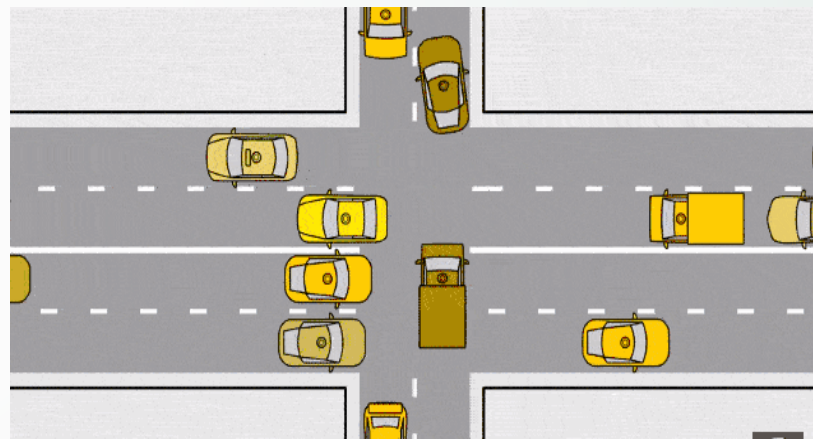




LIVE LECTURE

多机器人系统路径规划技术与实践



大纲

1. MAPF是什么？

MAPF定义、MAPF模型、MAPF典型常见案例

2. MAPF难在哪里？

关键问题、理论分析

3. MAPF怎么做？

如何设计全局寻优、如何设计局部避障算法

4. MAPF用在哪里？

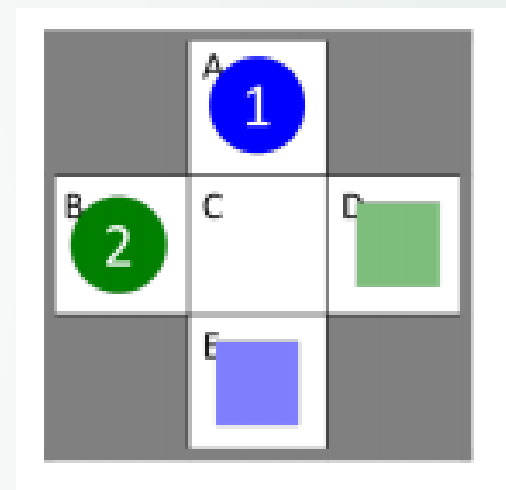
多个大型工程场景中的MAPF应用案例

1. MAPF是什么?

1.1 MAPF定义

The MAPF problem can be described as follows: On math paper, some cells **are blocked**. The blocked cells and the current cells of n agents are known. A different unblocked cell is assigned to each agent as **its goal cell**.

The problem is to move the agents **from their current cells to their respective goal cells** in discrete time steps and let them wait there. The optimization objective is to **minimize the sum of the travel times** of the agents until they reach their goal cells



1. MAPF是什么?

1.2 两个小例子



数字迷宫



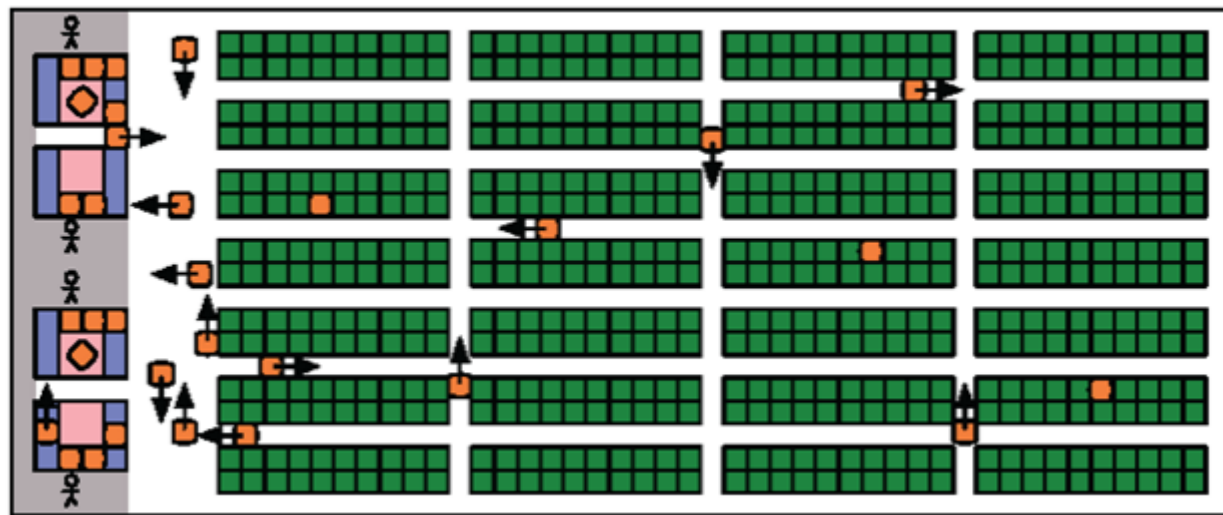
华容道救曹操

1.MAPF是什么?

1.3 典型常见案例



亚马逊无人仓的KIVA机器人系统，
是MAPF较早成熟商用的经典案例



由平面图可以清晰看到KIVA的可行路径

1.MAPF是什么?

1.3 典型常见案例

京东无人仓分拣过程



1.MAPF是什么?

1.3 MAPF存在的意义

工程方面：

- a) 可以在硬件方面节省很多开支
- b) 可以实现动态实时调度

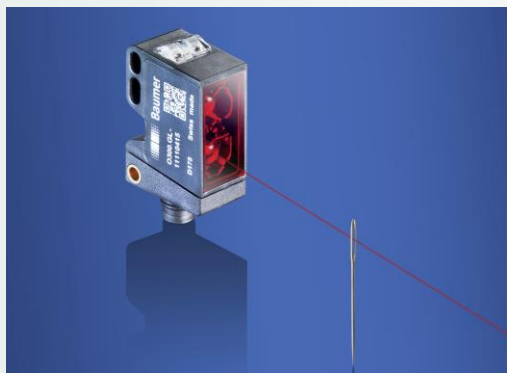
理论方面：

- a) 属于组合优化问题中较为复杂的一类
- b) NP-hard属性决定了不存在多项式时间内可解的大规模精确算法

1.MAPF是什么?

1.3 MAPF存在的意义

工程方面： a) 可以在硬件方面节省很多开支
b) 可以实现动态实时调度



对移动机器人而言，传感器确实非常重要。但是过度重视传感器的作用会导致两个非常严重的问题：一是追求更高精度意味着更高的硬件成本，特别是激光传感器；二是重硬件轻软件导致算法跟不上

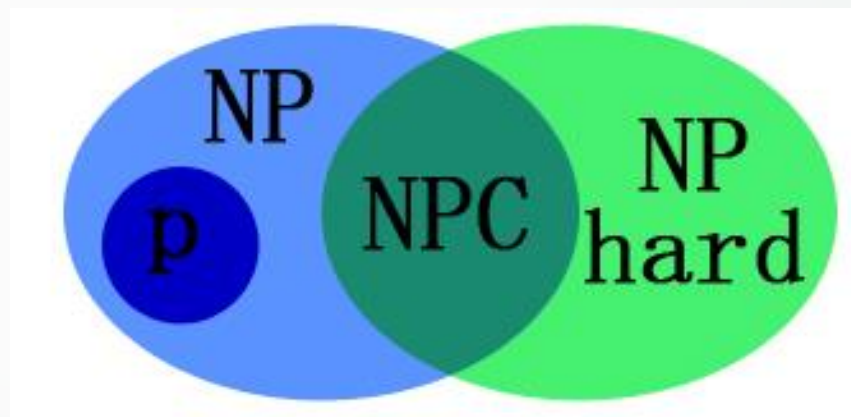


1. MAPF是什么?

1.3 MAPF存在的意义

理论方面：a) 属于组合优化问题中较为复杂的一类

b) NP-hard属性决定了不存在多项式时间内可解的大规模精确算法



2. MAPF难在哪里？

从**全局**来看，即使不考虑局部路径优化，只考虑全局路径规划的情况下，已经是一个NP-hard问题，因此优化算法的收敛性较难保障

从**局部**来看，考虑碰撞、死锁、拥堵等问题是局部优化的关键，对算法的搜索性能、实时性要求较高

其本质是：全局角度来看需要搜索的状态空间已经是指数级别的增长速度，在纳入局部搜索后，其状态空间会变得更加广阔

$$1.1^{20}$$

$$6.7274999493256$$

()	%	C
7	8	9	÷
4	5	6	×
1	2	3	-
0	.	=	+

$$1.2^{20}$$

$$38.337599924475$$

()	%	C
7	8	9	÷
4	5	6	×
1	2	3	-
0	.	=	+

$$2^{20}$$

$$1\ 048\ 576$$

()	%	C
7	8	9	÷
4	5	6	×
1	2	3	-
0	.	=	+

$$3^{20}$$

$$3\ 486\ 784\ 401$$

()	%	C
7	8	9	÷
4	5	6	×
1	2	3	-
0	.	=	+

3. MAPF怎么做？

两大核心问题：全局路径规划
局部路径优化

举例说明，两大核心问题与进化算法的设计非常相似。以GA为例，MAPF全局路径规划可以看作是GA的全局搜索阶段。

MAPF局部路径优化可看作是GA的局部搜索阶段。

如果再细分，可优化的部分非常多。

初始解（种群） ---- 初始路径

迭代（交叉变异等） ---- 路径参数设置

局部搜索（swap, insert等） ---- 局部路径

其他优化策略（关键路径，块结构等）
---- 基于优先级、个性化定制、基于冲突等策略

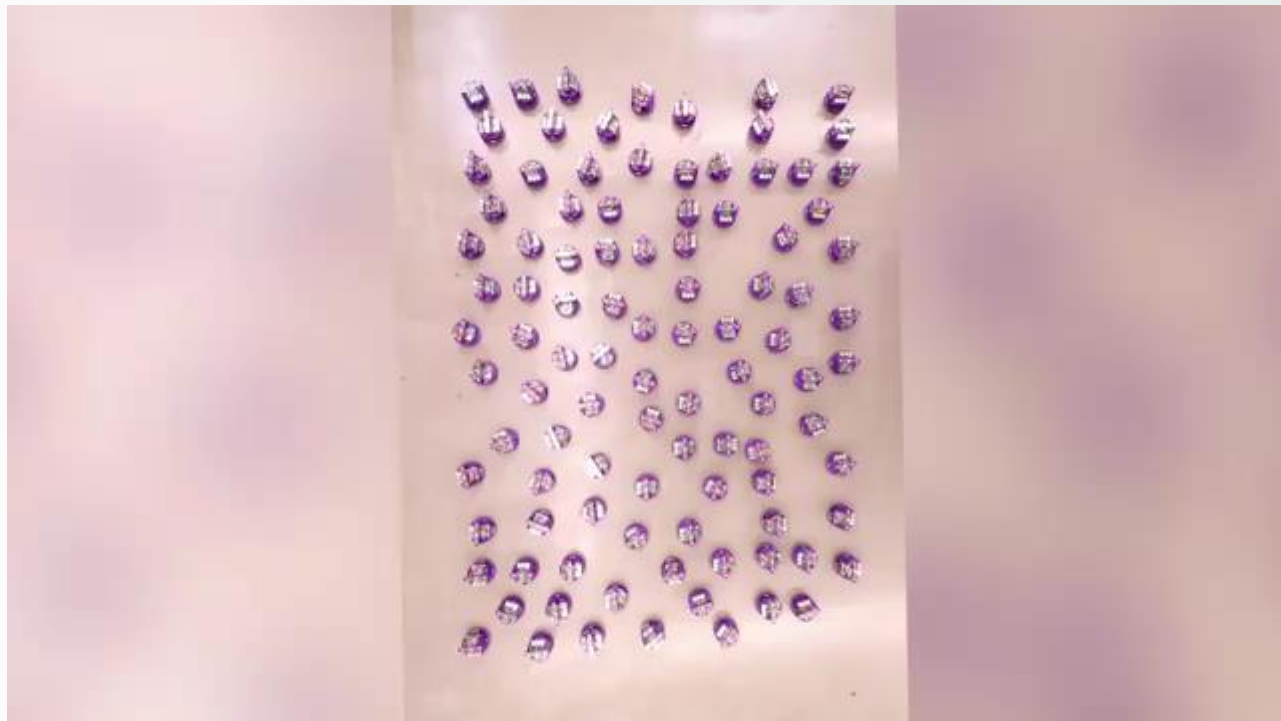
3. MAPF怎么做?

全局算法

- 基于采样的算法----RRT
- 基于图论的算法----BFS
- 基于机器学习的算法----QL,其他RL或DL算法

局部算法

- 基于优先级的局部优化 (PBS)
- 基于冲突的局部优化 (CBS)



最难的部分在于局部路径的优化

死锁、碰撞、拥堵等问题是最难解决的

3. MAPF怎么做?

研究现状

学术研究:

表 1 最优多智能体路径规划算法对比

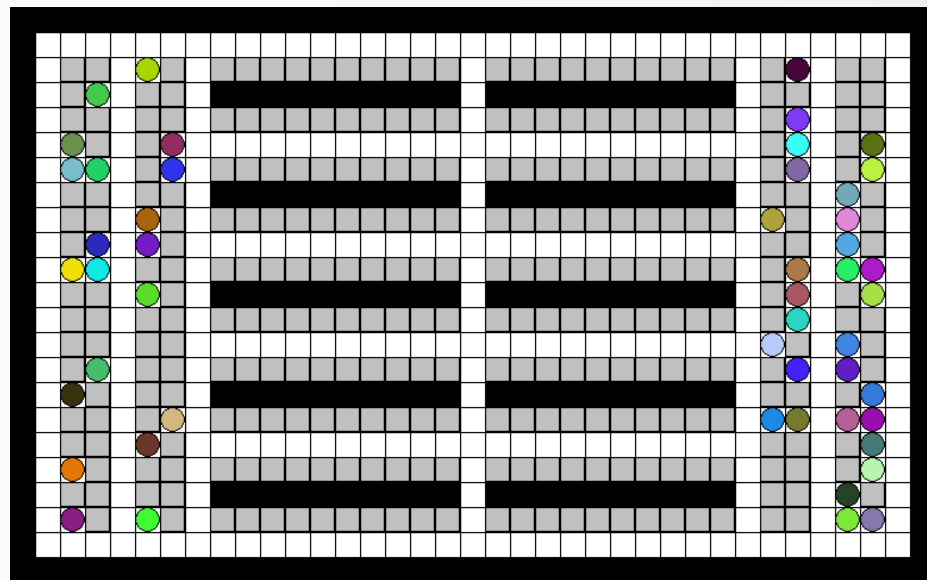
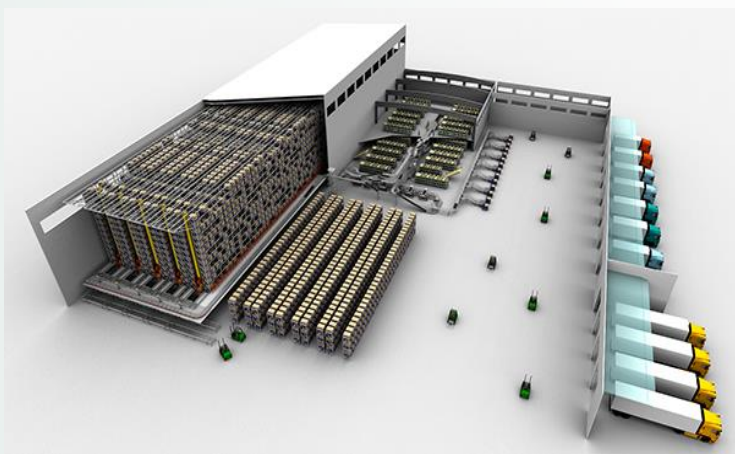
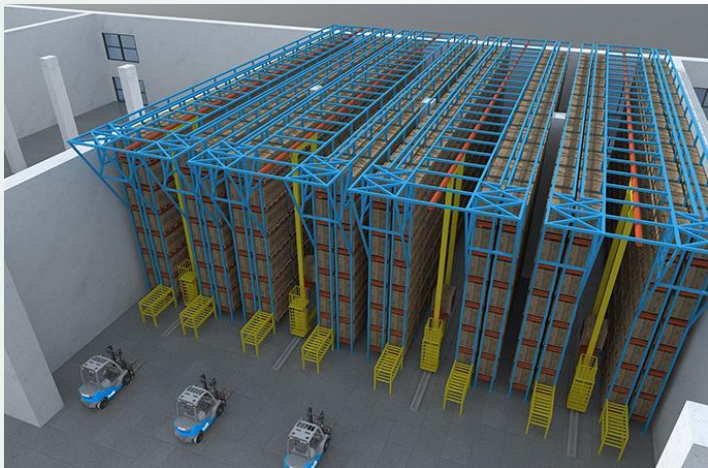
Table 1 Comparison of optimal MAPP algorithms

算法分类	优点	缺点	适用问题规模	适用问题特点
A* 搜索算法	实现简单, 在智能体密集问题中表现良好	时间代价和空间代价高, 速度最慢	中小规模 (2 个 ~ 30 个智能体)	在智能体密度较高时效果较好, 密度越高效果越好, 对密度敏感性较低
代价增长树搜索算法	实现比较简单, 分为 2 层搜索, 速度较快	速度偏慢, 高层次搜索冗余度高	中等规模 (2 个 ~ 60 个智能体)	在智能体密度较低时效果好, 较高时计算代价高
基于冲突搜索的算法	速度相对较快, 求解问题规模较大	实现难度略高	中等规模 (2 个 ~ 60 个智能体)	适用于智能体稀疏问题, 在加入合并操作后适用于任意密度问题
规约算法	速度一般很快, 只要完成证明就可以找到高效的求解器	规约证明需要极强的数理功底	中等规模 (2 个 ~ 60 个智能体)	由规约后的模型特点决定

USC: Sven Koenig教授团队助力Amazon研发和优化KIVA系统

4. MAPF用在哪里?

4.1 智能立体仓储中的MAPF



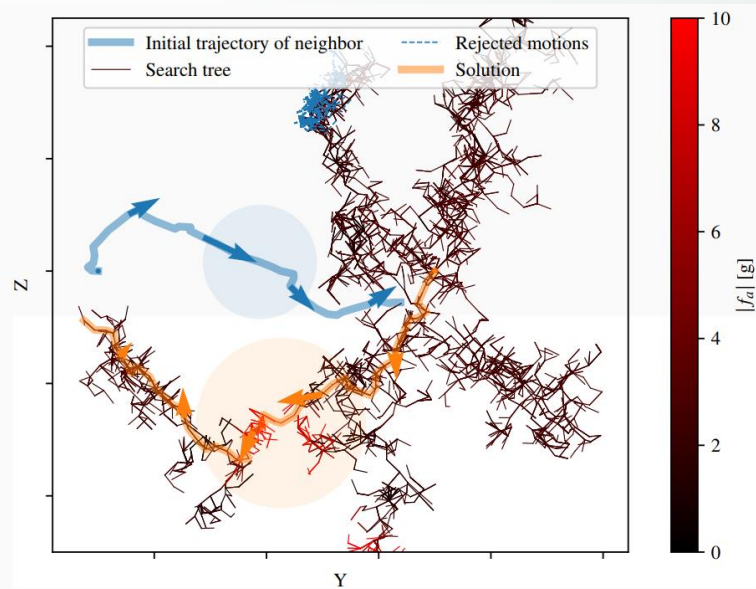
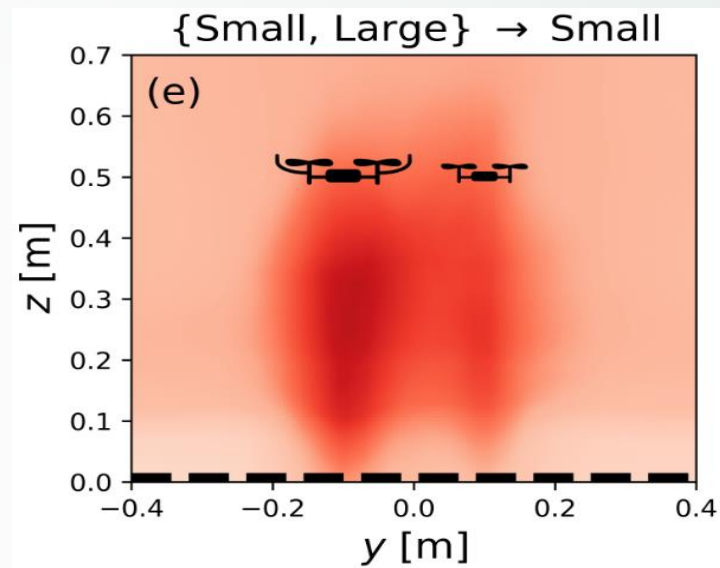
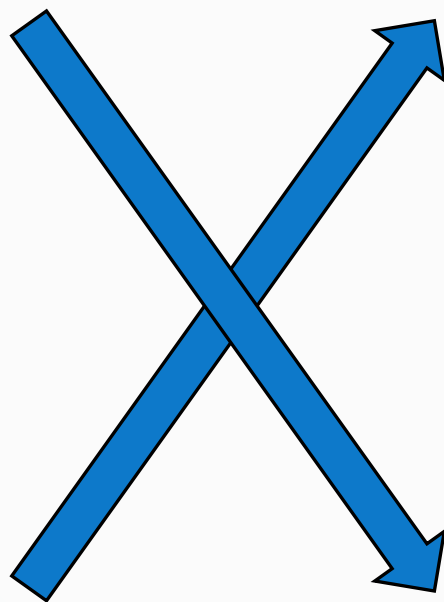
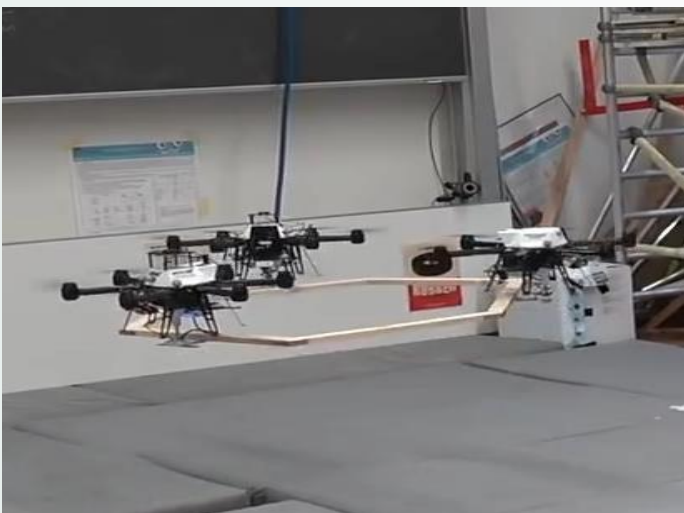
两个关键问题

- 1、全局路径规划
- 2、局部避障优化



4. MAPF用在哪里？

4.2 无人机编队MAPF

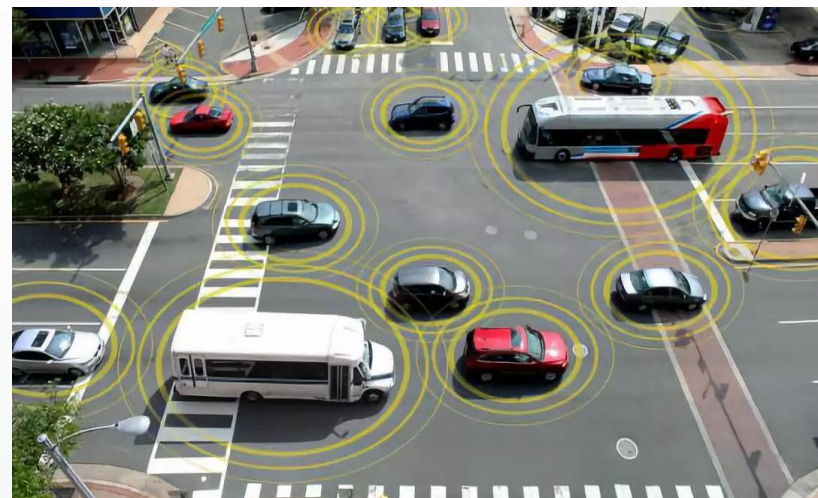


4. MAPF用在哪里？

4.3 无人驾驶&车联网中的MAPF

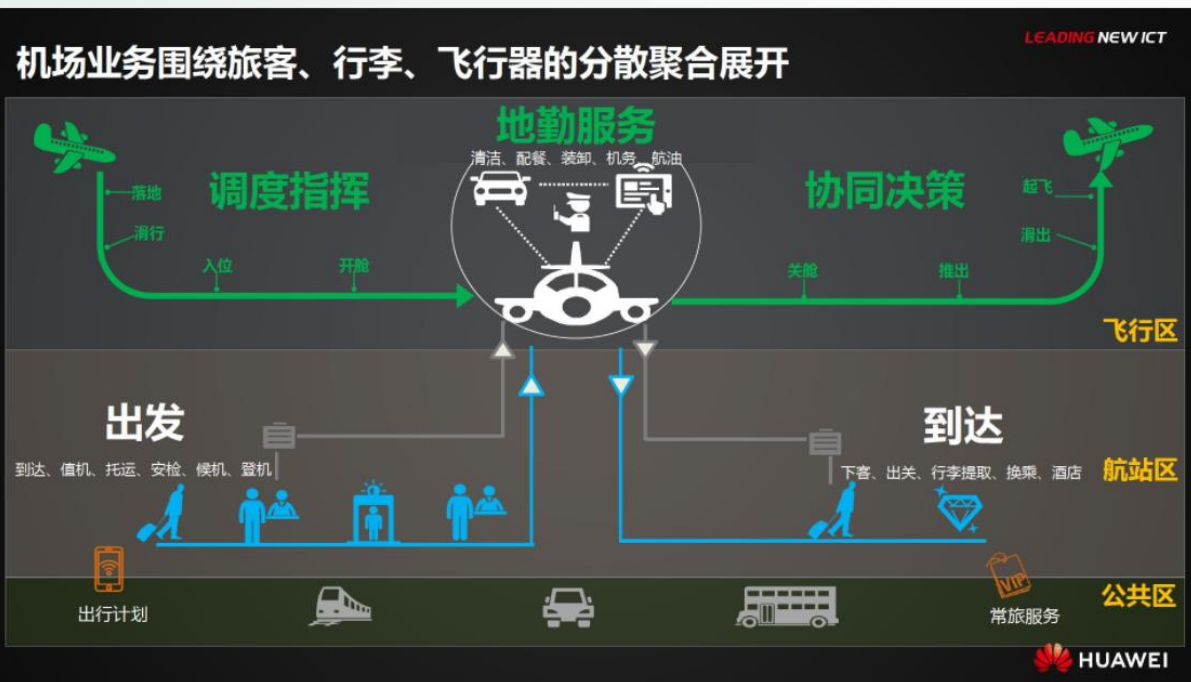


注: 以图中的试验车辆为例 (本田)。该公司将激光雷达称作“测距仪”。此外, 车上还搭载了微波雷达和比 GPS 精度更高的“DGPS”以及前置摄像头。且前置摄像头中包含两个摄像头, 可以判断道路的纵深情况。



4. MAPF用在哪里？

4.3 华为机场航班调度、滑行路径调度



7月22日正式开课

多机器人系统路径规划技术与实践

第1章 多机器人系统路径规划 (MAPF)基础

MAPF概述

MAPF关键问题

全局优化：柔性化全局路径规划；
局部优化：机器人避障算法；
工程层面：近似无约束优化。

第2章 车辆路径规划 (VRP) 算法

经典VRP算法-A*

VRP与MAPF的关系

第3章 多机器人系统全局路径规划-算法基础

基于采样的MAPF算法-RRT

基于图论的MAPF算法-BFS

基于机器学习的MAPF算法-Q-learning

第4章 设计自己的MAPF全局算法

系统模型建立

系统特征提取

设计全局算法

第5章 MAPF局部路径优化-避障

机器人避障-传感器与算法的珠联璧合

被动避让的开拓者-Bug算法

模拟电磁场的算法-PFM

第6章 让机器人学会主动避障

认识大局观最强的避障方式- Prioritized Planning

经典Prioritized Planning算法及其弊端

改进Prioritized Planning算法：

Revised Prioritized Planning

Asynchronous Decentralized Prioritized Planning

实战中Prioritized Planning的出色表现

第7章 完整的MAPF方案：以仓储机器人系统为例

建立系统模型

规划全局路径

优化局部路径

最终路径生成和测试

第8章 实战：足球机器人路径规划

避障算法

个体优化算法

系统集成及实验

第9章 进阶实战：云大脑控制无人仓储系统机器人集群路径规划

无人仓储系统机器人集群的特性和约束

AGV集群路径规划算法

云大脑控制的原理及任务调度

机器人路径云调度算法

系统集成及实验

熟练掌握理论知识，选取三大典型实战场景进行解析，掌握MAPF实战能力，并自主开发完整MAPF方案能力。

添加助教咨询：

