂应急场景下的高可靠性与环境适应性要求。该子系统采用模块化设计理念, 兼容无人机、轮式机器人和机器狗等主流具身载体平台, 并通过统一接口协议实现异构设备的协同管理。

在定位与导航方面, 子系统集成双 RTK 天线与惯性测量单元(IMU), 结合自适应滤波算法, 即使在卫星信号受限的厂区环境中仍可维持厘米级定位精度。多模态感知模块配备 4K 云台相机、多波段气体传感器与热成像仪, 支持 360°全景扫描与特定目标追踪, 并通过传感器融合技术显著提升环境感知的鲁棒性。指令执行模块采用分层控制架构, 将高层任务指令解析为底层运动控制信号, 实现执行状态的实时监控与异常自恢复, 从而保证设备在复杂地形条件下的持续稳定作业。

3.3.2. 中央层子系统

中央层子系统基于 DeepSeek 大模型构建, 采用分层认知架构以模拟人类指挥员的决策思维过程。系统包含知识管理、情境理解与决策生成三大核心模块。

知识管理模块构建了覆盖法规标准、处置规程与历史案例的多维知识图谱, 通过主动学习机制持续优化知识表示结构, 支持基于语义的智能检索与关联推理, 实现对复杂应急知识的结构化管理与动态更新。情境理解模块融合多源异构数据, 利用注意力机制聚焦关键警情要素, 构建具备时空维度的事件演化模型, 从而实现对应急态势的深度认知与风险趋势预测。决策生成模块则将抽象的任务需求转化为可执行的操作序列, 结合强化学习方法对策略进行自适应优化, 并具备基于反馈数据的在线调整能力, 确保处置方案的科学性、灵活性与持续优化性能。

3.3.3. 数字孪生层子系统

数字孪生层子系统采用模型 - 数据双驱动的设计理念, 旨在构建高保真、强实时的虚拟指挥环境。系统包括场景构建、数据融合与仿真推演三个核心模块。

场景构建模块基于 BIM/GIS 多源数据, 建立融合几何、物理与行为特征的全要素模型, 支持多层次细节渲染与快速场景重构, 实现真实场景的精细化映射。数据融合模块设计统一的时空框架, 实现传感器数据与虚拟模型的高精度匹配, 并通过数据清洗与插值算法提升应急态势感知的完整性与准确性。仿真推演模块依托物理引擎构建运动学与动力学模型, 支持复杂环境下的路径规划验证与任务效能评估, 为指挥决策提供高可靠性的数字化实验平台。

3.4. 技术优势

本研究围绕应急指挥系统的智能化与自主化需求, 重点突破了边缘 - 中央算力协同、多模态大模型泛化识别及三元协同决策执行三项关键技术。首先, 提出边缘避障与中央导航协同计算架构, 在边缘侧实现高效感知与即时避障, 在中央层完成全局路径规划与动态导航调整, 构建了局部快速响应与全局最优决策相结合的算力协同机制。其次, 研发计算机视觉小模型与多模态大模型协同的识别框架, 通过图

像 - 语言语义对齐与提示词生成技术, 实现对工业安全场景中多类型隐患的精准识别, 显著提升了模型在小样本条件下的泛化能力。最后, 构建 AI 智能体、数字孪生与具身载体的三元协同决策执行机制, 形成“感知 - 决策 - 执行 - 优化”的闭环运行流程, 实现了多源感知驱动下的自主任务规划与执行, 不仅提升了复杂环境下的应急响应效率, 也推动了指挥系统向高智能化与自适应方向演进。

4. 系统部署测试与示范应用

为验证系统的实际效能, 本研究选取某大型危化品工厂消防应急指挥作为实验场景, 该厂区占地面积达 1.2 平方公里, 包含 3 个 LPG 球罐区和 8 个关键传感器监测点位。系统部署如图 3 所示。

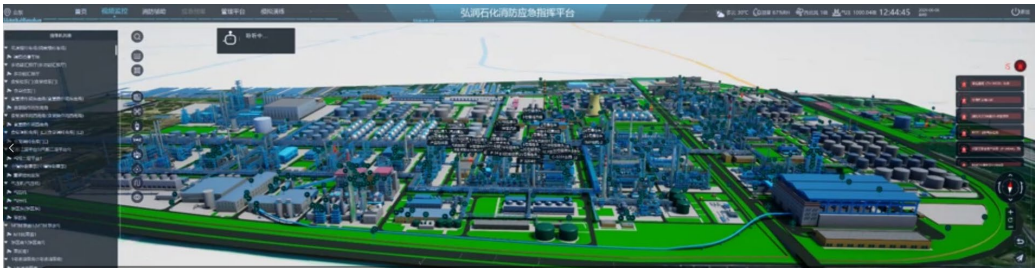


Figure 3. Emergency fire command platform for a large hazardous chemicals factory
图 3. 某大型危化品工厂消防应急指挥平台

4.1. 实验环境与指标设计

实验环境部署了完整的系统组件, 在边缘层, 配置了 1 台六旋翼无人机和 2 台轮式机器人, 无人机搭载 4K 高清相机和多功能气体传感器, 机器人配备作业机械臂。在中央层, 部署了 DeepSeek-7B 大模型引擎, 并集成了包含 500 条危化品处置案例的专业知识库。在数字孪生层, 构建了 16K 精度的全要素工厂模型, 实现了与 8 个监测传感器的实时数据对接。为全面评估系统性能, 设计了功能与性能两类评价指标。其中, 功能指标主要考察系统的隐患排查效率、事故预警准确率和指令执行成功率, 性能指标则重点关注孪生映射延迟、指令响应时间和机器人避障成功率等关键技术参数。

4.2. 技术模块实现

技术模块主要包括三个部分, 即隐患识别与检索、指令生成与验证和边缘执行与避障, 各模块之间的协调合作如图 4 所示。

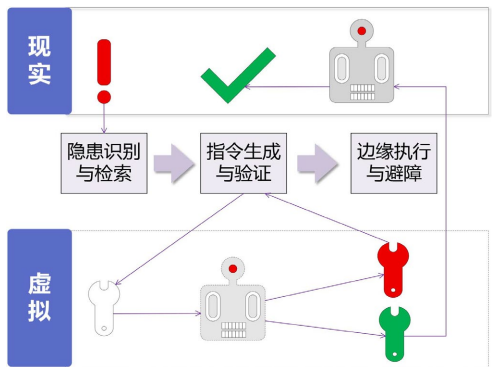


Figure 4. Diagram of module coordination
图 4. 各模块协调示意图

4.2.1. 隐患识别与检索

此模块的任务是在监控区域定位隐患，并分析隐患类型在专业知识库中检索相关特性约束。监控的区域中，视频、浓度等传感器采集实时数据信息，根据设定的识别频率，将多模态的实时数据传递给监控模型进行隐患识别。当识别成功后，依据实时信息定位到发生隐患的位置，并对现实情况进行特征提取，在专业知识库中进行检索匹配，包括有隐患类型、危险系数、物理化学特性等。通过上述模块的功能，能够对现场状况有基本的了解与专业处理知识的储备。

4.2.2. 指令生成与验证

此模块的任务是处理隐患信息为边缘体生成处理指令，并在数字孪生层进行事先验证。大模型获取到前一模块提供的位置和专业信息，根据数字建模搜索联通路径，然后将专业信息中隐患类型、物质特性等有效内容整合生成思维链，结合实际情况增加指令约束，生成包含移动路径、操作流程在内的指令，在虚拟孪生空间内对指令进行执行，若存在问题则反馈信息继续增加约束优化指令直至通过。通过上述模块，可以获得专业的科学的指令，并通过虚拟验证减少实际的成本损失还能增加实际的成功率。

4.2.3. 边缘执行与避障

此模块的任务是执行处理指令，从而对现实的隐患进行处理解决。边缘端获取到经过虚拟验证的指令，按照指令路径移动到隐患源位置，边缘体(无人机、机器人)配备多端实时数据传感器能够捕捉到现实的真实情况，行进途中，按照导航指令进行移动，导航过程通过激光雷达对人流、动态物体进行避障，不出避障安全区就继续逼近轨迹目标，超出则停止移动向平台重新发起导航需求，到达评估区域后对作业区域进行逼近，到达指定范围执行后续操作指令。通过上述模块，能够将虚拟孪生验证可行的方案执行到现实，并依据现实情况进行自主调整，最大安全对可行指令进行复现。

4.3. 实验结果与分析

在功能指标测试中，结果如表 1 所示，系统展现出显著的性能提升。具体而言，单罐区隐患排查耗时从传统人工方式所需的 60 分钟缩短至 18 分钟，效率提升达 70%；事故预警准确率从依赖人工判断时的 62%提升至 83%，提高了 21 个百分点；在指令执行方面，系统实现了 98.5%的成功率，展现出优异的稳定性。这些结果表明，系统不仅大幅提升了指挥效率，而且预警准确率完全满足工业安全场景的实际需求。

Table 1. Functional indicator testing

表 1. 功能指标测试

测试项目	传统人工方式	本系统	提升效果
隐患排查效率(单罐区)	60 分钟/次	18 分钟/次	提升 70%
事故预警准确率	62%(依赖人工判断)	83%	提升 21%
指令执行成功率	-(人工操作)	98.5%	-

在性能指标测试中，结果如表 2 所示，所有参数均达到或优于设计阈值。其中，孪生映射延迟实测值为 14.2 毫秒，优于 20 毫秒的设计要求；指令响应时间实测为 7.8 秒，明显快于 10 秒的设计标准；机器人避障成功率达到 98.2%，超过 95%的设计指标；单帧处理耗时控制在 156 毫秒内，满足 200 毫秒的实时性要求。这些性能数据充分证明了系统在实时响应和处理能力方面的优越性，为确保指挥过程的实时可靠提供了坚实的技术保障。

Table 2. Performance indicator testing
表 2. 性能指标测试

测试项目	设计阈值	实验结果	达标情况
孪生映射延迟	≤20 ms	14.2 ms	达标
指令响应时间	≤10 s	7.8 s	达标
机器人避障成功率	≥95%	98.2%	达标
单帧处理耗时	≤200 ms	156 ms	达标

4.4. 公安指挥场景拓展案例

为进一步验证系统的跨场景适用性，本研究在深圳市福田区公安指挥中心进行了拓展应用测试。在实战环境中，通过警情“一张图”调度系统，整合了 1200 路视频监控和 300 名警力的 GPS 定位数据，并借助 16K 超高分大屏进行可视化展示，如图 5 所示。



Figure 5. Shenzhen Futian District public security incident command system
图 5. 深圳市福田区公安警情指挥系统

在公安指挥应用测试场景中，基于噪声降噪和动态热词技术的语音智能交互模块，支持指挥人员通过自然语音快速调取监控画面和查询警力分布，测试结果达到了 92%的指令识别准确率。实际测试中，系统在面对人员走失类警情时，验证了系统能够自动提取关键要素并生成包含视频调取和警力部署的处置预案。这一案例充分证明了系统在不同指挥场景下的良好适应性和实用价值。

5. 技术应用展望

本研究通过构建“AI 智能体 - 具身载体 - 数字孪生”三元协同框架，在理论与技术层面取得了重要突破，具有显著的科研探索价值。在理论创新方面，提出的三元协同框架突破了传统纯软件智能的局限，将虚拟空间的认知决策能力与物理空间的交互执行能力深度融合，丰富了具身智能在指挥领域的理论体系，为实现从数字智能向物理智能的转型提供了新的理论范式。在技术突破层面，研究为解决边缘 - 中央算力协同、小样本泛化识别、动态轨迹仿真等现实共性问题提供了可行思路，提出的轻量化模型部署方法、多模态融合识别算法以及分布式仿真架构，为构建类似智能指挥系统提供了可复用的技术方案和工程实践参考。在方法体系方面，建立的“虚拟预演 - 物理执行 - 数据反馈”的指挥方法论，通过数字

孪生技术实现了决策方案的事前验证与持续优化,显著降低了指挥系统的试错成本,提升了应急决策的科学性与可靠性,为复杂环境下的智能指挥提供了新的方法指导。

基于本研究取得的成果,未来在应用层面具有广阔的拓展空间和发展前景。首先,系统具备向多领域推广的潜力,可拓展至交通应急管理、医疗救援指挥、城市基础设施运维等领域,通过适配不同场景的业务需求与数据接口,实现核心技术的跨领域复用,为构建城市级一体化智能指挥平台提供支撑。其次,在多智能体协同方面,未来可重点研究异构具身载体的群体智能协同机制,通过建立统一的任务分配、路径规划与行为协调算法,解决单一载体在复杂任务中能力受限的问题,提升系统应对大型突发事件的整体效能。在极端环境适应性方面,需要进一步优化具身载体的硬件防护性能,研发耐高温、防爆、防水等特种作业机器人,增强系统在地震、火灾、洪涝等极端场景下的生存与作业能力。最后,在系统智能化演进方面,可通过引入强化学习、元学习等先进算法,构建基于海量案例数据的自主进化机制,使系统能够持续从实战经验中学习优化,逐步降低对人工维护的依赖,实现从智能辅助向自主智能的跨越式发展。这些研究方向不仅有助于提升本系统的实用价值,也将推动整个智能指挥领域的技术进步与产业升级。

6. 结论

本文针对现代指挥系统在复杂应急场景下面临的多重挑战,设计并实现了一种基于 AI 智能体、具身智能与数字孪生技术深度融合的智能指挥系统。系统通过构建“感知-决策-执行-反馈”的闭环架构,在解决传统指挥模式中信息碎片化、智能决策与物理执行脱节以及专业场景适应性不足等重要问题方面取得了显著进展。在危化品工厂安全监控场景部署测试中,系统能够显著提升隐患排查效率和重大事故预警能力;在公安应急指挥场景部署测试中,实现了警情处置效率的明显提升,验证了其在实际应用中的有效性与可靠性。未来工作将进一步探索多智能体协同控制机制,以应对复杂任务中异构载体的协同作业挑战,同时提升系统在极端环境下的适应能力,通过强化具身载体防护性能与优化决策算法的鲁棒性,拓展其在火灾、地震等极端场景的应用范围。此外,还将研究基于强化学习的自主进化机制,使系统能够通过实战经验持续优化决策模型,从而推动指挥系统向全自主、高可靠、广适配方向发展,为新一代智能指挥体系的构建提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 石珍, 王玮. 基于 UE5 的实景三维数字孪生平台的构建[J]. 地矿测绘, 2025, 41(2): 29-34.
- [2] 肖竞辉, 陈建. 基于数字孪生的智慧城市运营指挥调度平台解决方案[J]. 电脑与电信, 2024(5): 98-102.
- [3] 梁勇康. 基于数字孪生的移动通信网络资源调度算法研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2024.
- [4] 卞京. 基于数字孪生的柔性作业车间调度研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2024.
- [5] 李壮, 苗典远, 赵建, 等. 基于数字孪生的海上井控应急处置系统研究[J]. 中国应急救援, 2024(6): 11-15.
- [6] 肖竞辉, 邹旭. 5G 技术在智慧林业中的应用[J]. 科技创新与应用, 2025, 15(26): 165-168, 172.
- [7] 欧阳日辉, 李晓壮. 具身智能产业发展的机理分析与推进策略[J]. 改革, 2025(9): 47-63.
- [8] 刘永奎, 王芊骥, 朱子璐, 等. 具身智能工业机器人: 体系架构、关键技术与案例研究[J/OL]. 计算机集成制造系统: 1-33. <https://doi.org/10.13196/j.cims.2024.Z21>, 2025-09-29.
- [9] 王飞跃. 从具身智能的人形机器人到平行智能的机形人工员工[J]. 智能科学与技术学报, 2025, 7(3): 287-289.
- [10] 张文涛, 孙奥兰, 瞿晓阳, 等. 面向具身智能的视觉-语言-动作模型动作表征和生成策略综述[J/OL]. 计算机应用: 1-14. <https://link.cnki.net/urlid/51.1307.TP.20250929.2133.016>, 2025-09-30.
- [11] 谢远龙, 王书亭, 程祥, 等. 大模型驱动的具身智能机器人导航技术综述[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2025, 59(5): 677-693.
- [12] 谷学强, 罗俊仁, 周棣忠, 等. 智能博弈决策大模型智能体技术综述[J]. 系统仿真学报, 2025, 37(5): 1142-1157.

-
- [13] 刘骥, 钱禹辰. 生成式智能体融入教育决策大模型的原理、价值与路径[J]. 终身教育研究, 2025, 36(5): 43-51.
- [14] 周圣华, 王泓宇, 陈铮一, 等. 大语言模型驱动的关键基础设施网络恢复决策的智能体构建[J/OL]. 东南大学学报(自然科学版): 1-9. <https://link.cnki.net/urlid/32.1178.N.20251010.1034.002>, 2025-10-10.