

基于 *Agent* 的无人机无人车机器狗协同配送

系统仿真与

崔迪生, 黄皓凌, 岑岱, 李梓琳, 李家龙

cuidsh@mail2.sysu.edu.cn

中山大学
系统科学与工程学院
指导老师: 李雄

2025.4.24



1. 系统概述
2. 异构智能体设计
3. 多智能体协调
4. 环境建模

5. 可视化与日志
6. 系统特色与创新
7. 总结与展望
8. 附录

目录



1. 系统概述
2. 异构智能体设计
3. 多智能体协调
4. 环境建模
5. 可视化与日志
6. 系统特色与创新
7. 总结与展望
8. 附录



研究背景与动机

研究背景

- 城市物流配送需求快速增长
- 传统单一载具配送效率有限
- 复杂地形环境需要异构智能体协作
- 分布式决策提高系统鲁棒性

系统目标

- 构建多智能体协作配送仿真平台
- 实现智能任务分配与路径规划
- 设计高效的中转站协作机制
- 开发实时可视化监控系统



系统架构设计

核心模块组成

系统主要由 9 个核心模块构成

- `main.py` - 系统启动入口与任务加载
- `multi_agent_coordination.py` - 多智能体协调核心
- `agent.py` - 三种异构智能体实现
- `path_planning.py` - A* 路径规划算法
- `map_system.py` - 动态地图环境系统

技术特色

- 模块化设计，松耦合架构
- 支持直达与中转两种配送策略
- 基于优先队列的任务调度机制
- 实时可视化与日志记录系统

目录



1. 系统概述
2. 异构智能体设计
3. 多智能体协调
4. 环境建模

5. 可视化与日志
6. 系统特色与创新
7. 总结与展望
8. 附录



三种智能体类型

智能体能力对比

智能体	速度	载重	地形适应	特殊能力
无人机 (Drone)	15.0	10kg	全地形	飞行、跨水域
无人车 (Car)	5.0	50kg	仅道路	大载重运输
机器狗 (RobotDog)	7.0	30kg	陆地全地形	爬坡、攀爬

核心能力

- 自主路径跟踪与移动
- 有限视野环境探索 (半径 = 5)
- 状态管理: idledeliveringreturning
- 实时位置与任务状态上报

协作机制

- 共享环境知识发现
- 动态任务分配与重分配
- 中转站协作配送
- 智能返回路径选择



智能体实现架构

Agent 基类设计

- **update()**: 主更新循环, 处理移动和探索
- **follow_path()**: 路径跟踪与状态转换
- **explore_surroundings()**: 周围环境探索发现
- **assign_task()**: 任务分配与载具初始化

DroneAgent 特性

- 速度: 15.0 (最快)
- 载重: 10kg (轻载)
- 地形: can_cross_water=True
- 优势: 快速跨越复杂地形

CarAgent 特性

- 速度: 5.0 (中等)
- 载重: 50kg (重载)
- 地形: road_only=True
- 优势: 大载重道路运输



A* 路径规划算法

路径规划特性（参见

- 基于共享知识地图的启发式搜索
- 支持不同智能体的地形适应性约束
- 处理未知区域的探索惩罚机制
- 8 方向搜索优化路径长度

地形通行规则

- **无人机**: 所有地形通行, 未知区域 +10 惩罚
- **无人车**: 仅道路通行, 自动寻找最近道路
- **机器狗**: 陆地通行, 山地 +2 惩罚, 陡峭 +5 惩罚
- **水域约束**: 只有无人机可以跨越

算法优化

- 启发式函数结合地形成本
- 动态权重调整
- 路径平滑处理
- 最终距离阈值检查

目录



1. 系统概述
2. 异构智能体设计
- 3. 多智能体协调**
4. 环境建模

5. 可视化与日志
6. 系统特色与创新
7. 总结与展望
8. 附录



协调系统架构

MultiAgentCoordinationSystem 核心功能

- 任务队列管理: 基于优先队列的紧急度排序
- 智能体状态监控: 实时追踪所有智能体状态
- 路径规划服务: 为智能体提供最优路径计算
- 中转站协调: 管理两阶段协作配送流程

协调循环 (50FPS)

- 智能体状态更新
- 中转任务分配
- 主队列任务处理
- 系统性能监控

日志记录

- 任务分配记录
- 路径执行轨迹
- 完成时间统计
- JSON 格式输出



中转站协作机制

两阶段协作流程

1. **第一阶段**: 最优智能体将货物运送到中转站
2. **处理延迟**: 中转站处理时间 (2.0 秒) 模拟货物中转
3. **第二阶段**: 重新分配最适合的智能体完成最后配送

协作优势

- 发挥各智能体专长
- 突破单体能力限制
- 提高整体配送效率
- 增强系统容错能力

智能决策

- 动态成本计算
- 载重能力匹配
- 地形适应性考虑
- 紧急度权重调整

目录



1. 系统概述
2. 异构智能体设计
3. 多智能体协调
4. 环境建模

5. 可视化与日志
6. 系统特色与创新
7. 总结与展望
8. 附录



地图系统设计

Map 类功能（参见

- **程序化地形生成**: 使用 Perlin 噪声创建真实地形
- **多层次地形**: 道路、水域、山地、建筑、植被 6 种类型
- **动态天气系统**: 晴天、雨天、雪天影响智能体性能
- **战争迷雾机制**: 智能体有限视野逐步探索

SharedKnowledgeMap

- 共享环境知识库
- 实时更新机制
- 未知区域标记
- 批量信息更新

探索机制

- 探索半径: 5 单位
- 即时信息共享
- 未知区域惩罚
- 渐进式地图构建

目录



1. 系统概述
2. 异构智能体设计
3. 多智能体协调
4. 环境建模

5. 可视化与日志
6. 系统特色与创新
7. 总结与展望
8. 附录



实时可视化系统

DeliveryVisualizer 功能（参见

- **高性能动画**: Matplotlib 动画, blit=True 优化
- **多层渲染**: 地形、智能体、路径、任务分层显示
- **状态监控**: 实时显示任务进度和智能体状态
- **交互控制**: 支持暂停、继续、速度调整

视觉元素

- 智能体颜色标识
- 任务路径实时高亮
- 地形类型色彩编码
- 动态信息面板

日志系统

- LogEntry 结构化记录
- 任务生命周期追踪
- JSON 格式导出
- 性能分析支持

目录



1. 系统概述
2. 异构智能体设计
3. 多智能体协调
4. 环境建模
5. 可视化与日志
6. 系统特色与创新
7. 总结与展望
8. 附录

技术创新点



算法创新

- 双策略智能决策机制
- 紧急度权重动态调整
- 地形适应性路径规划
- 战争迷雾探索机制

工程创新

- 模块化松耦合架构
- 高频协调循环 (50FPS)
- 实时可视化渲染
- 完整日志记录系统

系统优势

- **异构协作:** 三种智能体发挥各自优势，互补协作
- **智能决策:** 基于成本分析的策略选择，适应复杂场景
- **实时响应:** 高频更新循环，支持动态环境变化
- **可扩展性:** 模块化设计，易于功能扩展和性能优化

目录



1. 系统概述
2. 异构智能体设计
3. 多智能体协调
4. 环境建模
5. 可视化与日志
6. 系统特色与创新
7. 总结与展望
8. 附录



项目总结

主要成果

- 完整仿真平台: 构建了功能完备的多智能体配送仿真系统
- 核心算法实现: 双策略决策、A* 路径规划、协作机制
- 工程化实现: 9 个核心模块, 清晰的架构设计
- 可视化系统: 实时动画渲染和完整的日志记录

技术亮点

- 异构智能体协同工作
- 智能任务分配策略
- 中转站协作机制
- 战争迷雾探索系统

应用价值

- 城市物流配送优化
- 应急救援物资投送
- 多机器人协作研究
- 智能交通系统设计

目录



1. 系统概述
2. 异构智能体设计
3. 多智能体协调
4. 环境建模

5. 可视化与日志
6. 系统特色与创新
7. 总结与展望
8. 附录