



<<<<

基于多种智能方法的多机器人协同充电调度系统及仿真环境的开发

张越、陈思涵、陈郅、黄梓纹、颜诗淇

Data structure project

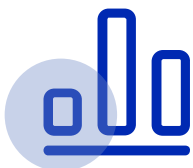
Agenda

实验设计以及结果分析

我们设计了怎么验证
我们的解决方法？

建模思路

我们怎么理解问题？



项目概述

我们做了什么？



代码模块拆解 以及算法设计

我们怎么模拟与解决问题？ 代码分
成哪些模块？ 采用了哪些算法？



不足与未来展望

我们哪里做的不够好？
哪里可以做的更好？

>>>>

<<<<

01. 项目概述

我们做了什么？

/ / / / / / / /

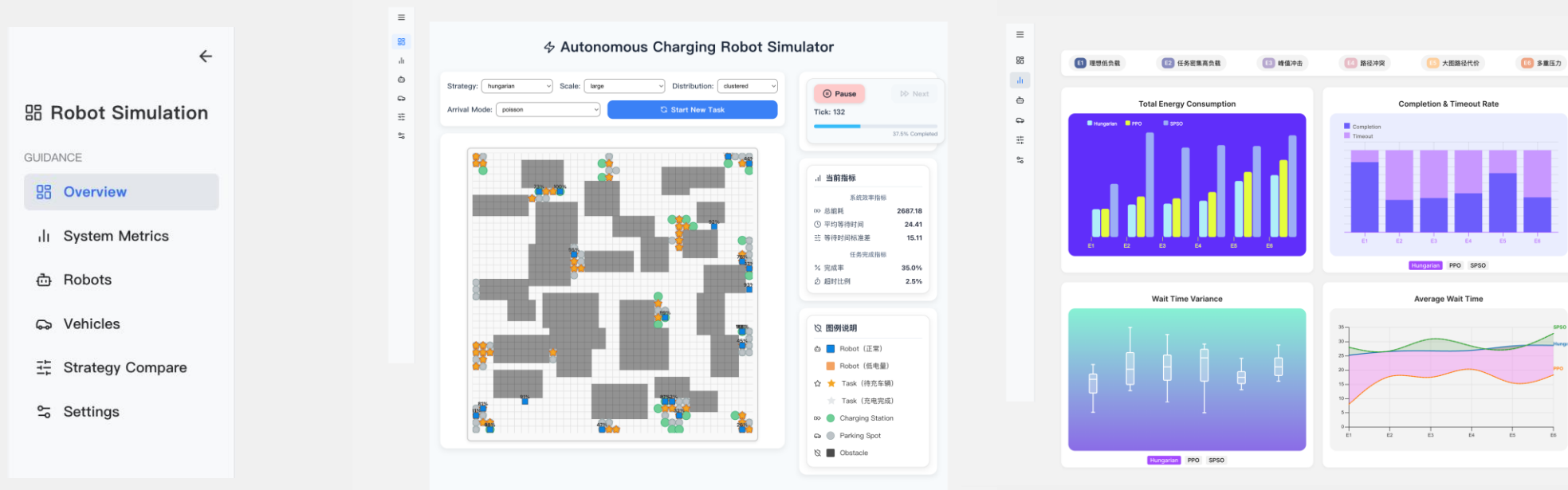
项目摘要

<<<<

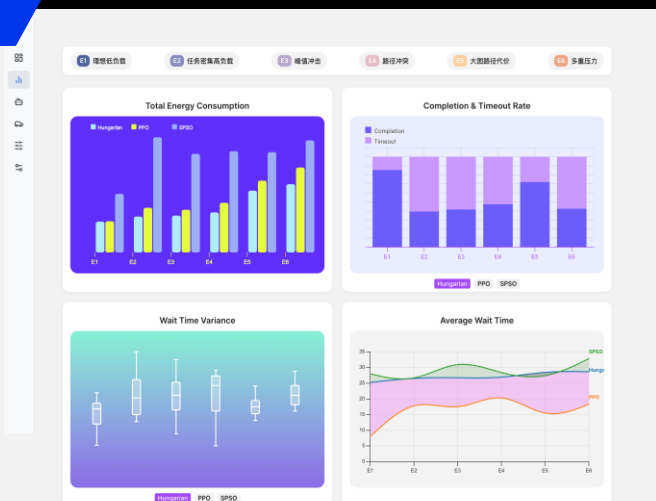
我们在用Vite前端构建工具&React前端框架开发的可交互网页上，完成了对工业园区充电机器人调度任务模拟

主要内容：

- 模拟了车位分布、任务到达时间分布、地图规模共27种组合数的仿真场景
- 完成了基于匈牙利算法、强化学习、基于集合的粒子群优化算法的三种不同策略生成器的多机器人调度系统
- 在设计的6组实验中探究了不同场景下不同算法的调度效果



主要内容



网页交互设计

利用Vite 前端构建工具和
React 前端框架

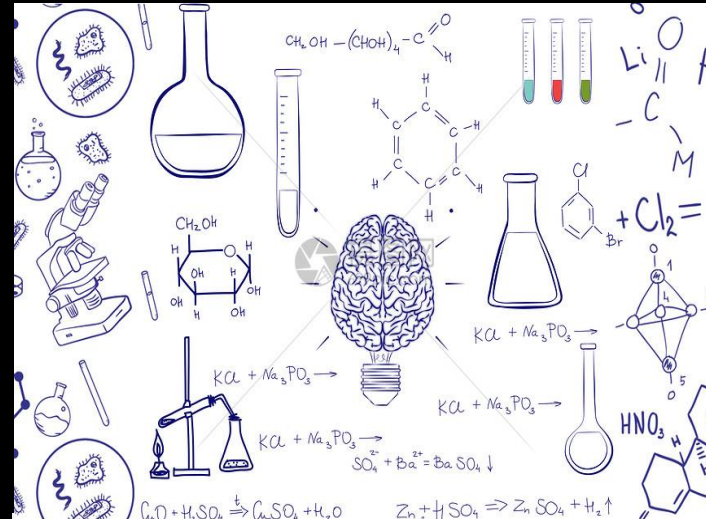
<<<<



场景模拟以及 算法设计

基于Python设计场景仿真、机器人、
调度器策略生成等代码模块

<<<<



实验设计验证

在设计的6组实验中探究了
不同场景下不同算法的
调度效果

<<<<

02. 建模思路

我们怎么理解问题？

问题背景

研究问题的必要性: 开发自动化充电机器人调度系统以高效协调机器人与车辆之间的充电任务已成为园区智慧能源管理中的关键问题。



01

能源调度压力剧增

随着新能源技术与智慧园区建设加速推进，传统的静态管理模式难以应对高峰时段大量电动车同时补能的复杂场景，调度系统面临严峻挑战。

02

人工调度难以胜任

园区内电动车辆的分布与电量状态动态变化，人工调度已无法满足对充电机器人的高效、低耗和实时响应要求。

03

智能调度成为关键方向

为响应绿色发展与碳中和目标，实现能源使用路径优化与高效协同，开发自动化充电机器人调度系统已成为智慧园区能源管理的核心任务。

<<<< 问题本质——二分图匹配问题 >>>>



在静态任务调度阶段，若将待服务车辆与可用充电机器人视为两个独立集合，调度任务本质上可转化为带成本约束的二分图匹配问题。

二分图机器人匹配调度问题 (BRMAP) (Bipartite Robot Matching and Assignment Problem)



即：对该二分图进行最小权完美匹配，旨在寻找全局最优的机器人-任务分配对，从而在任务数量与机器人数量相等的前提下最小化总代价成本。



问题复杂性



算法挑战

在二分图建模下，调度问题仍面临多维挑战，如路径代价动态变化、机器人状态限制、不完全图结构及任务-资源不对称，整体呈现出一个动态、约束丰富、结构不断演化的复杂优化问题。

匈牙利算法虽在静态匹配中高效稳定，但在动态环境下难以应对任务持续到达、状态频繁变化与多目标调度需求，缺乏自适应性与泛化能力，需与更智能策略结合使用。

<<<< 问题本质——路径规划问题 >>>>



本质上，充电任务调度问题可以视为**容量限制的动态路径规划问题DCVRP** (Dynamic Capacitated Vehicle Routing Problem) 的一个**机器人场景下的实例**。

动态充电机器人调度问题 (DCRSP) (Dynamic Capacitated Robot Scheduling Problem)



即：系统需在**动态任务不断到来**的情况下，实时为多台充电机器人分配最合适的服务任务路径，以提升**整体任务完成率并降低能量浪费**，同时**平衡地最小化每个用户的等待时间**。



问题复杂性



算法挑战

与传统调度问题类似，该问题涉及路径成本、电量状态、任务优先级等多个约束维度。已有研究中，类似的动态任务调度问题被广泛研究于车辆路径规划 (VRP) 领域，包括带时间窗的VRP (VRPTW)、带取送任务的VRP、带充电约束的绿色VRP、机器人任务调度等。

得益于无线通信、定位系统和智能导航技术的发展，调度器现已具备实时获取车辆与机器人的状态信息的能力，理论上能够在每一时刻动态调整调度计划。然而，如何在多种约束下设计一个高效、稳定、可扩展的调度系统，仍是智能能源管理中的一个前沿难题。

富士康科技集团的龙华ABCD四个园区：
园区并非完全规整的正方形，我们选取最外侧上的凸多边形表征园区轮廓取近似最小外接矩形，获得以下数据

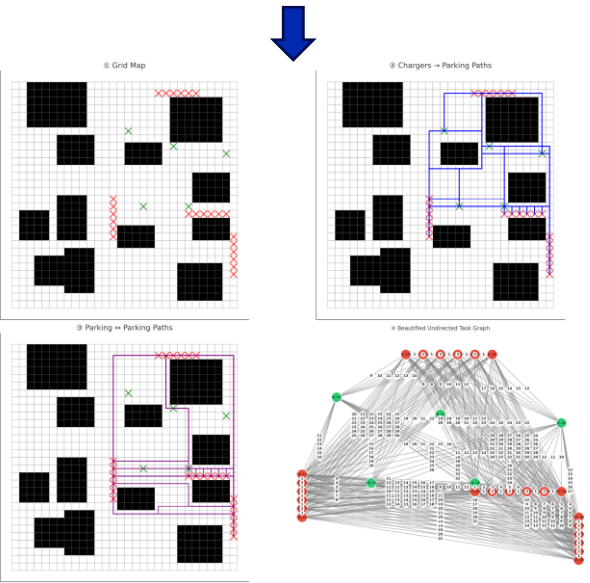


A区	长：422m	宽：335m
D区	长：463m	宽：436m
B区	长：438m	宽：422m
C区	长：434m	宽：319m

➡

平均：440m*378m

对于我们模拟的园区大小，我们选取大概400m*400m的规模
由于一个园区的充电车位大约 5m*2.5m，
我们的充电车位必须：包括容纳一个车子和至少一个机器人出入的距离，
我们选取5m*5m的实际大小作为我们建模中的一个网格，
则对于空隙的道理路就是双向车道，足以保证假设中的机器人和车子之间不会碰撞
园区整体的网格世界为最大为80*80，但是考虑到有些位置并不能设置车位：
我们考虑以下三种规模：25*25，30*30，40*40，



由于在这个场景下的路径途径的节点仅含：充电桩、固定车位，机器人位置
我们进一步将网格世界抽象成一个无向图：
任意两个节点之间的边的长度是网格世界中对应的最小曼哈顿距离



能链智电(NASDAQ: NAAS)
推出一款自主研发的充电机器人，采用锂电池充电，
具备自动寻车、智能充电、自动结算等功能，
尺寸1.2m*0.8m（大于占网格的1/25）

电动汽车停稳后，充电机器人伸出机械臂，
自动对准充电口，自动充电、结算。

满足日益增长的电动汽车移动充电需求。



ARTIFICIAL INTELLIGENCE

<<<< 假设 >>>>

1.在整个调度过程中机器人的电量都 >0 。

2.充电桩可以有无限的电量给机器人充电。

3.充电关系存在于两组对象中：车与机器人、机器人与充电桩，过程中不考虑能量损耗，因此系统全部耗能体现在：任务所需的能量+机器人行径过程中的耗电，充电方式均认为是统一参数的锂电池横流、恒压、横滴的三阶段非线性充电模式。

充电假设

4.车辆会主动避让运动中的机器人到达车位，整个模拟中忽略车辆进入园区的过程，在车位上等待充电。

5.剩余电量多的车辆愿意等待时间更久，反之相反。

6.一个任务只能由一个机器人完成，当机器人匹配任务后不可中断直至任务完成。

任务安排假设

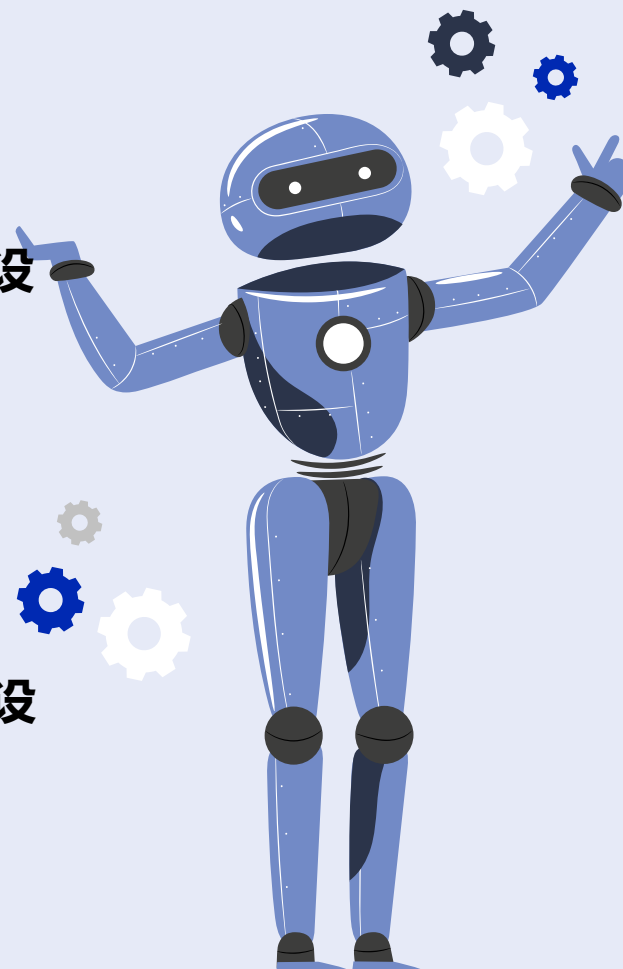
7.由于一个方格表示的面积以及模拟机器人的大小，在机器人的行驶过程中，机器人之间互相避让不会碰撞。

8.由于一个方格表示的面积以及模拟车辆与机器人的大小，机器人与车辆在同车位方格内完成充电任务时。

体积碰撞假设

9.车辆进入园区可能出现在任意的空车位上，在任意时刻一个车位只能停一辆车。

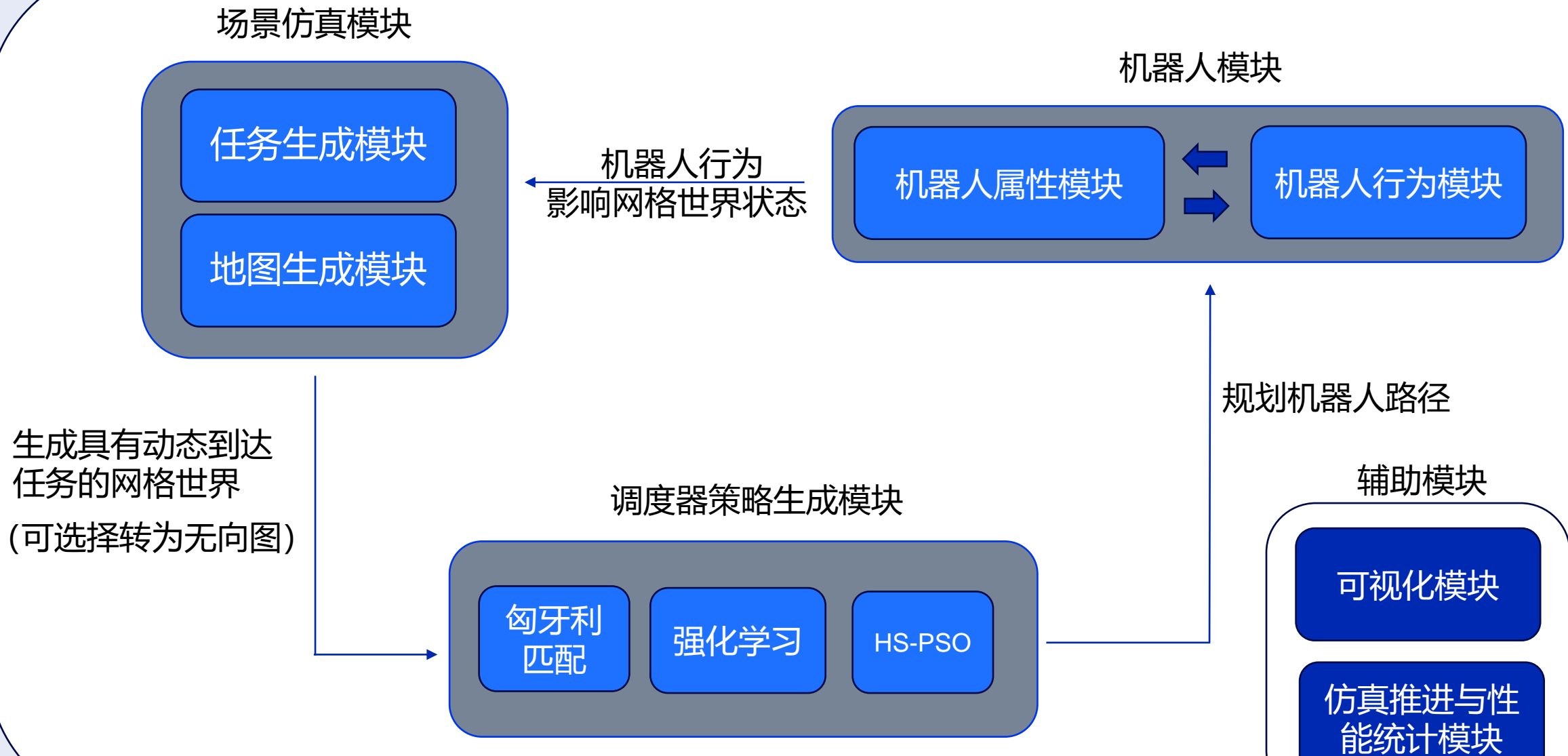
10.充电桩可以容纳任意数量的机器人。



03. 代码模块拆解以 及算法设计

我们怎么模拟与解决问题？代码分成哪些模块？采用了哪些算法？

代码架构



04.

实验设计以及 结果分析

我们设计了怎么验证我们的解决方法？

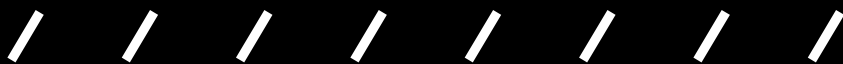


> > > 核心指标 (Metrics) / / / / /

Metric	含义
总能耗	所有机器人移动和充电消耗总和
平均等待时间	成功完成任务的 {start_time - arrival_time} 的均值
等待时间方差	成功完成任务的等待时间方差
任务完成率	成功完成任务数 / 已出现任务数
超时任务比	超过 departure_time 未完成任务占比



实验设计



场景编号	名称	车位分布	任务 时间分布	任务 数量	地图大小	机器人 数量	充电桩 数量	实验目的
场景 1	理想低负载场景 (对照基线)	clustered	poisson	20	25×25	13	8	作为系统在“理想环境”下的性能上限基准，用于与其他所有情景对照，验证系统在任务密度、距离高、路径重叠少的响应能力。
场景 2	任务密集高负载场景	clustered	poisson	60	25×25	13	8	仅提高任务密度，比较任务数量变化下的任务完成率、超时任务比例和平均等待时间增长。验证系统的吞吐能力。
场景 3	任务高峰到达冲击场景	clustered	normal	44	25×25	13	8	改变任务到达分布，模拟任务集中到达的突发冲击情境，关注任务等待时间是否超时，任务堆积情况。
场景 4	车位稀疏分布 对路径与冲突的影响	uniform	poisson	44	25×25	13	8	只改变车位分布，观察任务稀疏性对路径选择、路径冲突、总能耗与完成率的影响。
场景 5	大地图场景下 路径代价分析	clustered	poisson	44	40×40	24	16	测试地图放大是否带来路径成本增加。重点考察：总能耗、平均等待时间是否明显上升。
场景 6	极限复杂挑战场景 (多重压力)	uniform	normal	80	40×40	24	16	验证系统在最大动态性、空间复杂度、任务压力、路径分散性条件下的综合表现。用于观察极端场景下系统的崩溃点。

E1 理想低负载

E2 任务密集高负载

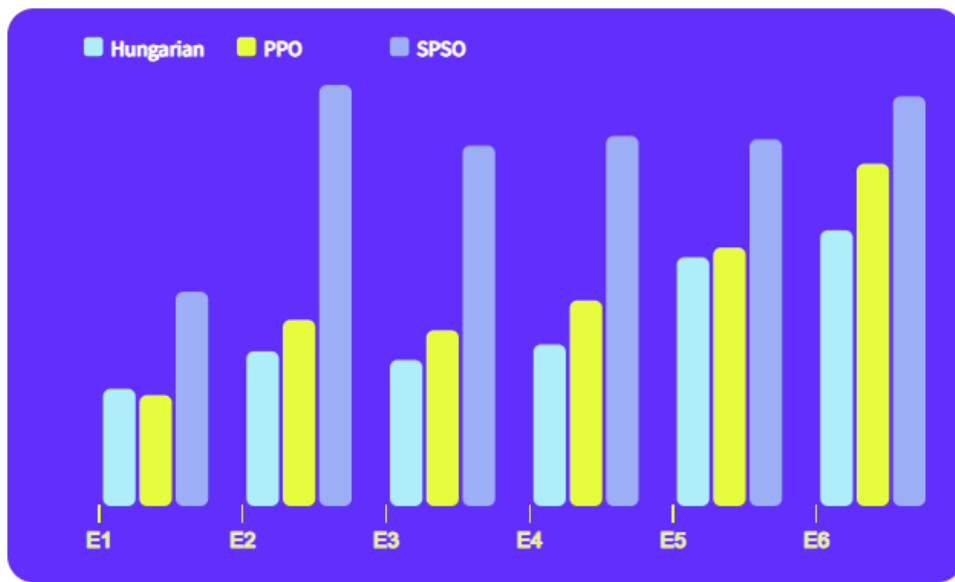
E3 峰值冲击

E4 路径冲突

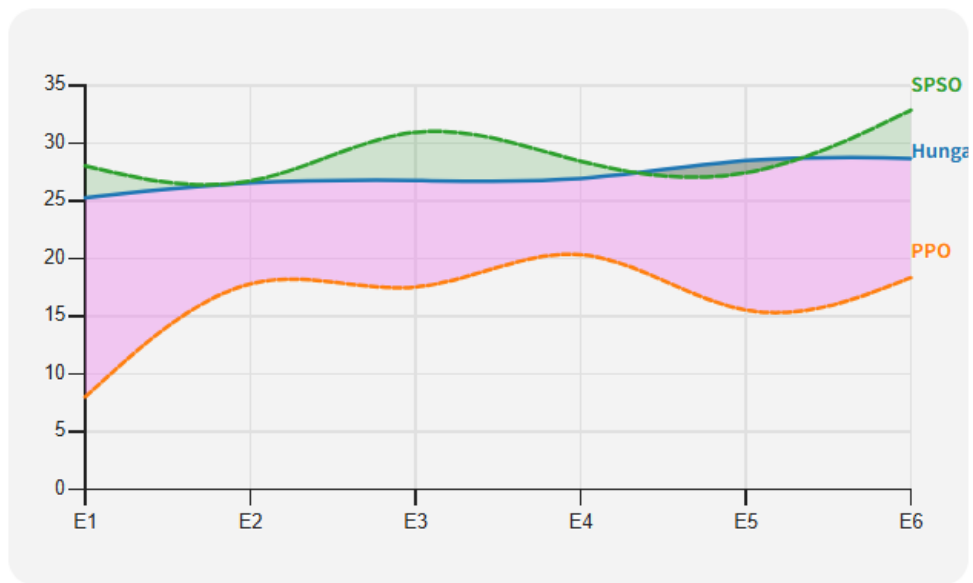
E5 大图路径代价

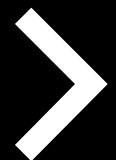
E6 多重压力

Total Energy Consumption



Average Wait Time





ARTIFICIAL INTELLIGENCE

E1 理想低负载

E2 任务密集高负载

E3 峰值冲击

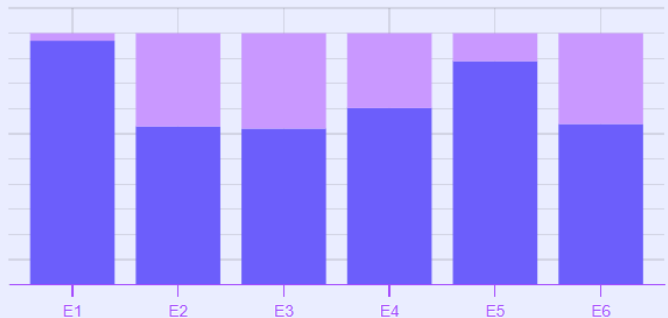
E4 路径冲突

E5 大图路径代价

E6 多重压力

Completion & Timeout Rate

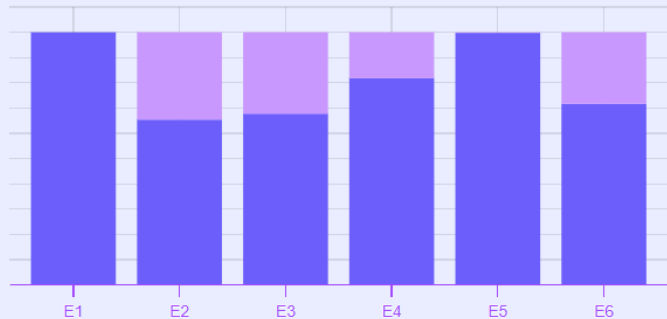
Completion
Timeout



Hungarian PPO SPSO

Completion & Timeout Rate

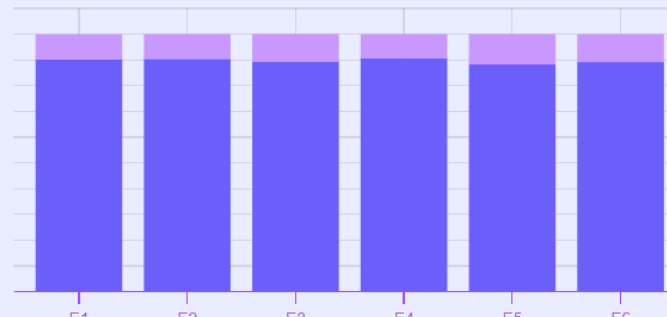
Completion
Timeout



Hungarian PPO SPSO

Completion & Timeout Rate

Completion
Timeout



Hungarian PPO SPSO

E1 理想低负载

E2 任务密集高负载

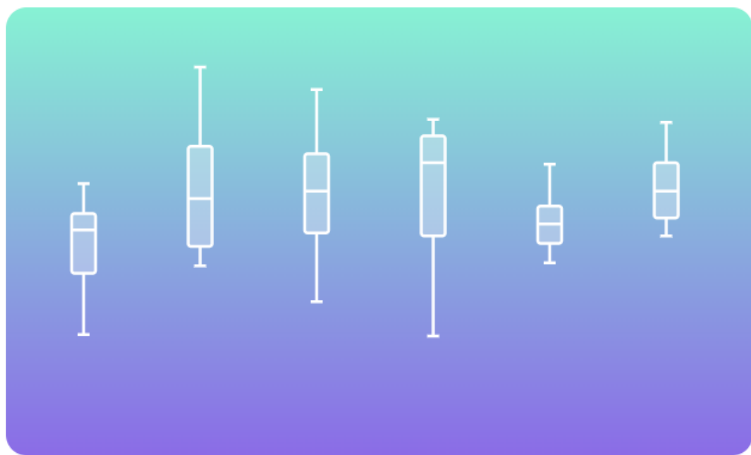
E3 峰值冲击

E4 路径冲突

E5 大图路径代价

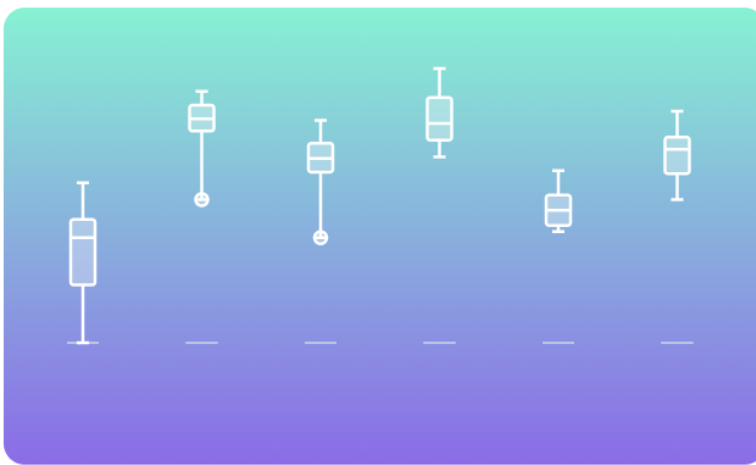
E6 多重压力

Wait Time Variance



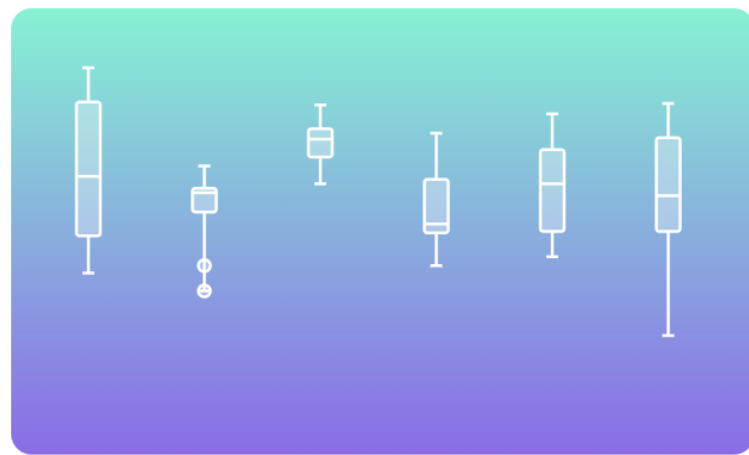
Hungarian PPO SPSO

Wait Time Variance



Hungarian PPO SPSO

Wait Time Variance



Hungarian PPO SPSO



**THANK
YOU**



**ARTI
CIAL
INTE
IGEN
[AI]**