



西安交通大学  
Xi'an Jiaotong University

Systems Engineering Institute,  
Xi'an Jiaotong University,  
Xi'an ShaanXi,  
710049, P.R.China  
Phone: 86-29-82667771

# 第1章：简介

---

## 移动机器人

吕娜

2026 春季学期



# Slides

that go with the book

Intelligent Robotics and Autonomous  
Agents series

The MIT Press

Massachusetts Institute of Technology

Cambridge, Massachusetts 02142

Roland SIEGWART  
Illah NOURBAKHSI

Introduction to

# Autonomous Mobile Robots



Roland SIEGWART  
Illah R. NOURBAKHS  
Davide SCARAMUZZA

SECOND EDITION

Introduction to

# Autonomous Mobile Robots





## 机器人控制课程安排及考核方法

---

- ◇ 上课周次：1-8周，每周2次
- ◇ 考核方法：作业、平时表现（40%）+考试（60%）
- ◇ 相关课程：线性代数、自动控制理论、现代控制理论、计算机视觉、程序设计





# 第1章---简介: 课程目录

---

1. 绪论
2. 移动 (locomotion)
3. 移动机器人运动学 (kinematics)
4. 感知 (perception)
5. 移动机器人定位 (localization)
6. 路径规划和导航 (path planning and navigation)





# 第1章---简介

---

1. 什么是机器人
2. 机器人产业发展现状
3. 移动机器人控制中需要解决的主要问题
4. 移动机器人控制策略
5. 环境建模与地图构建



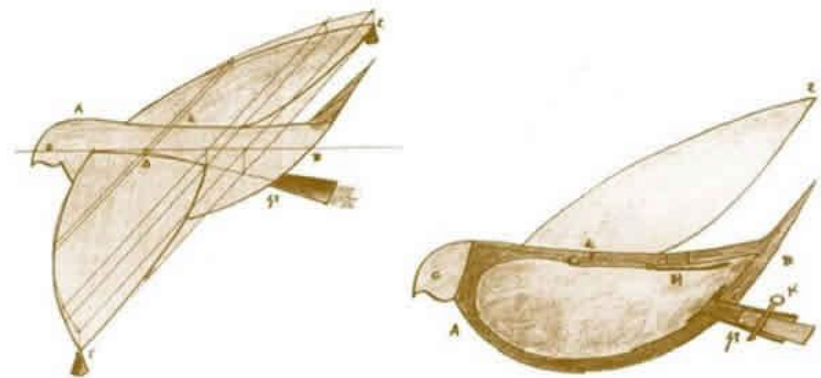


# 什么是机器人?





# 机器人简史



公元前400年，希腊数学家Archytas创造了第一个机器人，一只蒸汽驱动的机械鸟。最佳状态可以飞行200米，直到蒸汽耗尽。这是人类历史上第一个机器人，也是对于飞行的第一次科学研究。

- 中国：偃师造“歌舞伶人”（西周，约公元前10世纪）
- 出处：《列子·汤问》
- 描述：匠人偃师献给周穆王的人形偶人，用木、革、胶、漆制成，能歌、能舞、能行礼，动作合律、惟妙惟肖
- 地位：世界最早有文字记载的人形自动机械，比西方早约600年



# 机器人简史



1495

约1495年, Leonardo da Vinci制作了第一个有所记载的人形机器人草图, 称作 Leonardo's Robot。这个机器人能够站、坐、动移动手臂。整个机器人通过若干滑轮和线缆控制。

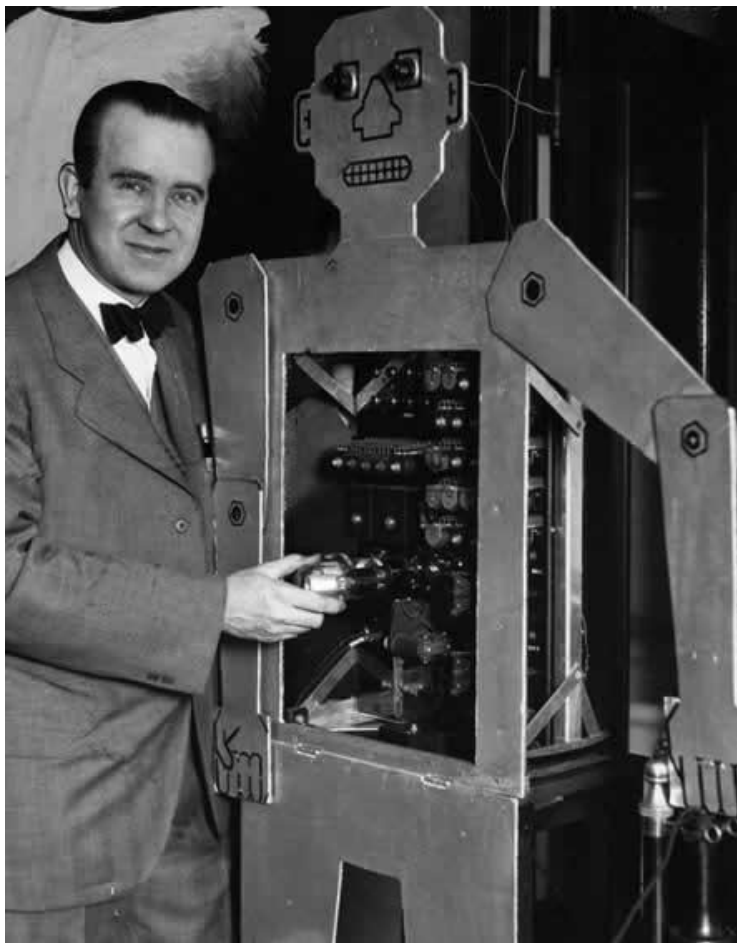
1913

1913年, Henry Ford在他的汽车工厂装配了第一条传送带和生产线, 生产 Model T汽车, 从而降低价格。生产时间从12小时降低到93分钟。



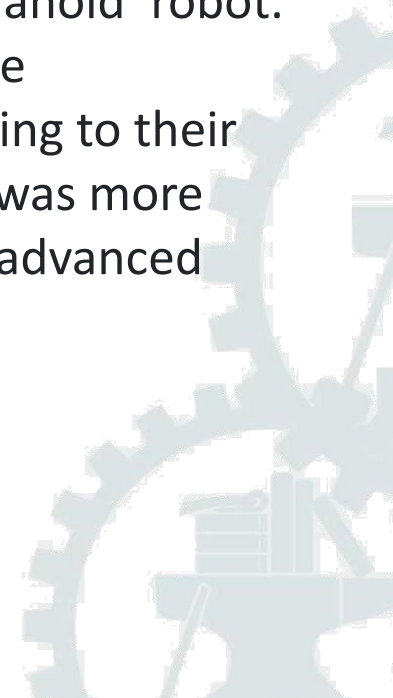


# 机器人简史



1927

Herbert Televox was first created by Westinghouse Electric and Manufacturing Co in 1927, as the first 'Humanoid' robot. Televox's creation started the developmental process leading to their later robots such as Elektro was more widely accepted as the first advanced humanoid robot created.





# 机器人简史

1967

Waseda University started the WABOT project in 1967. The WABOT-1 robot was completed in 1972 and was the world's first full-scale android humanoid robot. It was the first robot able to walk and communicate with people in Japanese, navigate a room and grip and transport objects. They later went on to create WABOT-2 which was capable of reading a musical score and playing an electric keyboard.

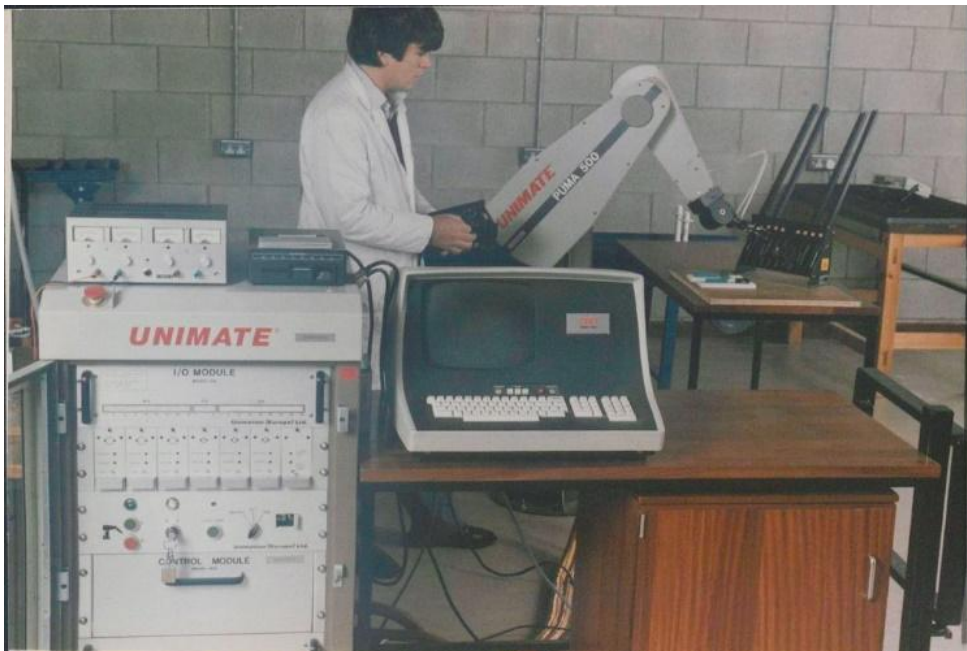




# 机器人简史

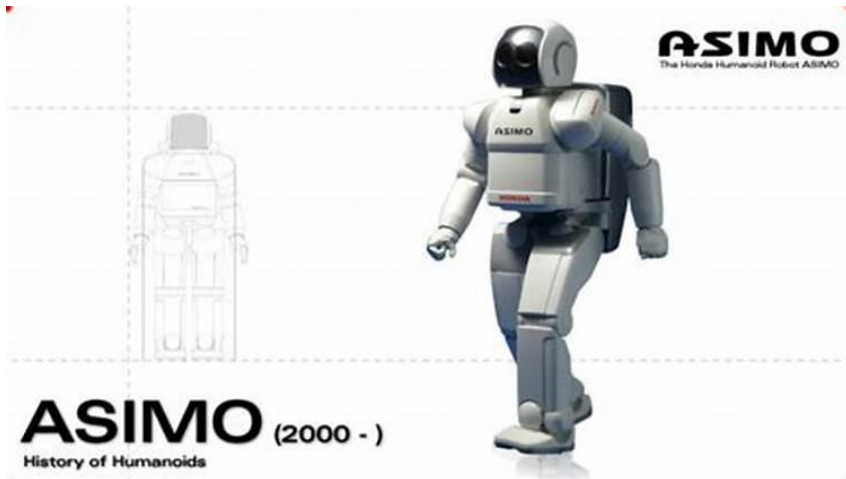
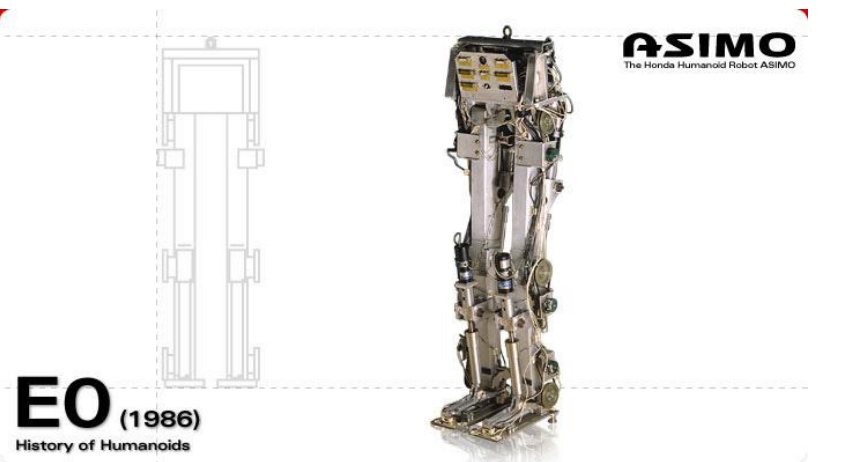
1961

In 1961, the first digitally operated and programmable robot, the Unimate, was installed on the general motors assembly line. The robot was used to lift hot pieces of metal from a die casting machine and stack them. The Unimate became the basis of many of the industrial robots still used in assembly lines today.





# 机器人简史

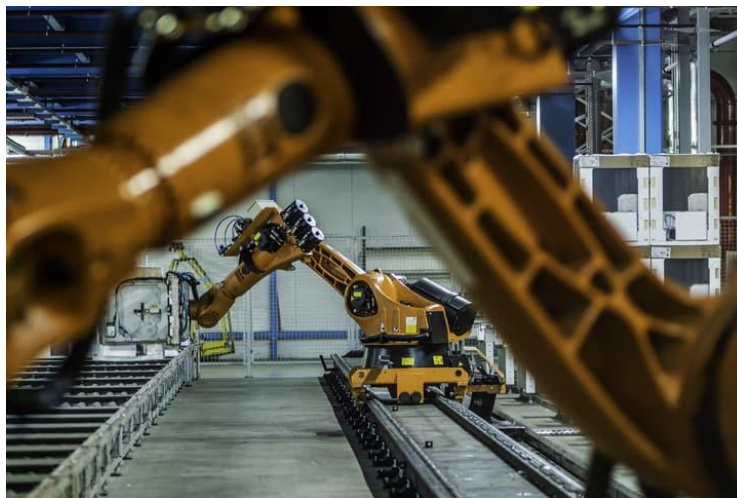
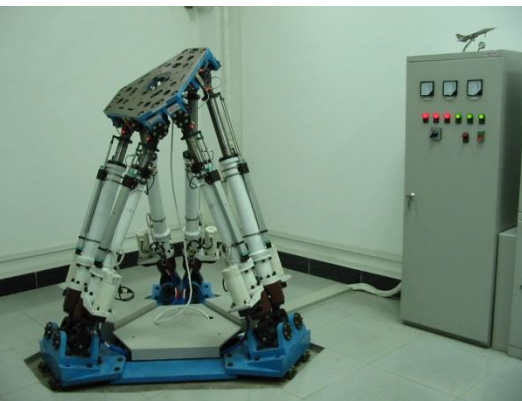


2000

After more than two decades of research Honda debuts ASIMO, ASIMO had 11 robotic predecessors that were developed in order to research bipedal walking robots. Upon its release ASIMO was the most advanced robot in the world, since then it has been continually developed and was the **first robot capable of running, jumping and using the stairs**. ASIMO is still seen as one of the most advanced robots in the world today.

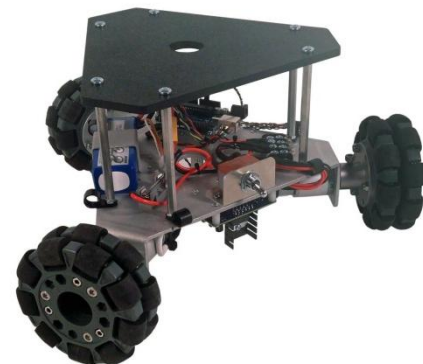
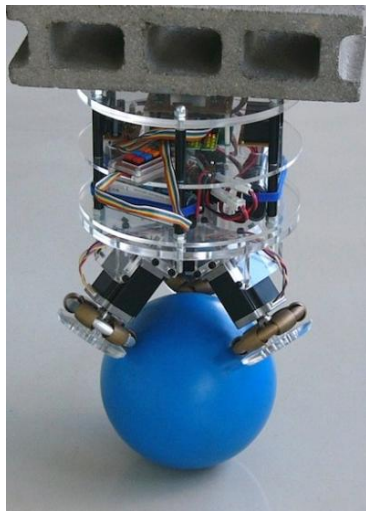


# 什么是机器人?——工业机器人



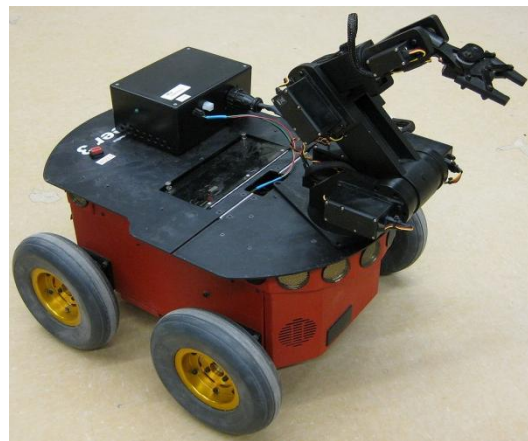


# 什么是机器人? ——轮式移动机器人



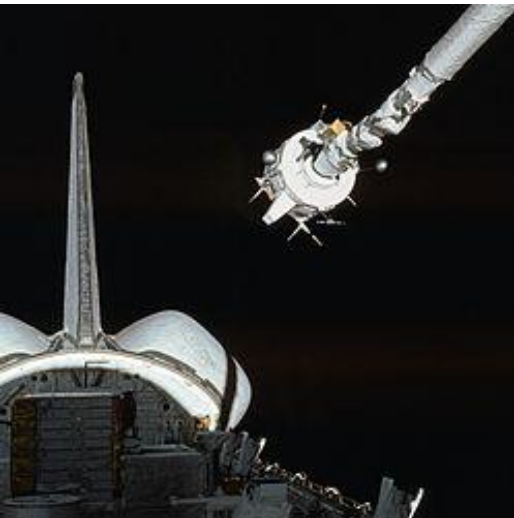


# 什么是机器人？——轮式移动机器人



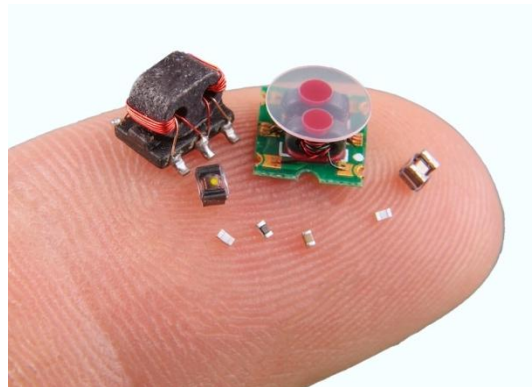


# 什么是机器人?——特种机器人





# 什么是机器人?——特种机器人





# 什么是机器人?





# 什么是机器人?



Nao



Pepper



Atlas



Asimo



Qrio



Reem-c





# 什么是机器人？





# 什么是机器人?



赛百达因 Hal-5



松下充气式外骨骼



伯克利·布里克外骨骼



被谋杀教授步行辅助设备



脑控外骨骼系统



Springwalker外骨骼  
时速56公里,跳跃1.52米



# Consequential Robotics---MiRO





# 第1章 简介

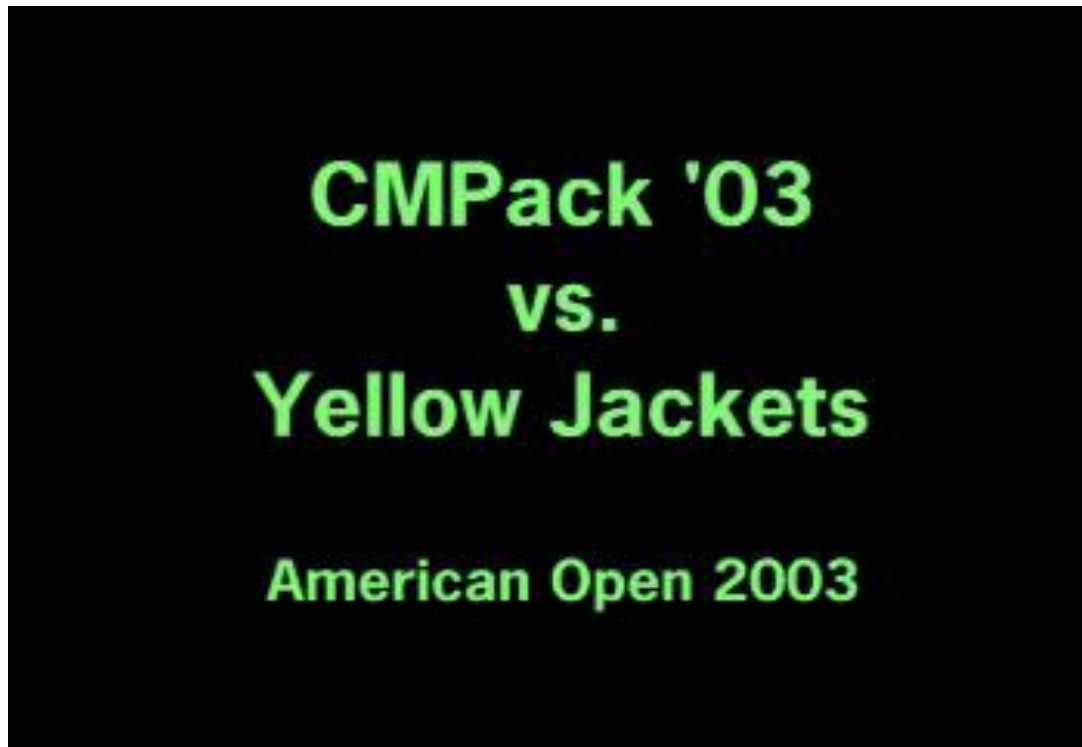
## ◇ 机器人演示视频---轮式机器人





## 第1章 简介

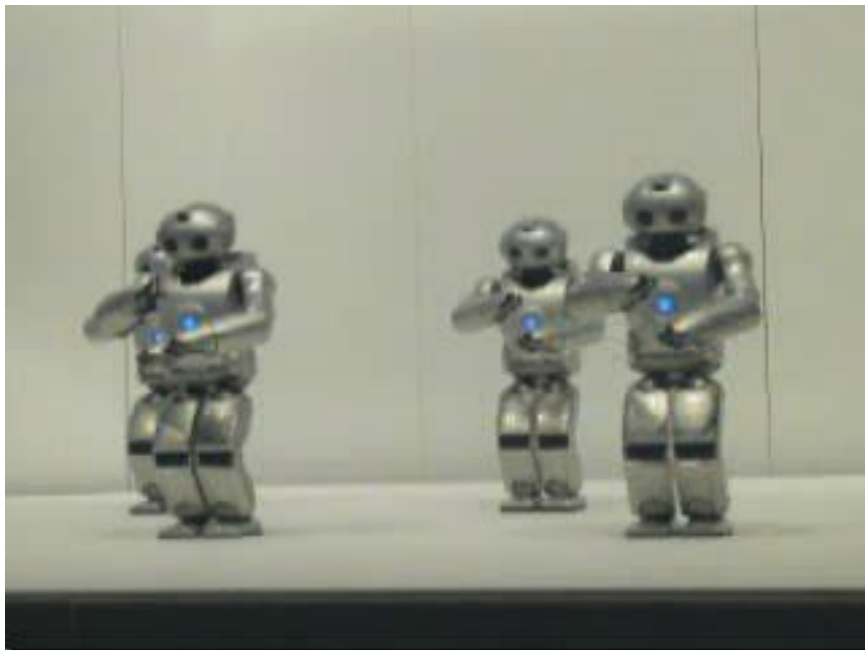
### ◇ 机器人演示视频---机器人足球赛(RoboCup)





## 第1章 简介

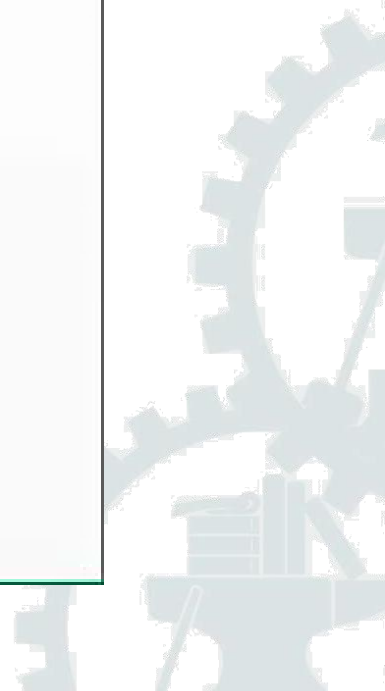
### ◇ 机器人演示视频---Sony人形机器人





# Nao

优酷



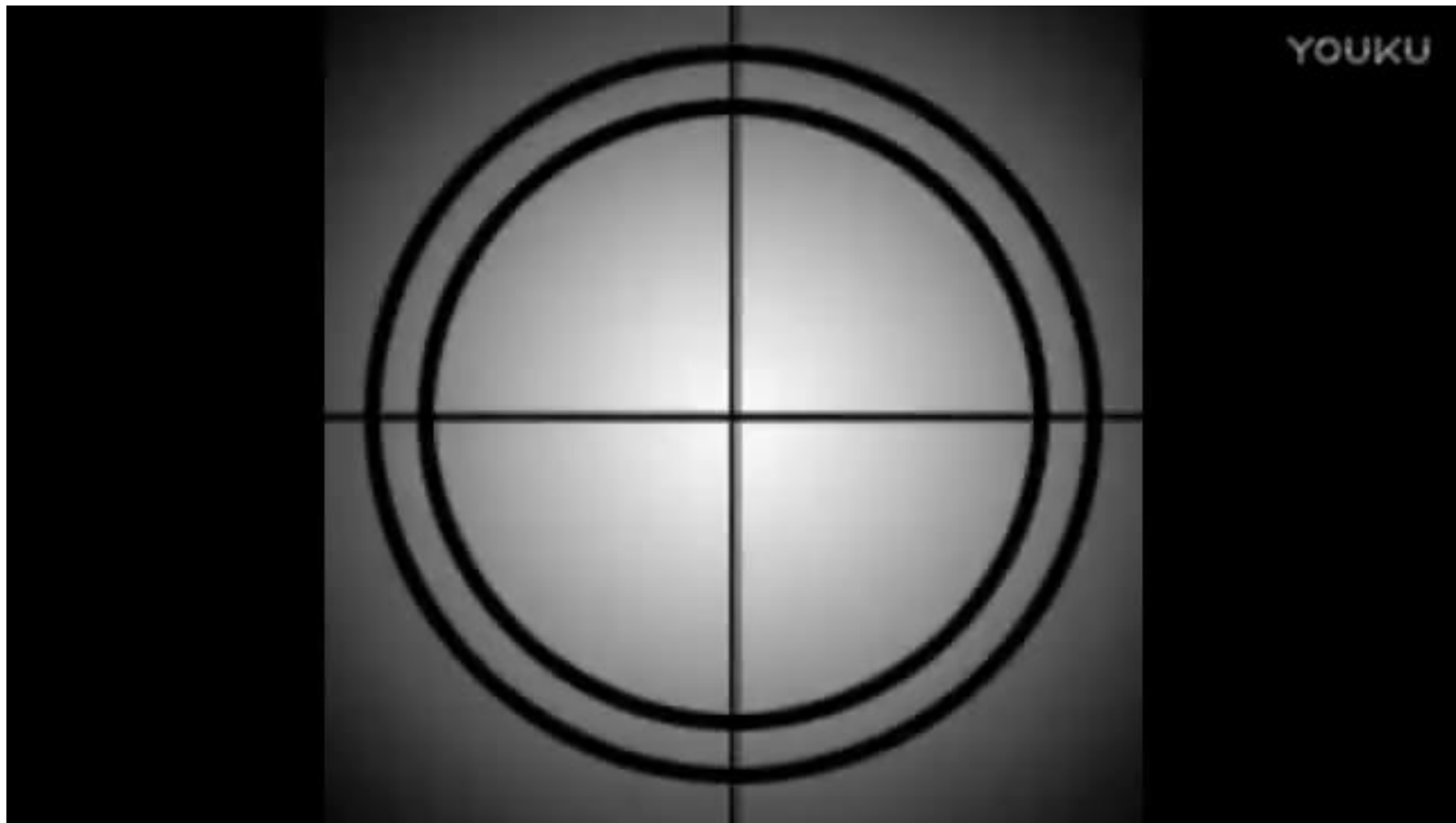


# Amazon





# 京东智能仓储





# 乒乓球机器人

优酷

Automatischer  
Tischtennispartner!!!!



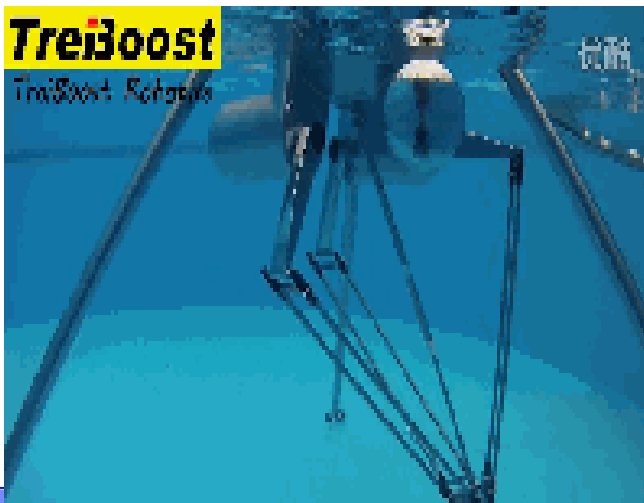


# Delta

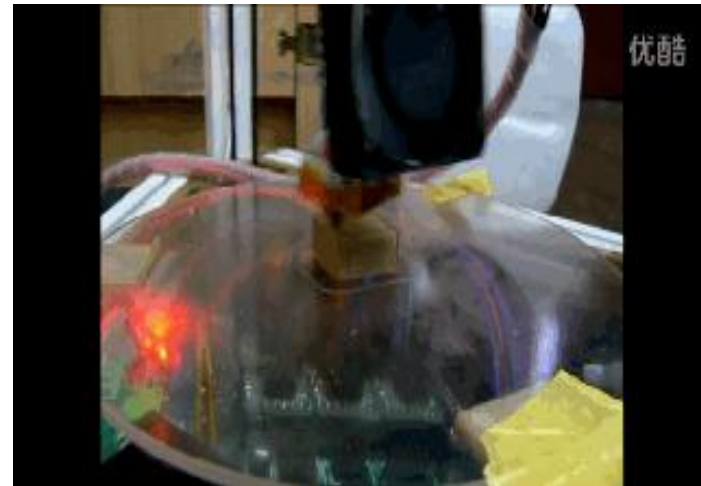
分拣作业



高压冲洗



优酷



3D  
打印

优酷



食品  
包装

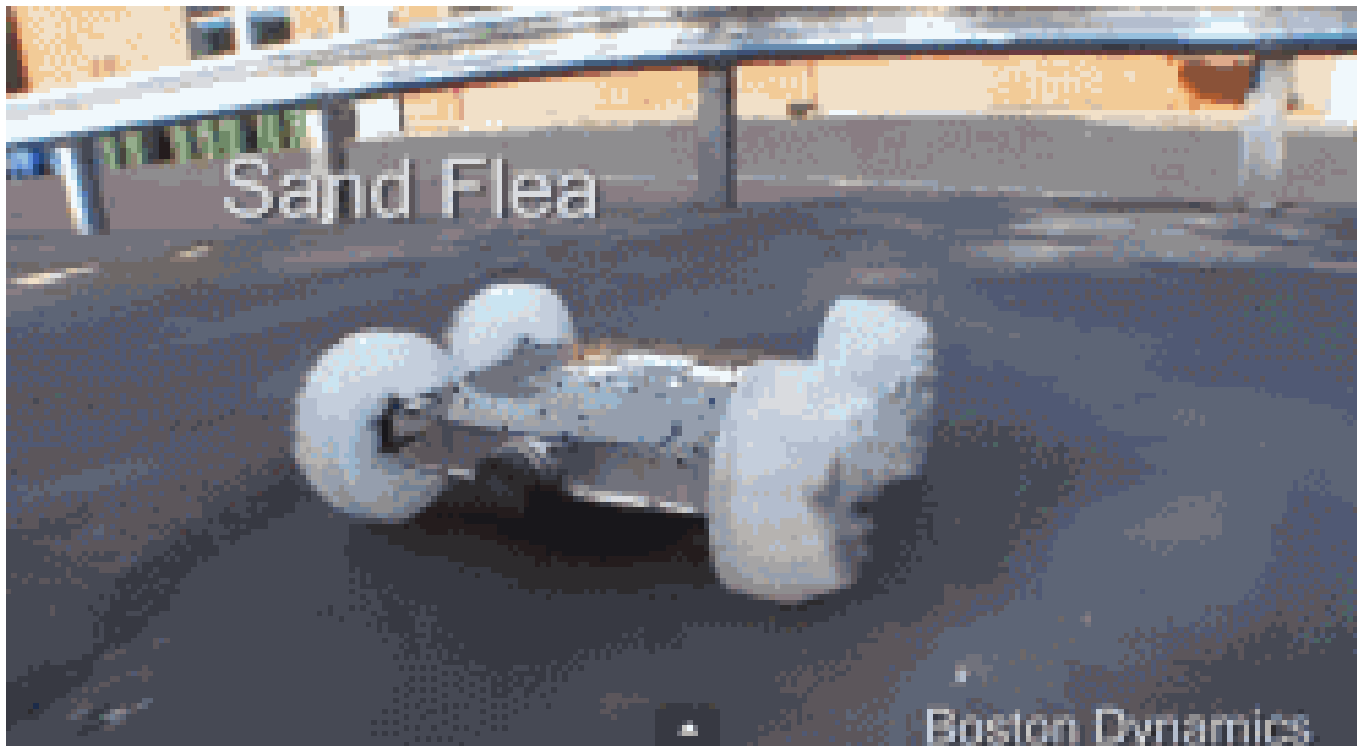


# RoboSimian and Surrogate/Surge





# 跳蚤机器人





# Big dog





# Spot





# Atlas





# Atlas

---





# Atlas





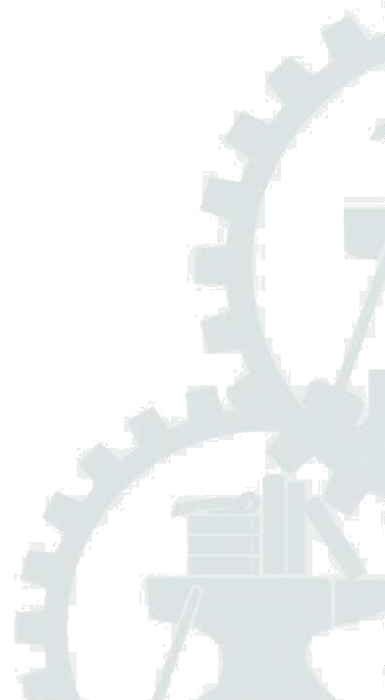
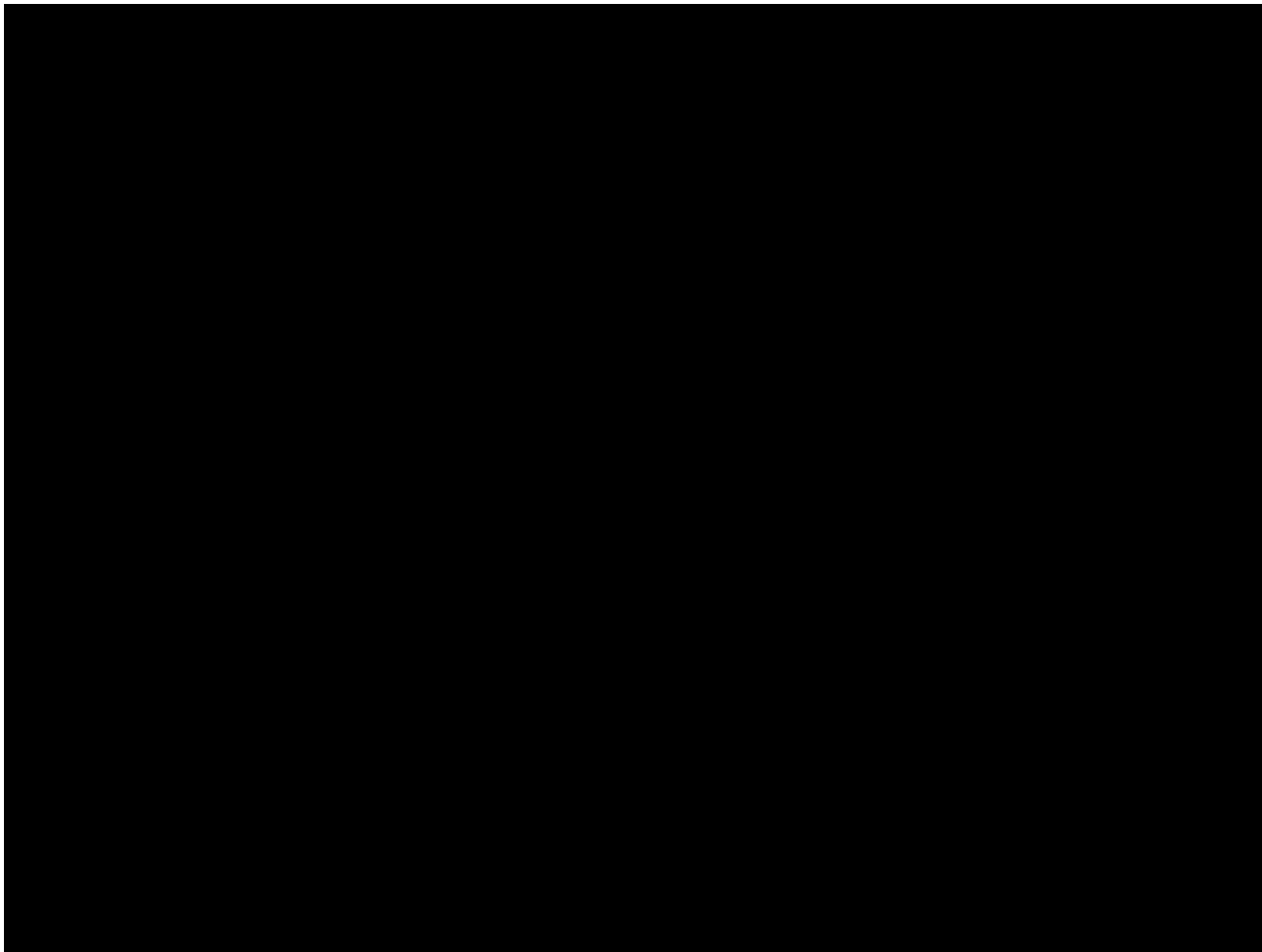
# Atlas





# Atlas

---





Boston Dynamics



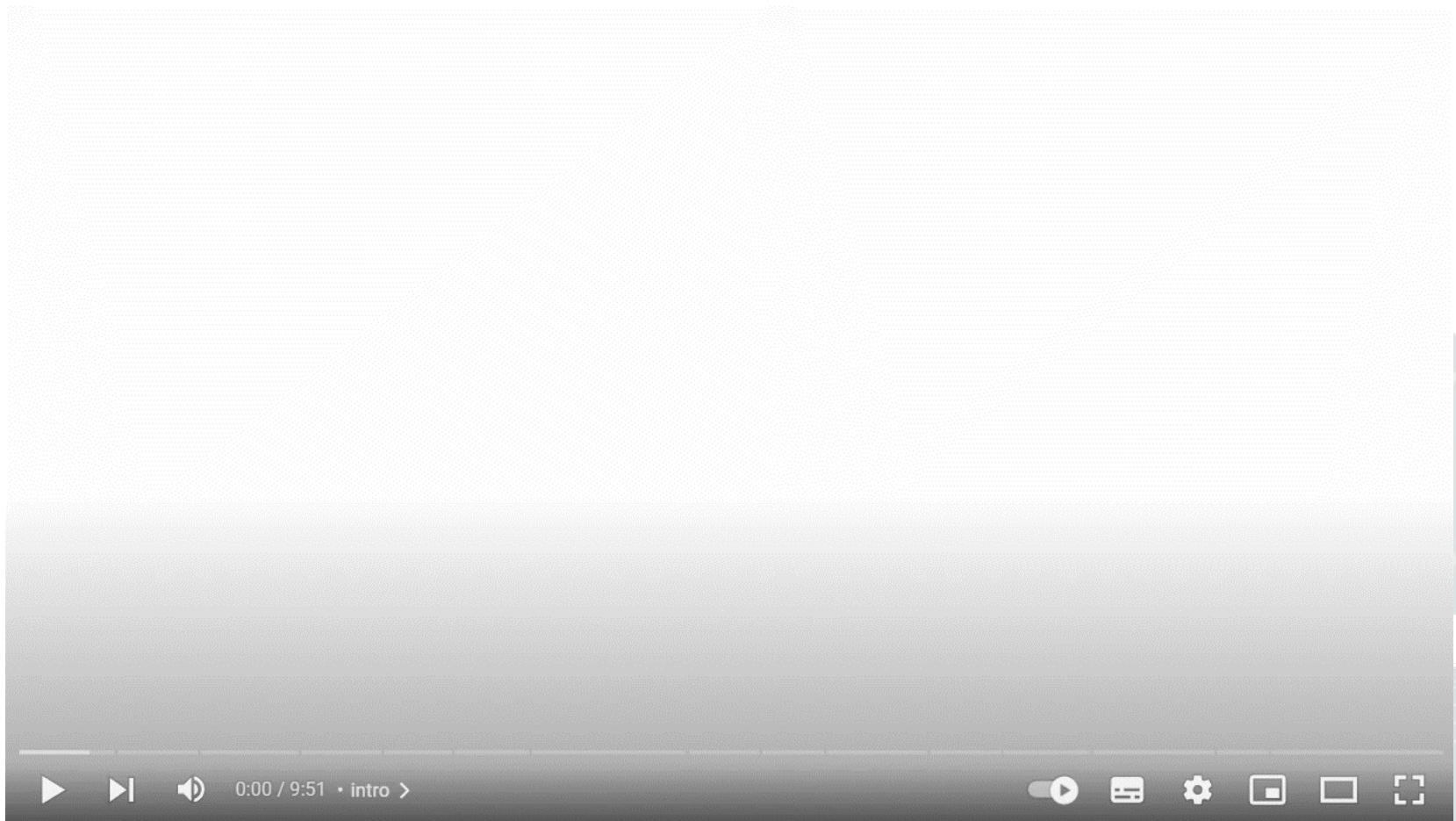
# Spot





# Boston Dynamics 40 years

---





# Unitree B2-W



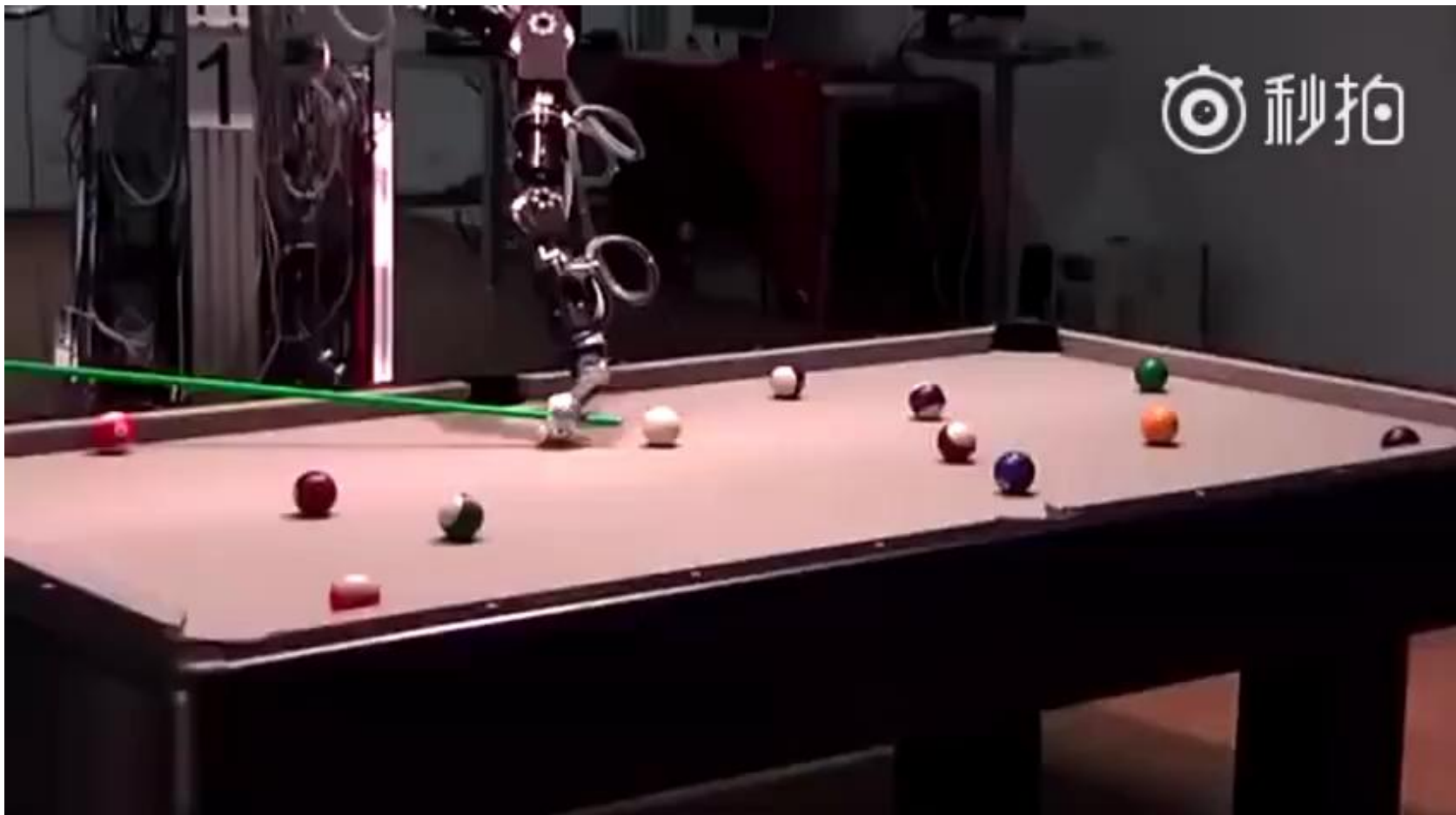


# Unitree G1





# 桌球机器人



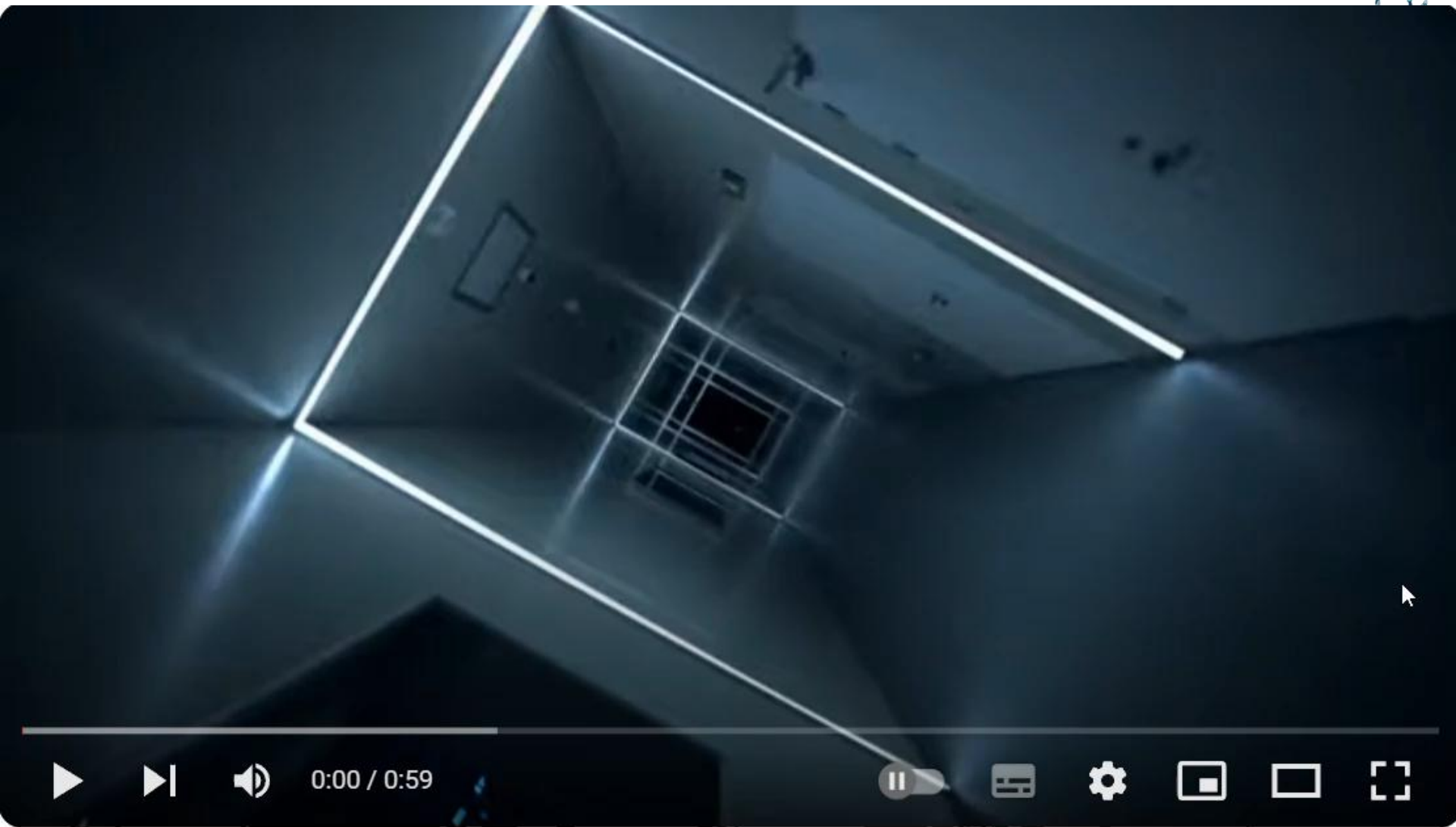


# 人形机器人

---

优酷



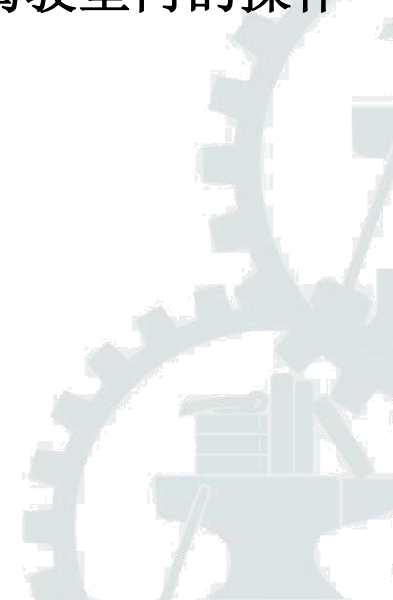




## 第1章---简介:森林 Robot

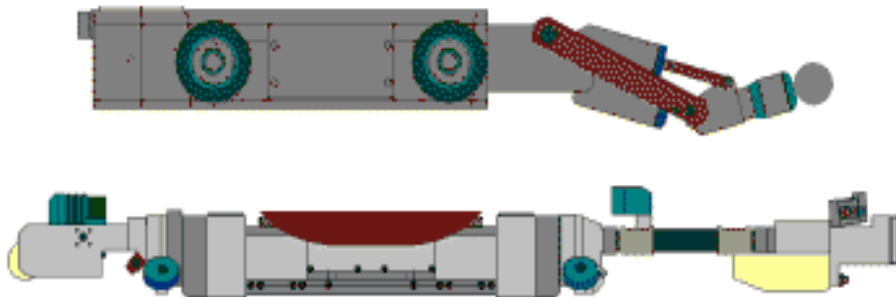


- ◆ **Pulstech** 开发了第一台工业型步行机器人，设计目的是将木材从林中运出。自主实现腿部协调动作，但移动仍然由坐在驾驶室的操作者驾驶。

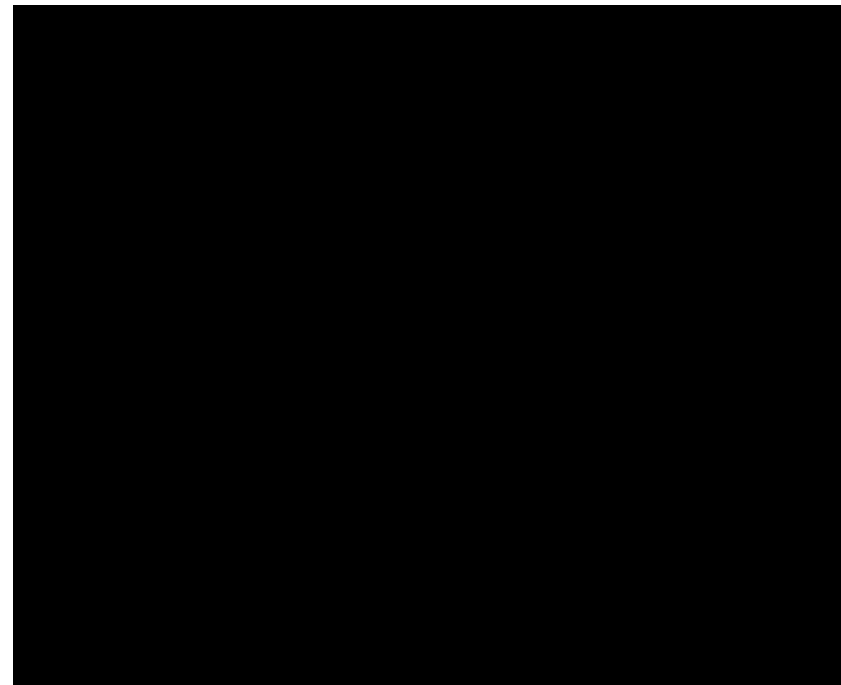




# 第1章---简介:用于管道检测的机器人

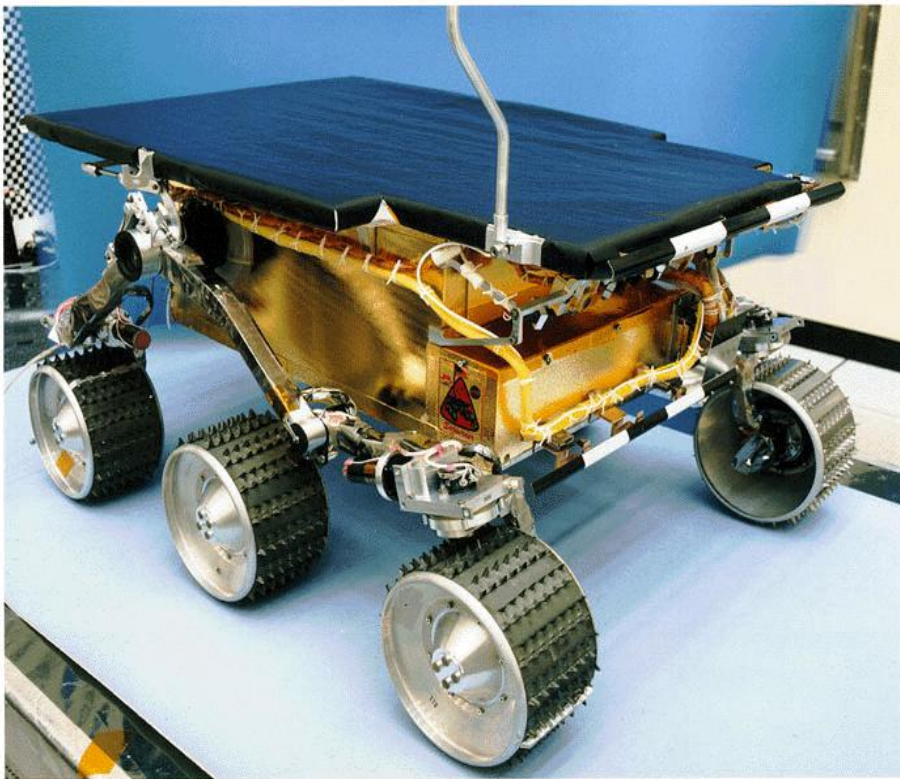


- ◇ **HÄCHER** 机器人用于污水管道的检测和维修，完全依靠远程操作运行。
- ◇ <http://www.haechler.ch>
- ◇ **EPFL / SEDIREP**: 通风管道检测机器人





## 第1章---简介：“旅居者”，首台登火星的机器人



- ◆ 1997年夏天，在“探路计划”（Pathfinder mission）中使用移动机器人“旅居者”探索火星。它几乎完全依靠来自地球的指令进行操纵（7.5min延时!!）！不过一些机载传感器提供了障碍规避功能。

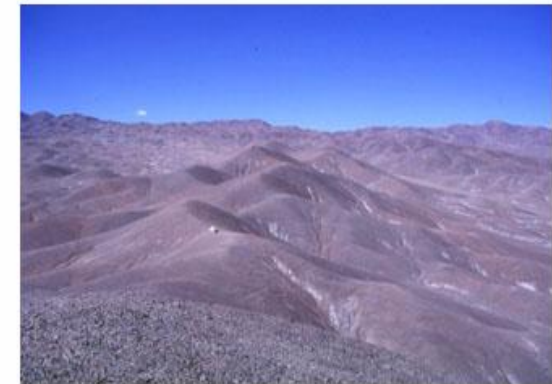
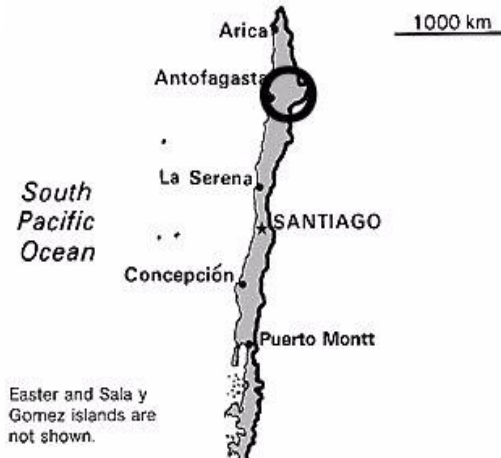


# 第1章---简介：“流浪者”（NOMAD），CMU/NASA

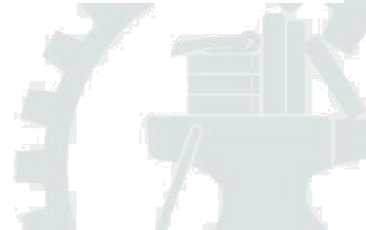
<http://img.arc.nasa.gov/Nomad/>



The Atacama Desert, Chile



resentation is authoritative.





# CMU TARTAN RESCUE

- ◆ The DARPA Robotics Challenge
- ◆ 救灾机器人（爬梯子、过复杂地形、开门、操作阀门）

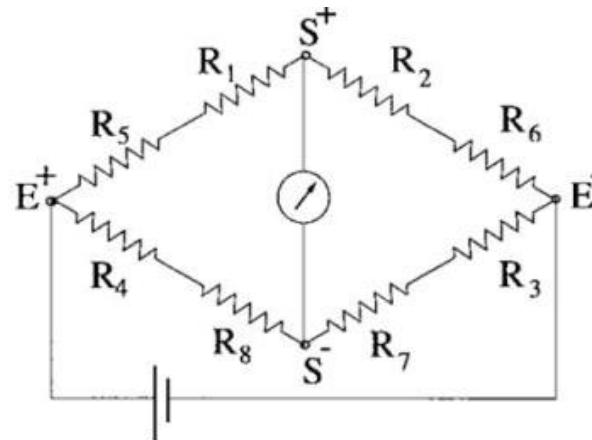
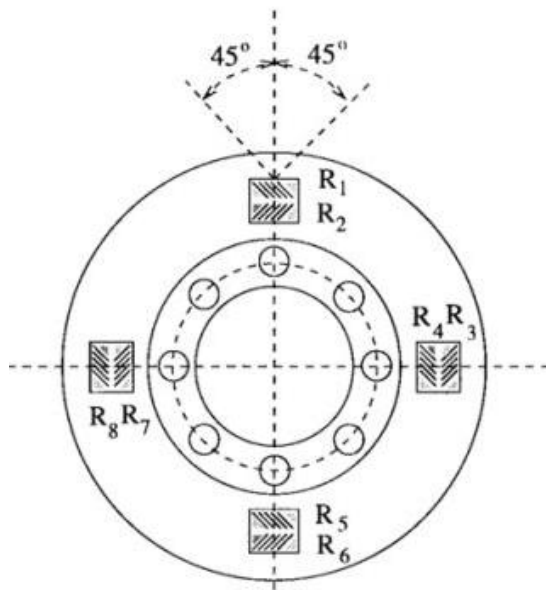




# 关节力控制传感器

## •应变片式

就是直接在输出轴上贴应变片，然后通过桥电路计算输出轴的形变量，进而估计力矩。



$$E_{out} = \frac{K}{4}(\epsilon_1 + \epsilon_3 - \epsilon_2 - \epsilon_4)E_{sup}$$

$$= K\epsilon_t E_{sup}$$

Taghirad HD, Belanger PR. Intelligent built-in torque sensor for harmonic drive systems. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1999, 48(6):1201-1207.



# 关节力控制传感器

## •应变片式

就是直接在输出轴上贴应变片，然后通过桥电路计算输出轴的形变量，进而估计力矩。



Kinova机械臂

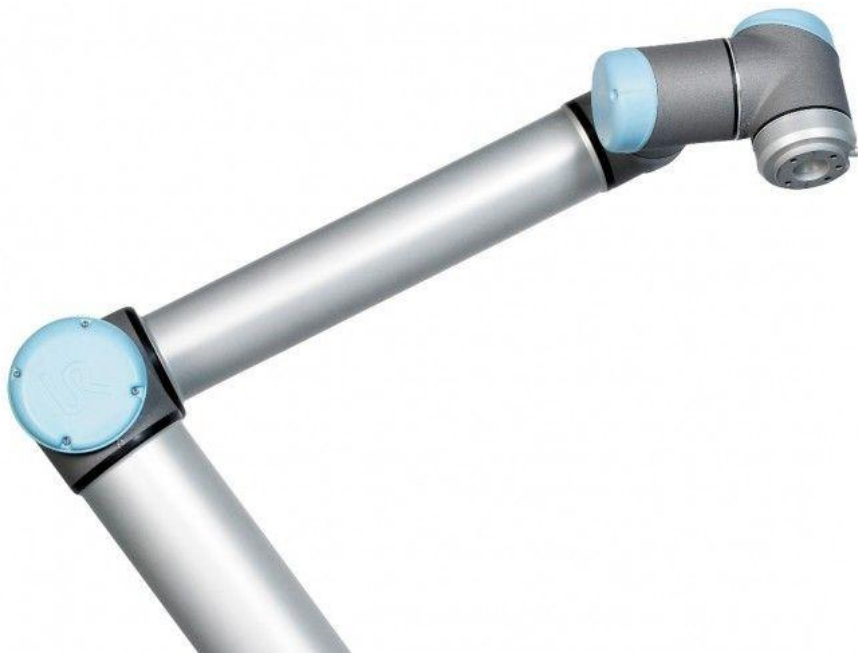
Taghirad HD, Belanger PR. Intelligent built-in torque sensor for harmonic drive systems. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1999, 48(6):1201-1207.



# 关节力控制传感器

## •双编码器式

在电机输出端和连杆输入端各放置一个编码器，通过编码器测量的偏差量计算传动轴的变形量，进而估计出力矩。



Universal Robot





# 关节力控制传感器

## • 串联弹性驱动器

在连杆输入端前面加一个弹簧，采用一个编码器直接测量弹簧的变形，测定力矩。



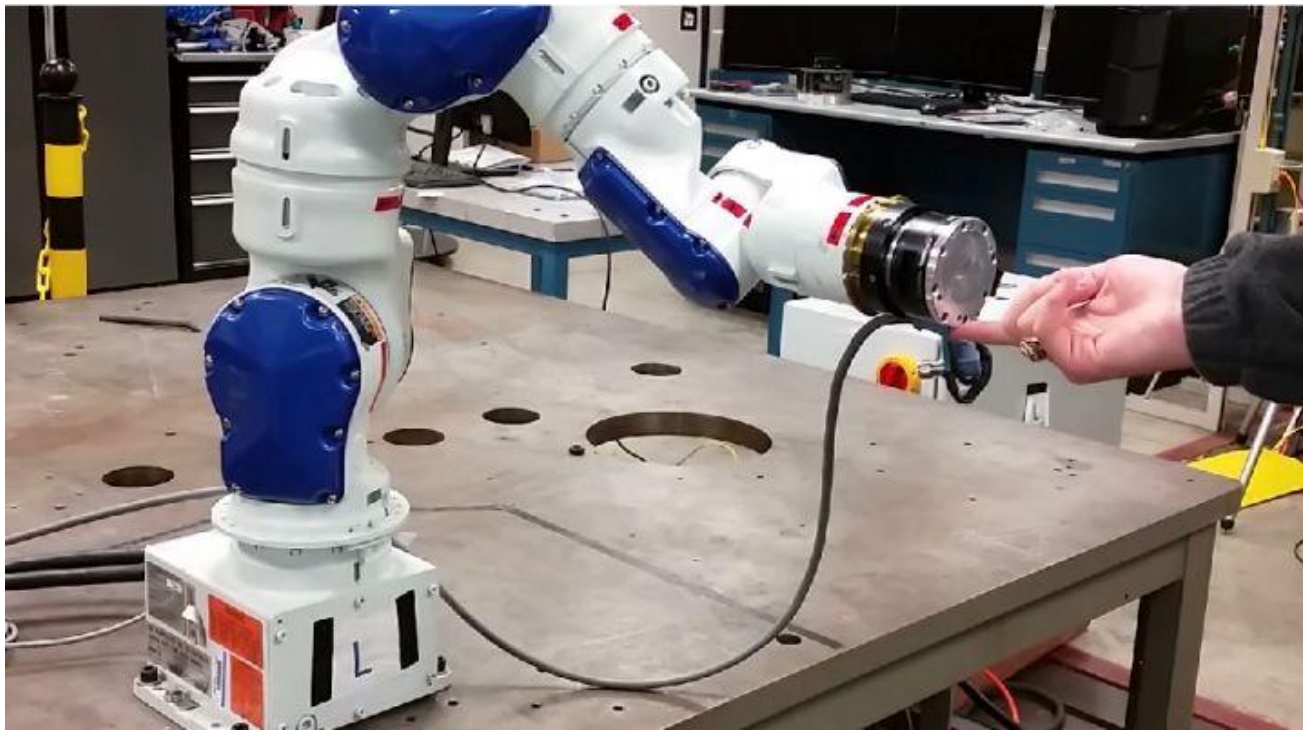
Rethink Baxter





# 非关节力控制

- 电流估计力矩
- 末端力传感器
- 触觉传感器





## 非关节力控制

- 电流估计力矩
- 末端力传感器
- 触觉传感器

Cirillo, A., et al. A conformable force/tactile skin for physical human-robot interaction. IEEE Robotics and Automation Letters, 2016: 41-48.





## 国外机器人产业

---

### ◆ FANUC

#### ◆ 日本

FANUC机器人产品系列多达240种，负重从0.5公斤到1.35吨，广泛应用于装配、搬运、焊接、铸造、喷涂、码垛等不同生产环节，满足客户的不同需求。FANUC全球机器人装机量已超25万台，市场份额稳居第一。

### ◆ KUKA

#### ◆ 德国

库卡（KUKA）及其德国母公司是世界工业机器人和自动控制系统领域的顶尖制造商。库卡机器人（上海）有限公司是德国库卡公司设在中国的全资子公司。



## 国外机器人产业

### ◇ 川崎机器人

#### ◇ 日本

川崎机器人（天津）有限公司是由川崎重工业株式会社**100%**投资，并于**2006年8月**正式在中国天津经济技术开发区注册成立，主要负责川崎重工生产的工业机器人在中国境内的销售、售后服务（机器人的保养、维护、维修等）、技术支持等相关工作。

### ◇ ABB机器人

#### ◇ 瑞士

**1988**年创立于欧洲的ABB公司于**1994**年进入中国，**1995**年成立ABB中国有限公司。**2005**年起，ABB机器人的生产、研发、工程中心都开始转移到中国，可见国际机器人巨头对中国市场的重视。目前，中国已经成为ABB全球第一大市场。



## 国内机器人产业现状

### ◇ 新松机器人自动化股份有限公司

- ◇ 致力于数字化智能高端装备制造，不仅在工业机器人领域上取得成就，同时也发明了一些家用型机器人与服务型机器人。

### ◇ 安川首钢机器人有限公司

- ◇ 安川公司生产的工业机器人主要应用于弧焊、点焊、涂胶、切割、搬运、码垛、喷漆、科研及教学等领域。

### ◇ 中国聪锐机器人

- ◇ 聪锐机器人研究范围广泛，娱乐机器人、保洁机器人、家用机器人、教育机器人、军警机器人等。

### ◇ 紫光优蓝机器人技术有限公司

- ◇ 紫光优蓝智能机器人生产线完成了幼教机器人、益智娱乐机器人、导购机器人、主妇伴侣机器人等等服务型机器人。



## 国内机器人产业现状

---

- ◆ 宇树
- ◆ 安徽埃夫特智能装备有限公司
- ◆ 南京埃斯顿机器人工程有限公司
- ◆ 广州数控
- ◆ 华中数控
- ◆ 台达
- ◆ 节卡
- ◆ 图灵.....





## 国内机器人产业现状（机器人产业）

排名	公司	国家	领域/业务相关性	市场估值 (美元)
1	<b>NVIDIA</b> (英伟达)	美国	机器人AI芯片与平台	\$4.86万亿
2	<a href="https://www.amazon.com">Amazon.com</a> (亚马逊)	美国	仓储机器人 (如 Amazon Robotics)	\$2.26万亿
3	<b>Toyota Motor</b> (丰田)	日本	仿人机器人、自动化生产	\$3079亿
4	<b>Symbotic</b>	美国	仓储自动化机器人系统	\$337亿
5	<b>Ubtech Robotics</b> (优必选)	中国	人形机器人	\$103亿
6	<b>Kawasaki Heavy Industries</b> (川崎重工)	日本	工业机器人	\$184亿
7	<b>Sharkninja</b>	美国	消费级机器人 (如吸尘器)	\$182亿
8	<b>AeroVironment</b>	美国	军用无人机/机器人	\$127亿
9	<b>Sany Heavy Equipment</b> (三一重工)	中国	工业机器人及装备	\$72.6亿
10	<b>UiPath</b>	美国	软件机器人 (RPA)	\$53.1亿



## 国内机器人产业现状（人形机器人）

排名	公司	国家	核心产品与技术亮点
1	<b>Tesla (特斯拉)</b>	美国	Optimus机器人在超级工厂部署，FSD大脑迁移
2	<b>Boston Dynamics</b>	美国	电动Atlas机器人，已实现商业化搬运
3	<b>Figure AI</b>	美国	与宝马合作，在汽车总装线实现规模化应用
4	<b>Unitree Robotics (宇树科技)</b>	中国	2025年出货量超5500台，产品以高性价比著称
5	<b>Sanctuary AI</b>	加拿大	Phoenix机器人具备精细操作和自然语言学习能力
6	<b>UBTECH Robotics (优必选)</b>	中国	"人形机器人第一股"，深耕工业场景
7	<b>Zhiyuan Robotics (智元机器人)</b>	中国	远征系列产品在工业柔性制造领域渗透率高
8	<b>1X Technologies</b>	挪威	在端到端控制技术领域保持领先
9	<b>Agility Robotics</b>	美国	Digit机器人专注于物流搬运，与亚马逊等合作
10	<b>Fourier Intelligence (傅利叶智能)</b>	中国	GR-1人形机器人，从康复领域跨界而来



## 第1章---简介: 移动机器人的关键问题

### ◇ 关于移动机器人的三个关键问题

◇ 在哪里? (Where am I?)

◇ 要去哪里? (Where am I going?)

◇ 如何走? (How do I get there?)

### ◇ 为回答这三个问题, 机器人必须

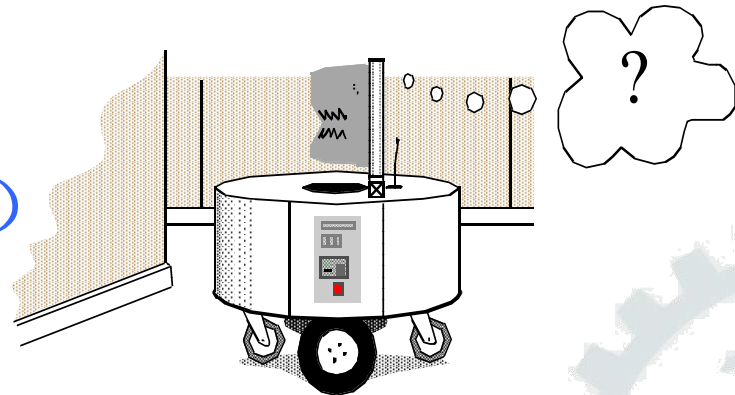
◇ 建立一个环境模型 (事先设定或自己建立)

◇ 感知和分析环境

◇ 找到自己在环境中的位置

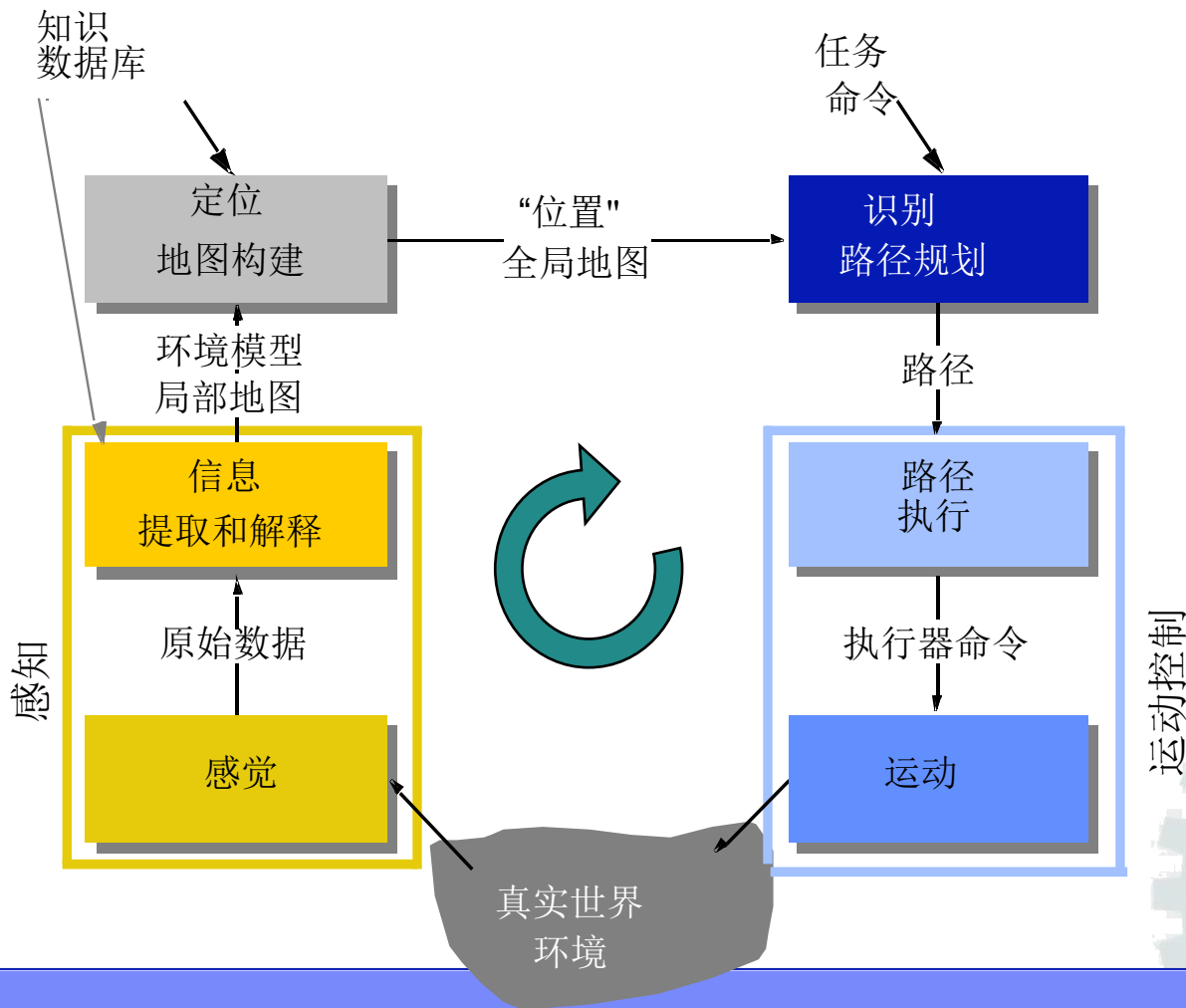
◇ 规划和执行移动策略

### ◇ 本课程涉及机器人移动和导航 (感知、定位、规划、执行)





# 第1章---简介:移动机器人感知及运动控制模块框图

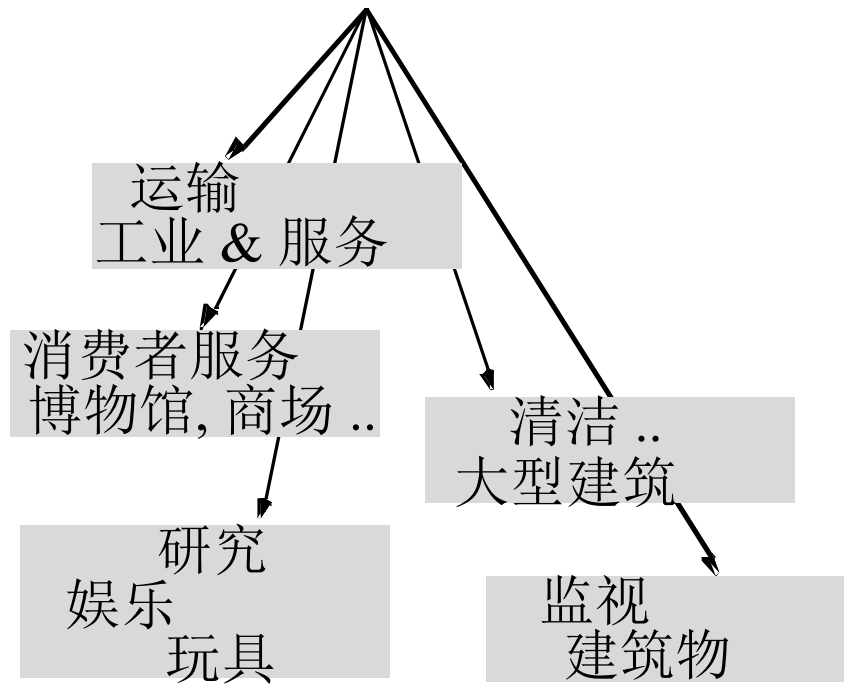




# 第1章---简介:移动机器人的应用

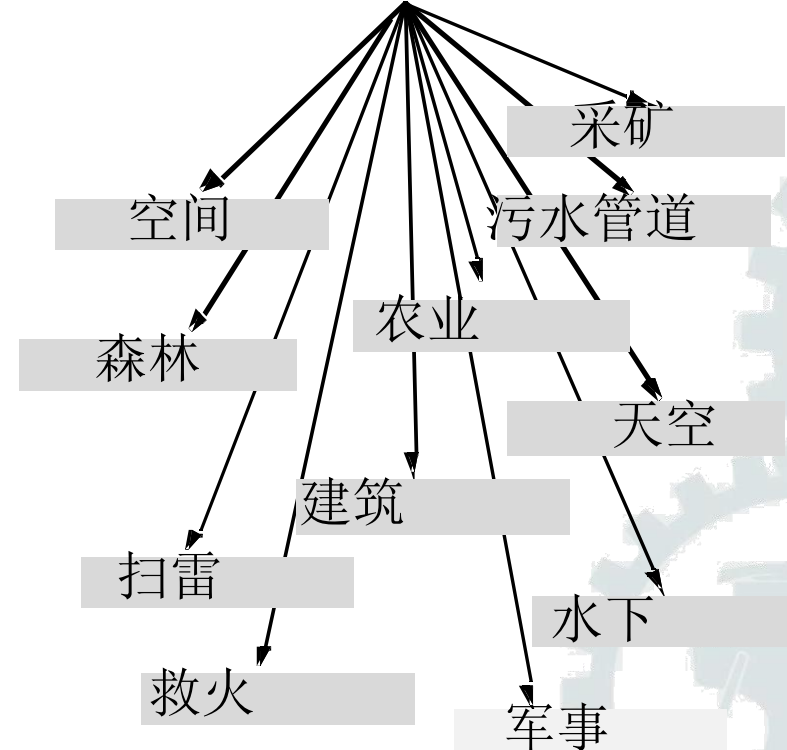
## 室内

结构化的环境



## 室外

非结构化的环境

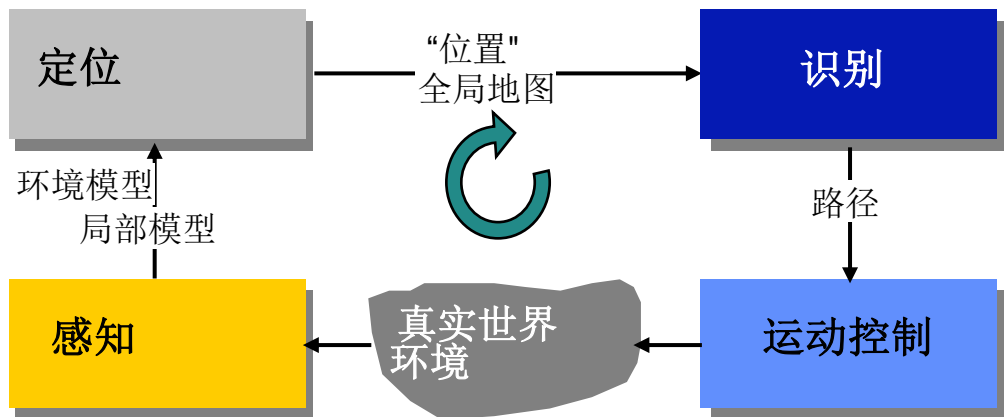




# 第1章---简介:控制结构和策略

## ◇ 控制回路

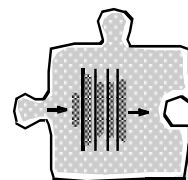
- ◇ 动态改变
- ◇ 没有简洁的可用模型
- ◇ 许多不确定性因素



两种方法

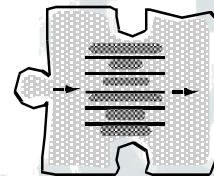
### ➤ 传统的人工智能

- 完全建模
- 基于功能



### ➤ 新人工智能

- 不完全建模或无模型
- 基于行为
- 自底向上

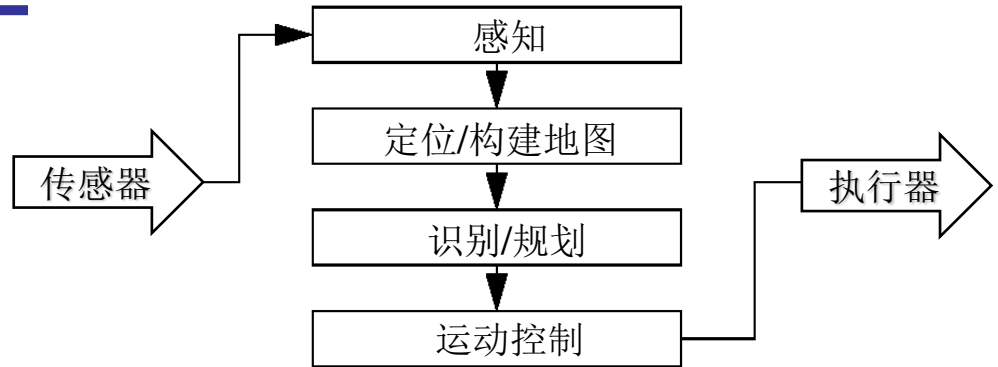




# 第1章---简介:两种方法

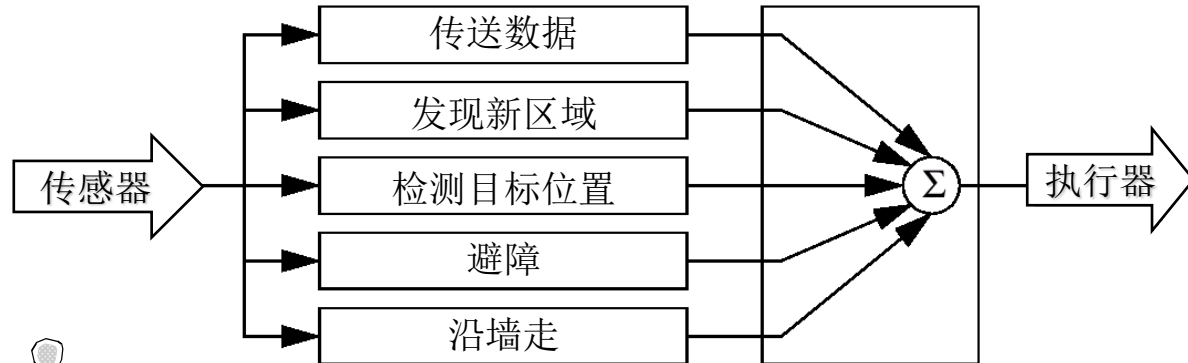
传统人工智能  
(基于模型的导航)

- 完全建模
- 基于功能



新人工智能  
(基于行为的导航)

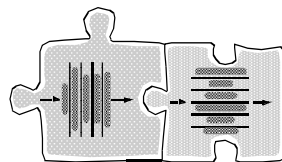
- 不完全建模或无模型
- 基于行为
- 自底向上



协调/融和  
如, 采用向量求和的融和

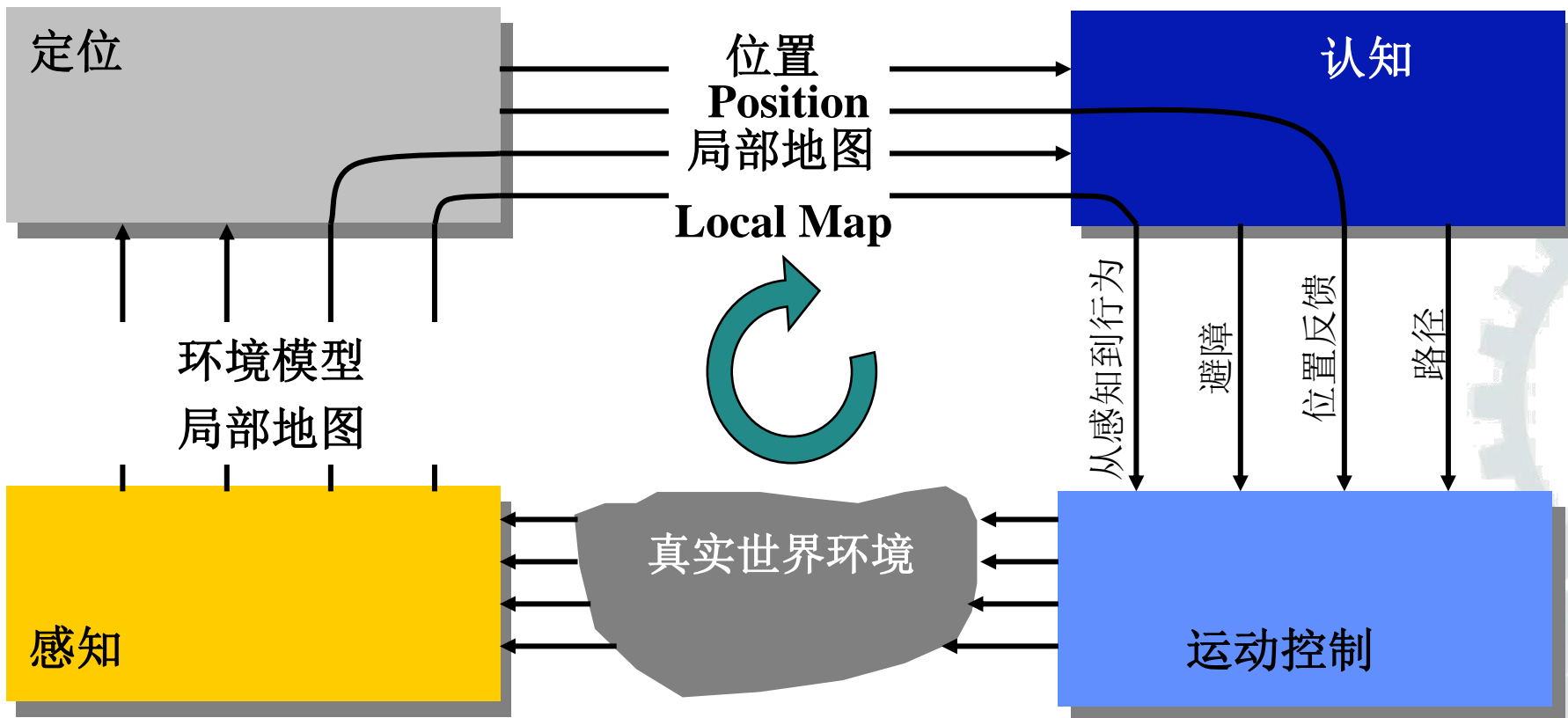
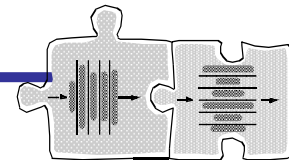
可能的解

- 两种方法结合





# 第1章---简介:实现混合方法的一般控制策略





# 第1章---简介: 环境表示与建模

## ◇ 环境表示

- ◇ 连续度量 ->  $x, y, \theta$
- ◇ 离散度量 -> 度量栅格
- ◇ 离散拓扑 -> 拓扑栅格

## ◇ 环境建模

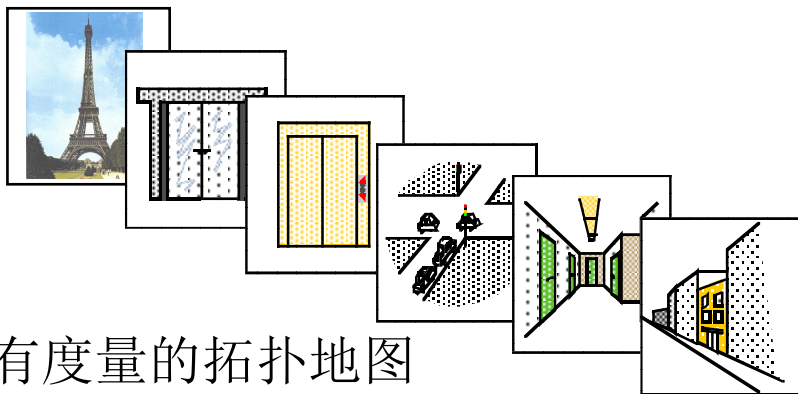
- ◇ 原始感知数据, 如: 激光扫描距离数据, 图像灰度
  - ◇ 数据量大, 独特性小
  - ◇ 利用所有获得的信息
- ◇ 低级特征, 如: 直线或其它几何特征
  - ◇ 数据量中等, 独特性一般
  - ◇ 过滤得到有用信息, 但仍然含糊
- ◇ 高级特征, 如: 门, 一辆车, 埃菲尔铁塔
  - ◇ 数据量小, 高独特性
  - ◇ 过滤得到有用信息, 很少/没有含糊性



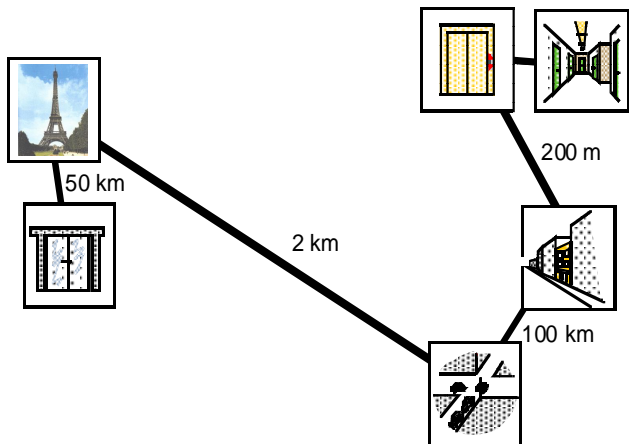


# 第1章---简介：环境表示（地图的种类）

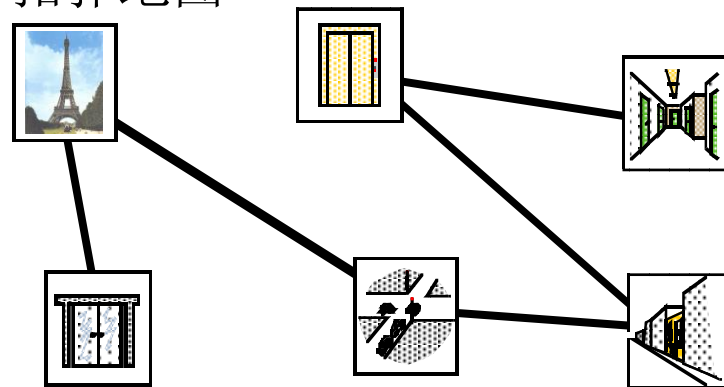
## ◇ 可识别的场所



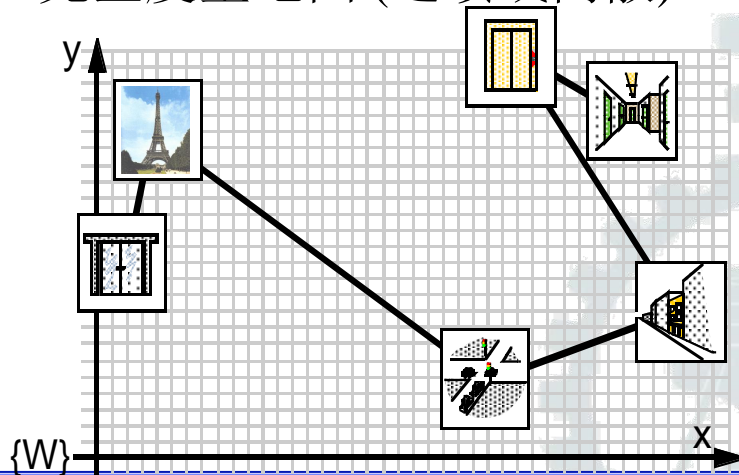
有度量的拓扑地图



拓扑地图



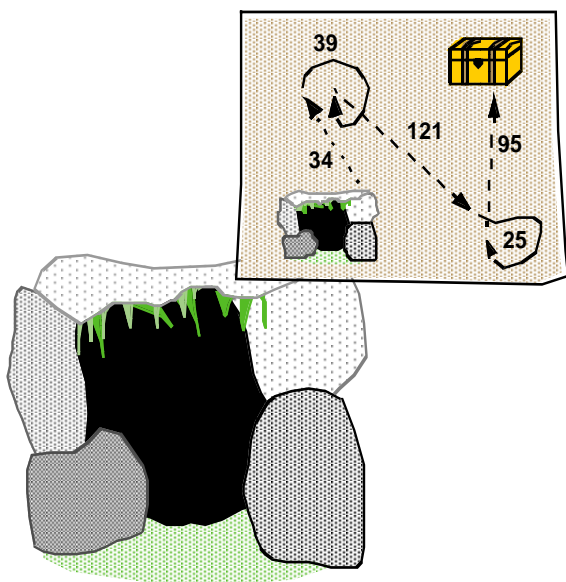
完全度量地图 (连续或离散)





# 第1章---简介：环境表示与建模

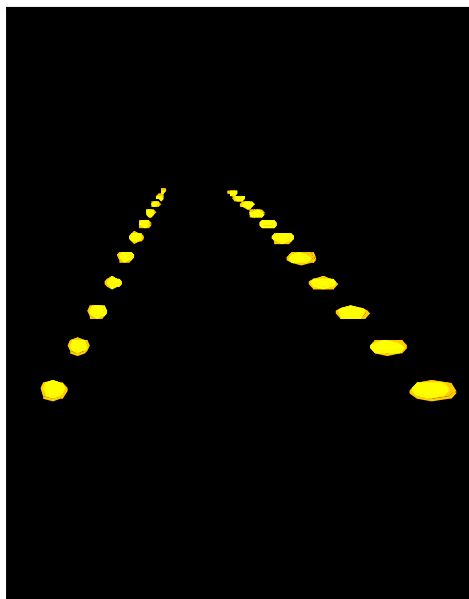
- 测程法



如何找到珍宝？

不适用

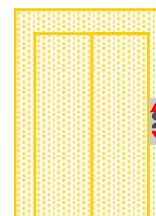
- 改进环境



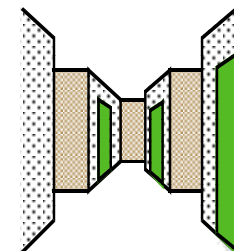
夜间着陆灯标

昂贵，不灵活

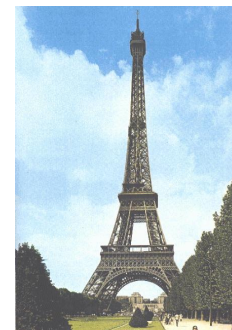
- 基于特征的导航



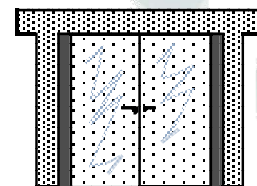
电梯门



走廊叉口



埃菲尔铁塔



入口

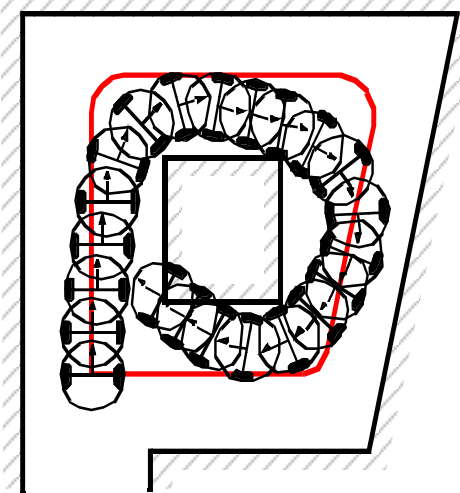
对于机器而言仍然是挑战(识别)



# 第1章---简介： 导航方法及其缺陷

增量型

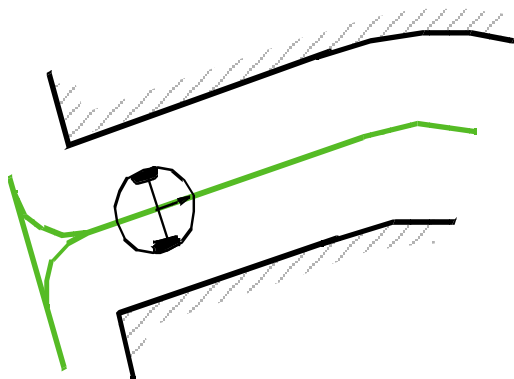
(测程法或航位推算法)



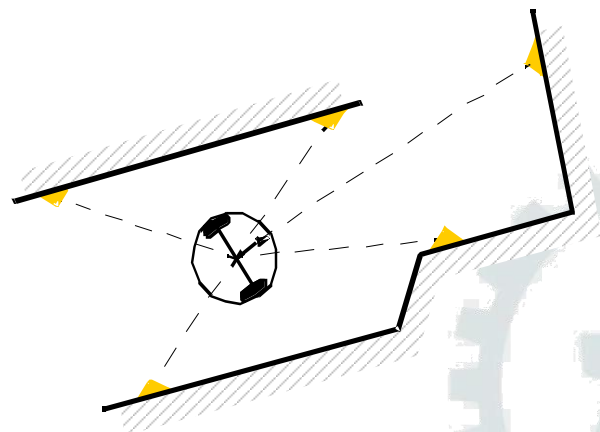
里程表+惯导（陀螺仪  
和加速度计）

改变环境

(人造地标 / 灯塔)



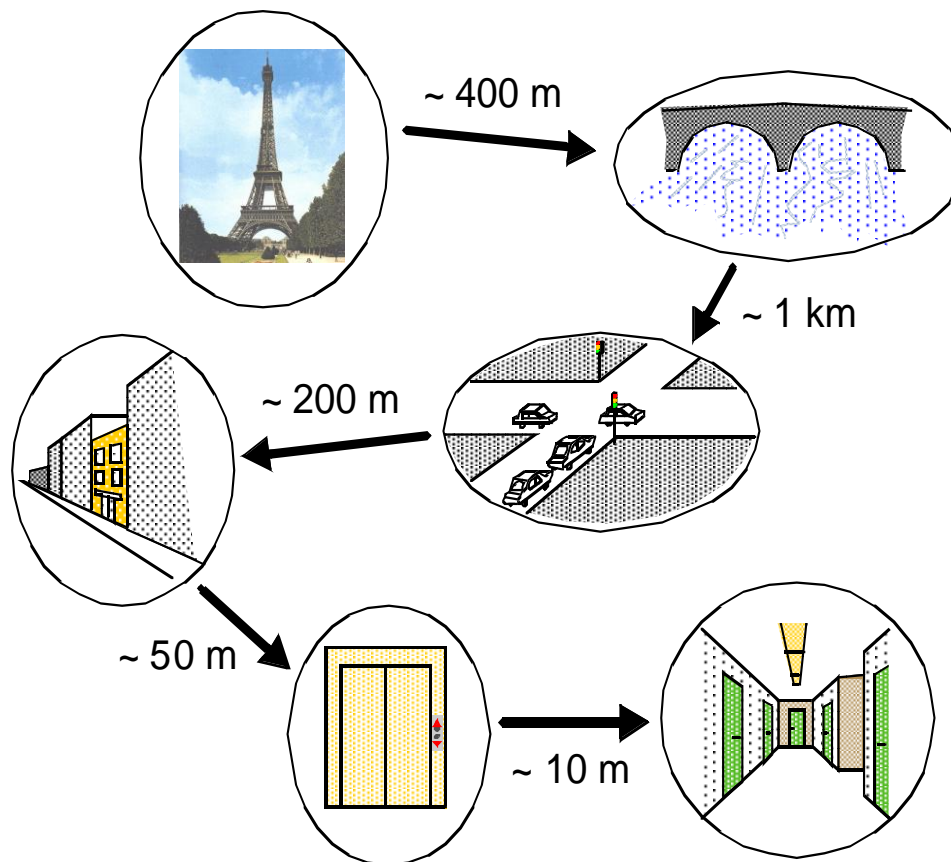
感应或光跟踪 (AGV)





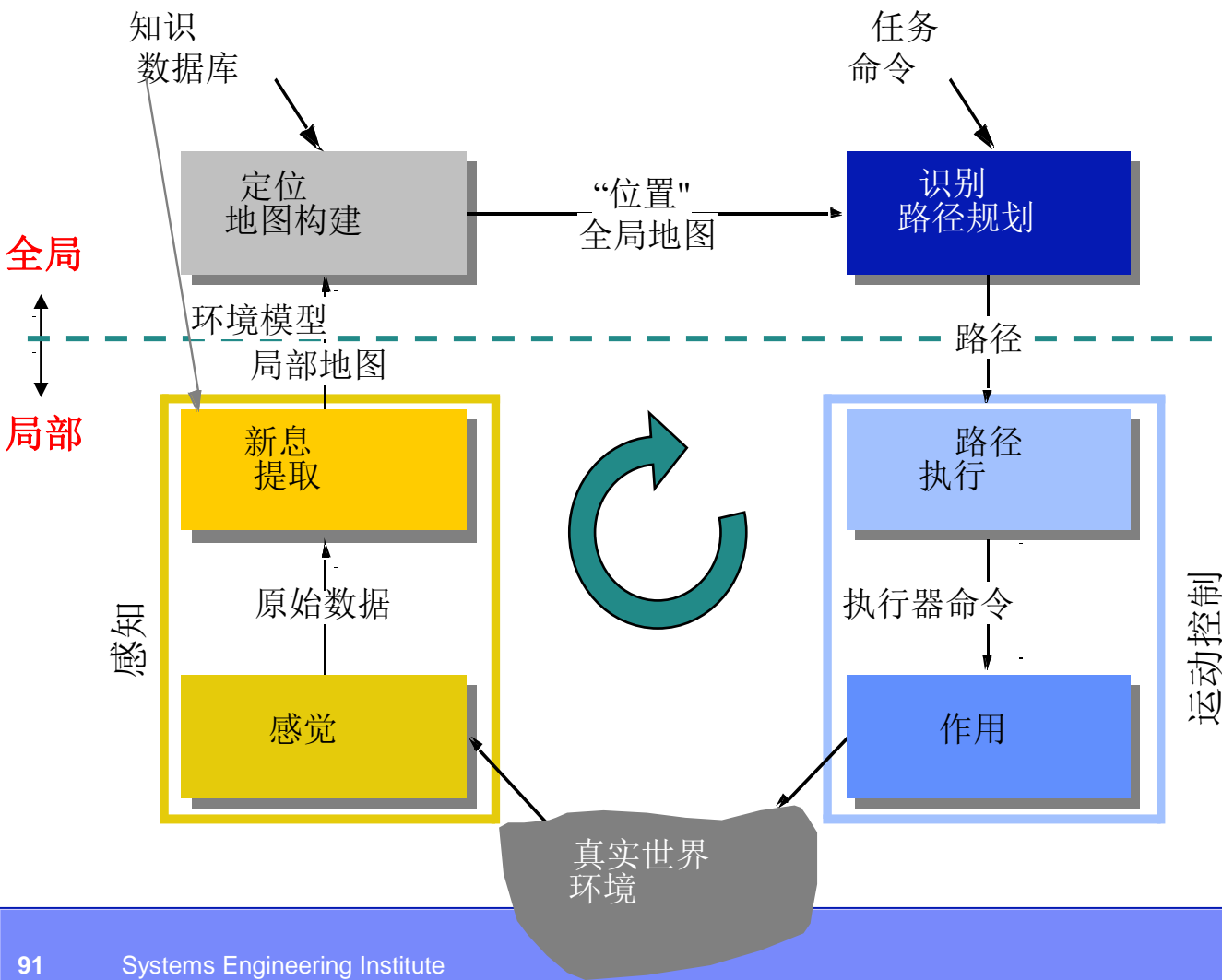
# 第1章---简介： 人类导航

- 根据不精确度量信息
- 拓扑地图





# 第1章---简介：移动机器人控制



◆ 感知和运动控制等功能，是既不包括定位也不包括识别的“局部”功能

◆ 定位和全局路径规划 → 低更新速度，仅当需要时做

◆ 这种方式与人类做法十分相似



# 第1章---简介: 总结

---

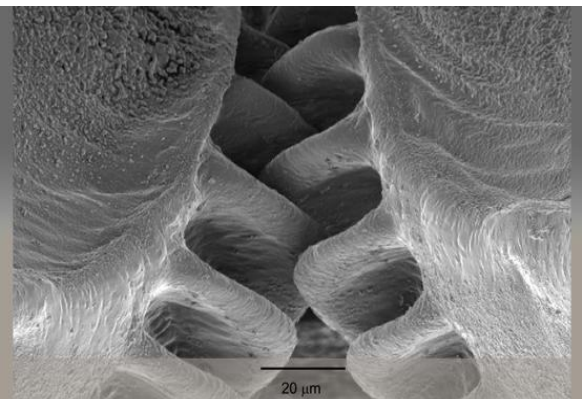
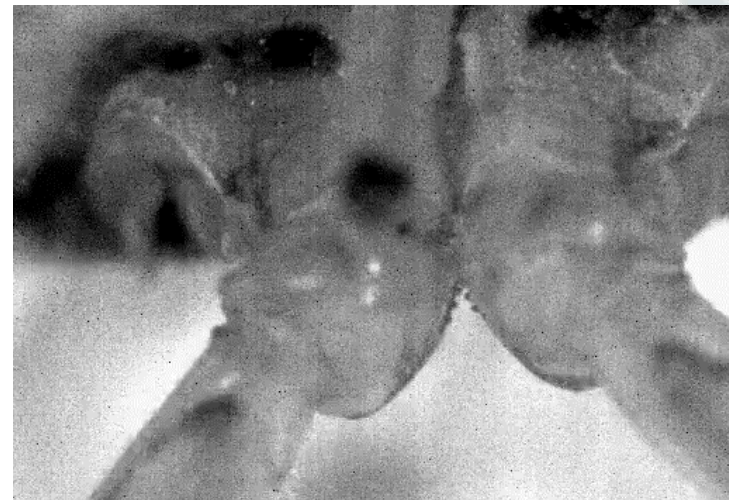
1. 什么是机器人
2. 机器人产业发展现状
3. 移动机器人控制中需要解决的主要问题
4. 移动机器人控制策略
5. 环境建模与地图构建





## 自然界的齿轮

- ◆ 鞘翅瓢蜡蝉(*Issus coleoptratus*)：它们幼虫的后腿自带精巧的齿轮结构，可以通过齿轮的互相咬合来协调腿部肌肉，使双腿运动实现同步，从而弹跳出自己体长100余倍的距离，不偏不倚。从准备到精准弹跳，全部动作仅在30微秒内完成，而这是靠它们的大脑和神经系统完全没法做到的。





西安交通大学  
Xi'an Jiaotong University

Systems Engineering Institute,  
Xi'an Jiaotong University,  
Xi'an ShaanXi,  
710049, P.R.China  
Phone: 86-29-82667771

# 第1章 结束

---

谢谢大家!

