



机器人学II

李硕、李亮

控制科学与工程学院

内容概要（40学时）

- 简介（3学时）
- 导航规划（12学时）
 - 路径规划（4学时）、避障规划（1学时）、轨迹规划（3学时）、融合导航（2学时）
 - 课堂讨论（2学时）
- 移动机器人运动学建模（3学时）
 - 轮式移动机器人运动学建模（3学时）
- 地图表示与状态估计（22学时）
 - 地图表示与局部地图构建（3学时）、里程估计（5学时）、自主定位（9学时）、SLAM问题及求解（3学时）
 - 课堂讨论（2学时）



课程安排

周次	日期课时	内容	授课老师
1	9月15日周一3-5节	移动机器人简介+路径规划I	李硕
	9月19日周五3-4节	路径规划II	李硕
2	9月22日周一3-5节	避障规划	李硕
	9月26日周五3-4节	轨迹规划I	李硕
3	9月29日周一3-5节	轨迹规划II+融合导航	李硕
	10月10日周五3-4节	轮式移动运动学建模	李硕
4	10月13日周一3-5节	导航问题讨论及总结	李硕、助教
	10月17日周五3-4节	里程估计+视觉里程估计	李亮
5	10月18日周六3-4节【调-补10月24日】	自定位问题	李亮
	10月20日周一3-5节	运动模型、观测模型	李亮
6	10月27日周一3-5节	EKF 自定位	李亮
	10月31日周五3-4节	粒子滤波自定位	李亮
7	11月3日周一3-5节	SLAM ∇	李亮
	11月7日周五3-4节	定位问题讨论及总结	李亮、助教



课程考核方式

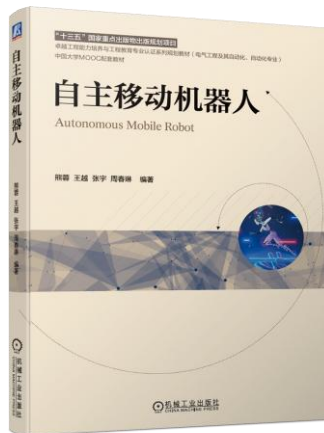
- 平时作业成绩**60%** (2人一组)
 - 导航规划 20分 (助教：贾泽美)
 - ICP里程估计 10分 (助教：庞博)
 - EKF定位估计 15分 (助教：庞博)
 - 移动机器人技术认知报告 10分
 - 平时课堂讨论5分
 - 2-4大作业要求提供源代码、实验结果视频和一份结果分析报告 (所用方法，实验中解决的问题、实验结果分析讨论，分工贡献，A4 纸3页)
- 期末考试**40%** (闭卷，可带**1张**手抄**A4**纸)



报告：移动机器人技术认知报告

- 第一次课后：查阅一篇2020-2024年移动机器人导航、里程估计、定位、地图构建方面的文献，国内博士论文一章/T-ITS/JFR/RAS/ICRA/IROS/RSS等，写出该论文针对问题、主要创新点、方法思路，看懂了哪些，看不懂哪些，对哪些基础知识提出了需求（ppt方式，9月30日前提交）
- 最后报告，结合课程，再次回顾所阅读论文，看懂了哪些，看不懂哪些，并做一定拓展文献调研，总结比较国内外在这技术方面的成就和特色（课程结束后一周内提交）
- 采用ppt方式，最后一页列出参考文献，参考文献总数不超过5篇，参考文献格式：
 - 作者名. 论文名. 期刊[J]. 年份, 卷号（期号）:页码
 - 作者名. 论文名. 会议名[J]. 年份, 页码
 - 作者名. 所阅读章名. 博士论文名[D]. 学校. 年份.

参考材料



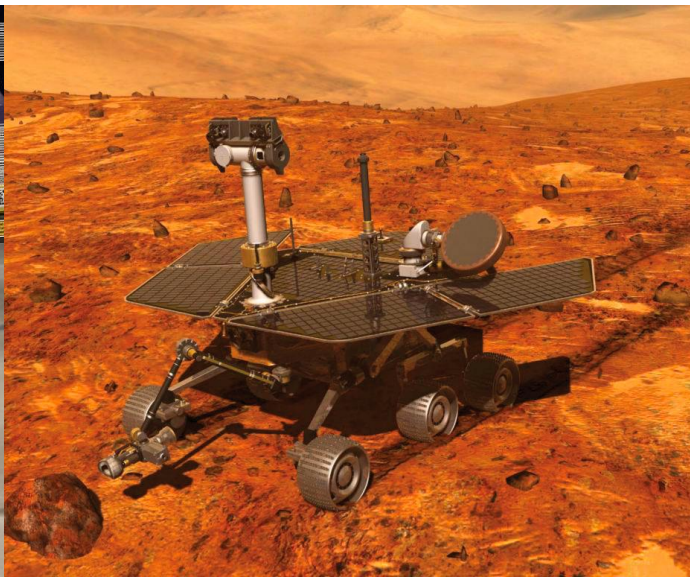
- 教材：自主移动机器人，熊蓉等，机械工业出版社，2022年第二次出版
- 课件：学在浙大
- 程序例程 <https://github.com/AtsushiSakai/PythonRobotics>



第一讲 绪论

李硕，浙江大学 控制科学与工程学院

智能移动技术应用需求



移动机器人



智能移动技术应用需求



无人驾驶



智能移动技术应用需求



AR



VR



智能移动技术及应用发展历史



1480年达芬奇发明self-propelled cart（自行式手推车），通过对称压缩弹簧和预设转向装置，实现手推车在无人协助的情况下自行移动

智能移动技术及应用发展历史



1949年，英国神经生理学家和发明家William Grey Walter演示了光源引导下自主移动的龟型移动小车



奠定了智能移动技术架构



智能移动技术及应用发展历史



1953年第一台AGV(Automated Guided Vehicle 自动导引车)
跟踪嵌入工厂地板中的电线轨道导航





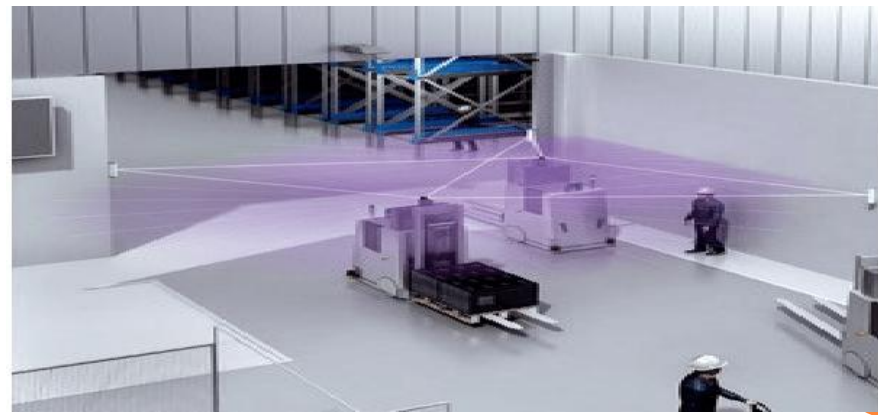
磁条导引



磁钉导引



视觉导引



激光反射板导引

优酷



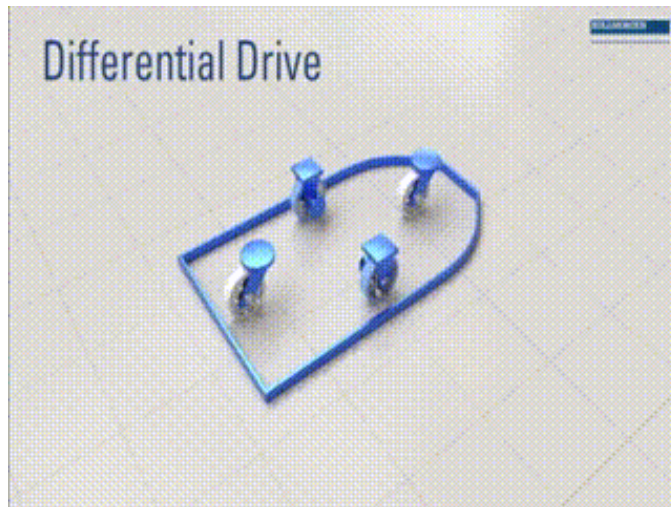
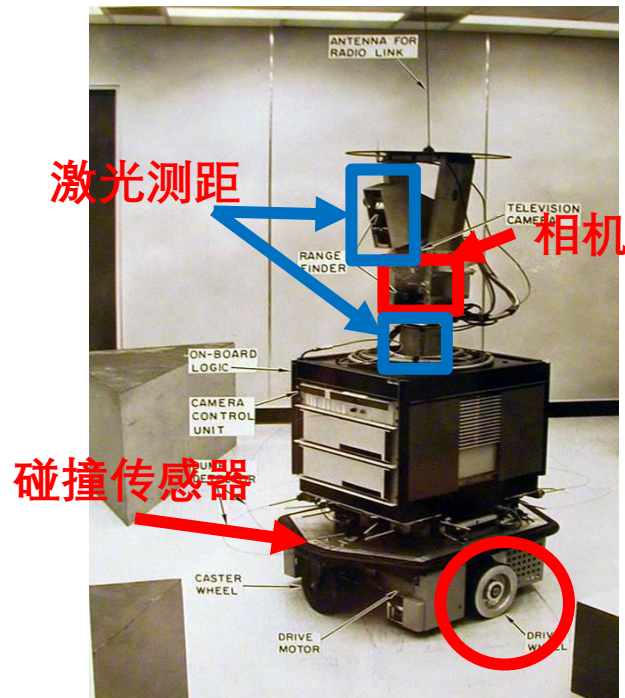
2012年亚马逊收购KIVA，在电商仓储中规模应用采用二维码导引的AGV



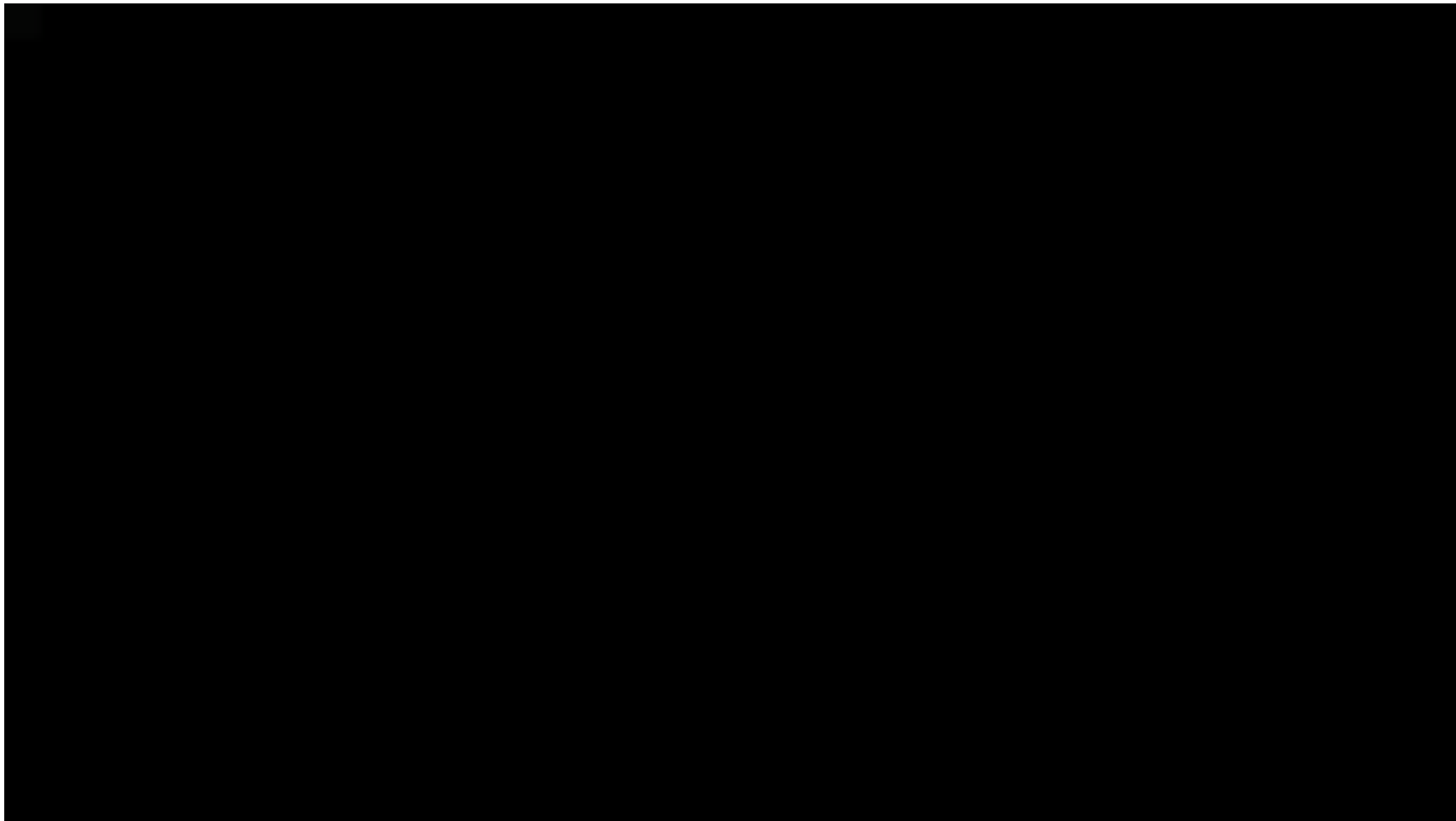
2013年起国内电商仓储机器人快速发展并规模应用

智能移动技术及应用发展历史

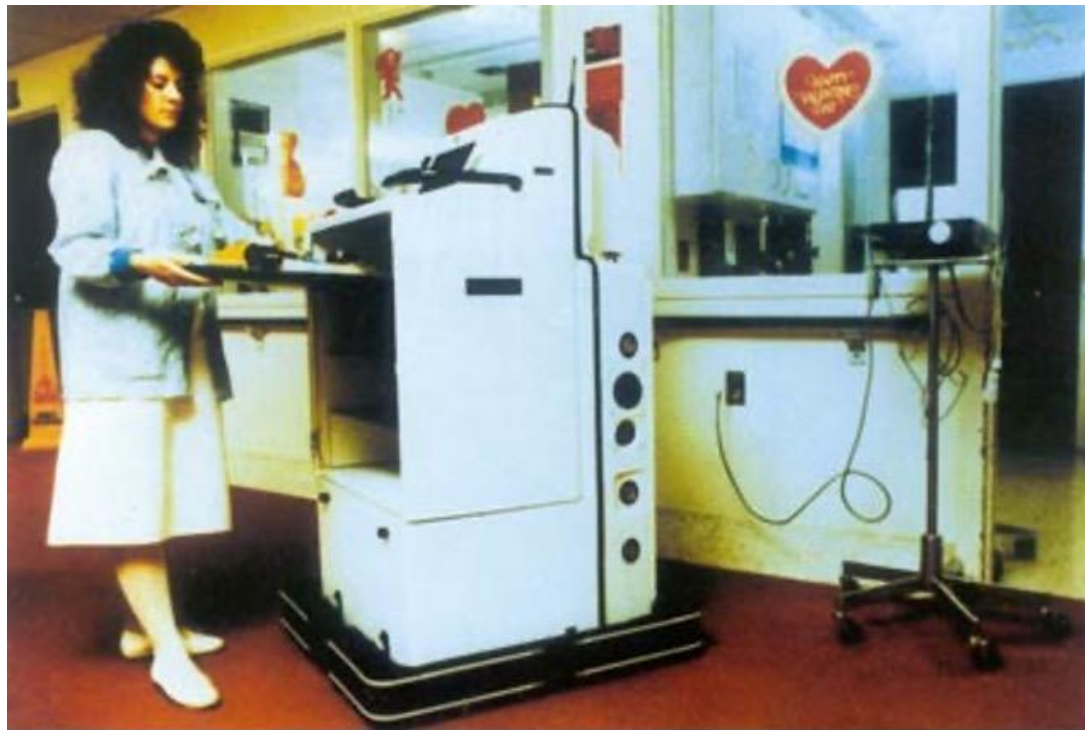
1966-1972年斯坦福大学机器人研究所推出第一台智能轮式移动机器人



差分驱动方式



智能移动技术及应用发展历史



1984年工业机器人发明人英格伯格推出医生机器人助手Helpmate, 并预言“我要让机器人擦地板、做饭、洗车、检查安全”

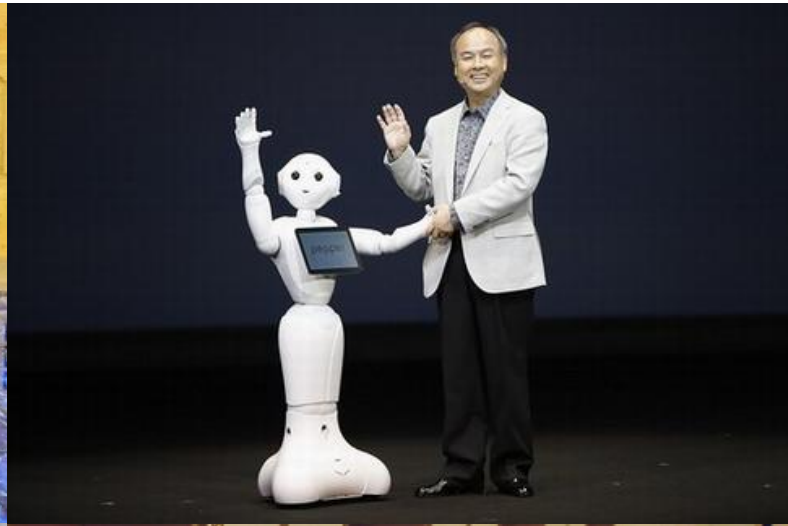


2002年家庭清洁机器人诞生并被广泛应用



iRobot®





智能移动技术及应用发展历史



'VaMoRs' and 'VaMP'

1987年，慕尼黑邦迪威大学的Ernst Dickmann研制了在第一辆现代自动驾驶汽车，可以识别其他汽车并超越



智能移动技术及应用发展历史



1989年，卡内基梅隆大学Dean Pomereau领导研发ALVINN（神经网络中的自主陆地车辆）旨在使用现代人工智能驾驶汽车





2004年，DAPRA启动
Ground Challenge

第一届比赛于2004年3月
在美国莫哈韦沙漠地区举
行，240公里，无人完成

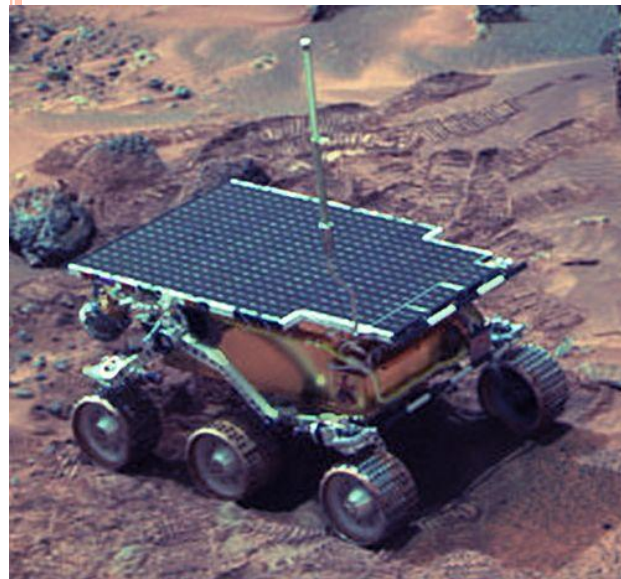
2005年，5支队伍走完全
程，包括通过三条狭窄隧
道、100多个左右急转弯

2007年11月在乔治空军
基地举行，96公里，要求
遵守所有交通规则，6支
队伍完成



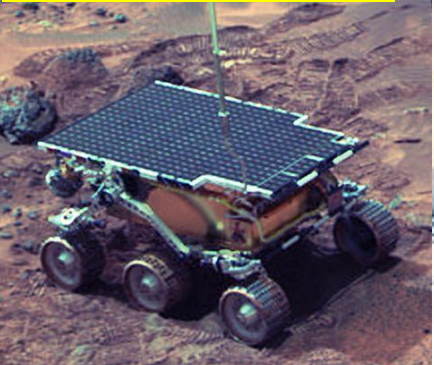
2009年，Google启动无人驾驶汽车项目，并在2014年完成原型样机

智能移动技术及应用发展历史

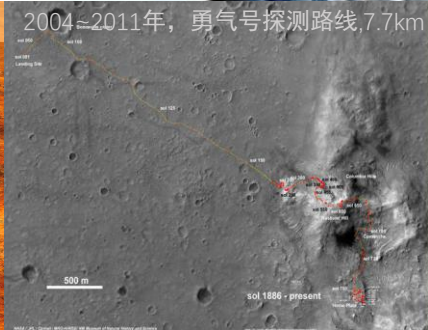


1997年美国宇航局NASA将两台移动机器人探路者和旅行者送到火星上，开启无人星面探测

1997年, 探路者和旅行者



2004年, 勇气号和机遇号



2021年毅力号和机智号



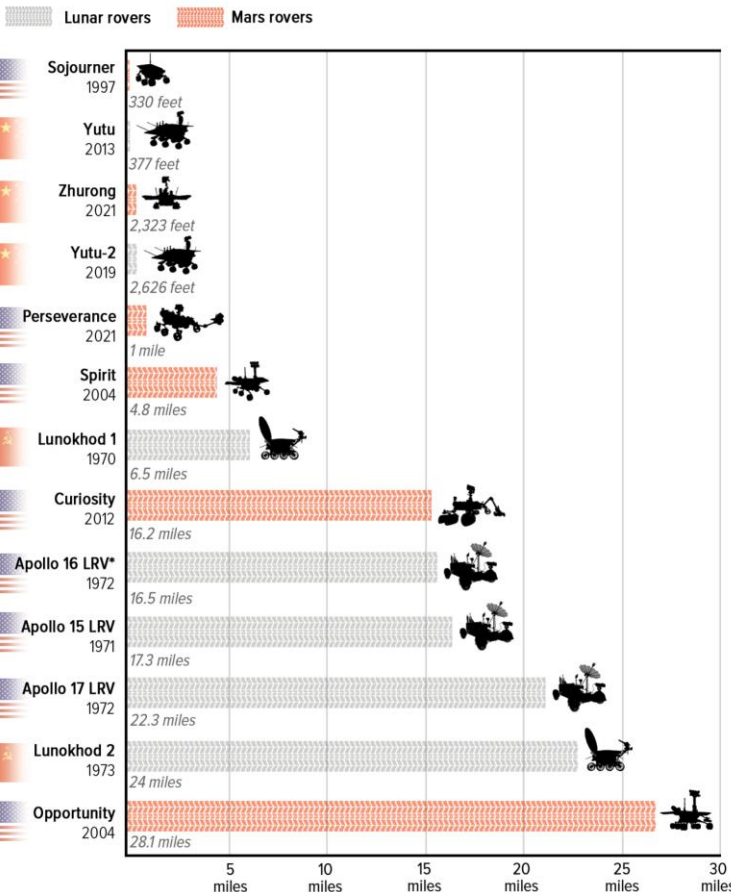
共工作3个月
总行驶距离100m

勇气号工作6年,
最后因陷入沙坑
而停止运行, 合
计运行7.7公里
机遇号于2019年
2月因电量不足而
静默, 共运行15
年45km

毅力号火星车可
智能自主导10~
20km/year
并带有一架名为
机智 的直升机

Oh, the places we've roved!

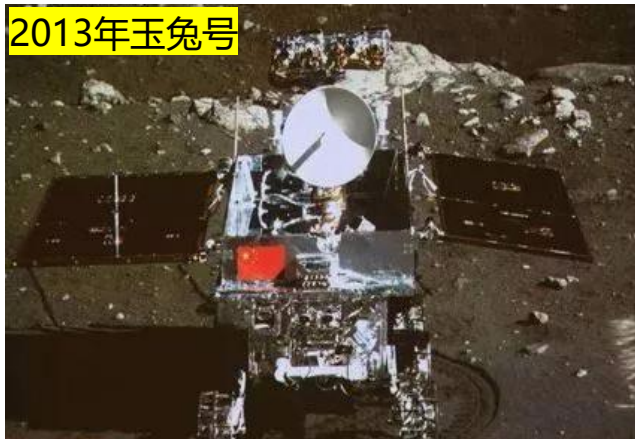
From only a few hundred feet to nearly 30 miles, these are the total distances traveled by the rovers we've sent to Mars and our moon.



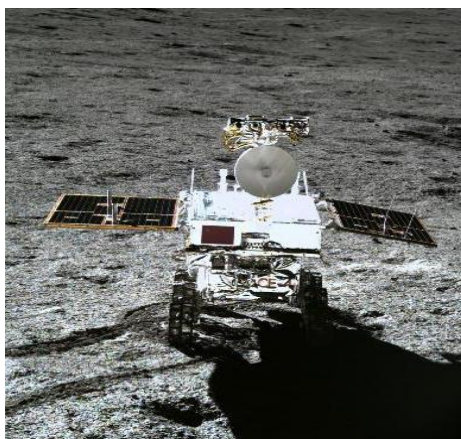
*Lunar Roving Vehicle
Source: NASA, JPL-Caltech, GSFC, Arizona State University,
China National Space Administration



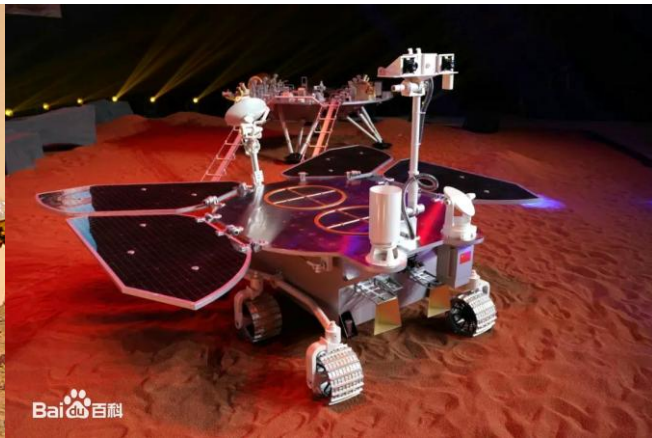
2013年玉兔号



2019年玉兔二号



2021年祝融号



中国首次实现月球背面软着陆和巡视探测，首次实现月球背面与地球的中继通信。

2020年7月23日天问一号发射，2021年5月19日火星车祝融号从着陆器上分离，采用主动悬架，6个车轮均可独立驱动，独立转向。除前进、后退、四轮转向行驶等功能外，还具备蟹行运动能力，用于灵活避障以及大角度爬坡，100天行驶了1000米

自主移动技术应用发展演变

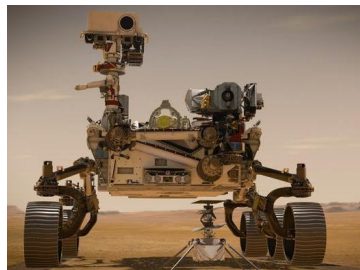
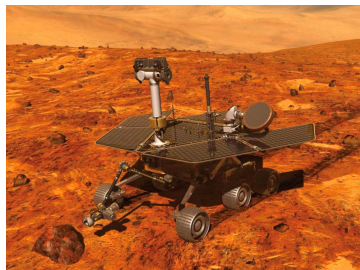
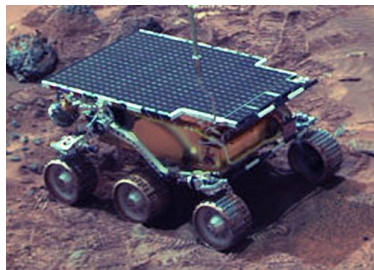
无智能



弱智能



智能



智能移动技术应用面临挑战

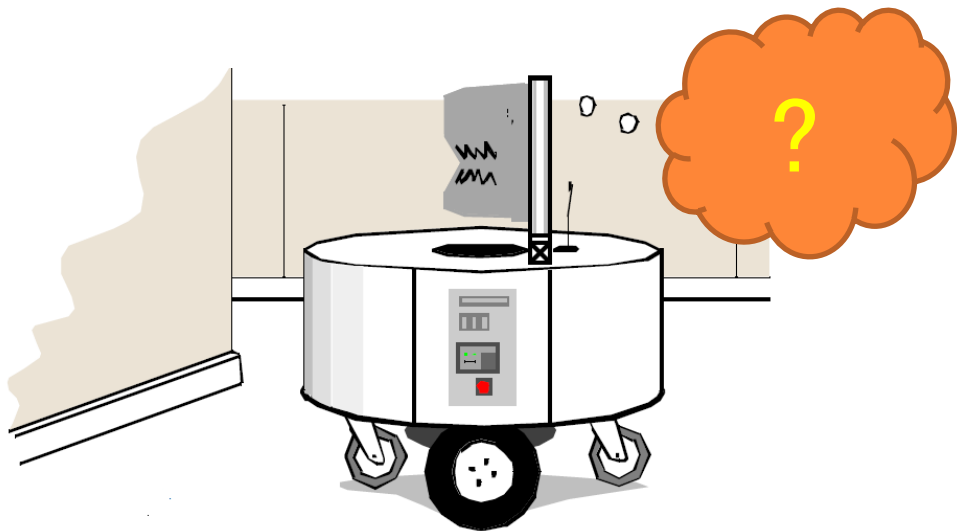


环境的复杂性、动态性和开放性



无基础设施（GPS、导引标识等）下长期鲁棒高效精确的自主移动

智能移动的三个关键问题



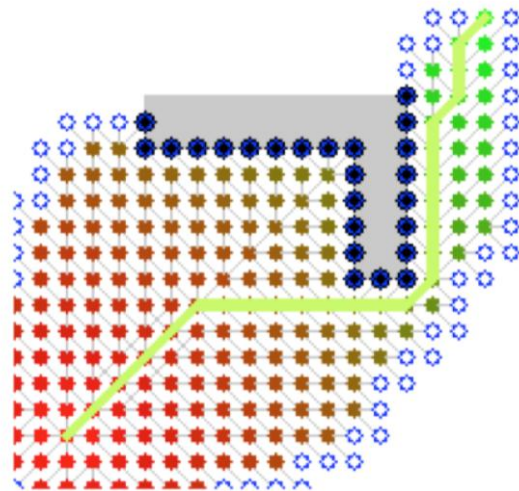
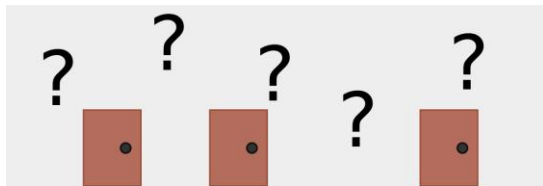
Where am I ?

Where am I going ?

How do I get there ?



主要研究内容



地图构建

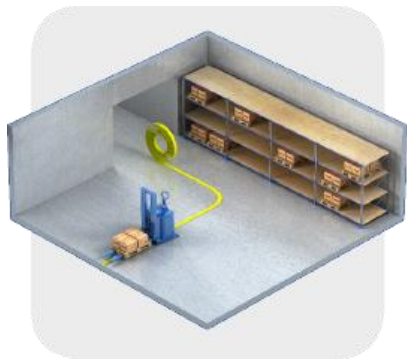
定位

导航规划

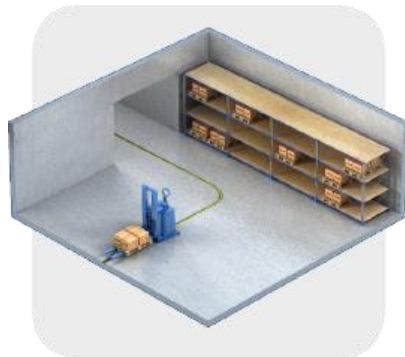
里程估计



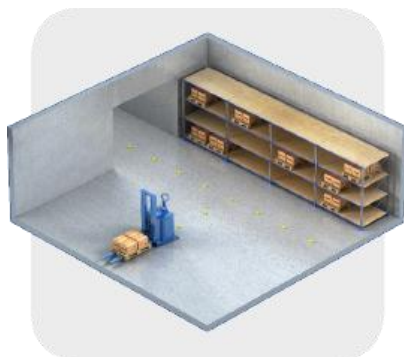
定位导航方式1：有人工标识导引且路径固定



磁条导航



磁感应线导航



磁钉导航

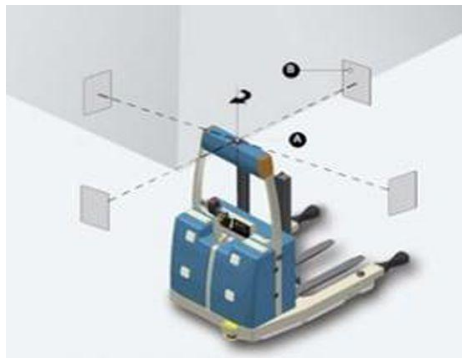
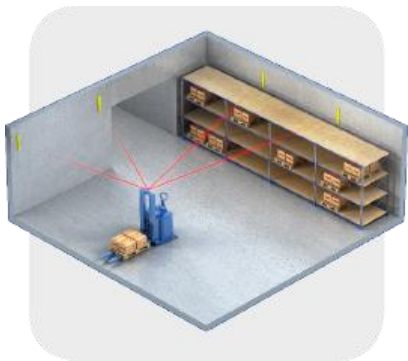


二维码导航



- 优点：技术成熟、稳定可靠、价格优惠
- 缺点：需要施工和维护、路线无法调整

定位导航方式2：有人工标识导引、无固定路径

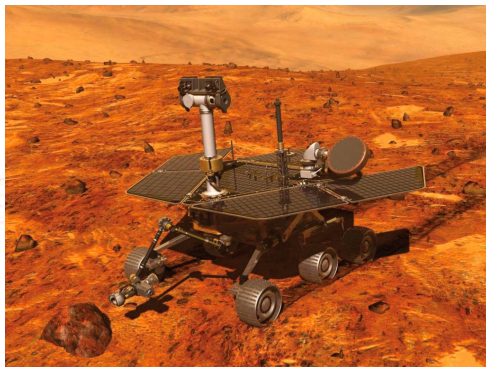


激光反射板导引

- 优点：技术成熟、路径可调
- 缺点：需要施工和维护、价格昂贵



定位导航方式3：无人工标识导引、无固定路径

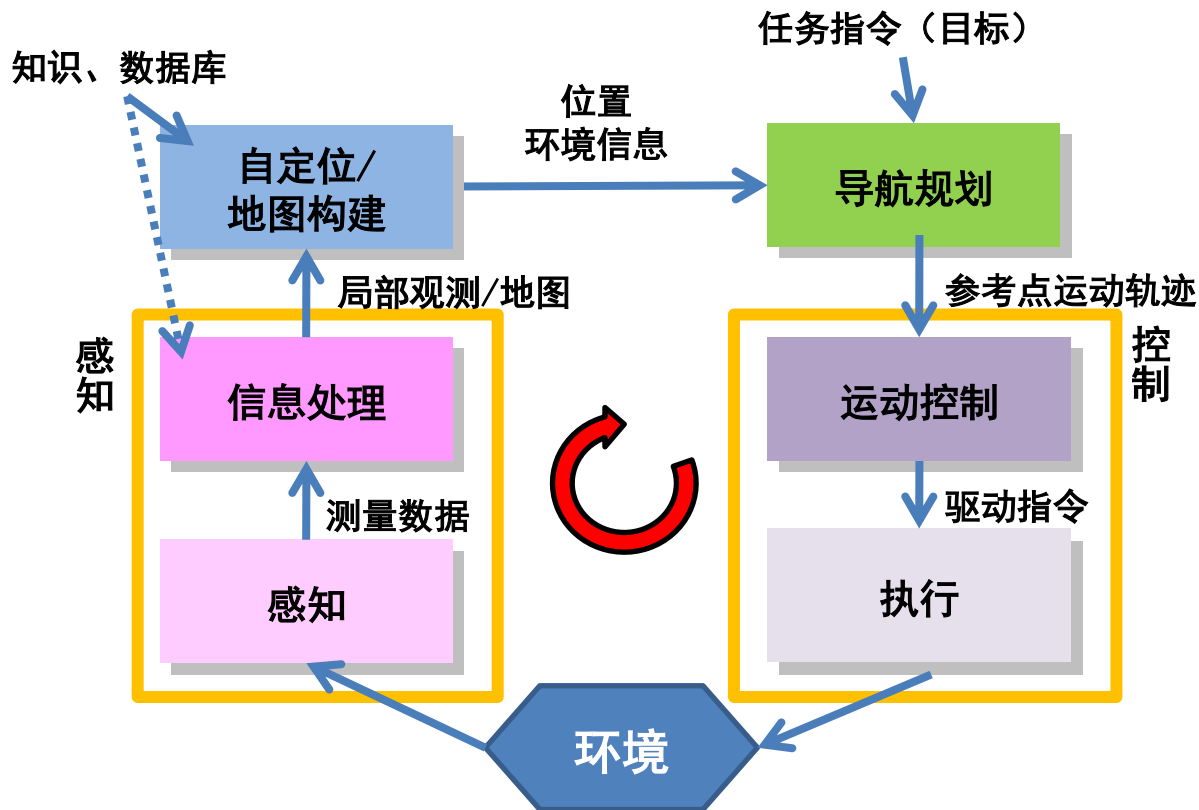


自然导航

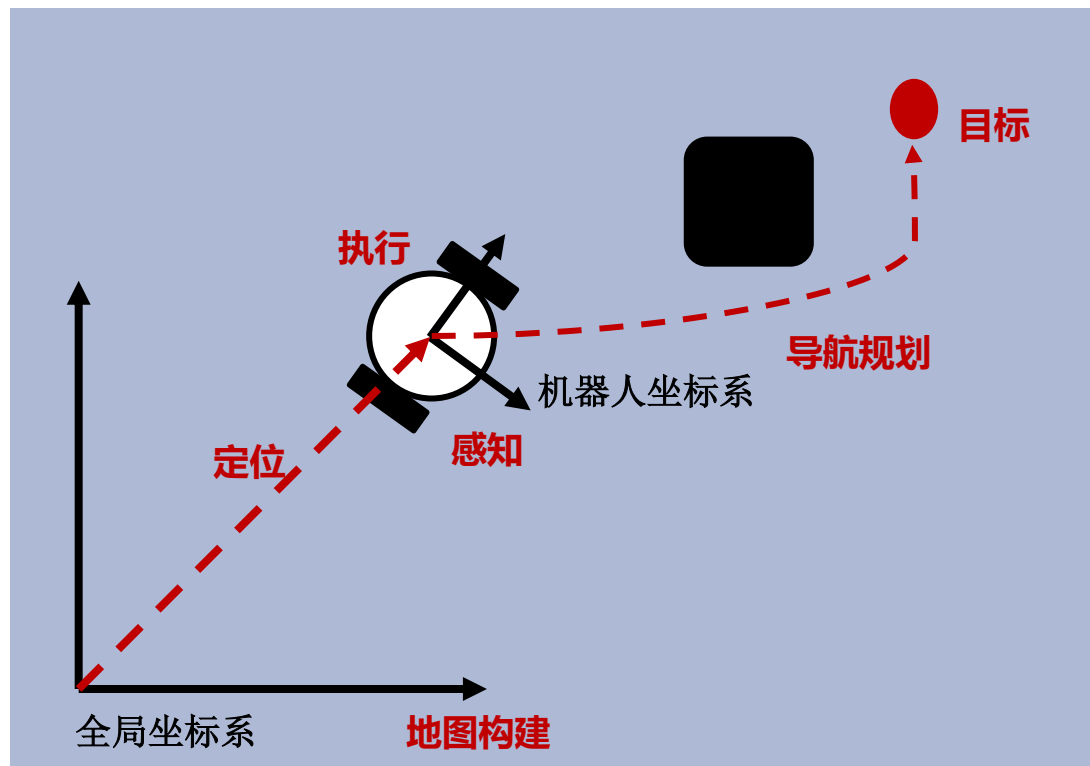
- 优点：无需施工、路径可调、连续定位、室内外通用
- 缺点：算法复杂，环境变化影响定位可靠性和稳定性

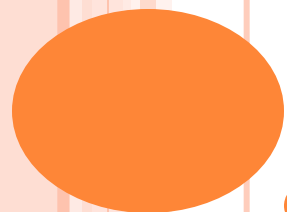


自主移动机器人一般架构：感知-决策-执行



必须建立的坐标系概念





END !