

先让我们来看一段视频。

波士顿动力成立于**1990**年代初期，是从麻省理工学院走出来的一个机器人公司，于**2013**年被谷歌母公司Alphabet的X部门收购，后来于**2017**年被日本软银收购。

波士顿动力一直以来，都是代表机器人技术最高端研究。高端的研究非常烧钱，波士顿动力先后获得NASA、google、softbank的大量财力资助之后，经过多次易手，今年被韩国现代汽车集团收购，持有其约80%的股权。现代公司也生产工业机器人，适合工厂使用，可能会催促波士顿动力公司朝更适用的市场角度出发，影响其未来的发展。

这段视频是今年**10**月份刚发布的，机器人组团跳男团舞的新视频，表演的机器人包括Atlas机器人和Spot机器狗。从视频中可以看出，Spot和Atlas机器人联动跳起了男团**BTS**的舞蹈，不论是蹦跳、走位，队形丝毫没有偏差，动作可以说是整齐划一。<https://www.robot-china.com/news/202210/18/74614.html>



# 机器人原理与应用

Principles and Applications of Robotics

**Instructor:** Dr. 闵华松(Huasong Min). Professor

**Office Location:** 武钢楼1110(Room No. 1110, WUGANG Building)

**Class venue:** Room No. F4201

**Email:** [mhuasong@wust.edu.cn](mailto:mhuasong@wust.edu.cn)

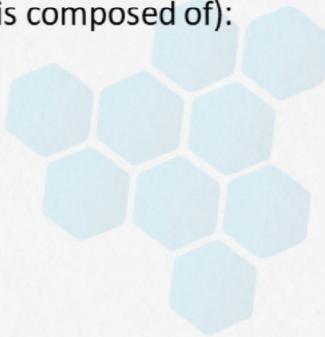
**Website:** <https://github.com/mhuasong/Basics-of-Robotics-Theory-and-Technology>

**Mobile:**

## Grading policy

---

- ◆ 平时考勤与作业(Homework) – 10%
- ◆ 分组实验(Lab group project work) – 30%
- ◆ 课程论文(Final paper) – 60% (另见课程论文要求) or 考试 (60%)
- ◆ 分组实验成绩组成(Lab group project grade is composed of):
  - Project Proposal – 5%
  - Project Progress – 5%
  - Project Report / Paper – 20%



## Textbooks

### ➤ Textbook:

- 闵华松, 魏洪兴. 《机器人理论与技术基础》机械工业出版社, 预计2024出版
- **Robot Modeling and Control, by M.W. Spong, S. Hutchinson, M. Vidyasagar (2005) (required)**  
    **机器人建模与控制 (中文译本)**
- **Springer handbook of robotics.** Siciliano, Bruno, and Oussama Khatib, eds. Springer, 2016.  
    **机器人手册 (中文译本)**
- Modelling and Control of Robot Manipulators (Second Edition), L. Sciavicco and B. Siciliano, Springer-Verlag, London, 2000.
- Robotics: Modelling Planning and Control, B. Siciliano,L. Sciavicco,L. Villani,G. Oriolo, Springer-Verlag, London, 2008.
- Modern Robotics. Mechanics, Planning and Control  
    ✓ **现代机器人大学(中文译本)**



# CONTENTS

The course is divided into eight modules covering the following areas:

-  **绪论**  
Introduction and Conceptual Problems
-  **机器人系统分析基础**  
System Model of Robot
-  **运动学**  
Robot Kinematics
-  **动力学**  
Robot Dynamics
-  **机器人运动规划**  
Robot Motion Planning
-  **机器人控制**  
Robot Control
-  **机器人编程语言**  
Programming Language of Robot
-  **典型机器人系统的设计与实现**  
Design and Implementation of Robot System

This is an introductory of robotics course, containing both fundamental as well as some more advanced concepts. It presents a broad overview of robotics with focus on manipulators and mobile robots, and includes robot kinematics, dynamics, planning and control, programming language.

The course is divided between the following areas:

- Robotics Introduction
- System Model of Robot
- Robot kinematics
- Robot dynamics
- Robot control
- Robot motion planning

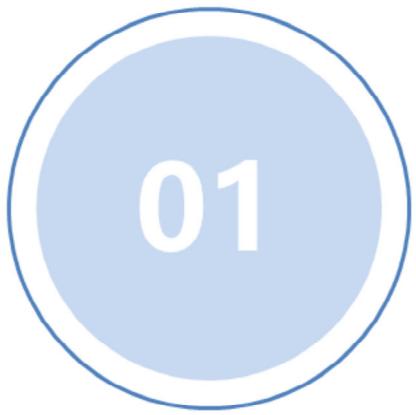
...



00

## 绪论

- 引言(Talk about robots)
- 机器人发展(Development of Robotics)
  - 历史(History of Robotics)
  - 定义(Definition of Robots)
- 机器人分类(Classification of Robots)
- 机器人的发展趋势(Trends in Robot)
- 课程概要(Course Outline)
- 机器人与未来讨论(Robot and Future)

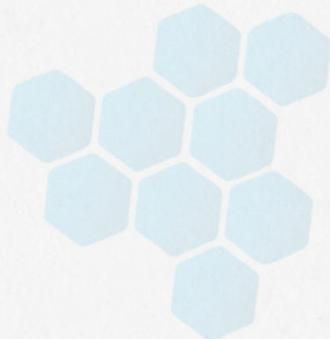


## 引言

Talk about robots, Robots in movies, What Kind of Impact Will Do Robots Make on Our Future Society?

## Talk about Robots

What is Robots?



The robot era has just started. I can guess that many of you have likely been dreaming of having a robot in your home.

Have you ever thought about owning a robot that looks almost exactly like a human?

Have you ever thought about having a robot that can wash your dishes, wash your clothes, clean your home, wash your car and even have a smart chat with you?

The idea of automata originates in the mythologies of many cultures around the world. Engineers and inventors from ancient civilizations, including Ancient China, Ancient Greece, and Ptolemaic Egypt, attempted to build self-operating machines, some resembling animals and humans. Early descriptions of automata include the artificial doves of Archytas, the artificial birds of Mozi and Lu Ban, a "speaking" automaton by Hero of Alexandria, a washstand automaton by Philo of Byzantium, and a human automaton described in the Lie Zi.

## 你们最初从哪里了解机器人？

Robots in movies



铁臂阿童木

Astro Boy was the robot replacement for Dr. Tenma's dead son—rejected when Tenma realized he wouldn't be the same.



变形金刚

Transformers (Japanese: トランスフォーマー Hepburn: Toransufōmā) is a media franchise produced by American toy company Hasbro and Japanese toy company Takara Tomy.



哆啦A梦

Doraemon (Japanese: ドラえもん) is a Japanese manga series written and illustrated by Fujiko F. Fujio.



瓦力

WALL-E is a 2008 American computer-animated science-fiction romance film produced by Pixar Animation Studios and released by Walt Disney Pictures.

The hero of early Japanese Manga became an animated TV show in 1963, and a CGI animated movie in 2009. Living in a future world where robots and humans coexist, Astro Boy was the robot replacement for Dr. Tenma's dead son—rejected when Tenma realized he wouldn't be the same.

Transformers (Japanese: トランスフォーマー Hepburn: Toransufōmā) is a media franchise produced by American toy company Hasbro and Japanese toy company Takara Tomy. Initially a line of transforming toys rebranded from Takara's Diaclone and Microman toy lines, the franchise began in 1984 with the Transformers toy line, and centers on factions of self-configuring modular extraterrestrial robotic lifeforms (often the Autobots and the Decepticons) in an endless civil war for dominance or eventual peace. In its history, the Transformers robot superhero franchise has expanded to encompass comic books, animation, video games and films.

Doraemon (Japanese: ドラえもん) is a Japanese manga series written and illustrated by Fujiko F. Fujio. The series has also been adapted into a successful anime series and media franchise. The story revolves around a robotic cat named Doraemon, who travels back in time from the 22nd century to aid a pre-teen boy named Nobita Nobi (野比のび太 Nobi Nobita).

WALL-E (stylized with an interpunct as WALL·E) is a 2008 American computer-animated science-fiction romance film produced by Pixar Animation Studios and

released by Walt Disney Pictures.

*WALL-E* follows a solitary robot on a future, [uninhabitable](#), deserted Earth, left to clean up garbage. However, he is visited by a probe sent by the starship *Axiom*, a robot called EVE, with whom he falls in love and pursues across the galaxy.

## 机器人对我们的社会会带来什么影响？

What Kind of Impact Will Do Robots Make on Our Future Society?



闪亮的明珠 or 灭顶之灾



Come into coexistence?

共融机器人 (Coexisting-Cooperative-Cognitive Robot, Tri-Co Robot)

Looking at the long history of human civilization, we can see that the robot is a shining pearl of all creation and invention. How to integrate human wisdom with machines has become a kind of human dream of surpassing ourselves.

In the 21st century, the development of science and technology brought about a new round of major changes. With the advancement of science and technology, human civilization will enter a completely new era of intelligence and the robot will even became synonymous with science and technology.

What Kind of Impact Will Do Robots Make on Our Future Society?

纵观人类文明漫长的发展历史，我们可以发现，机器人是所有创造和发明中一颗闪亮的明珠。如何将人类的智慧与机器融为一体，成为了人类超越自我的一种梦想。

二十一世纪，科学技术的发展，带来了新一轮的重大变革，人类文明将伴随科技创新，进入全新的智能时代，机器人甚至成为了科技的代名词。未来机器人对人类社会的影响是有益还是“灭顶之灾”，需要我们广大科技工作者和从事教育的人员深入探索研究。历史的车轮滚滚向前，我们唯有跟上时代发展的步伐，才能推动人类文明朝着正确的道路前进。



## 机器人的发展

Development of Robotics

History of Robotics

Definition of Robots

## 人类发明机器人的起源

Origin of Robotics

History of Robotics



木牛流马?

The wooden ox (木牛流馬; lit. wooden ox and flowing horse) was created by Zhuge Liang while he served Shu Han.



记里鼓车

This is "guide" and "remember drum in car". "Guide" is also called "southward pointing cart "



写字机器人

Three doll automata built between 1768 and 1774 by Pierre Jaquet-Droz, his son Henri-Louis, and Jean-Frédéric Leschot: the musician, the draughtsman and the writer.

The wooden ox (木牛流馬; lit. wooden ox and flowing horse) was created by Zhuge Liang while he served Shu Han. It was a thought to be either a mechanical, walking replica of an ox whose main purpose was to carry supplies such as grain to an army that was running low on supplies, or a sort of wheelbarrow that had 2 booms on which it was pulled (this was later reversed with the "gliding horse").

that is "guide" and "remember drum in car". "Guide" is also called "southward pointing cart "

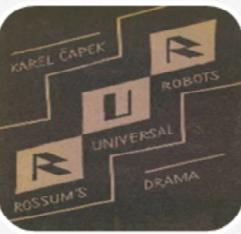
人类长期以来有一个愿望，那就是创造出一种像人一样的机器来代替人类进行各种工作，这样的想法自古有之，纵观中外古籍，均有不少这方面的记载。指南车、记里鼓车是经过确切考证的中国古代发明。指南车，又称司南车，是一种用来辨认方向的仪器；记里鼓车（见图1.1）是一种用于计算道路里程的车，由“记道车”发展而来。有关记里鼓车的文字记载最早见于《晋书·舆服志》：“记里鼓车，驾四。形制如司南。其中有木人执槌向鼓，行一里则打一槌。”。在中国古代历朝历代的史书记载中，包括东汉时期（公元25-220年）发明地动仪的科学家张衡，三国时代的机械发明家马钧（公元235年），刘宋时期的科学家祖冲之（公元477年）等，都有制成这种具有机器人雏形自动机械的描述。公元1759年左右，人类社会开始了第一次工业和科学革命，这场生产与科技革命一直持续到1830年至1840年，在这段时间里，人类生产逐渐转向新的制造过程，出现了以机器取代人力、兽力的趋势，以大规模的工厂生产取代个体工场。

手工生产。由于机器的发明及运用成为了这个时代的标志，因此[历史学家](#)称这个时代为机器时代（the Age of Machines）。其中，瑞士钟表匠德罗斯父子三人设计制造的三个像真人一样大小的写字偶人（见图1.2）、绘图偶人、弹风琴偶人（公元1768-1774年），具备了一些机器人的雏形。这些中外有文献记载与考证的发明，可以看做是人类发明机器人的起源。

## 机器人的历史

History of Robotics

Robota



卡雷尔·恰佩克Karel Čapek

'Robot' was first applied as a term for artificial automata in a 1920 play R.U.R. by the Czech writer, Karel Čapek. The word 'robot' itself was not new, having been in Slavic language as **robota** (forced laborer), a term which classified those peasants obligated to compulsory service under the feudal system widespread in 19th century Europe.

History of Robotics

Robotics



艾萨克·阿西莫夫Isaac Asimov

The term 'robotics' refers to the study and use of robots. The term was coined and first used by the Russian-born American scientist and writer Isaac Asimov (born Jan. 2, 1920, died Apr. 6, 1992). The word 'robotics' was first used in Runaround, a short story published in 1942. I, Robot, a collection of several of these stories, was published in 1950. Asimov also proposed his three "Laws of Robotics", and he later added a 'zeroth law'.

'Robot' was first applied as a term for artificial automata in a 1920 play R.U.R. by the Czech writer, Karel Čapek. However, Josef Čapek was named by his brother Karel as the true inventor of the term robot. The word 'robot' itself was not new, having been in Slavic language as **robota** (forced laborer), a term which classified those peasants obligated to compulsory service under the feudal system widespread in 19th century Europe. Čapek's fictional story postulated the technological creation of artificial human bodies without souls, and the old theme of the feudal robota class eloquently fit the imagination of a new class of manufactured, artificial workers.

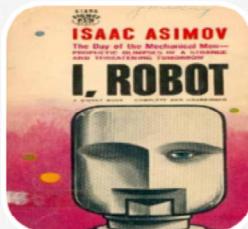
“机器人”一词，最早出现在公元1920年捷克剧作家卡雷尔·恰佩克(Karel Čapek)的幻想情节剧《罗索姆的万能机器人》中，斯洛伐克语原文为“Robota”，意指“苦工”，后来成为西文中通行的“Robot”。中文翻译为“机器人”，意为可以代替人工作的自动控制机器。

“机器人生学（Robotics）”一词也是由作家创造的，俄罗斯出生的美国科幻小说作家艾萨克·阿西莫夫(Isaac Asimov)最早在1942年的短篇小说《转圈圈》(Runaround)中使用了这个词。

## 机器人三定律

History of Robotics

Isaac Asimov's "Three Laws of Robotics"



### I, Robot

I, Robot is a fixup of science fiction short stories or essays by American writer Isaac Asimov.

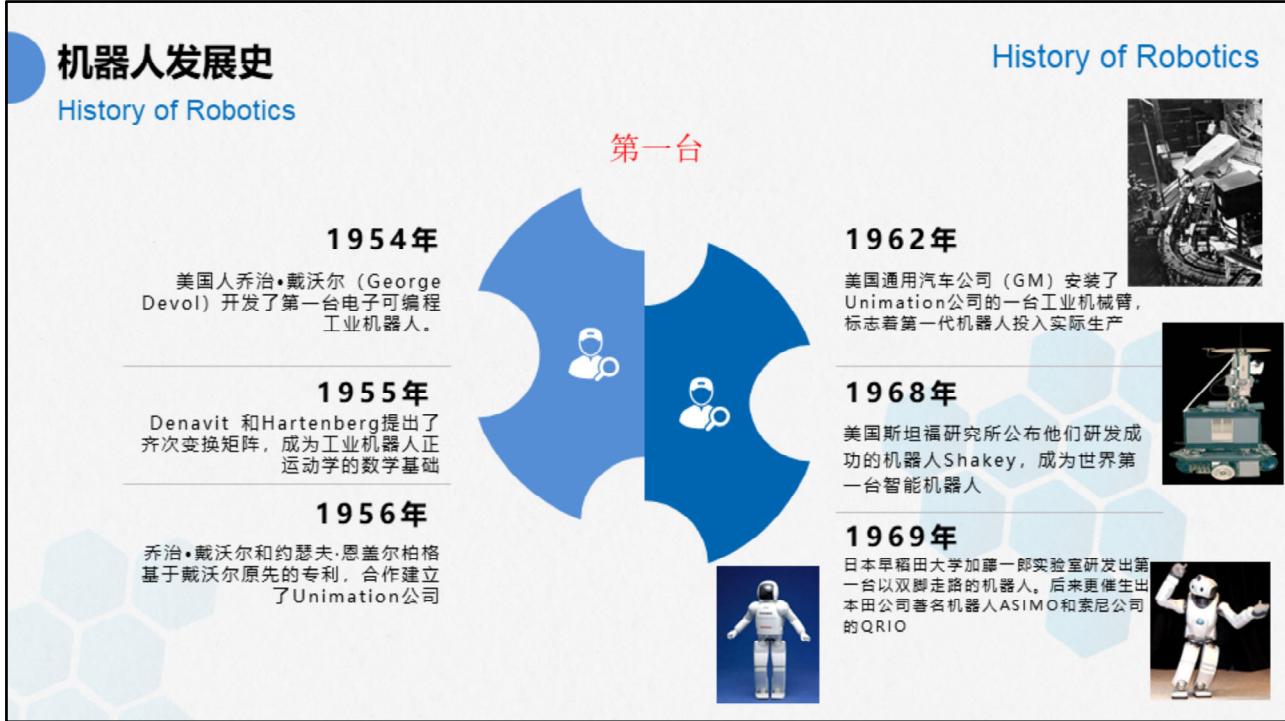
1. First Law - a robot may not injure a human being, or, through inaction, allow a human being to come to harm 机器人不应伤害人类
2. Second Law - a robot must obey the orders given it by human beings except where such orders would conflict with the First Law 机器人应遵守人类的命令，与第一条违背的命令除外
3. Third Law - a robot must protect its own existence as long as such protection does not conflict with the First or Second Laws 机器人应能保护自己，与第一、二条相抵触者除外

The stories originally appeared in the American magazines Super Science Stories and Astounding Science Fiction between 1940 and 1950 and were then compiled into a book for stand-alone publication by Gnome Press in 1950, in an initial edition of 5,000 copies. The stories are woven together by a framing narrative in which the fictional Dr. Susan Calvin tells each story to a reporter (who serves as the narrator) in the 21st century. Although the stories can be read separately, they share a theme of the interaction of humans, robots, and morality, and when combined they tell a larger story of Asimov's fictional history of robotics.

1950年，[艾萨克·阿西莫夫](#)在小说《我，机器人》（*I, Robots*）中提出了著名的“机器人三定律”，在程序上规定所有机器人必须遵守：

- (1) 第一法则：机器人不得伤害人类，且确保人类不受伤害；
- (2) 第二法则：在不违背第一法则的前提下，机器人必须服从人类的命令；
- (3) 第三法则：在不违背第一及第二法则的前提下，机器人必须保护自己。

制定“机器人三定律”的目的是为了保护人类不受伤害，但阿西莫夫在小说中也探讨了在不违反三定律的前提下伤害人类的可能性，甚至在小说中不断地挑战这三定律，在看起来完美的定律中找到许多漏洞。机器人发展到现在，“三定律”成为了公认的[机械人伦理学](#)基础。



美国万能自动化公司 (Unimation) 的第一台机器人 Unimate 在美国通用汽车公司投入使用，标志着第一代机器人的诞生。

The first Unimate robot is installed in a Trenton, NJ General Motors plant to tend a die casting machine. The key was the reprogrammability and retooling of the machine to perform different tasks. The Unimate robot was an innovative mechanical design based on a multi-degree of freedom cantilever beam. The beam flexibility presented challenges for control. Hydraulic actuation was eventually used to alleviate precision problems.

以下列举了机器人发展史上的一些标志性事件：

1954年，美国人乔治·戴沃尔 (George Devol) 开发了第一台电子可编程工业机器人；

1955年，Denavit 和Hartenberg提出了齐次变换矩阵，成为工业机器人正运动学的数学基础；

1956年，乔治·戴沃尔和约瑟夫·恩盖尔柏格基于戴沃尔原先的专利，合作建立了Unimation公司；

1962年，美国通用汽车公司 (GM) 安装了Unimation公司的一台工业机械臂，标志着第一代机器人投入实际生产；

1968年美国斯坦福研究所公布他们研发成功的机器人Shakey，成为世界第一台智能机器人。它带有视觉传感器，能根据人的指令发现并抓取积木，不过控制它的计算机有一个房间那么大。

1969年日本早稻田大学加藤一郎实验室研发出第一台以双脚走路的机器人。后

来更催生出本田公司著名机器人ASIMO和索尼公司的QRIO。

## 机器人发展史

History of Robotics

History of Robotics

### 第一代工业机器人

1972



直角坐标机器人

1973

机器人编程语言VAL

1978

PUMA

IBM公司开发出直角坐标  
机器人

1973年，Cincinnati Milacron公  
司将小型计算机应用于机器人设计，  
诞生了机器人T3。

1973年，斯坦福大学在其Vicarm  
小型研究机器人上开发了机器人  
编程语言VAL，其后在1977年被  
Unimation公司购买，成为了第一  
代工业机器人语言；

1978年，第一台PUMA机  
器人在Unimation公司诞  
生

In 1978, Unimation introdu  
ced the versatile industrial  
robot called **PUMA**, for  
**Programmable Universal**  
Machine for Assembly



1972年，IBM公司开发出直角坐标机器人；

1973年，Cincinnati Milacron公司将小型计算机应用于机器人设计，诞生了机器人T3。

1973年，斯坦福大学在其Vicarm小型研究机器人上开发了机器人编程语言VAL，其后在1977年被Unimation公司购买，成为了第一代工业机器人语言；

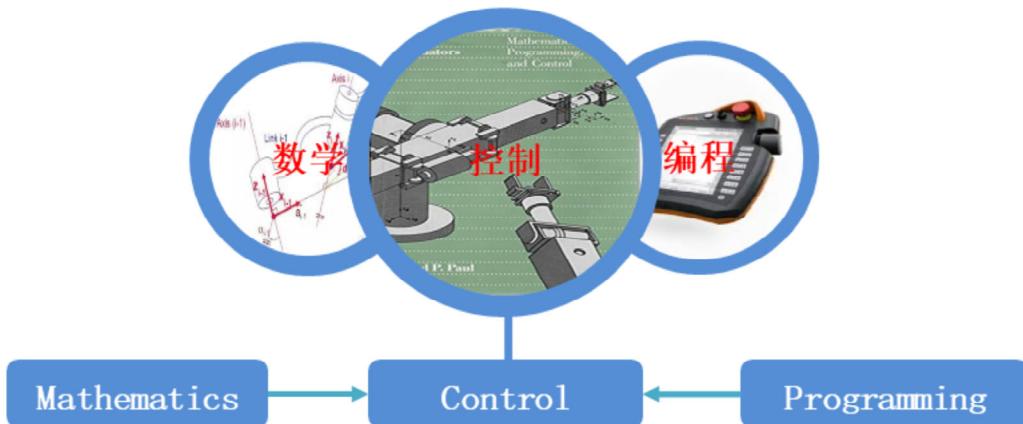
1978年，第一台PUMA机器人在Unimation公司诞生；标志着第一台可编程通用机器人的发明。

## 机器人发展史

History of Robotics

History of Robotics

学科起源



1981年，R.P.Paul出版第一本机器人学课本，《机器人操作臂的建模、编程与控制》（“Robot Manipulator: Mathematics, Programming and Control”），标志着机器人学发展成为一门独立学科的起源；

## 机器人发展史

History of Robotics

History of Robotics

第一个服务业机器人

### 1984, HelpMate

a mobile robot hospital courier

**Joseph Frederick Engelberger** (July 26, 1925 –

December 1, 2015)

–"the father of industrial robotics"



**Joseph Frederick Engelberger** (July 26, 1925 – December 1, 2015) was an American physicist, engineer and entrepreneur. Licensing the original patent awarded to inventor [George Devol](#), Engelberger developed the first [industrial robot](#) in the United States, the [Unimate](#), in the 1950s.

Finding himself jobless but with a business partner and an idea, Engelberger co-founded Unimation with Devol, creating the world's first robotics company. After observing the help for his aging parents, Engelberger saw the robotics automations could be used in the medical field.[16] In 1984, Engelberger founded Transitions Research Corporation. He introduced the HelpMate, a mobile robot hospital courier, as the flagship product of his new company. He hoped to kick-start a new industry for in-home robots, but he started in 1988 by selling his first HelpMate to Danbury Hospital, located in the same Connecticut city where his company was based. The medical robot was successful enough that the hospital ended up purchasing another, and within a decade, well over 100 hospitals worldwide operated HelpMates, whether purchased outright or rented from Engelberger's company, which he renamed HelpMate Robotics Inc.

1984年，当初和乔治·戴沃尔一起成立Unimation公司的约瑟夫·恩盖尔柏格，出售Unimation公司给西屋公司后，新成立了服务机器人公司TRC，并于1988年，推出了世界上第一个服务业机器人HelpMate；

## 机器人发展史

History of Robotics

History of Robotics

机器人进入太空探索



1997年7月4日火星探路者

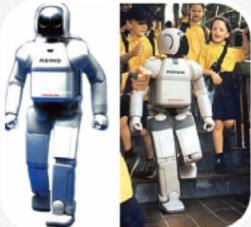
1997年7月4日，美国国家航空航天局（NASA）的“火星探路者”在火星上着陆，并释放了一个机器人（漫游越野车）以收集火星表面样品，代表了人类开发的机器人进入太空探索；

## 机器人发展史

History of Robotics

History of Robotics

二十一世纪迎来突破发展



### AIBO

1999, May, Sony builds Aibo, K9 the next generation. One of the first robots intended for the consumer market

### ASIMO

2000, Honda debuts a new humanoid robot ASIMO, the next generation of its series of humanoid robots.

### da Vinci

2000年，美国食品和药物管理局（FDA）认可了达芬奇手术系统在泌尿外科等手术的程序，代表了医疗机器人正式进入了外科临床手术应用

### Roomba

2002年，iRobot公司发布了Roomba真空保洁机器人，这款扫地机器人产品售出了600多万台，代表了服务机器人将走入千家万户。

1999, May, Sony builds Aibo, K9 the next generation. One of the first robots intended for the consumer market. It reacts on sounds and has some sort of preprogrammed behavior. It sells out within 20 minutes of going on sale.

#### • 2000

- Honda debuts a new humanoid robot ASIMO, the next generation of its series of humanoid robots.
- The Battlebots event is held in Las Vegas, Nevada.
- LEGO releases the MINDSTORMS Robotics Invention SystemTM 2.0
- October, The UN estimates that there are 742,500 industrial robots in use worldwide. More than half of these are being used in Japan.
- November 11, Sony unveils humanoid robots, dubbed Sony Dream Robots (SDR), at Robodex.
- November, Computational neurobiologist Sandro Mussa-Ivaldi, from the Northwestern University Medical School in Chicago, US, hooks up a lamprey brain to sensors in order to control a robot.

- 2001, Built by MD Robotics of Canada, the Space Station Remote Manipulator System (SSRMS) is successfully launched into orbit and begins operations to complete assembly of International Space Station.

- 2001, Sony releases the second generation of its Aibo robot dog
- 2002 , Honda's Asimo was the first robot that could walk independently with relatively smooth movements and could climb the stairs. Honda's ASIMO robot rings the opening bell at the New York Stock Exchange.
- 2002, iRobot Roomba. Roomba is a series of autonomous robotic vacuum cleaners sold by iRobot. Introduced in September 2002,Roomba features a set of sensors that enable it to perform its tasks. For instance, the Roomba is able to change direction upon encountering obstacles, to detect dirty spots on the floor, and to sense steep drops to keep it from falling down stairs.
- .....

1999年，日本索尼公司（Sony）推出的机器狗“爱宝”（AIBO）能够自由地在房间里走动，并且能够对有限的一组命令做出反应；

2000年，日本本田汽车公司（Honda Motor）出品的人形机器人阿西莫（ASIMO）走上了舞台，它身高1.3米，能够以接近人类的姿态走路和奔跑，代表两足人形行走机器人的研究取得了突破性的进展；

2000年，美国食品和药物管理局（FDA）认可了达芬奇手术系统在泌尿外科手术、腹腔镜一般的外科手术、妇科腹腔镜外科手术、一般的非心血管胸腔镜外科手术的儿科使用和胸腔镜辅助心切开的程序，代表了医疗机器人正式进入了外科临床手术应用；

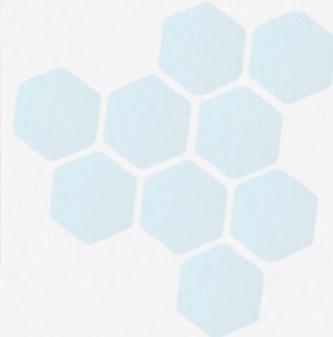
2002年，iRobot公司发布了Roomba真空保洁机器人，这款扫地机器人产品售出了600多万台，代表了服务机器人将走入千家万户；

## 机器人发展史

History of Robotics

History of Robotics

Amazing



2004年 Spirit Rover

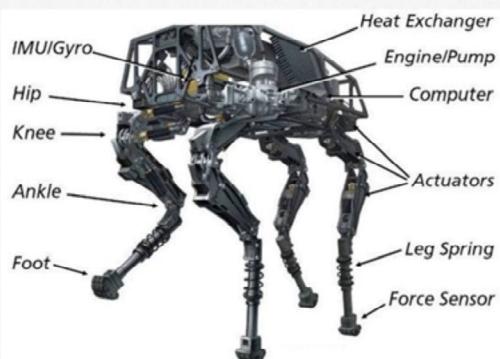
2004年，美国国家航空航天局（NASA）的“勇气号”探测器（Spirit Rover）登陆火星，这台探测器在原先预定的90天探索任务结束后，继续运行了6年时间，总旅程超过7.7公里；

## 机器人发展史

History of Robotics

History of Robotics

Advanced



2005 BigDog



2005年，波士顿动力公司与Foster-Miller、NASA喷气推进实验室以及哈佛大学康科德野外站一起创建了“BigDog”项目，“BigDog”是一个动态稳定的四足机器人，由美国国防高等研究计划署（DARPA）资助，作为“机器骡子”来陪伴士兵在地形复杂环境下行军、驮弹药的特殊机器人项目。BigDog腿部包含各种传感器，还配备了激光陀螺仪和立体视觉系统，可以在山路、雪地、以及浅水滩轻松穿越行军，可以攀爬最大35度的斜坡，在负载340磅（约154公斤）的情况下，其行动速度为6.4km/h；

## 机器人发展史

History of Robotics

History of Robotics

模块化的提出



2006年6月，微软公司推出Microsoft Robotics Studio，机器人模块化、平台统一化的趋势越来越明显，比尔·盖茨预言，家用机器人很快将席卷全球（时间过去好几个五年计划了，这个预测还没有实现，但趋势明显）

2006.6, Microsoft founder Bill Gates wrote a feature for Scientific American titled, "A Robot in Every Home." In the same year, Microsoft founded its robotics unit and released the Microsoft Robotics Developer Studio (RDS). Microsoft's entry into the robotics industry was considered a major move from a very major player.

2006年6月，微软公司推出Microsoft Robotics Studio，机器人模块化、平台统一化的趋势越来越明显，比尔·盖茨预言，家用机器人很快将席卷全球；

## 机器人发展史

History of Robotics

History of Robotics

超强的动力学与控制



2008年3月，波士顿动力公司AlphaDog

2008年3月，波士顿动力公司发布了被称为AlphaDog的新一代BigDog视频片段，显示了BigDog在冰面地形上的行走能力，并可以在被侧踢的情况下保持平衡；



2010年1月，开源机器人操作系统ROS 1.0发布；

ROS 是机器人操作系统的意思，但它其实并不是一个操作系统。它更像一个可以用于开发机器人应用程序的软件开发工具包(SDK)：它为您提供了开发、调试、测试和最终部署机器人应用程序所需的软件、库和工具。

ROS的首要设计目标是在机器人研发领域提高代码复用率。ROS是一种分布式处理框架（又名[Nodes](#)）。这使可执行文件能被单独设计，并且在运行时松散耦合。这些过程可以封装到数据包（[Packages](#)）和[堆栈](#)（[Stacks](#)）中，以便于共享和分发。

## 机器人发展史

History of Robotics

History of Robotics

首个人形太空机器人



2011年2月24日，首个人形太空机器人“R2”（Robonaut 2）

2011年2月24日，美国“发现”号航天飞机最后一次执行飞行任务，升空前往国际空间站，并向国际空间站运送首个人形太空机器人“R2”（Robonaut 2）；

## 机器人发展史

History of Robotics

History of Robotics

### 智能机器人时代



2012年2月 LS3



Spot



2016年2月 Atlas



2016年3月 AlphaGo 4:1 Lee Sedol



2016年6月 SpotMini

2012年2月，随着DARPA的进一步支持，波士顿动力公司在BigDog的基础上，推出军事化LS3（Legged Squad Support System）机器人，展示了其在艰难地形上徒步旅行的能力，代表了多足行走机器人在军事方面进一步贴近了实际应用；2016年2月，波士顿动力公司集中了一些顶级的科学家，将它好几个先进平台的研究成果，集中在一个平台上，推出了完全人形的atlas机器人，可以直立行走，搬东西、开门、扭阀门、爬楼梯，试验人员用棒球棍，推倒它，它可以保持平衡、爬起来继续执行任务；

AlphaGo had competed against legendary Go player Mr Lee Sedol, the winner of 18 world titles, who is widely considered the greatest player of the past decade.

AlphaGo's 4-1 victory in Seoul, South Korea, on March 2016 was watched by over 200 million people worldwide. This landmark achievement was a decade ahead of its time.

2016年6月，波士顿动力公司在停止了BigDog和Spot项目后，在原来技术基础上新推出了一款能伸缩脖子、协助做家务的迷你机器狗（SpotMini）；这些先进的研究成果代表了机器人的研究走入了更高一级的智能机器人时代；



## 机器人发展史

History of Robotics



This is the world's first  
totally soft robot.

## 多学科交叉研究

2016年8月24日, Nature: The first autonomous soft robot powered only by a chemical reaction

之前所谓“软体”机器人	本文全软体机器人
被僵硬系统（电线等）挂住 携带僵硬系统（电机等） 采用“软体-硬质杂化系统”	心都软了，萌萌哒

**A** **B** **C** **D** **E** **F** **G** **H** **Aa** **Bb** **Cc** **Dd** **Ee** **Ff** **Gg** **Hh**

From : Proc. Natl Acad. Sci. USA 108, 20400–20403 (2011).

**I** **J** **K** **L** **M** **N** **O** **P** **Q** **R** **S** **T** **U** **V** **W** **X** **Y** **Z**

From : Nature 536, 451–455 (2016).

## History of Robotics



Whitesides



Jennifer A. Lewis Robert J. Wood

2016年8月24日,《Nature》在线发表了一篇letter,题为“An integrated design and fabrication strategy for entirely soft, autonomous robots”,直译为“用于全软体自主机器人的集成设计和制备策略”。

软体机器人这样的一个创新研究,给研究人员提出了非常多的挑战,其中最重要的是需要各领域科学家、研究人员相互协作,实现机器人与人、环境的交互与共融,达到高度的智能。

The first autonomous soft robot powered only by a chemical reaction

*The 3D-printed "octobot" is powered by oxygen released from hydrogen peroxide and controlled by microfluidics --- no electronics*

The first autonomous, untethered, entirely soft 3-D-printed robot (powered only by a chemical reaction) has been demonstrated by a team of Harvard University researchers and described in the journal [Nature](#) 2016,8,24.

<http://www.kurzweilai.net/the-first-autonomous-soft-robot-powered-only-by-a-chemical-reaction>

## 机器人发展史

History of Robotics

History of Robotics

### 仿生机器人



2017年  
OctopusGripper

2017年10月，机器人索菲亚被授予沙特公民身份，成为全球首个获得公民身份的机器人

2017年，Atlas 可以轻松跳跃，甚至帅气的完成“后空翻”

2018年，Atlas完成单腿“三连跳箱子”，“跑酷”动作十分流畅，让人大呼不可思议。

2017年德国专门从事仿生机器人研究与制造的Festo公司推出章鱼触手、象鼻、人类手臂，其中章鱼触手（OctopusGripper）项目是Festo与北京航空航天大学合作的成果，这些成果代表了仿生机器人逐步进入到实用阶段。

2017年10月，在沙特阿拉伯首都利雅得举行的“未来投资倡议”大会上，机器人索菲亚被授予沙特公民身份，她也因此成为全球首个获得公民身份的机器人。图为2018年7月10日，在香港会展中心，机器人索菲亚亮相主舞台。

## 机器人发展史

History of Robotics

History of Robotics

人形机器人

2019年



德国宇航中心飞机零件装配工人形机器人Toro，特长：它的手臂配备了铰接式指针，能够与环境进行多种交互，但在灵巧操作方面则受到一些限制。

美国Agility Robotics人形快递小哥机器人Digit，特长：它可以搬动重达18公斤的箱子，并能与其他同类机器人协同工作。

美国HMI公司水下检修工Aquanaut，特长：锂电池驱动，可切换鱼雷型和操纵型两种形态，最远续航单200公里（108海里），主要运用于较高难度的水下作业，如设备检查、维修的工作。

世界上最知名的人形机器人Atlas，具有高灵活度和自主性，都已经可以走独木桥，判断复杂地形，还能完成倒立、360度翻转、旋转等多项体操动作

2019年，德国宇航中心飞机零件装配工人形机器人Toro，特长：它的手臂配备了铰接式指针，能够与环境进行多种交互，但在灵巧操作方面则受到一些限制。美国Agility Robotics人形快递小哥机器人Digit，特长：它可以搬动重达18公斤的箱子，并能与其他同类机器人协同工作，或能广泛应用于物流、仓库远程控制和工业检测等领域。

美国HMI（休斯顿机甲公司）水下检修工Aquanaut，特长：锂电池驱动，可切换鱼雷型和操纵型两种形态，最远续航单200公里（108海里），主要运用于较高难度的水下作业，如设备检查、维修的工作。

比较有意思的是这一年，几款有代表性的先进机器人基本集中在双臂协调操作上面，而世界上最知名的人形机器人Atlas，具有高灵活度和自主性，都已经可以走独木桥，判断复杂地形，还能完成倒立、360度翻转、旋转等多项体操动作。可他这一年没有找到“工作”。

## 机器人发展史

History of Robotics

History of Robotics

2020年



由于冠状病毒的影响，东京BBT大学不允许举行传统的毕业典礼，他们使用遥控机器人来举行虚拟毕业典礼。学生们也被称为化身机器人，他们通过视频会议工具zoom在移动设备上显示自己的面部表情。

建筑公司foster+partners一直在使用波士顿动力spot机器狗作为一种工具来捕捉和监控施工现场施工进度，探索机器人在建筑工地等动态环境中的潜力，定期捕捉变化，并能够轻松地将“设计”模型与“竣工”现实进行比较。

波士顿动力出动整个机器人阵容：类人机器人Atlas、狗形机器人Spot、Handle全部汇聚在一起，演出了一套协调的舞蹈动作，配乐为The Contours的Do You Love Me。

2020年，由于新冠病毒在全球的影响，机器人的创新产品也受到一定影响，这里只能推出老面孔的更新发展。

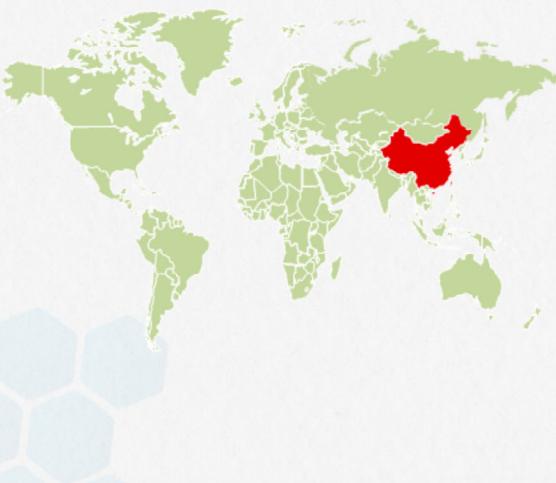
2020年，由于冠状病毒的影响，东京BBT大学不允许举行传统的毕业典礼，他们使用遥控机器人来举行虚拟毕业典礼。学生们也被称为化身机器人，他们通过视频会议工具zoom在移动设备上显示自己的面部表情。

建筑公司foster+partners一直在使用“spot”（波士顿动力公司的“敏捷机器狗”）作为一种工具来捕捉和监控施工现场施工进度。这两家公司一直在合作，探索机器人在建筑工地等动态环境中的潜力，定期捕捉变化，并能够轻松地将“设计”模型与“竣工”现实进行比较。

波士顿动力公司最近被韩国现代以11亿美元的价格从软银手中收购，这是它七年内第三次易主。波士顿动力出动整个机器人阵容：类人机器人Atlas、狗形机器人Spot、Handle全部汇聚在一起，演出了一套协调的舞蹈动作，配乐为The Contours的Do You Love Me。

## 机器人的定义

Definition of Robotics



### 不同国家、组织的定义

美国机器人协会（RIA）的定义：一种用于移动各种材料、零件、工具和专用装置的、用可重复编制的程序动作来执行各种任务的多功能操作机（manipulator）。

日本工业机器人协会（JIRA）给出的定义：一种带有存储器件和末端操作器的通用机械，它能够通过自动化的动作替代人类劳动。

国际标准化组织(ISO)的定义。“机器人是一种自动的、位置可控的、具有编程能力的多功能机械手，这种机械手具有几个轴，能够借助于可编程序操作来处理各种材料、零件、工具和专用装置，以执行种种任务”。

随着机器人技术的发展，我国也面临讨论和制订关于机器人技术的各项标准问题，其中包括对机器人的定义。蒋新松院士曾建议把机器人定义为“一种拟人功能的机电电子装置” (a mechantronic device to imitate some human functions)。

The Robotic Industries Association (RIA) of U.S.A defines *robot* as follows: “A robot is a reprogrammable, multifunctional manipulator designed to move material, parts, tools or specialized devices through variable programmed motions for the performance of a variety of tasks.”

This definition underscored the reprogrammability of robots, but it also just deals with manipulators and excludes mobile robots.

Close relationship with the concept of “**automation**”, the discipline that implements principles of control in specialized hardware. Three levels of implementation:

Rigid automation – factory context oriented to the mass manufacturing of products of the same type. Uses fixed operational sequences that cannot be altered.

Programmable automation – factory context oriented to low-medium batches of different types of products. A programmable system allows for changing of manufacturing sequences.

Flexible automation – evolution of programmable automation by allowing the quick reconfiguration and reprogramming of the sequence of operation. Flexible automation is often implemented as “**Flexible robotic workcells**” (Decelle 1988, Pugh 1983).

Reprogramming/retooling the robots changes the functionality of the workcell.

美国机器人协会（RIA）的定义：一种用于移动各种材料、零件、工具和专用装置的、用可重复编制的程序动作来执行各种任务的多功能操作机（manipulator）。

日本工业机器人协会（JIRA）给出的定义：一种带有存储器件和末端操作器的通用机械，它能够通过自动化的动作替代人类劳动。

➤ JIRA's chiefly concerned with industrial robots but has created a robot classification system.

- Manipulators (Manual, Sequential, Programmable)
- Numerically Controlled
- Sensate
- Adaptive
- Smart
- Intelligent mechantronic

-国际标准化组织(ISO)的定义。“机器人是一种自动的、位置可控的、具有编程能力的多功能机械手，这种机械手具有几个轴，能够借助于可编程序操作来处理各种材料、零件、工具和专用装置，以执行种种任务”。

**Manipulating industrial robot as defined in ISO 8373.** An automatically controlled, reprogrammable, multipurpose, manipulator programmable in three or more axes, which may be either fixed in place or mobile for use in industrial automation applications.

-关于我国机器人的定义。随着机器人技术的发展，我国也面临讨论和制订关于机器人技术的各项标准问题，其中包括对机器人的定义。蒋新松院士曾建议把机器人定义为“一种拟人功能的机械电子装置”(a mechantronic device to imitate some human functions)。

随着人工智能的发展，有关机器人学的描述，更多体现出现代计算机信息处理系统的特征。例如在彼得·诺维格与斯图尔特·罗素合著的《人工智能：一种现代的方法》中的描述：机器人学是研究机器人的设计、制造、运作和应用，以及控制它们的计算机系统、传感反馈和信息处理的一门学科。

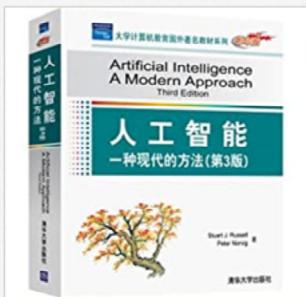
伴随理论与技术的发展，有关机器人的定义也会不断更新。目前来看，机器人在包括工业机器人、医疗机器人、服务机器人、军用机器人以及社会发展与科学的研究等方面不断取得突破，涉及到材料、机构、感知、仿生、智能、微型、网络、交互等方面的交叉研究。机器人的研究综合了多学科的发展成果，特别是随着智能机器人的发展，它的研究和应用领域不断扩大，需要我们重新认识机器人相关理论与技术对人类日常生活及未来的作用和影响。

## 机器人的定义

Definition of Robotics

人工智能三要素

感知、规划、执行



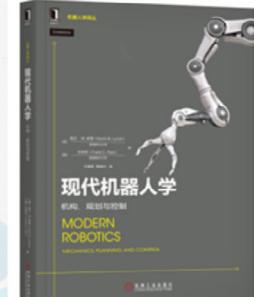
## 机器人学权威定义



Definition of Robotics

机器人三要素

感知、决策、行动

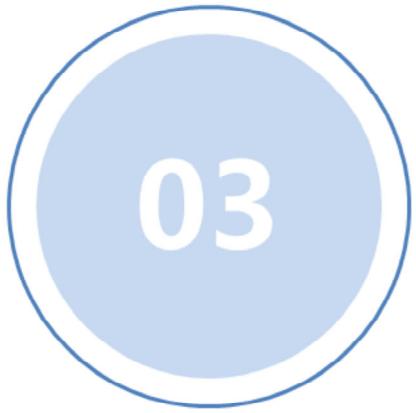


机器人学是研究机器人的设计、制造、运作和应用，以及控制它们的计算机系统、传感反馈和信息处理的一门学科。而机器人则是执行任务的物理代理。根据机器人要执行的任务，机器人设计上会有诸如腿、轮子、关节和末端执行器（End Effector）。机器人还配备了传感器，可以让它们感知环境。现代机器人采用多种传感器，包括用于测量环境的摄像头和激光器，以及用于测量机器人自身运动的陀螺仪和加速度计等。

人工智能的三要素为：感知、规划、执行。对应到智能机器人，一样需要这三个要素。

但如果我们将AI和机器人实体联系起来，这三个要素可以非严格地对应到机器人的脑、手（腿）、眼。所谓眼，及对应感知，脑用来思考，做出决策，手和腿用来做出行动。

伴随机器人相关理论研究与技术的发展，机器人以及机器人学的定义不断更新，特别是随着人工智能的发展，有关机器人学的描述，更多体现出现代计算机信息处理系统的特征。在斯图尔特·罗素与彼得·诺维格1995年合著的《人工智能：一种现代的方法》第一版中，给出了机器人学较为明确的学科定义，最开始的定义主要体现出“感知(sensing)”和“执行(effecting)”的基本思想，并讨论了机器人体系结构：经典的体系结构以及基于行为的分层结构。该书在2003年、2009年以及2020年三次再版，被全球1400多所大学使用，被称为“世界上最流行的人工智能教科书”。融入人工智能的基本要素之后，机器人学被定义为：机器人学是研究机器人的设计、制造、运作和应用，以及控制它们的计算机系统、传感反馈和信息处理的一门学科。而机器人则是执行任务的物理代理。根据机器人要执行的任务，机器人设计上会有诸如腿、轮子、关节和末端执行器（end effector）。机器人还配备了传感器，可以让它们感知环境。现代机器人采用多种传感器，包括用于测量环境的摄像头和激光器，以及用于测量机器人自身运动的陀螺仪和加速度计等。



## 机器人分类

机器人的分类可以从驱动方式、用途、机构形式、控制方式、智能程度等方面进行。

## 机器人分类

Classification of Robots



### 驱动方式

液压机器人、  
气压机器人、  
电动机器人等。

### 用途

工业机器人、医  
疗机器人、服务  
机器人、军用机  
器人以及社会发  
展与科学研究机  
器人等。

### 机构形式

分为串联机器  
人(串联机构)和  
并联机器人(并  
联机构)。

### 控制方式

可分为非伺服机器人和  
伺服控制机器人两种。  
或者根据是否采用传感  
器反馈信息，分为开环  
控制结构和闭环控制结  
构。

### 交互推理能力

分为自动、半  
自主、全自主  
的三种形式。

机器人如果按驱动方式可分为：液压机器人、气压机器人、电动机器人等。如果按用途可分为：工业机器人、医疗机器人、服务机器人、军用机器人以及社会发展与科学的研究机器人等。这样的一些分类法，在机器人发展的初期，功能、形式单一的情况下，有助于人们对机器人在感官上能快速进行区分。

在电子计算机被发明以前，机器人的概念就已经出现，这个阶段机器人的研究主要集中在机构学方面，机器人可以根据被采用的机构形式（串联机构、并联机构）被分为串联机器人和并联机器人。随着电子计算机的出现，这个阶段的机器人采用电子计算机去控制，机器人的研究更多融入了控制论的思想，机器人根据控制方式可分为非伺服机器人和伺服控制机器人两种。如果机器人没有采用传感器反馈信息，则该机器人可以采用开环控制结构；如果机器人具备信息反馈特征，则该机器人可以采用闭环控制结构。

机器人发展到现在，已经进入智能机器人的时代，机器人理论与技术的发展离不开人工智能的支撑。这个时候的机器人根据其与环境的交互与推理能力，又可分为自动（Automatic）、半自主（Semi-autonomous）、全自主（Autonomous）的三种形式。

自20世纪60年代初，美国Unimation公司研制成功“Unimate”机器人以来，经过五十多年的研究，机器人技术并没有像PC（个人电脑：Personal Computer）技术那样得到突飞猛进的发展和应用。传统意义上我们称为机器人的设备，大多还只是属于自动机器的范畴，离机器人的目标“智能”，还有相当大的差距。将机器人按照“智能”从低到高划分，大致又可以分为示教再现(工业)机器人、具备一定感知功能与自适应能力的（遥控）机器人以及智能化机器人三种类型。第一种类型的机器人具有简单的记忆和存储能力，称为可编程示教再现机器人。

这种机器人采用示教再现(Teaching/Playback)方式（简称T/P方式），能够按照事先编好的程序进行重复性的工作，具有一定的通用性和灵活性，但由于它对外界环境的变化缺乏感知功能，因而它不能根据外界环境的变化而改变自身的运动功能和作业能力。

第二种类型是具有一定感知功能和自适应能力的离线编程机器人。这类机器人能够使用传感器技术获取作业环境和操作对象的简单信息，通过计算机处理、分析做出一定的推理，对动作进行反馈控制，以柔性的方式适应环境的需要，表现出较低级的智能。

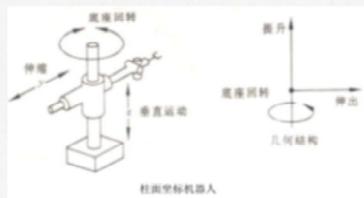
第三种类型是智能机器人。智能机器人指具有多种感知功能，能将获取的多种信息进行融合，可以进行复杂的逻辑思维，判断决策，具有很强的自适应能力、学习能力、自治能力的智能机构。

## 机器人分类

Classification of Robots

Classified by Geometry Structure

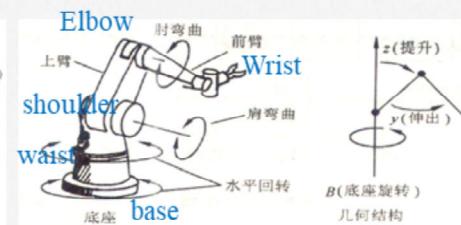
Industry robots



柱面坐标机器人(Cylindrical)



球面坐标机器人(Spherical)



关节式球面坐标机器人(Articulated)

Cylindrical: First joint is revolute (rotation) Next two joints are prismatic (RPP)

Spherical: First two joints are revolute (rotation) Last joint is prismatic (RRP)

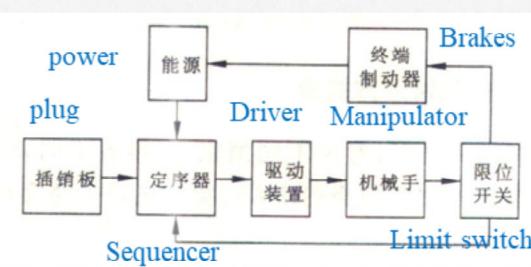
Articulated, 也称通用串联机器人

## 机器人分类

Classification of Robots

Classified by Control Mode

Industry robots



非伺服机器人 (Non-servo robots)

Work in accordance with pre-programmed procedures



伺服控制机器人 (servo-controlled robots) :

A servo-controlled robot is driven by servo mechanisms. Servo motors are driven by signals rather than by straight power-line voltage and current.

Non-servo-controlled robots are usually controlled by limit switches or by banging into stops at each side of its swing. They operate on very simple switching or limiting of their arms. Figure 5-6 is an example of a non-servo-controlled robot, sometimes referred to as a bang-bang robot. Non-servo-controlled robots are classified into three types—electric, hydraulic, and pneumatic—based on the means used to drive their manipulators.

伺服控制机器人比非伺服机器人有更强的工作能力，因而价格较贵，但在某些情况下不如简单的机器人可靠。伺服系统的被控制量（输出）可为机器人端部执行装置（或工具）的位置、速度、加速度和力等。通过反馈传感器取得的反馈信号与来自给定装置（如给定电位器）的综合信号，用比较器加以比较后，得到误差信号，经过放大后用以激发机器人的驱动装置，进而带动末端执行装置以一定规律运动，到达规定的位置或速度等。显然，这就是一个反馈控制系统。

A servo-controlled robot is driven by servo mechanisms. Servo motors are driven by signals rather than by straight power-line voltage and current. This means that the motor's driving signal is a function of the difference between command position and/or rate and measured actual position and/or rate. The servo-controlled robot is capable of stopping at or moving through a practically unlimited number of points in executing a programmed trajectory. In other words, signals are produced that cause the robot to know where it is and where it is going. This is a more sophisticated system than that of a non-servo-controlled robot. A servo-controlled robot can do more things than a non-servo-controlled type.

## 机器人分类

Classification of Robots

### Classified by Input Message of Controller

日本工业机器人协会（JIRA）分类法

- 手动操作手
- 定序机器人
- 变序机器人
- 复演式机器人
- 程控机器人
- 智能机器人

■美国机器人协会（RIA）分类法  
把JIRA分类法中的后四种当作机器人。

JIRA: Japanese Industrial Robot Association

RIA: Robotic Industries Association (RIA) of U.S.A



- Class 1: Manual Handling Device
- Class2: Fixed-Sequence Robot
- Class3: Variable Sequence Robot
- Class4: Playback Robot
- Class5: Numerical Control Robot
- Class6: Intelligent Robot

## 机器人分类

Classification of Robots

Classified by Input Message of Controller

法国工业机器人协会（French Association of Industrial Robotics, AFRI）分类法

- A型：手控或遥控加工设备。
- B型：具有预编工作周期的自动加工设备。
- C型：程序可编和伺服机器人，具有点位或连续路径轨迹，称为第一代机器人。
- D型：能获取一定的环境数据，称为第二代机器人。

AFR: The Association Francaise de Robotique

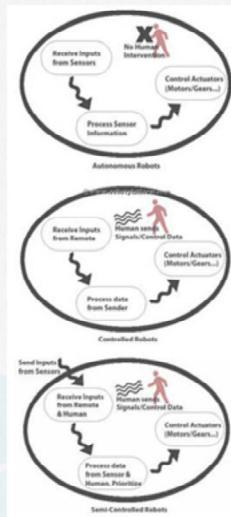


AFR: The Association Francaise de Robotique

- Type A: Handling Devices with manual control
- Type B: Automatic Handling Devices with predetermined cycles
- Type C: Programmable, servo controlled robots
- Type D: Type C with interactive with the environment

## 机器人分类

### Classification of Robots



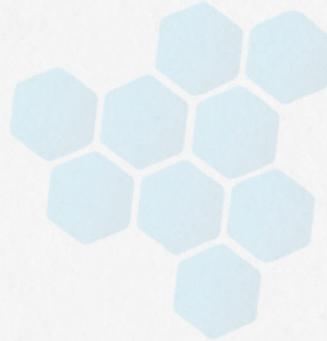
Classified by Controlled way

### Autonomous robots

### Remote Controlled Robots

### Semi-Autonomous robots

### Virtual robots



There are many different kinds of robots available, each created for different tasks and behavior, and works on different platforms. Robots can be built for entertainment, knowledge, competitions, domestic help, industrial uses, surveillance etc. Each of these robots can be classified as autonomous, controlled or semi-autonomous based on the way they are controlled.

Autonomous robots as the name suggests, works autonomously. They have preprogrammed directions and are given a choice of taking decisions based on situations and surroundings. An Artificially intelligent robot can even learn certain behaviors and act accordingly (Artificial intelligence in itself is a very vast topic and the reason we will not delve into it now).

Autonomous robots can be as simple as an obstacle avoider, or as complex as an intellectual humanoid. However due to restrictions in power, size and intelligence these robots may not be good enough to perform complicated tasks.

### Controlled Robots

These are robots that require human intervention to accomplish a task. They can either be wire controlled or remote controlled that are guided to perform any kind of complicated activities. A remote controlled robot can be programmed and guided to perform dangerous and complex tasks without being on the spot.

### Semi-Autonomous robots

These robots take the best of both worlds. The intelligence built in helps them perform simple tasks and take simple decisions. For complex tasks however, human

intervention may be required. Generally the program is designed to take intelligent decisions on its own until any human input.

### **Virtual robots**

There are also virtual robots which are computer programs designed to simulate a real robot. Robot Simulators, Chatbot, Web crawlers are all examples of virtual robots. Since they do not follow our robot definition, we will keep them out of this list for the time being.

## 机器人分类

Classification of Robots

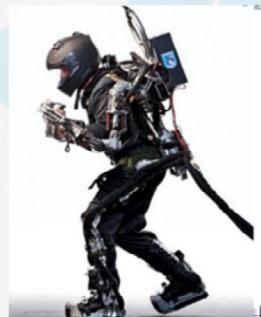
Classified by Application

工业机器人或产业机器人(Industry Robot)

探索机器人(Exploration Robot)

服务机器人(Service Robot)

军事机器人(Military Robot)



## 机器人分类

### Classification of Robots

Classified by Mobility: 固定式机器人(Fixed Robot) 移动机器人(Mobile Robot)



轮式  
Wheeled robot



履带式  
Pedrail robot



足式 Foot robot

### Land & Ground based robots

- Land & Ground based robots 陆基机器人
- Aquatic Robots 水上机器人
- Flying & Other hybrid Robots 飞行及其他混合机器人
- Robotic Arm, Industrial robots and Hybrid robots 机械臂，工业机器人和复合机器人

And a Common Classification of Robots:

#### Land & Ground based robots

The most common land based robots built are:

Wheeled Robots

Tracked Robots

Legged Robots

Wheel Legged & Other hybrid land robots

#### Aquatic Robots

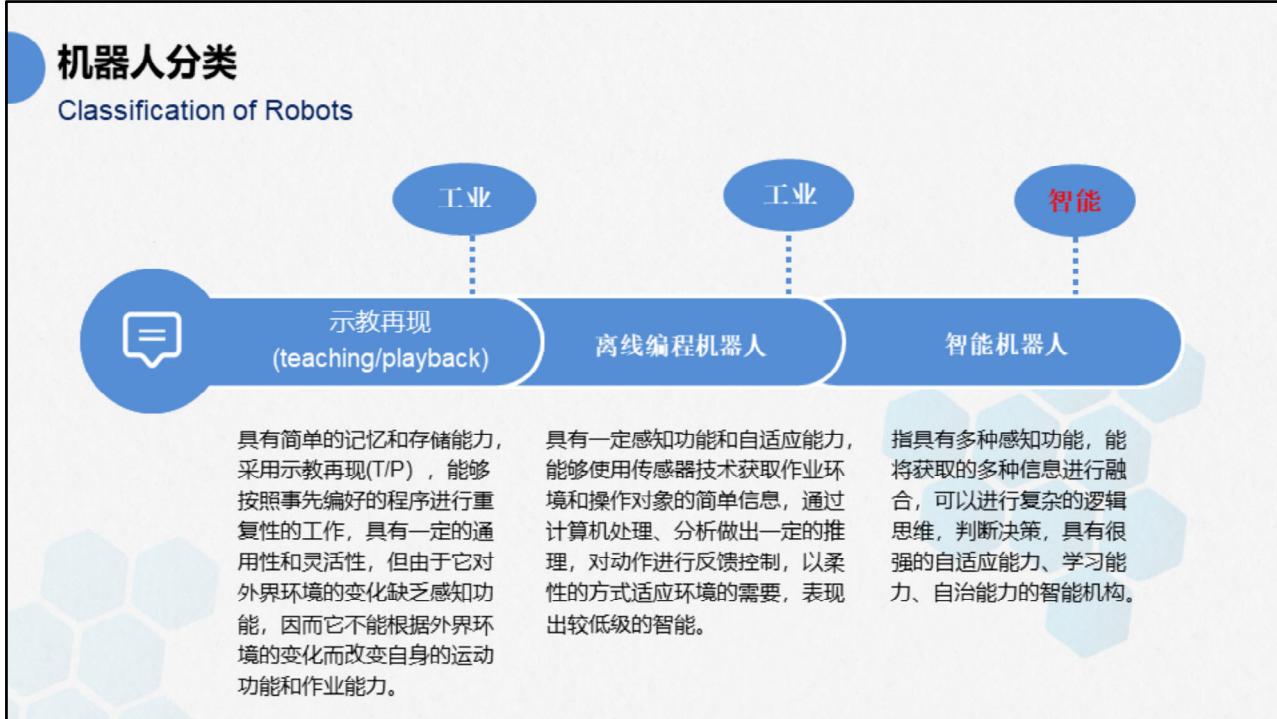
Aquatic robots include robots that sail, submerge or crawl under water.

#### Flying & Other hybrid Robots

In the robotic world, similar experiments are made to mimic those flying machines to create UAV's (Unmanned Ariel Vehicles). Flying robots provides access to 3 dimensional spaces that no other environment can offer.

There are different flying robots that you can be built; Helicopters, Airplanes, Robots with wings (biologically inspired?), balloons and many more. But before you start making one, know that they are not easy. Here are few tips to give you a good start.

#### Robotic Arm, Industrial robots and Hybrid robots



自20世纪60年代初，美国Unimation公司研制成功“Unimate”机器人以来，经过五十多年的研究，机器人技术并没有像PC（个人电脑）技术那样得到突飞猛进的发展和应用，传统意义上我们称为机器人的设备，大多还只是属于自动机器的范畴，离机器人的目标“智能”，还有相当大的差距。将机器人按照“智能”从低到高划分，大致又可以分为示教再现(工业)机器人、具备一定感知功能与自适应能力（遥控）的机器人以及智能化机器人三种类型。

第一类型的机器人具有简单的记忆和存储能力，称为可编程示教再现机器人。这种机器人采用示教再现(teaching/playback)方式（简称T/P方式），能够按照事先编好的程序进行重复性的工作，具有一定的通用性和灵活性，但由于它对外界环境的变化缺乏感知功能，因而它不能根据外界环境的变化而改变自身的运动功能和作业能力。

第二种类型是具有一定感知功能和自适应能力的离线编程机器人。这类机器人能够使用传感器技术获取作业环境和操作对象的简单信息，通过计算机处理、分析做出一定的推理，对动作进行反馈控制，以柔性的方法适应环境的需要，表现出较低级的智能。

第三种类型是智能机器人。智能机器人指具有多种感知功能，能将获取的多种信息进行融合，可以进行复杂的逻辑思维，判断决策，具有很强的自适应能力、学习能力、自治能力的智能机构。

目前有一些讨论，认为仿生机器人和智能机器人属不同的层次，但目前来看仿生机器人的发展还没有达到较高的层次，而且是否采用了仿生技术，是否可以进化，倒都应该归入人工智能的研究范畴，还处于初步探索阶段，不应将目前仿生机器人的研究完全归入到纯粹的仿生机器人类型。随着计算机技术、人工

智能、仿生材料、脑科学等领域的发展，目前的智能机器人正向仿生和仿人机  
器人发展，处于初步的探索研究阶段。

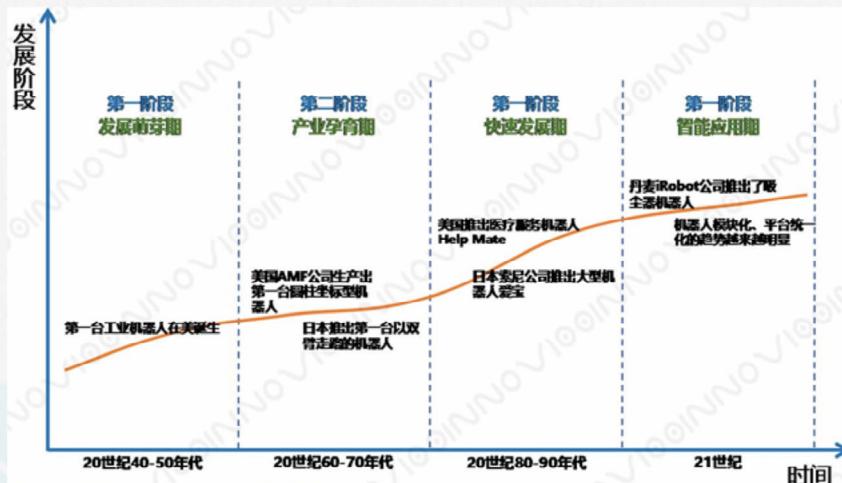
# 04

## 机器人发展趋势

当前是机器人发展最具变革性的时期。伴随着机械、控制、计算机、材料、生物医学等学科的发展，机器人大学的发展将带领我们走入一个智能、通用、协作的时期，机器人将充满我们生活世界的方方面面。

## 机器人发展趋势

Trends of Robotics



Since the 1970s, the development of robotics

- ◆ Payback period: Theory research promote investment in the robot industry.
- ◆ Since the 1970s, Japan has been at the world's cutting edge of industrial robotics.
- ◆ The robot industry is rapidly growing all over the world .
- ◆ Applications cover all areas of industry, science and technology and national defense
- ◆ New branch of learning – Robotics
- ◆ Intellectual

## 机器人的进展

机器人偿还期(Payback period)理论促进对机器人产业的投资；

日本后来居上，成为“机器人王国”

机器人产业在全世界迅速发展

形成了新学科——机器人学(Robotics)

## 机器人发展趋势

Trends of Robotics

Science Robotics Robotic research ushered in the golden age



"Tosense, toact, toadapt, tolearn, toevolve, tobeintelligent, todisappear"

《科学》杂志自1880年创立后，200多年左右的时间，已经发展为世界顶级期刊，成为全世界最权威的学术期刊之一。《科学》在2017年即将迎来一位新成员：Science Robotics。

Science Robotics主编之一的杨广中教授认为当今的外科手术机器人，包括“达芬奇”机器人缺乏智能性和针对性。鉴于目前外科手术机器人的缺点，杨广中教授提出了未来医疗机器人的发展目标—“Tosense, toact, toadapt, tolearn, toevolve, tobeintelligent, todisappear”（感知，操控，适应，学习，进化，智能化，最终与人融为一体）。

软体机器人领域提出了很多挑战：

1. 开发计算机控制系统，以允许更大幅度的运动；
2. 对软体机器人，定义新的设计原则；
3. 改良加工技术；
4. 软体机器人在现实环境中可以运用的力可能很有限，潜在地限制了其应用；
5. 采用了流体逻辑回路，而不是传统的电路，这可能限制其运动的复杂度；
6. 需要更深刻的理解软物质的性质以及他们如何与控制系统及周围环境相互作用。

Science Robotics is the newest journal to join the Science family of journals and it is now open to accept submissions. A recent editorial describes the journal's goal to select the most groundbreaking advances in robotics across applications, systems, and scales of general interest to the robotics and research community.

The field of soft robotics has grown significantly in the last decade and has brought significant achievements in terms of principles, models, technologies, fabrication techniques for soft robots and in interdisciplinary areas such as soft functional materials, stretchable electronics and biology. The conceptual and theoretical framework of soft robotics includes modeling and control and computational capacity of soft body dynamics, i.e. “morphological computation”. It becomes possible to pursue applications of soft robots in several fields, ranging from explorations to biomedical applications.

## 机器人发展趋势

Trends of Robotics



智能性

Intelligence



通用性

Universal



协作性

Collaborative

到目前为止，发展成熟的机器人，几乎都是在工业领域得到成熟应用的机械臂。这也导致机器人的教材内容，一直主要以工业机械臂为主。工业机械臂的理论与技术也相对成熟，发展快，推动了机器人的发展，其基础部分适合写入教材，但缺点在于设计生产先进工业机械臂的各大厂家，互相并不开放，阻挠了机器人的发展。如何设计一种开放式结构的机器人，得到了越来越多研究者的重点关注，特别是机器人技术软件的通用性和可移植性，硬件结构上的模块化、可互换性。

作为机器人必不可少的一部分，机器人控制器的架构在发生重大的变化。正如台式电脑在许多方面输给笔记本电脑一样，现在便携式智能设备（包括平板、手机、可穿戴式设备）把我们的工作和家庭生活紧密联系起来，嵌入式系统、物联网技术无处不在，机器人也将变得无处不在，具备很强的通用性和适应性。当前是机器人发展最具变革性的时期。伴随着机械、控制、计算机、材料、生物医学等学科的发展，机器人的发展将带领我们走入一个智能、通用、协作的时期，机器人将充满我们生活的方方面面。

## 机器人发展趋势

Trends of Robotics

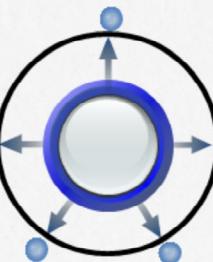


智能性  
Intelligence

Atlas



AlphaGo



PR2



Top 4  
industrial  
robotic  
companies  
in the world



机器人的研究已经进入第三代智能机器人时代，波士顿动力公司的人形机器人Atlas以及可做家务的SpotMini、日本本田汽车公司的人形机器人阿西莫可以说是目前世界上最先进的机器人，Google公司打败了人类围棋世界冠军的AlphaGo可以说是代表了人工智能的最高端成果，但对于机器人来说，如何将单一环境条件下的人工智能算法集成到机器人上，使其能够在非限定环境下完成非限定任务，还有待进一步的研究。随着语音识别、自然语言理解、图像识别等技术的发展，以及传感器技术进步，人类终能实现非特定环境下的类人智能。

PR2 is the mobile manipulation robot developed by Willow Garage, the developers of ROS. The robot is equipped with two arms and a head with stereo cameras for long and short distances, as well as a tilting laser. Willow Garage had awarded many PR2 robots to institutions and universities around the world as part of its efforts to speed-up research and development in personal robotics.

Atlas is a bipedal humanoid robot primarily developed by the American robotics company Boston Dynamics, with funding and oversight from the United States Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). The 1.8-meter (6 ft) robot is designed for a variety of search and rescue tasks, and was unveiled to the public on July 11, 2013.

Atlas, which can also keep its balance when it's pushed and get back up if it falls over, can now perform impressive gymnastic moves.

Boston Dynamics has just released footage of the machine's latest trick, and viewers are both impressed and concerned. It shows a hulking humanoid doing a backflip.

It was only a few times ago that the world got to see what Boston Dynamics' SpotMini robot dog has been up to. Not only did it make a new friend, it also learned how to open doors for said friend. How sweet.

ASIMO is a humanoid robot created by Honda in 2000.

Honda's ASIMO (Advanced Step in Innovative Mobility) humanoid robot was created exactly 10 years ago as part of Honda's program of research and development into robotics and human mobility. Honda says it can now run and walk on uneven slopes and surfaces, climb stairs, and reach for and grasp objects. ASIMO can also comprehend and respond to simple voice commands, recognize faces and even avoid moving obstacles as it runs. Honda hopes in the future ASIMO-style robots could perform simple household tasks.

Honda believes the benefits of such a humanoid robot is not only for home, but could help people in situations where they need support and assistance.

As one of **Top 4 industrial robotic companies in the world**,

Kuka, showing the versatility, speed and power of their robots set up a show down between their "gladiator" and Timo Boll, one of the top players in the world.

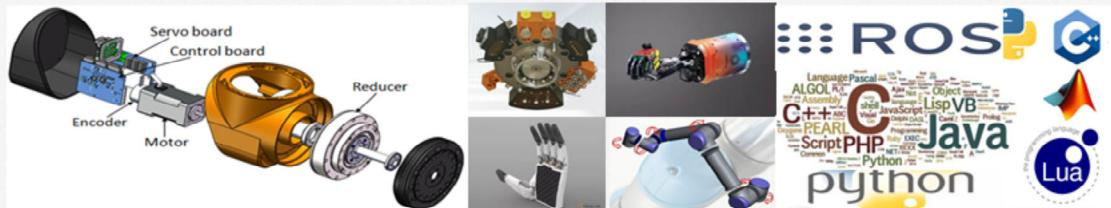
## 机器人发展趋势

Trends of Robotics

GO

通用性

Universal

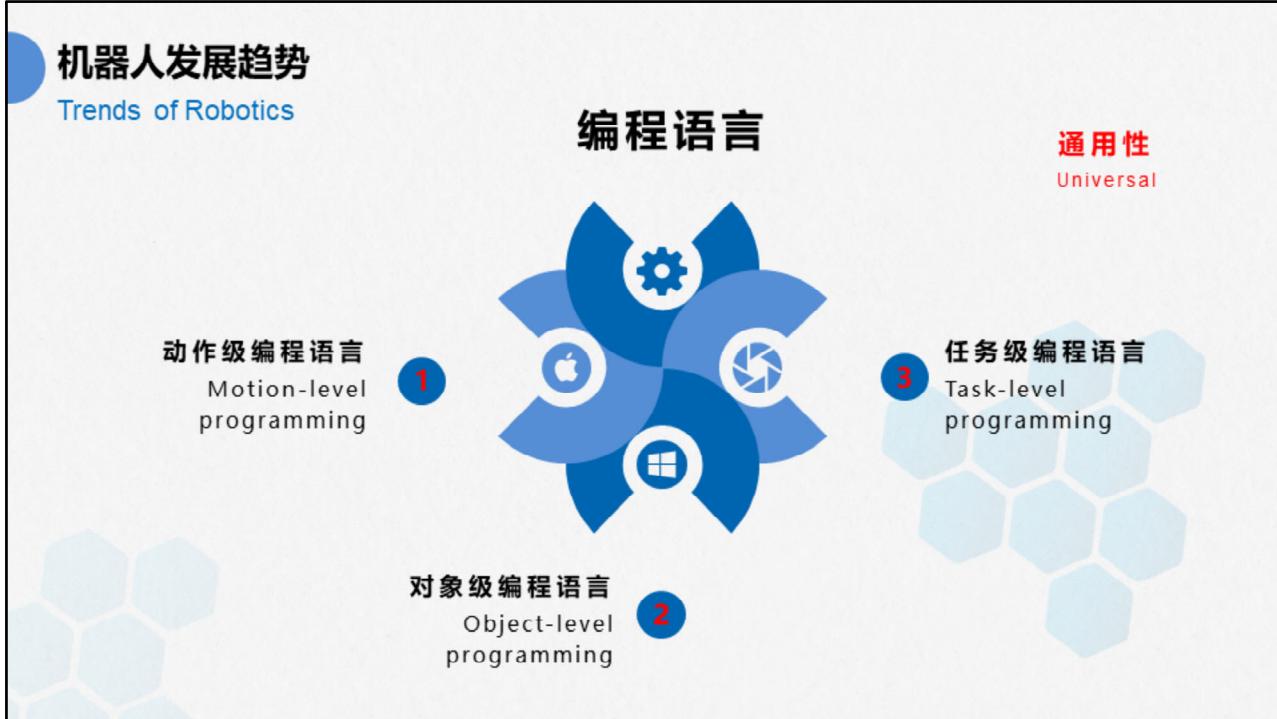


机器人的通用性主要指机器人用途的通用性和机器人构成的模块化、可互换性，以及机器人操作系统与编程语言的通用性

机器人的通用性主要指机器人用途的通用性和机器人构成的模块化、可互换性，以及机器人操作系统与编程语言的通用性。

机器人的通用性趋势，率先在工业机器人领域得以局部实现。在工业领域，最初机器人针对的是专门的作业，替代人工，比如点焊机器人、分拣码垛机器人、喷涂机器人等，这类机器人针对某项具体作业进行特定设计，不适用其他工种作业，后来由于技术的发展，市场的需求，各大工业机器人厂商分别都推出了通用型的机械臂，既可以实现分拣码垛，又可以实现零件焊接，机器人只需要更换末端执行机构，采用抽象的机器人语言重新编写作业程序即可满足新的作业要求。除此之外，目前还出现了通用的模块化关节，可以快速组装不同结构的机器人。

通用型的末端执行机构一直是机器人研究领域的一个重点方向，有关仿人灵巧手的设计，预计在不久的将来可以进入通用的市场应用。另外，随着仿生、软体材料等在机器人领域的研究，通用的、柔性的手爪逐步也将进入到市场应用。



自从1977年Unimation公司推出以文本形式编写的第一代工业机器人语言VAL以来，机器人编程语言得到了很大发展，根据作业描述水平的高低，机器人编程语言可以分为：

- 1) 动作级(Motion-level programming) 编程语言，以机器人关节或末端执行器的动作为中心来描述各种操作；
- 2) 对象级(Object-level programming) 编程语言，以描述操作物体之间的关系为中心的语言；
- 3) 任务级(Task-level programming) 编程语言，只要直接指定操作内容就可以了，为此，机器人必须一边思考一边工作。

目前各大机器人厂家的机器人编程语言并不统一。随着人工智能的发展，机器人将和人一样能够理解自然语言，机器人编程语言采用语义级编程语言，将极大简化机器人编程的复杂程度，提高通用性。

除了机器人编程语言的通用性发展趋势之外，机器人操作系统的通用性也将受到机器人设计人员的广泛关注。机器人作业复杂度以及智能程度越来越高，多任务调度及实时性处理等工作需要由操作系统来完成，在一种开放、通用的机器人操作系统上提供标准化构造平台，让每一位机器人设计师都能使用同样的操作系统来进行设计，无疑将有利于机器人技术的更快发展。

## 机器人发展趋势

Trends of Robotics

协作性  
Collaborative



机器人与人、机器人与机器人、机器人与机器之间的协作

最近十年，机器人的协作性得到了广泛的重视，它包含机器人与人、机器人与机器人、机器人与机器之间的协作。一直以来，为了安全，工业机器人被护栏围住，防止出现碰撞以及引起人员、设备的损伤。这类机器人都是对应制造业设计的重型、笨拙的机器人，但在实践应用中，并非所有的工业流程环节都需要大型机器人来提取较重的负载，更加灵活、轻便的机械臂将会有更大的需求，小型、低噪音、低功耗机器人成为应对工业企业自动化和合理化需求最简单、最合理的解决方案。顺应市场需求，“协作机器人”悄然诞生，这种新型机器人能够直接和人类员工一起并肩工作而无需使用安全围栏进行隔离，并有望填补全手动装配生产线与全自动生产线之间的差距。协作机器人，除了需要具有敏感的力反馈特性，当达到已设定的力时会立即停止之外，还需要实现多种传感器的信息融合，让机器人能够感知、识别环境，具备灵活的人机交互能力。随着机器人在智能、通用、协作等方面的发展，智能机器人将打破当前工业机器人和服务机器人的界限，机器人既可以在工厂从事生产，也可以从事家庭服务等工作。

# 05

## 机器人学研究内容

当前是机器人发展最具变革性的时期。伴随着机械、控制、计算机、材料、生物医学等学科的发展，机器人学的发展将带领我们走入一个智能、通用、协作的时期，机器人将充满我们生活世界的方方面面。

上一节课给大家介绍了机器人的发展史以及机器人的定义与分类，接下来给大家介绍机器人相关的一些研究内容。

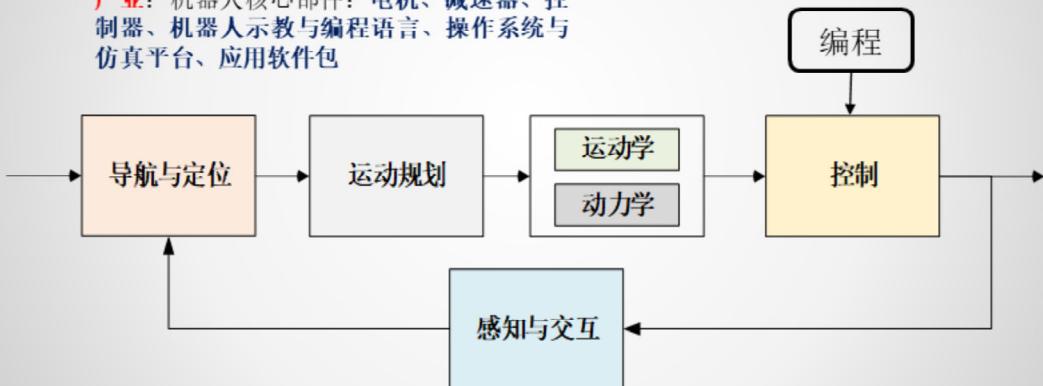
## 机器人学的研究内容

专业核心知识

什么是机器人的**核心**？

**学术**: 机器人三大核心: 感知(Sensing), 认知(Perception) 和控制(Action)

**产业**: 机器人核心部件: 电机、减速器、控制器、机器人示教与编程语言、操作系统与仿真平台、应用软件包



机器人学已成为了一门学科，到了现在这个阶段，我们必须理清它的学科涵盖范围。而且现在也有了机器人工程专业。

首先我们来看学科基础是什么？哪些是必备的？

这个问题实际上直指机器人工程专业的核心：

那么什么是机器人的核心呢

从学术的角度看，机器人三大核心技术：感知(Sensing)，认知(Perception) 和控制(Action)，前面讲过权威专家说机器人三大要素第二点是决策，决策在目前人工智能研究领域重点的技术认为处于认知这个阶段。

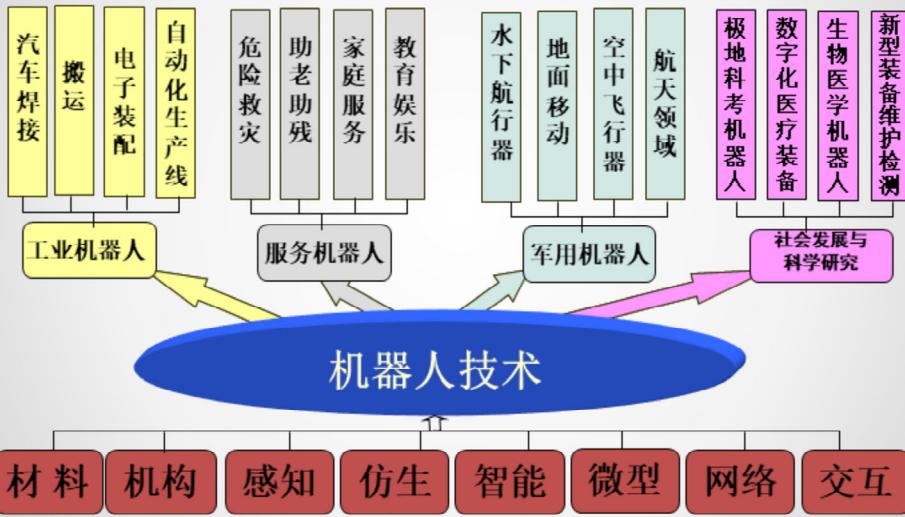
从产业的角度看，机器人核心部件有：电机、减速器、控制器、机器人示教与编程语言、操作系统与仿真平台、应用软件包等

对于机器人学涉及的学科基础知识，我们需要从技术和科学的研究的综合角度出发，归类出机器人学的核心理论基础。综合机器人科学研究与技术发展，传统机器人的基础理论包括运动学（刚体静力学）、动力学、运动规划、编程与控制、导航与定位、感知与交互等内容。

## 机器人学的研究内容

机器人技术的学科交叉

### 机器人技术涉及的学科知识\*



\*北京航空航天大学王田苗教授

近年来，机器人在社会生活和劳动生产上的应用越来越广泛，机器人工程专业也顺应时代发展而火热起来。但机器人专业人才的培养并不是现在才开始的。以前只是一些985的高校设置了机器人所，机器人的专业培养集中在这类研究生的人才培养方面，一直以来只是因为机器人的社会需求还没有那么突出，所以相应的院校也没有专设机器人专业。

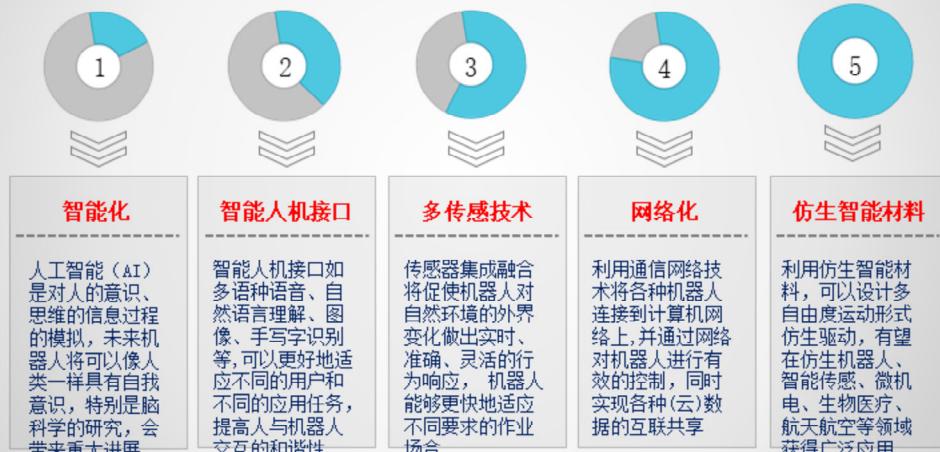
所以对于机器人工程专业的解读，我们可以从机器人技术涉及的学科知识以及科学的研究涉及的学科知识这两个方面来进行考查。

目前来看，机器人在包括工业机器人、服务机器人、军用机器人以及社会发展与科学的研究等方面有重大的需求，机器人的技术涉及到材料、机构、感知、仿生、智能、微型、网络、交互等方面的研究。

# 机器人学的研究内容

交叉前沿研究方向

## 机器人学涉及的学科交叉前沿研究方向



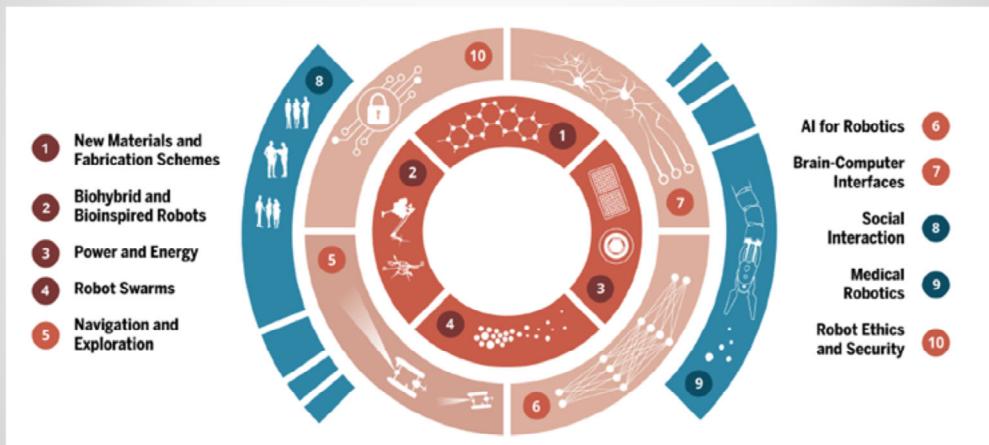
**Tosense, toact, toadapt, tolearn, toevolve, tobeintelligent, todisappear**

机器人学相关的科学研究最新成果也很先进，引起了自然、科学等杂志的重要关注。《科学》杂志自1880年创立后，200多年左右的时间，已经发展为世界顶级期刊，成为全世界最权威的学术期刊之一。《科学》在2017年迎来一位新成员：《科学·机器人学》。《科学·机器人学》编辑之一的杨广中教授认为当今的机器人，包括“达芬奇”机器人缺乏智能性和针对性。鉴于目前外科手术机器人的缺点，杨广中教授提出了未来医疗机器人的发展目标—“Tosense, toact, toadapt, tolearn, toevolve, tobeintelligent, todisappear”（翻译中文就是：感知，操控，适应，学习，进化，智能化，最终与人融为一体）

## 机器人学的研究内容

研究热点

### Science Robotics: 10大挑战



Yang G Z, Bellingham J, Dupont P E, et al. The grand challenges of Science Robotics[J]. Science robotics, 2018, 3(14): eaar7650.

2018年1月，在`Science Robotics`成立一周年之际，杨广中等人又在`Science Robotics`发表了一篇机器人学综述，该综述文章中总结了未来5-10年30个热点研究，分为10大挑战：来自新材料和制造工艺的挑战、生物混合和仿生机器人挑战、机器人的能源与动力系统挑战、群体机器人协作技术挑战、机器人用于航海航空面临的挑战、智能机器人模仿人类智能的挑战、脑机接口在应用方面面临的挑战、智能机器人社交技能挑战、医疗机器人挑战、机器人的伦理和安全方面的挑战。除了《科学》之外，《自然》最近几年也争相发表软体、仿生等机器人方面的最新研究成果。

## 人形机器人研究的挑战

名称	国家	高度 (m)	重量 (kg)	自由度 (个)	发布时间	特点
ASIMO (新)	日	1.30	48	57	2005	运动稳定, 集成度高
HRP-5P	日	1.80	101	37	2019	全身协调动作
E2-DR	日	1.68	85	33	2015	双足、四足切换行走
HUBO+	韩	1.70	80	32	2015	轮足结合、步态稳定
Atlas (新)	美	1.80	80	28	2017	液压传动、适应性强
TORO	德	1.74	76	28	2013	力控性能突出
COMAN	意	0.92	24	25	2013	SEA 驱动、柔顺性高

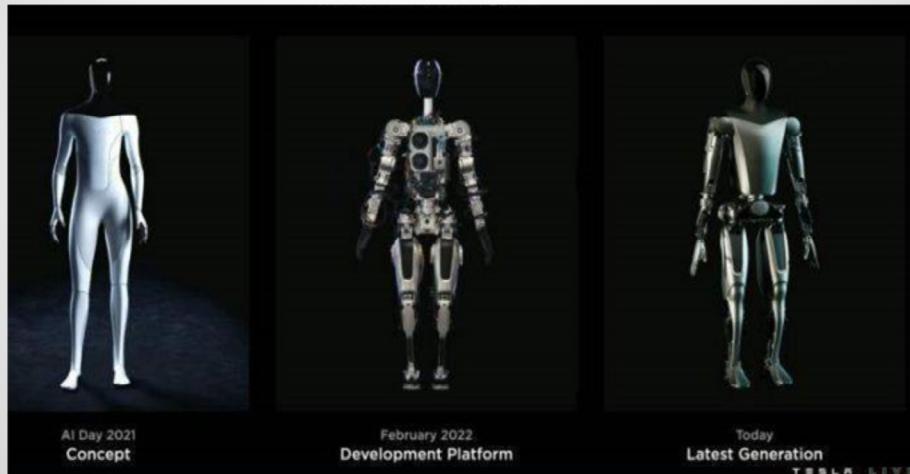
最近在机器人研究的前沿技术方面，发起了人形机器人的研发挑战。

1927 年第一个电驱人形机器人 “Televox” 诞生于美国西屋。随后美国、日本和欧洲在这一领域广泛布局，促进了人形机器人的快速发展。

群雄并起，逐鹿人形机器人。日韩在人形机器人研究领域表现活跃，日本本田代表产品 Asimo 身高 1.3m，体重 48kg，具有 57 个自由度，可完成上下楼和奔跑等动作。韩国 KAIST 代表产品 HUBO+ 身高 1.7m，体重 80kg，具有 32 个自由度，在 2015 年“机器人挑战赛”中获得冠军。美国在人形机器人领域后来居上，波士顿动力研发的代表产品 Atlas 身高 1.8m，体重 80kg，具有 28 个关节，可完成原地起跳转身一周等高难度动作。

波士顿动力的人形机器人 Atlas 主要聚焦在科研领域，商业价值低。在波士顿动力优秀的软硬件配置下，Atlas 能够完成流畅、高难度的“跑酷”动作。硬件结构上，Atlas 拥有轻量级结构件皮肤和足部力控传感器，雷达与深度相机形成视觉感知，28 个液压关节驱动完成一系列敏捷动作，本体搭载 3 台 NUC/工控机负责整体控制系统的运算。软件方面，波士顿动力运用行为库、实时感知和模型预测控制（MPC）技术将相机、雷达等传感器接收的数据进行分析并对决策制定和动作规划提供最有效的支持。

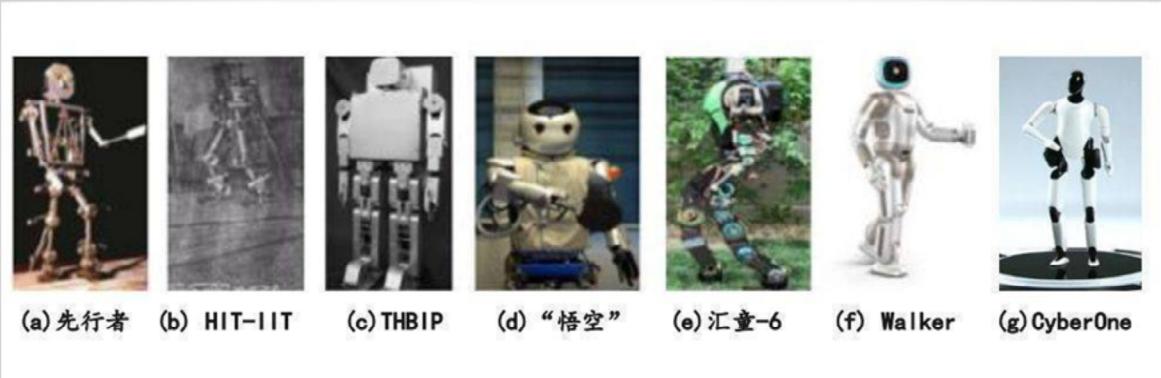
### 人形机器人研究的挑战



特斯拉人形机器人“擎天柱”于 2022 年 9 月底亮相。2021 年 8 月，马斯克在特斯拉

年度 AI 开放日上首次公开展示了“擎天柱”的想法。仅过一年时间，“擎天柱”原型机于 2022 年 9 月 30 日特斯拉 AI Day 发布，硬件方面，“擎天柱”身高 172CM，整体重量 73KG；行走功率 500W，坐下功率 100W，整体参数与 2021 年概念机略有出入（概念机参数：身高 172CM，体重 57KG，负载 20KG，行走速度最高可达每小时 8 公里），我们认为存在进一步降本空间。

### 人形机器人研究的挑战



国内人形机器人成果喜人。在科研领域，国科大研发的“先行者”机器人可以完成静态和动态步行动作；哈工大推出的“HIT-III”机器人能完成上、下斜坡等动作；

清华大学开发的“THBIP-II”身高 0.75m(行内我们俗称为小仿人)，体重 18 kg，具有 24 个自由度；浙江大学研发出会打乒乓球的“悟”、“空”人形机器人；北理工推出的“汇童”机器人可完成摔倒起立，“摔滚走爬”等动作(行内我们俗称为大仿人的代表)。在产业领域，深圳优必选推出的“Walker”机器人能完成上、下台阶等动作。

小米于 2022 年 8 月公布首款全尺寸人形机器人 CyberOne (铁大)。升级后的运动控制算法支配这机器人全身 13 个关节和 21 个自由度，实现双足运动姿态平衡；电机性能增强 10 倍，髋关节主要电机的动力扭矩峰值可达 300Nm，峰值扭矩密度 96Nm/kg。

## 机器人学的研究内容

研究热点

### 小米VS特斯拉VS波士顿动力

类人机器人产品	Atlas	CyberOne	Optimus
所属公司	波士顿动力	小米	特斯拉
身高 (CM)	150	177	172
体重 (KG)	89	52	73
自由度	28	21	50
最大负荷 (KG)	10	1.5	9
成本	约 200 万美元	约 70 万人民币	不到 2 万美元 (售价)
应用场景	勘探、救援、科研	生活服务	工厂搬运工作、浇花等

人形机器人应用领域正在逐渐打开。2022年AI Day 上，“擎天柱”演示了浇花、搬运纸箱、

金属块等工作，能够很好地完成视觉识别、抓握、下蹲、直立行走等动作，研发团队也在不断更新优化，有望在未来解锁更多应用场景，目前目标客群未知。小米最近也开了铁蛋的新闻发布会，日本的ASIMO项目暂停研发了，而Atlas研究了几十年，一直都还在迭代。

## 机器人学的研究内容

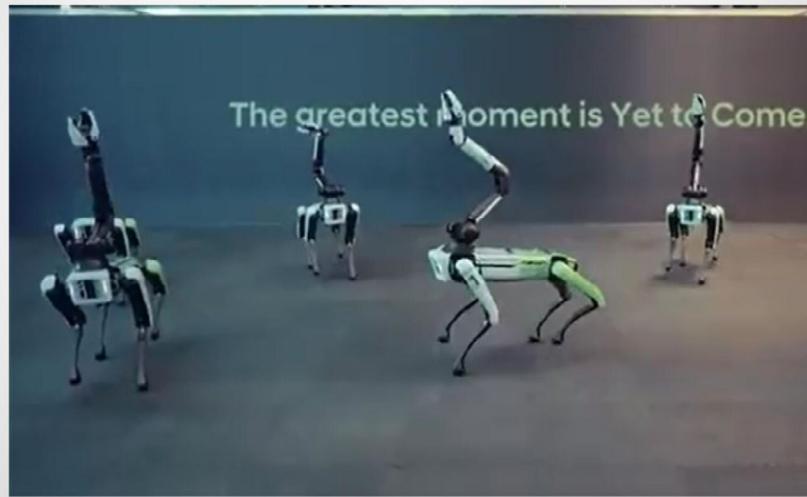
研究热点

小米VS特斯拉VS波士顿动力



来看看他们各自的演示视频，对比一下差距。

### 机器人领域十大前沿技术



机器人可以说是目前最热门的研究领域之一，在这里给大家介绍一下十大前沿技术研究，人们到底在做哪些高端的研究去推动机器人技术的发展。

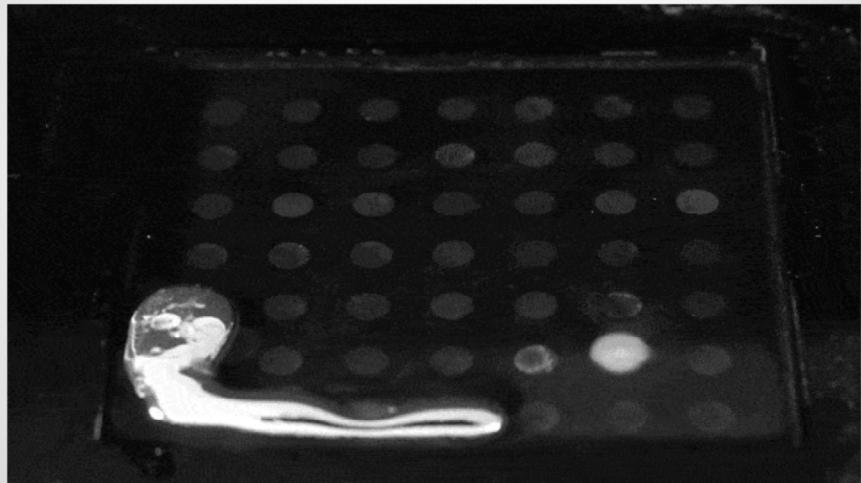
### 1. 软体机器人——柔性机器人技术



柔性机器人关阀门

柔性机器人技术是指采用柔韧性材料进行机器人的研发、设计和制造。柔性材料具有能在大范围内任意改变自身形状的特点，在管道故障检查、医疗诊断、侦查探测领域具有广泛应用前景。

### 2. 机器人可变形——液态金属控制技术



英国科学家通过编程控制液态金属

液态金属控制技术指通过控制电磁场外部环境，对液态金属材料进行外观特征、运动状态准确控制的一种技术，可用于智能制造、灾后救援等领域。

液态金属是一种不定型、可流动液体的金属，目前的技术重点主要集中在液态金属的铸造成型上，液态机器人还只是一个美好的愿景。

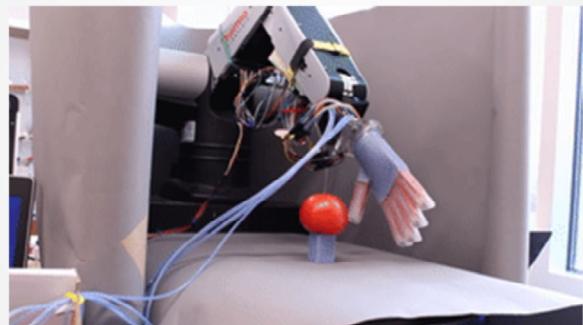
### 3. 生物信号可以控制机器人——生肌电控制技术



意大利技术研究院研发的儿童机器人iCub

生肌电控制技术利用人类上肢表面肌电信号来控制机器臂，在远程控制、医疗康复等领域有着较为广阔的应用。

### 4. 机器人可以有皮肤——敏感触觉技术



触觉机械手“Gentle Bot”抓取西红柿

敏感触觉技术指采用基于电学和微粒子触觉技术的新型触觉传感器，能让机器人对物体的外形、质地和硬度更加敏感，最终胜任医疗、勘探等一系列复杂工作。

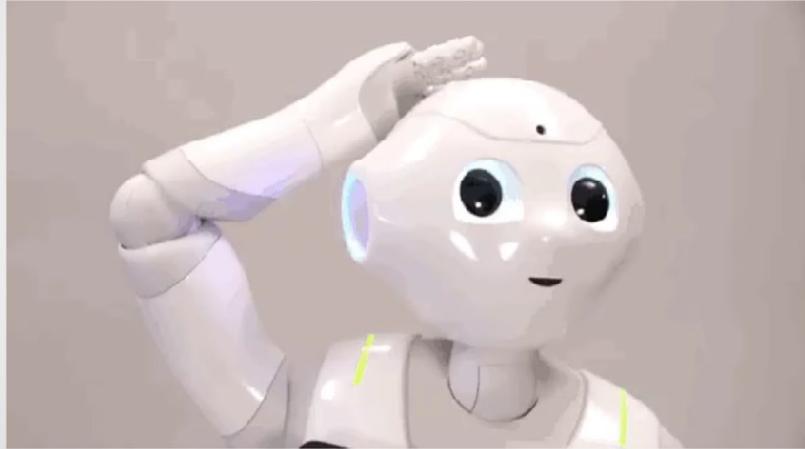
### 5. “主动”交流——会话式智能交互技术



曾经扬言要毁灭人类的sophia机器人

采用会话式智能交互技术研制的机器人不仅能理解用户的问题并给出精准答案，还能在信息不全的情况下主动引导完成会话。苹果公司新一代会话交互技术将会摆脱Siri一问一答的模式，甚至可以主动发起对话。

### 6. 机器人有心理活动——情感识别技术

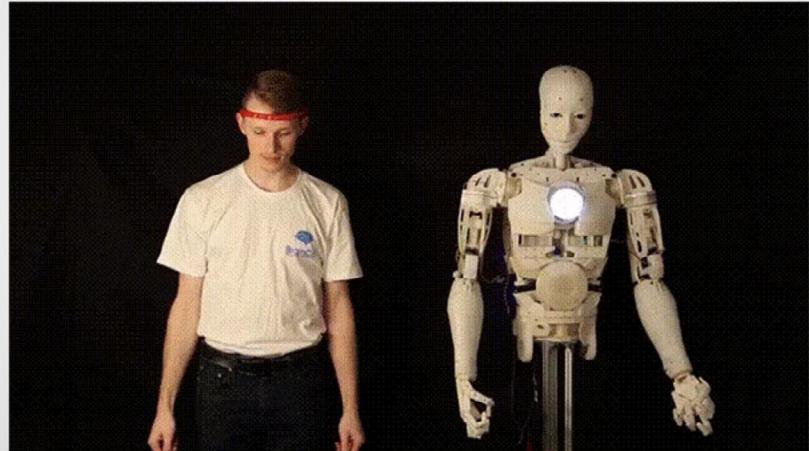


日本SBRH研发的Pepper对人的感情识别

情感识别技术可实现对人类情感甚至是心理活动的有效识别，使机器人获得类似人类的观察、理解、反应能力，可应用于机器人辅助医疗康复、刑侦鉴别等领域。

对人类的面部表情进行识别和解读，是和人脸识别相伴相生的一种衍生技术。

### 7. 用意念操控机器——脑机接口技术



脑机接口技术指通过对神经系统电活动和特征信号的收集、识别及转化，使人脑发出的指令能够直接传递给指定的机器终端，可应用于助残康复、灾害救援和娱乐体验。

### 8. 机器人带路——自动驾驶技术



“阿尔法巴”智能驾驶公交系统

应用自动驾驶技术可为人类提供自动化、智能化的装载和运输工具，并延伸到道路状况测试、国防军事安全等领域。

### 9. 再造虚拟现场——虚拟现实机器人技术



mVR虚拟现实手术规划系统处理脊柱的临床案例

虚拟现实机器人技术可实现操作者对机器人的虚拟遥控操作，在维修检测、娱乐体验、现场救援、军事侦察等领域有应用价值。

### 10. 机器人之间互联——机器人云服务技术



德国机器人展上的智能机械手

机器人云服务技术指机器人本身作为执行终端，通过云端进行存储与计算，即时响应需求和实现功能，有效实现数据互通和知识共享，为用户提供无限扩展、按需使用的新型机器人服务方式。

## 机器人学的研究内容

机器人领域十大前沿技术

### 2022-2023年机器人十大前沿技术



<https://www.bilibili.com/read/cv18232946>

中国电子学会嵌入式系统与机器人分会主任委员、北京航空航天大学机器人研究所名誉所长、中关村智友研究院院长王田苗博士出席大会闭幕式，并现场发布《机器人十大前沿热点领域(2022-2023)》。归纳出2022-2023年机器人十大前沿技术；并结合我国国情和机器人产业发展现状，提出了2022-2023年十大机器人应用热点产品。

06

## 课程概要

Course Outline



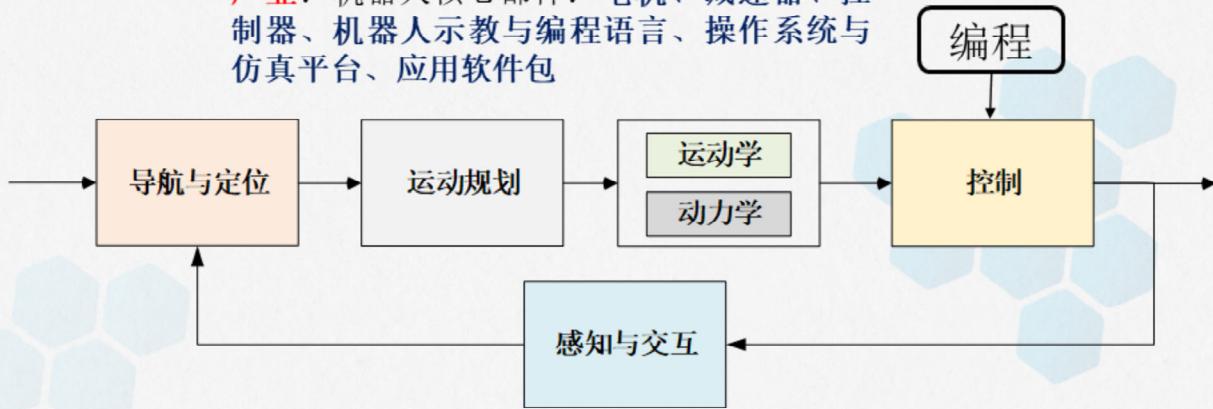
## 课程概要

### Course Outline

什么是机器人的核心？

**学术：**机器人三大核心：感知(Sensing)，认知(Perception) 和控制(Action)

**产业：**机器人核心部件：电机、减速器、控制器、机器人示教与编程语言、操作系统与仿真平台、应用软件包



学习本门课程，首先我们来看机器人学的学科基础是什么？哪些是必备的？这个问题实际上直指机器人的核心：

那么什么是机器人的核心呢？

从学术的角度看，机器人三大核心技术：感知(Sensing)，认知(Perception) 和控制(Action)，前面讲过机器人三大要素第二点是决策，决策在目前人工智能研究领域重点的技术认为处于认知这个阶段。

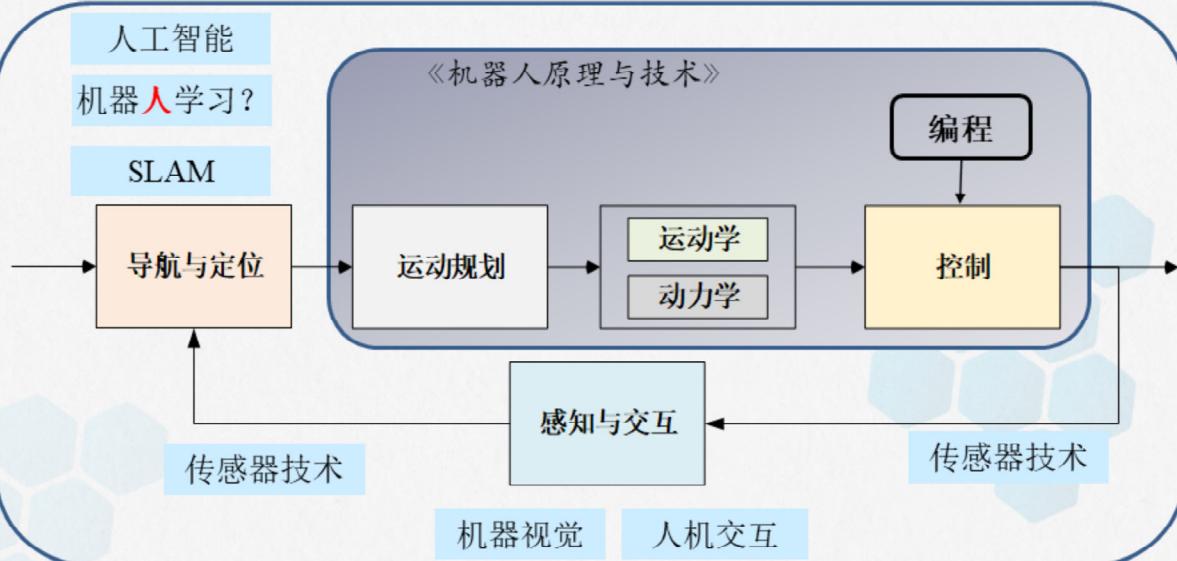
从产业的角度看，机器人核心部件有：电机、减速器、控制器、机器人示教与编程语言、操作系统与仿真平台、应用软件包等

对于机器人学涉及的学科基础知识，我们需要从技术和科学的研究的综合角度出发，归类出机器人学的核心理论基础。综合机器人科学研究与技术发展，传统机器人的基础理论包括运动学（刚体静力学）、动力学、运动规划、编程与控制、导航与定位、感知与交互等内容。

## 课程概要

Course Outline

# 机器人原理与技术



从机器人的核心知识点分析中，我们可以看到，机器人的学科知识点非常多。

其中，运动学、动力学、运动规划、控制与编程属于需要在专业基础课中进行讲授的必修模块。而机器人的其他核心模块并不包含在本门课程中，需要后续的学习。

## 课程概要

Course Outline

## 章节安排

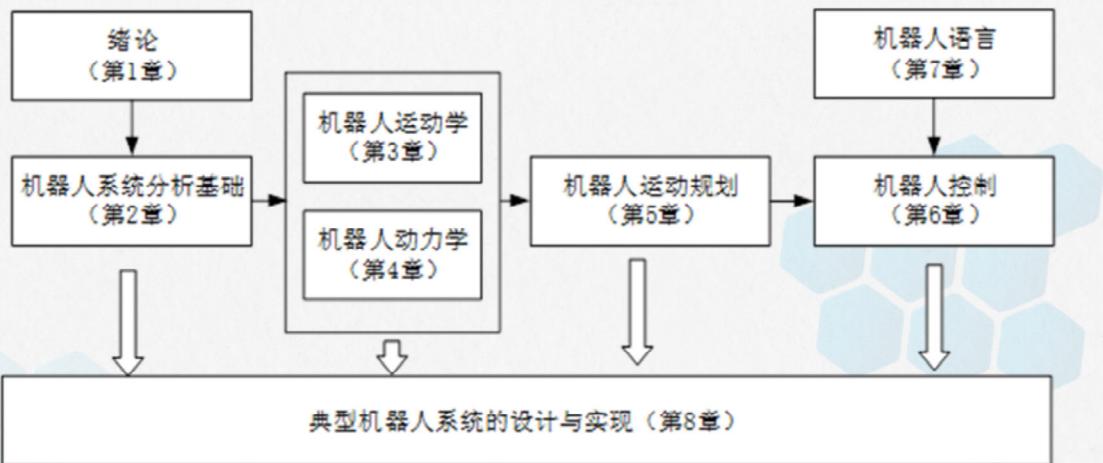


图1.3所示为本书各章节关系拓扑结构图。

第1章绪论，介绍机器人学发展历史，机器人的定义、分类以及发展趋势。

第2章阐述机器人系统分析基础。介绍智能机器人体系结构，让读者从人工智能顶层架构出发，掌握机器人系统设计的宏观指导思想。介绍机器人系统的组成，让初学者可以对构成机器人的常用机构、执行器、传感器等有一个基本的认识。介绍机器人姿态描述的多种数学方法，并采用现代机器人学中位形的概念，统一描述机器人系统的状态和环境。介绍机器人系统常用的建模描述语言以及仿真系统软件，以便于开展机器人系统的设计、开发与测试。

第3章介绍机器人的运动学，包括机械臂以及移动机器人的运动学。机器人正运动学算法，除了介绍传统的SDH与MDH方法之外，还介绍了旋量法、四元数法、对偶四元数法等现代方法；机器人逆运动学算法，除了介绍传统的几何法、解析法、混合法之外，还详细阐明了机器人雅可比矩阵的具体求法以及采用雅可比矩阵进行迭代的现代解析解求法。

第4章介绍机器人动力学，详细介绍了采用拉格朗日方程以及牛顿-欧拉方程建立机器人动力学模型的传统理论与方法，在逆动力学方法中，加入了现代旋量理论中的运动旋量、力旋量的概念，介绍了基于现代旋量理论的逆动力学方程推导过程，以及迭代求解正动力学数值解的方法。除了旋量理论之外，该章还基于空间向量表示法，介绍了目前各大机器人开发平台软件中常用的机器人多刚体正逆动力学算法。

第5章阐述机器人运动规划。再次引入现代机器人学中的位形表达方法，除了讲解基于位形空间的连续轨迹规划方法外，还加入了基于位形空间的离散化规划方法，包括多种组合规划方法、图搜索算法、基于采样的方法，以及局部规划

方法：势场法、动态窗口法等内容；并介绍了运动轨迹平滑，以及全局规划与局部规划算法相结合的多层规划思想与方法。

第6章介绍机器人控制。在介绍机器人控制之前，补充介绍了运动学与动力学相关的参数标定与辨识方法，以便读者在掌握了机器人位形控制、轨迹控制、力控制、力/位混合控制等内容之后，能对控制系统中运动学、动力学模型进行修正。在工业机器人的控制中，首先介绍基于独立关节的控制，然后再扩充到整臂系统的控制，对于移动机器人的控制，基于反馈控制理论，介绍移动机器人的路径跟随与轨迹跟踪控制以及里程计估计算法。

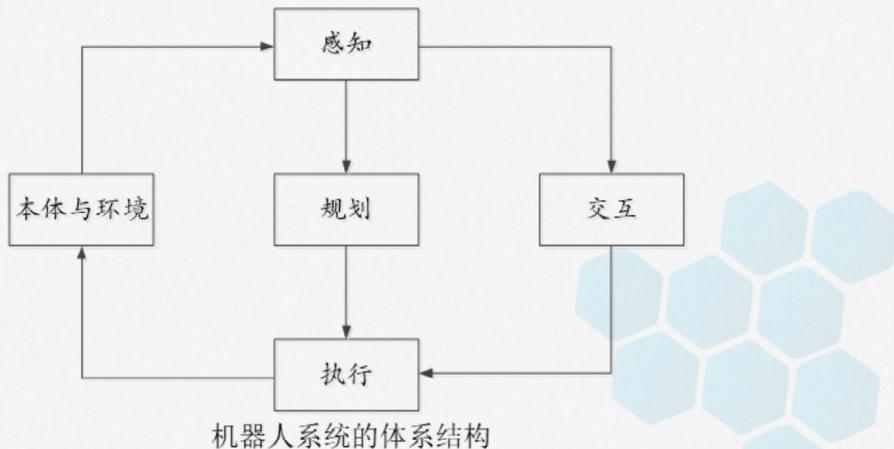
第7章介绍机器人编程语言，对机器人编程语言进行了分类，介绍了市场上典型的几类机器人编程语言，并以实例讲解了一个简易机器人编程语言解析器的设计原理。

第8章将前面各章主要知识点与实际应用结合的具体案例，介绍构建典型机器人系统的方法并进行了实现。

## 课程概要

Course Outline

### Ch2 机器人系统分析基础



从人工智能的角度出发，以系统宏观的角度来对机器人系统进行抽象建模与分析，特别是机器人本体与环境的建模与分析方法，是进行感知、交互、规划与执行等系统设计的基础。

根据智能机器人体系结构的三种构建智能体Agent的基本范式（慎思式、反应式和混合式），以及后续的研究与发展，我们可以将一个机器人系统的体系结构抽象成机器人本体与环境、感知、交互、规划、执行等部分组成。

机器人本体可能是工业机械臂、移动机器人、飞行机器人、人形机器人、仿生结构机器人等类型，或具有不同结构特征组合的复合机器人，例如移动机械臂等形式。

环境即指机器人所处的周围环境。环境不仅由几何条件（可达空间）所决定，而且由环境和它所包含的每个事物的全部自然特性所决定。机器人的固有特性，由这些自然特性及其环境间的互相作用所决定。在环境中，机器人会遇到一些障碍物和其他物体，它必须避免与这些障碍物发生碰撞，并对这些物体发生作用。环境信息一般是确定的和已知的，但在许多情况下，环境具有未知的和不确定的性质。

感知定义为机器人对自身与环境信息的获取，其感知系统包含内部传感器和外部传感器，内部传感器用于检测机器人自身的状态信息，如关节的位置、速度等变量。外部传感器用于检测机器人与环境之间的一些状态信息，包括距离、听觉、视觉、触觉等类型传感器。

交互指人、机、环境之间的互相作用，机器人可通过文字、语音、视觉、触觉等多种方式进行人、机、环境之间的交互。人、机、环境之间的交互随着传感技术以及人工智能技术的发展，正由单一类型的交互转向多传感器信息融合的多模态交互。

规划指机器人通过人-机-环境交互得到需要执行的行动方案的过程，它包含这一过程的问题求解技术。

执行定义为机器人在完成行动方案的过程中，和环境交互，实现任务目标的一系列动作，该动作可能是形体操作，例如移动、夹持、搬运、放置等，也可能是文字回复、语音回复等行为。

分析机器人系统组成的目的，是为了能够从系统宏观的角度来对机器人系统进行抽象建模与分析。特别是机器人本体与环境的建模与分析方法，是进行感知、交互、规划与执行等系统设计的基础。

机器人大学是研究机器人的设计、制造、运作和应用，以及控制它们的计算机系统、传感反馈和信息处理的一门学科。机器人被设计为具有智能的机器，其研究需要从处于顶层的人工智能角度出发，对机器人的机构、传感、控制等各方面进行综合设计，才能实现较好的性能指标。从机器人与人工智能的关系、机器人体系结构等方面的人工智能顶层架构出发，为读者提供机器人系统设计的宏观指导思想，并根据体系结构的组成范式，对机器人系统的组成进行抽象分析。本章除了介绍机器人姿态的多种数学描述方法之外，采用现代机器人大学中位形的概念，统一描述机器人状态和环境。按照刚体的运动将机器人简化成由关节以及通过关节连接的刚体组成的刚体树机器人模型，介绍常用的机器人建模描述文件并实例讲解机器人系统建模与仿真方法。最后介绍机器人系统设计过程中需要遵循的基本原则及主要步骤，为机器人系统的实际开发提供理论指导与数理基础。

## 课程概要

### Course Outline

### Ch3 机器人运动学

3 机器人运动学	3.7 多轴串联机器人逆运动学
▲ 3.1 三自由度串联机械臂运动学 - 几何法	3.7.1 满足Pieper准则的解析解求法
3.1.1 笛卡尔坐标型 (PPP)	3.7.2 解析法与几何向量法的混合求法
3.1.2 圆柱坐标型 (RPP)	▲ 3.7.3 机器人雅可比矩阵
3.1.3 球坐标型 (PRR)	(1) 雅可比矩阵的矢量积求法
3.1.4 平面关节型 (RRP)	(2) 雅可比矩阵的微分变换求法
3.1.5 链式坐标型 (RRR)	(3) 雅可比矩阵的指数积求法
3.2 D-H表示法	▲ 3.7.4 逆运动学的数值求解
3.3 SCARA机器人运动学	(1) 雅可比逆矩阵迭代法(Jacobian Inverse M...
3.3.1 SCARA机器人坐标系的建立	(2) 雅可比转置矩阵迭代法(Jacobian Transpo...
3.3.2 SCARA机器人的正运动学分析	(3) 雅可比伪逆矩阵迭代法(Jacobian Pseudo I...
3.3.3 SCARA机器人的逆运动学分析 (代数法)	3.8 速度与静力学
3.4 机器人腕部结构	3.9 奇异性分析
3.4.1 单自由度手腕	▲ 3.10 工作空间分析
3.4.2 2自由度手腕	3.10.1 几何图解法
3.4.3 3自由度手腕	3.10.2 解析法
3.5 多轴串联机器人运动学求解方法分类	3.10.3 数值法
3.6 6R串联机器人正运动学	▲ 3.11 并联机器人运动学
3.6.1 D-H表示法求解	3.11.1 并联机器人简介
3.6.2 旋量法求解	3.11.2 Delta机器人运动学分析
3.6.3 四元数法求解	3.11.3 Delta并联机器人的分类与应用
3.6.4 对偶四元数法求解	▲ 3.12 轮式移动机器人运动学
	3.12.1 轮式移动机器人运动学基础模型
	3.12.2 轮子运动约束
	3.12.3 轮式移动机器人运动约束
	3.12.4 移动机器人的机动性(Maneuverability)
	3.12.5 带小脚轮的两轮差速驱动机器人运动学实例
	3.12.6 全向轮式移动机器人运动学分析实例
	3.13 扩展讨论

机器人的运动学包括正运动学与逆运动学，基本都是从机器人机构角度出发，将机器人的构件抽象为刚体表达，分析刚体的位形空间（Configuration Space）、自由度(Degree Of Freedom, DOF)，对其进行建模，从而求解正运动学和逆运动学。

在笛卡尔坐标体系下，刚体运动描述为绝对直角坐标系下的三维坐标值，这种对于刚体运动的描述比较符合人的直观感觉。完全在笛卡尔坐标系下，采用平面几何、球面几何等几何法（analytic geometry）进行运动学正逆解计算，随着机构的复杂度增加，计算难度将成几何级数增加，仅适合对结构简单的机器人建模。

而对于机器人来说，我们可能更关心机器人末端执行器(end-effector)在任务空间（task space）的位姿(pose: position and orientation)，这个时候引入相对坐标系，在齐次坐标系下计算更为方便。齐次坐标系使用向量表示空间中的点线面，机器人末端姿态的求解等价于空间点的位置和姿态，通过齐次坐标变换，采用旋转矩阵、平移矩阵或两者的复合变换矩阵即可求解，如果涉及目标位姿的视觉识别，可以引入透视变换进行求解。

对于姿态，在二维空间中，只需一个方向角即可表达，而在三维空间中，用旋转矩阵表达时，具有9个元素，可通过3个独立的单位矢量( $n, o, a$ )实现参数化，当然，描述姿态的方法还可以用欧拉角、RPY角、Cayley-Rodrigues参数以及单位四元数等进行参数化。如果在齐次坐标系下，我们除了需要建立机器人的基坐标系外，还需要建立各关节坐标系以及末端工具坐标系，例如采用DH参数表示法（包括标准DH参数法SDH以及改进DH参数法MDH），对机器人进行DH参数建模，然后采用解析法，基于齐次变换矩阵求解正逆运动学解。

1981年，BROCHETT在旋量理论基础上，基于李群李代数理论首次建立了机器人运动学的指数积公式(product of Exponential, PoE)，自此开始了机器人运动学理论的深入研究，基于旋量理论的机器人运动学方法，其基本思想也是以齐次坐标来表示刚体运动，并通过矩阵的指数映射将运动旋量变换为相应的刚体运动。该类型方法，对于旋转矩阵采用自然直观的指数坐标表示形式。

而逆运动学的解析解，可以根据末端关节的旋转坐标以及末端的初始位形逐步解析，求出满足要求的多个解析解。相对于DH表示法，PoE公式除了对关节轴运动旋量的指数坐标进行直观且形象的描述优点外，还有无须建立连杆坐标系的优点。

解析法(代数法)和几何法属于封闭解法，计算速度快，一般都可以找到可能的逆解，但该类方法对机器人结构的限制较大，对于一个6R机器人，仅当其几何结构满足Pieper准则(机器人的三个相邻关节轴交于一点或三轴线平行)时，采用解析法才可以求得其封闭解。

采用数值法则不受机器人结构的限制，数值法主要包括消元法、延拓法和迭代计算法三大类。消元法从机器人的非线性运动方程出发，构造相关的多项式方程，通过计算该多项式方程求得其逆解；延拓法通过跟踪解的路径，从一个已知的初始位姿(已知起始点的逆解，也就是初始关节角)出发计算目标位姿的逆解；迭代法，例如Jacobian迭代法、Newton-Raphson迭代等算法，则是从一个给定的初始值出发，迭代地计算问题的精确解。目前在OROCOS、OpenRAVE、MoveIt!等开源平台中支持的运动学逆解插件有KDL(Kinematics-Dynamics Library)、TRAC-IK、IKFast等算法库，其中KDL、TRAC\_IK为数值解(迭代法)，IKFast为解析解。

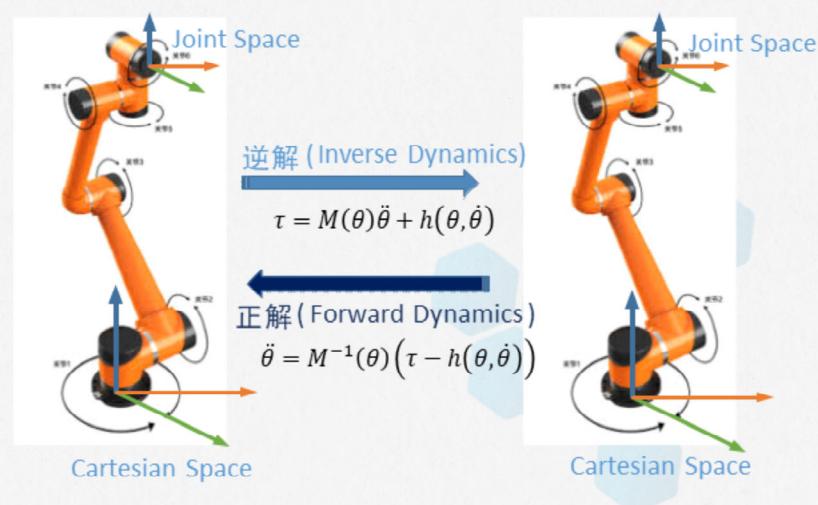
除了以上描述的几何法、解析法、数值法之外，机器人运动学的逆解算法还可以采用智能控制算法，包括遗传算法、神经网络等智能方法。近年来，以李群、李代数为基础的旋量理论在机器人领域的研究，主要通过运动旋量和指数积等数学工具建立运动学方程，求取雅可比矩阵，并为动力学方程、控制方法和运动规划等奠定基础。

## 课程概要

### Course Outline

4 动力学
4.1 Lagrange动力学方法
4.2 基于矢量三角形法的递归牛顿-欧拉动力学方法(RN...)
4.2.1 计算速度和加速度的外推法
4.2.2 作用在连杆上的力和力矩
4.2.3 计算力和力矩的内推法
4.3 基于速度法的递归牛顿-欧拉法
4.3.1 单刚体运动旋量-力旋量方程推导
4.3.2 采用运动旋量-力旋量表示的牛顿-欧拉逆动力学方程推导
4.3.3 基于速度法的组合形式动力学方程封闭解
4.4 基于速度法的组合形式动力学方程封闭解
4.5 空间向量表示法
4.5.1 运动向量和力向量
4.5.2 空间向量运算规则
4.5.3 空间加速度
4.5.4 空间动量与空间惯量
4.5.5 空间运动方程
4.6 基于空间向量表示法的刚体动力学模型
4.6.1 连接图
4.6.2 连杆和关节几何参数
4.6.3 连杆与关节之间速度、加速度以及力的传递
4.7 基于空间向量表示法的递归牛顿-欧拉逆动力学
4.8 基于关节体算法(ABA: Articulated-Body Algorithm)
4.9 利用逆动力学求解开链机器人正动力学
4.9.1 利用逆动力学计算 $\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$ 的方法
4.9.2 利用逆动力学求 $M$ 的方法
4.10 采用欧拉积分方法进行正运动学数值计算
4.11 六轴协作机器人动力学分析实例
4.12 扩展阅读
习题:
程序设计

## Ch4 机器人动力学



机器人动力学研究运动和受力之间的关系，所谓动力学方程，也就是机器人各关节位置、速度、加速度与关节驱动电机输出的驱动力矩之间的关系。机器人动力学分析，和运动学类似，同样分为正动力学和逆动力学分析。

所谓正动力学，也就是知道了各关节的驱动力矩，它会得到什么样的响应（各关节位置、速度、加速度），这个主要是从牛顿第二定律，一个质点的运动方程出发，得到一个欧拉-拉格朗日方程来求解。正解求出来，一般可用于仿真，看看力矩控制的效果如何，由于实际的机器人作业过程中，其最重要的一环是位置控制，所以并不能单纯用电流控制环来完全控制关节的运动特性，电流环的控制只起到辅助控制的作用，需要用到力/位混合控制等算法。

动力学逆解，则是分析机器人沿着期望的轨迹运动（关节角度、速度、加速度已知）时，关节驱动电机所需要的驱动力或力矩，当然这个力矩是经过减速机之后的综合输出力矩，把这个转换成电流反馈控制，实现机器人精确的运动控制，特别是改善其动力学特性。

## 课程概要

### Course Outline

### Ch5 机器人运动规划

- 机器人位形空间表达方法
  - 位形空间障碍 $C_{obs}$ 、到障碍物的距离与碰撞检测、图Graph和树Tree
- 轨迹生成算法(基于时间尺度)
  - 点到点轨迹生成(线性插值、三次多项式插值、五次多项式插值、梯形加速与S型曲线)
  - 具有中间路点的轨迹生成(基于时间尺度)
  - 轨迹逼近(三阶贝塞尔曲线、n阶贝塞尔曲线、B样条曲线等)、严格经过路点(Catmull-Rom曲线)
- 位形空间离散化规划方法(C-Space Discretizations)
  - 组合规划方法(Combinatorial planning)
  - 四种常用的地图表示方法: 可视图(Visibility graphs)、Voronoi图(Voronoi diagrams)、精确单元分解ECD(Exact cell decomposition)、近似单元分解ACD(Approximate cell decomposition)

- 位形空间离散化规划方法(C-Space Discretizations)
  - 组合规划方法(Combinatorial planning)
  - 四种常用的地图表示方法: Dijkstra算法、广度优先搜索、A\*搜索、D\*搜索等
- 基于采样的规划方法(Sampling-Based Planning):
  - PRM
  - RRT
- 局部规划算法
  - 势场法(Potential Field Methods)
  - Dynamic Window Approach(DWA)
- 全局规划与局部规划
- 非线性优化

机器人运动规划(motion planning)按算法大体可分为数值法、搜索法和智能化路径规划方法等三大类。几乎所有的机器人都需要运动规划器，但工业机器人一般在护栏内作业，不需避障，所以教材上一般称为轨迹规划(trajectory planning)，移动机器人最早都是基于水平面的运动，所以一般叫路径规划(path planning)。

轨迹规划需要在规划路径的基础上，同时考虑机器人的线速度和角速度，也就是路线上的点具有时间约束，但现在机器人已经需要在非结构化三维环境运动，且需要避障，所以运动规划(motion planning)包含的内容更广一些。

基于笛卡尔空间的轨迹规划算法，在直角坐标系下进行两点之间的轨迹插补，然后求位置点的逆解，再到关节空间进行位置、速度、加速度控制。基于关节空间的轨迹规划，直接在关节空间进行关节变化量的求解，利用一阶导得到关节速度、二阶导得到关节加速度，进而实现作业轨迹控制。有些情况下，比如特殊的精细作业、高速作业，有可能还需要考察关节角变化量的三阶导(jerk)，考察轴的运动冲击问题。基础的轨迹规划算法包括直角坐标插补(C traj)、三次多项式/五次多项式(J traj)以及三次样条平滑(Smooth)与插补(Interpolation)算法等。这些都属于数值法，包括概率法和目标函数法，通过数值计算的方法来优化路径，比如利用目标函数的最大或最小值来得到最优路径的方法。

搜索法根据路径形式特点，利用计算机的人工智能搜索算法来搜索可行性路径。其中包括路线图法、可视图法、单元分解法、人工势能场等；在图搜索算法中，较为经典的有Dijkstraz最短路径法、A\*、D\*、随机路线图(probabilistic road map, PRM)、快速扩展随机树(rapidly exploring random tree, RRT)等算法。智能化路径规划方法利用人工智能算法进行求解，主要有基于逻辑推理、模糊

逻辑、神经网络、遗传算法、强化学习等路径规划方法。

## 课程概要

### Course Outline

#### 6 机器人控制

##### 6.1 机器人控制系统

##### 6.2 参数标定与辨识

###### 6.2.1 运动学参数标定

###### 6.2.2 坐标系标定

###### 6.2.3 动力学参数辨识

##### 6.3 工业机器人控制

###### 6.3.1 独立关节控制模型

###### 6.3.2 独立关节设定点跟踪控制

###### 6.3.3 独立关节力矩控制

###### 6.3.4 多关节机器人控制

###### 6.3.5 力控制

###### 6.3.6 约束坐标系

###### 6.3.7 力/位混合控制

##### 6.4 移动机器人控制

###### 6.4.1 移动机器人反馈控制原理

###### 6.4.2 移动机器人点镇定控制

###### 6.4.3 全向移动机器人反馈控制

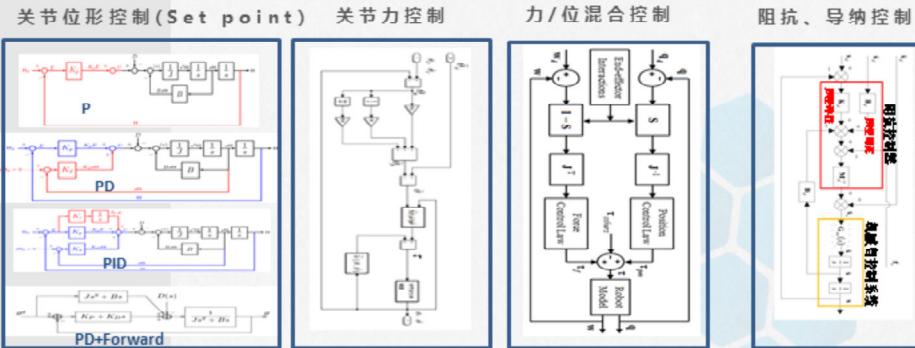
###### 6.4.4 移动机器人里程计

##### 6.5 扩展讨论

##### 习题：

##### 程序设计

## Ch6 机器人控制



机器人控制包含两方面的含义：一方面是指如何从控制机器人运动的基本物理定律中获得其数学模型；另一方面，指机器人智能，机器人能感知环境，采取何种控制律对机器人施加行动以及对感知变量做出相应的反应。

工业机器人一般有三种工作模式：示教(teaching)模式、再现(playback)模式、远程控制(remote control)模式。在示教模式下，操作人员根据厂家提供的示教方式，使用示教器进行轴或末端操作，编写、修改离线程序，以及各种特性文件和参数的设定。在示教模式下完成机器人离线程序编写与仿真校正后，可以进入再现模式，让机器人执行示教程序。而远程控制模式，则是指使用机器人厂家提供的远程连接接口(厂家有可能提供CAN或以太网等通信接口)，在单独的计算机上使用API（应用程序接口）编程来控制机器人完成作业。

工业机器人通常用来替代人工，完成固定的重复性作业，所以普遍采用示教/再现模式，而其他类型机器人，比如移动机器人，可能需要自动规划其运动轨迹，采用远程控制模式（有线或无线的控制接口）。随着嵌入式计算机的发展，机器人控制器的计算与控制能力越来越强大，有些智能机器人的控制器可以直接在上面编程完成复杂的本地在线自动控制。

无论是哪种工作模式，都需要根据机器人作业任务要求的控制目标，设计控制系统的输入，完成相应的控制。例如，轮式移动机器人的轨迹跟踪，需要控制机器人的每个轮子的转速，根据移动机器人的运动学（速度）模型，控制机器人完成沿规划轨迹的运动；工业机械臂的搬运、码垛作业，需要将机器人末端位形作为控制目标（控制输入一般为位形或速度），完成点到点的精确位形控制；连续的焊缝焊接作业需要将机器人的轨迹(位形、速度等)作为控制目标（控制输入一般为速度），完成焊缝轨迹的精确跟踪；而抛光打磨等和操作物体有

接触性要求的作业，则需要将力或力矩作为输入，控制机器人和作业对象之间的相互作用力，实现力/位混合控制。由此，我们把机器人控制定义为：根据环境和任务要求，选择适当的输入，迫使机器人尽可能精确地执行任务或动作的过程。

## 课程概要

Course Outline

## Ch7 机器人语言

- 7 机器人编程语言
  - 7.1 机器人语言发展历史
  - ▲ 7.2 典型工业机器人语言简介
    - 7.2.1 INFORM语言
    - 7.2.2 RAPID语言
    - 7.2.3 KRL语言**
    - 7.2.4 KAREL语言
    - 7.2.5 URScript语言
  - ▲ 7.3 机器人语言的分类
    - 7.3.1 动作级编程语言
    - 7.3.2 对象级编程语言
    - 7.3.3 任务级编程语言
  - 7.4 机器人编程语言的要求

- ▲ 7.5 机器人语言解析器原理
  - 7.5.1 机器人语言指令集设计
  - 7.5.2 机器人语言词库设计
  - 7.5.3 词法分析
  - 7.5.4 语义分析
  - 7.5.5 编译/解析与执行
  - 7.6 AUBO-Script语言(python还是lua?)
- ▲ 7.7 AUBO-i5编程
  - 7.7.1 示教器编程
  - 7.7.2 SDK编程
- 7.8 扩展讨论
- 习题:
- 编程:

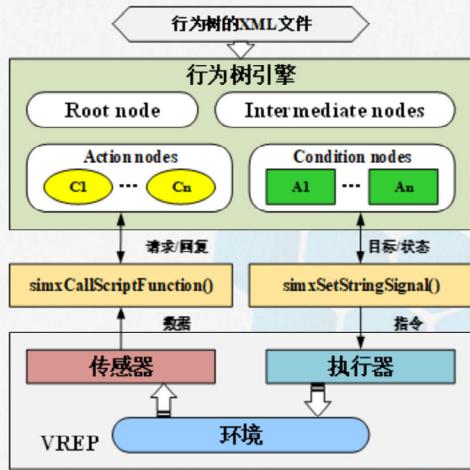
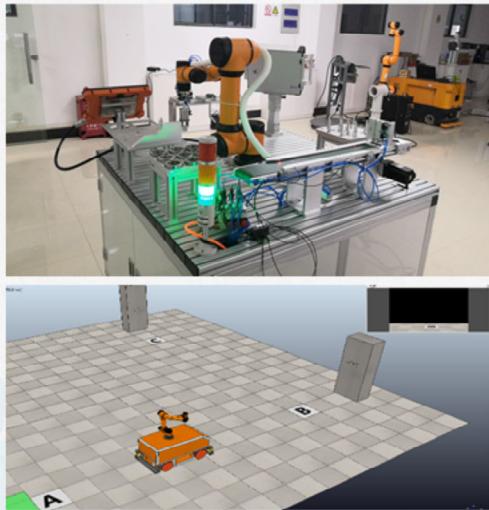
除了结构形式上具有“脑”、“手”、“腿”等特征外，机器人与通常意义上的自动化装备的显著区别在于其具有较强的“柔性”，即能够“再编程”。机器人可以通过传感器以及与其他自动化设备通信，改变作业流程，适应作业过程中的各种变化。机器人的可编程性主要体现在用户与机器人之间的接口方面，其用户接口（User Interface）的先进性逐渐成为了机器人是否可以得到良好应用的重要因素。

从整个机器人的发展历史来看，机器人语言一直在朝通用性语言的方向在发展，但由于工业机器人相对成熟，以及工业机器人的市场竞争性、排他性，各大工业机器人公司的机器人语言并不兼容。但无论是哪家公司的机器人语言，其基本命令主要包括运算、控制、移动以及输入输出等操作指令。在这个机器人语言平台之后，一般采用基于硬件相关的高级程序语言进行解析执行，如C语言、C++语言以及其他符合IEC61131标准的高级编程语言，通过这些高级语言，将机器人用户编写的机器人语言程序进行翻译，解析成相应的计算机指令，在控制器上执行。

## 课程概要

Course Outline

## Ch8 机器人系统设计与实现



工厂或企业在准备采用工业机器人时应当考虑的问题及因素包括任务估计、技术要求与依据、经济理由以及与人的因素的关系等。只有这样，才能论证使用机器人的合理性，选择适当的作业，选用合适的机器人，考虑到今后的发展以及充分发挥人的作用和机器人的优点。机器人总体设计的主要内容有确定基本参数，选择运动方式，确定操作臂配置形式，确定位置检测、驱动和控制方式等。在结构设计的同时，对各部件的强度、刚度做必要的验算。机器人总体设计步骤包含系统分析、技术设计两个步骤。本书第8章介绍了几种典型的机器人系统的设计与实现，给出机器人的应用实例，如：分拣机器人系统设计、搬运码垛机器人系统设计和移动机器人巡防系统设计等。

07

## 机器人与未来-讨论

机器人和人类Coexist? Robots Will Become a New Species on Earth Soon?



## 机器人与未来

Robot and Future

【Nature】The world's first self-healing flexible semiconductor developed successfully, it will make a breakthrough in intelligent bionic robot

The screenshot shows the Nature journal website with the following details:

- Title:** LETTER
- DOI:** doi:10.1038/nature20102
- Authors:** Jin Young Oh<sup>1\*</sup>, Simon Rondeau-Cagnan<sup>1†</sup>, Yu-Cheng Chiu<sup>1†</sup>, Alex Chortos<sup>2</sup>, Franziska Lissel<sup>1</sup>, Ging-Ji Nathan Wang<sup>1</sup>, Bob C. Schröder<sup>1‡</sup>, Tadafumi Kurokawa<sup>2</sup>, Jeffrey Lopet<sup>1</sup>, Toru Katsumata<sup>1,2</sup>, Jie Xu<sup>1</sup>, Chenxin Zhu<sup>1</sup>, Xiaodan Gu<sup>1,4</sup>, Won-Gyu Bae<sup>1</sup>, Yeongin Kim<sup>1</sup>, Lihsia Jin<sup>1†</sup>, Jong Won Chung<sup>1,5</sup>, Jeffrey B.-H. Tok<sup>1</sup> & Zhenan Bao<sup>1</sup>
- Abstract:** Intrinsic stretchability and healability are essential elements of stretchable electronic devices for wearable electronics<sup>1–3</sup>. All of the materials and components of such transistors need to be stretchable and mechanically robust<sup>4–6</sup>. Although there has been recent progress towards stretchable semiconductors<sup>7–10</sup>, the development of stretchable semiconductors has focused mainly on strain-accommodating engineering of materials, or blending of nanofibres or nanowires into elastomers<sup>7–11</sup>. An alternative approach relies on using semiconductors that are intrinsically stretchable, so that they can be tailored to have the required mechanical properties. The stretchability can be enhanced when conjugated polymers, containing more flexible side-chains and segmented backbones, are infused with more flexible molecular building blocks<sup>12,13</sup>. Here we present a design concept for stretchable semiconducting polymers, which involves introducing chemical moieties to promote dynamic non-covalent crosslinking of the conjugated polymers. These 2,6-pyridine dicarboxamide (PDCA) was chosen to introduce hydrogen bonding within the flexible polymer backbone since this unit contains two amide groups possessing moderate hydrogen-bonding strength, allowing the formation of a polymer network without drastically degrading the charge transport mobility<sup>14</sup>. Previous work has indicated that introducing a small fraction of non-contingent units to the polymer backbone does not noticeably degrade the charge transport mobility<sup>14</sup>. Here we introduce alkyl spacers to enhance the flexibility of the dynamic moieties. Semiconducting polymers incorporating PDCA units were synthesized by solution polycondensation synthesis (P1 to P4; structures shown in Fig. 1a). To confirm the presence of hydrogen bonds, both X-ray crystallography and nuclear magnetic resonance (NMR) experiments (Extended Data Figs 1 and 2, and Supplementary Figs 1, 2 and 11) were used to ascertain hydrogen-bond formation in P1 containing model compounds. Initial evaluation of the electrical properties was performed using ...

17 November 2016

斯坦福大学研究人员制备出一种可用于制作晶体管的弹性聚合物，这种聚合物在受损后能自我愈合。这是科学家第一次制作出弹性半导体，为新一代可穿戴设备开辟了道路，相关论文日前在 **Nature** 发表。两位从事软物质物理研究的科学家在 **Nature** 同期评论文章中表示，该研究是在让复杂有机电子表面模仿人类皮肤的发展中的一座里程碑。

通过将刚性半导体聚合物与较软的材料结合在一起，斯坦福大学的一组研究人员制作出了像人体皮肤一样可以拉伸、形成褶皱、自我愈合的半导体，能够用于可穿戴设备、电子皮肤乃至柔性机器人。

### A new polymer for wearable electronics

There is great interest and potential in the development of skin-inspired flexible and wearable electronic devices. Such devices require materials that twist, fold and bend with no loss in electronic or material properties. Zhenan Bao and colleagues report a conjugated polymer that also incorporates non-covalent interactions between adjacent chains, enabling the material to accommodate up to 100% strain whilst maintaining high charge-carrier mobility. In this proof-of-principle study the authors use the polymers to fabricate flexible and stretchable organic transistors that combine robustness with good electronic properties.

## 机器人与未来

Robot and Future

### Future Car



## 机器人与未来

Robot and Future



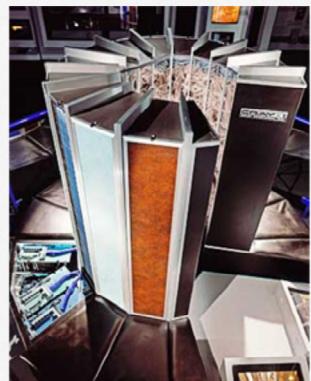
## Future City

Life in the future city will have people even more plugged in than they are today. Virtual conferencing using virtual reality will be standard.

## 机器人与未来

Robot and Future

### Future Computer



Some level of Cyborg technology will develop (that will be both morally positive and morally questionable).



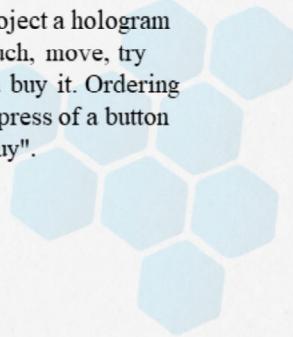
## 机器人与未来

Robot and Future



### Future Devices

Much of our shopping will be done with our small future devices as well. With this device you'll be able to project a hologram that you can physically touch, move, try out in real time before you buy it. Ordering it will be as simple as the press of a button or a vocal command to "buy".



## 机器人与未来

Robot and Future



### Future Electronics



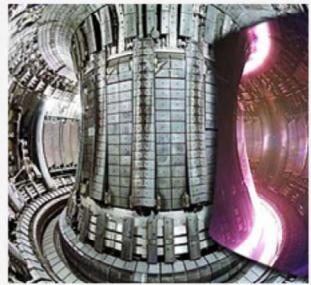
Future electronics also dictate that with your small electronic device you'll be able to control the every move of your robotic personal assistant. Not only that, but a decade after this robots will go semi-holographic in that you'll be able to project them when and where you want them and have them do tasks that they physically will be able to do in the real world.



## 机器人与未来

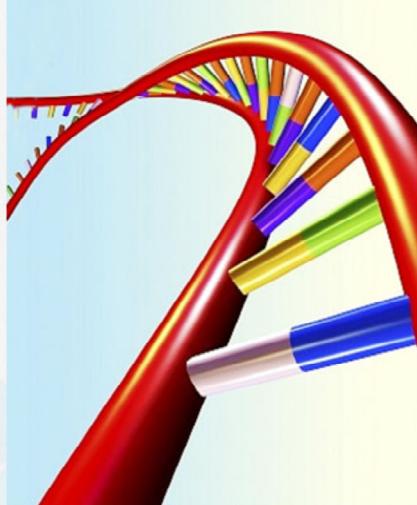
Robot and Future

### Future Energy



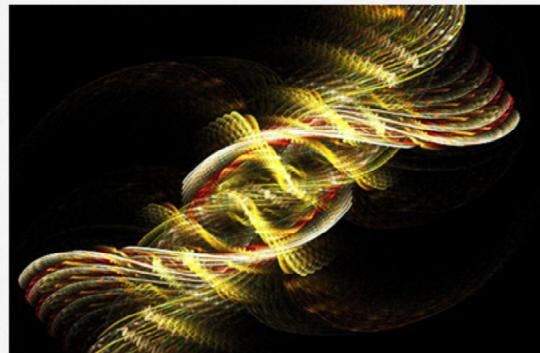
## 机器人与未来

Robot and Future



### Future Gene Splicing

By means of artificial selection and mutagenesis, humans can alter their genomes. In 2010, the first synthetic living organism was developed by the scientists of J. Craig Venter Institute.



## 机器人与未来

Robot and Future

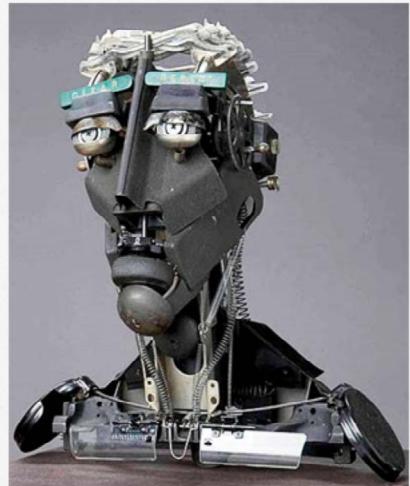
### Future Home



In the future home, high definition television and PC will be combined so that one can access the Internet and watch one's favorite programs at the same time.

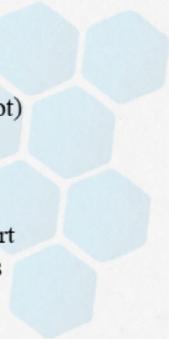
## 机器人与未来

Robot and Future



### Future Robots

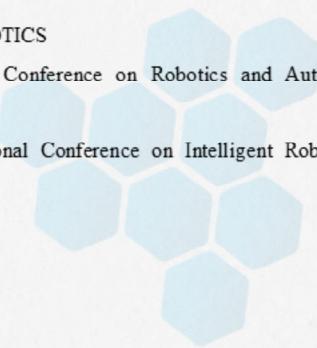
EATR (Energetically Autonomous Tactical Robot) can feed on biomass, gasoline, diesel and coal and is designed to carry heavy loads. It can transport fuel and weapons to places inaccessible to human beings.



## 参考

为了便于查阅机器人领域相关研究动态，列举机器人领域一些重要的国际期刊、国际会议与中文期刊：

- Science Robotics
- IEEE Transactions on Robotics
- Soft Robotics
- INTERNATIONAL JOURNAL OF ROBOTICS RESEARCH
- IEEE-ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS (TMECH)
- IEEE Robotics and Automation Letters
- ROBOTICS AND COMPUTER-INTEGRATED MANUFACTURING
- IEEE ROBOTICS & AUTOMATION MAGAZINE
- AUTONOMOUS ROBOTS
- Journal of Field Robotics
- ROBOTICS AND AUTONOMOUS SYSTEMS
- JOURNAL OF INTELLIGENT & ROBOTIC SYSTEMS
- ROBOTICA
- ADVANCED ROBOTICS
- IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)
- IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)
- 机械工程学报
- 自动化学报
- 计算机学报
- 控制与决策
- 机器人

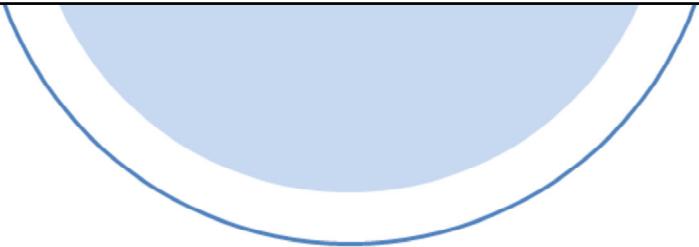


不同学校可能分级是不同的，比如：JCR分区，中科院分区…

## 课后练习

- 1. 简述机器人的发展历史。
- 2. 简述机器人的定义。
- 3. 机器人三定律是什么？你认为机器人的发展会对人类社会产生什么样的影响？
- 4. 机器人有哪些分类方法以及类型？
- 5. 查阅文献，简述人工智能与智能机器人的关系。
- 6. 查阅文献，简述机器人的发展趋势。





# THANK YOU

Robotics

机器人理论与技术基础