

---

2018

# 机器人与人工智能研究报告

AMiner 研究报告第二期

---

清华大学计算机系－中国工程科技知识中心  
知识智能联合研究中心（K&I）

2018 年 3 月



# AI 之机器人学研究报告

## Robotics Research Report

### 摘要

在物联网的时代，RT (Robotics technology) 将取代 IT 成为全球经济增长的新引擎。洞察机器人的发展，不仅需要了解机器人学的知识图谱、学科起源与主要研究学者，更需要把控机器人学未来的发展趋势，掌握国家对于机器人产业的政策动态。本报告将从上述内容出发，向读者展示一个全面的机器人学，占据机器人产业的先机与主动权。

2018 [AMiner.org](http://AMiner.org)

扫描下面二维码，我们将为您提供一年 20 期相关研究报告。



## 目录

|                                            |           |
|--------------------------------------------|-----------|
| 机器人现状及市场 .....                             | 1         |
| <b>Robotics 的知识图谱.....</b>                 | <b>4</b>  |
| L0 Artificial Intelligence .....           | 4         |
| L0 Computer Systems Organization .....     | 6         |
| <b>Robotics 的技术源起.....</b>                 | <b>8</b>  |
| 中国 Robotics 的发展 .....                      | 9         |
| <b>Robotics 的学者分布.....</b>                 | <b>10</b> |
| 全球 Robotics 的学者分布 .....                    | 10        |
| 中国 Robotics 的学者分布 .....                    | 13        |
| <b>Robotics 的研究学者.....</b>                 | <b>14</b> |
| 代表研究学者.....                                | 15        |
| Rising Star.....                           | 20        |
| <b>Robotics 发展趋势 .....</b>                 | <b>21</b> |
| 全局热度 .....                                 | 21        |
| Mobile Robot .....                         | 21        |
| Mobile Robot 的基本发展与分类 .....                | 21        |
| Mobile Robot 国内研究 .....                    | 22        |
| Mobile Robot 的关键技术发展现状 .....               | 23        |
| Humanoid Robot .....                       | 23        |
| Humanoid Robot 的发展 .....                   | 24        |
| Humanoid Robot 的关键技术 .....                 | 26        |
| Humanoid Robot 的应用 .....                   | 28        |
| Human Robot Interaction .....              | 40        |
| 基本交互 .....                                 | 41        |
| 图形交互 .....                                 | 42        |
| 语音交互 .....                                 | 44        |
| 体感交互 .....                                 | 45        |
| Real Time .....                            | 46        |
| Neural Network.....                        | 47        |
| 1)谷歌的处理器 TPU——Tensor Processing Unit ..... | 48        |
| 2)Nvidia Tesla P100 芯片 .....               | 49        |
| 3)IBM True North 芯片 .....                  | 49        |

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 4)IBM 随机相变神经元芯片 .....             | 50 |
| 5)英特尔 Knights Mill 芯片 .....       | 51 |
| 6)嵌入式神经网络处理器(NPU)芯片“星光智能一号” ..... | 52 |
| 7)寒武纪“Dian Nao”芯片 .....           | 52 |
| 近期热度 .....                        | 54 |
| Path Planning .....               | 54 |
| 中国相关政策.....                       | 56 |
| 结语 .....                          | 58 |
| 参考文献.....                         | 59 |

AMiner

# 机器人现状及市场

作为集机械、电子、控制、计算机、传感器、人工智能等多学科先进技术于一体的现代制造业重要的自动化装备，机器人的诞生对未来的生产生活产生了变革性的影响。机器人不仅广泛运用于工厂作业中，而且近两年来开始向家庭生活的运用渗透。就工业运用而言，随着人工运营成本的不断提升，可以 24 小时不间断工作的机器人越来越成为各个产业投资的宠儿。除了带来机械劳动效率的提升之外，机器人的广泛运用还能够生产作业中劳动者的人身安全，降低生产成本。而在机器人在家庭生活中的运用则是进一步减轻了家庭成员们家务劳作的负担，给人们留下了更多的时间陪伴各自的家人。情感机器人的出现则是解决了老人与儿童的看护问题，帮助青年人在家庭与工作之间寻得平衡。总的来说，从早期的从事简单的搬运等生产活动，到目前的陪护功能的发展，机器人的结构与功能发生日新月异的变化，性能与功能得到了不断的拓展与完善。近二十年来，互联网的发展带动了一系列网络延展科技的发展，给人们的生活带来了翻天覆地的变化，未来，互联网将向物联网发展，而机器人作为物联网的重要一环，正不断改变人们的生产生活方式。

目前机器人主要分为：工业机器人和服务机器人两大类。工业机器人细分为焊接机器人、搬运机器人、装配机器人、处理机器人、喷涂机器人五大类，服务机器人细分为个人、家用机器人、专业服务机器人。

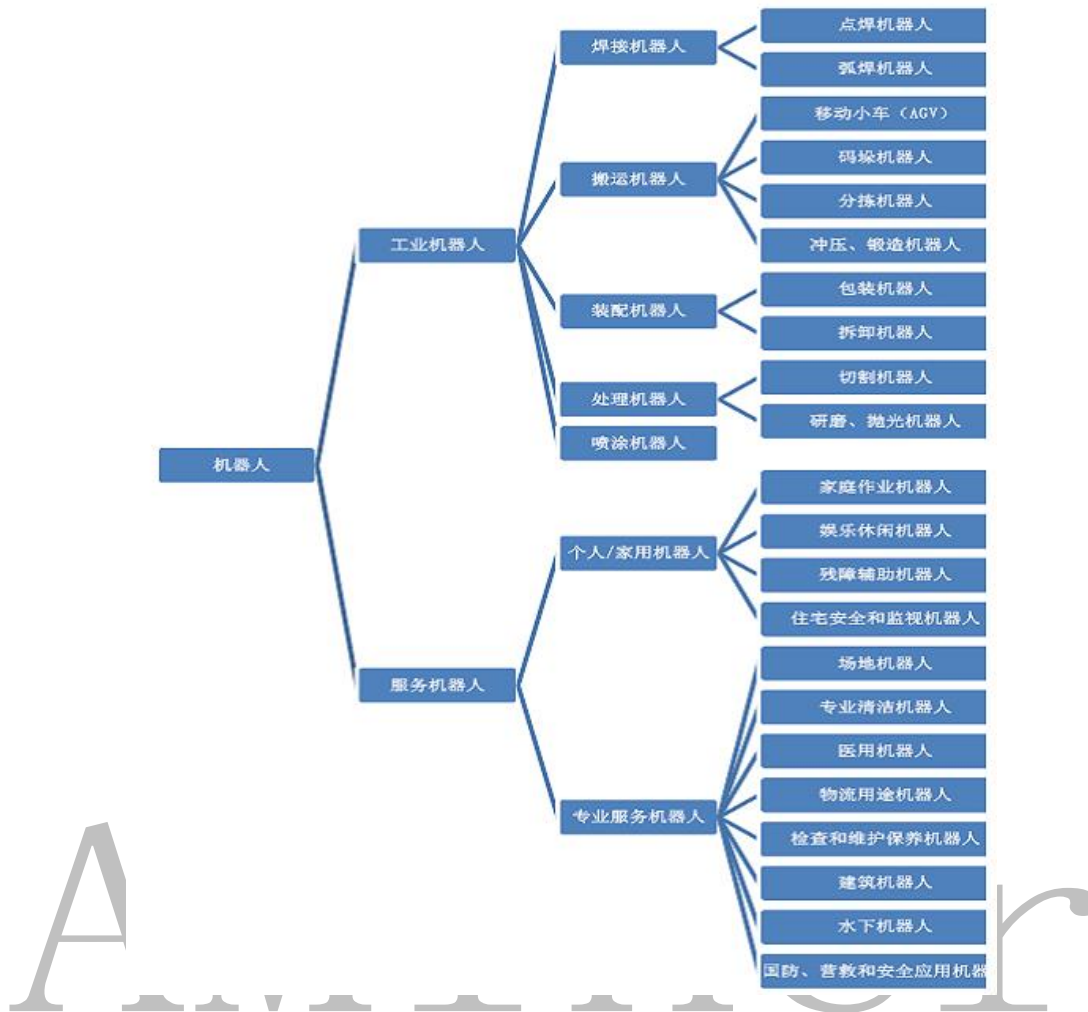


图 1 机器人分类

我们的生活正向着智能化的方向不断发展，智能手机、智能电视、智能冰箱……机器的智能化给人们的生活带来了极大的便利，机器人也不可避免地向着智能化发展，智能机器人将是大势所趋。智能机器人得以实现主要依赖于两项技术的突破：（1）人机互动方式的改善；（2）数据获取与处理能力的提升。追溯到这两项技术的学术之源，**Robotics** 的发展为智能机器人产业的爆发提供了智力支持。**Robotics** 的研究不断地研究如何进一步改善人际互动的方式与优化数据的获取与处理。而随着这一学科的不断发展，随着声音识别、图像分析等技术的全方位突破，在大数据的时代下，智能机器人将成为既智能手机之后又一个行业的独角兽产业，并将带动其他相关链条产业的快速爆发。

作为智能机器人产业核心推动力，**Robotics** 的发展直接决定了智能机器人的人机交互能力和数据的获取与处理能力。以智能机器人为代表的智能硬件产业随时可能爆发，**Robotics** 将扮演决定性作用。

从全球机器人市场规模来看，在全球整体机器人市场规模不断扩大的背景之下，亚洲市场是全球机器人消费的最大市场。根据国际机器人联合会(IFR)2017

年 9 月 27 日发表的“World Robotics 2017 - Industrial Robots”与 2017 年 10 月 11 日发表的“World Robotics 2017 - Service Robots”两篇报告，预计 2017 年全球机器人市场国将达到 232 亿美元，2012 年至 2017 年平均增长率近 17%。在 2017 年，亚洲-澳大利亚地区的机器人安装量估计增加了 21%。美洲的机器人供应量预计激增达 16%，在欧洲将增加 8%。据估计，到 2020 年，全球操作工业机器人的存量将从 2016 年底的大约 182.8 万台增加到 305.3 万台，这表示 2018 至 2020 的年均增长率为 14%。

自 2016 年以来，中国一直是工业机器人的最大使用国。到 2020 年，这个数据将增长到 950300 台，大大超过在欧洲的 611700 台。日本机器人的库存将在 2018 和 2020 之间略有增加。大约 190 万机器人将在 2020 年在亚洲各地运作。这几乎等同于 2016 年全球的机器人股票。日本机器人的存量将在 2018 和 2020 之间略有增加。2020 年大约有 190 万机器人将在亚洲各地运作着，这几乎等同于 2016 年全球的机器人存量。

IFR 表示，中国已经成为了世界上最大的机器人消费国，全球机器人市场价值大约 300 亿美元。目前中国排在工业机器人销量市场的第一位，而美国仅仅排在第四位。排在第二、三位的分别是韩国和日本。数据显示，珠三角地区机器人相关企业数量为 747 家，总产值达 750 亿元，平均销售利润率为 17%，处于全国领先水平。此外，根据《中国制造 2025》的规划，2020、2025 和 2030 年工业机器人销量的目标，分别是 15 万台、26 万台和 40 万台，预计未来 10 年中国机器人市场将达 6000 亿元人民币，增长前景诱人。



图 2 2000-2015 年全球工业机器人销量及增速

# Robotics 的知识图谱

Robotics 的研究涵盖了多项内容，从机器人的结构建造，到智能化处理，Robotics 的发展以多项学科的发展为基础，这些学科的发展支撑了 Robotics 爆发式的成长。提到与 Robotics 相关的学科，我们第一时间想到的是同样是热点的 Artificial Intelligence。确实，Artificial Intelligence 之下的机器人规划与控制等内容都是与 Robotics 息息相关的。事实上，除了 Artificial Intelligence 之外，Robotics 的发展还与 Computer Systems Organization 有关。

详细来说，我们常说的 Robotics 有三种学科起源，分别属于 Artificial Intelligence 与 Computer Systems Organization 下的学科。其中两种分别属于 Artificial Intelligence 之下一级学科 Planning and Scheduling 下的二级学科 Robotic Planning 与一级学科 Control Methods 下的二级学科 Robotic Planning，另一种则属于 Computer Systems Organization 下的一级学科 Embedded and Cyber-physical Systems。

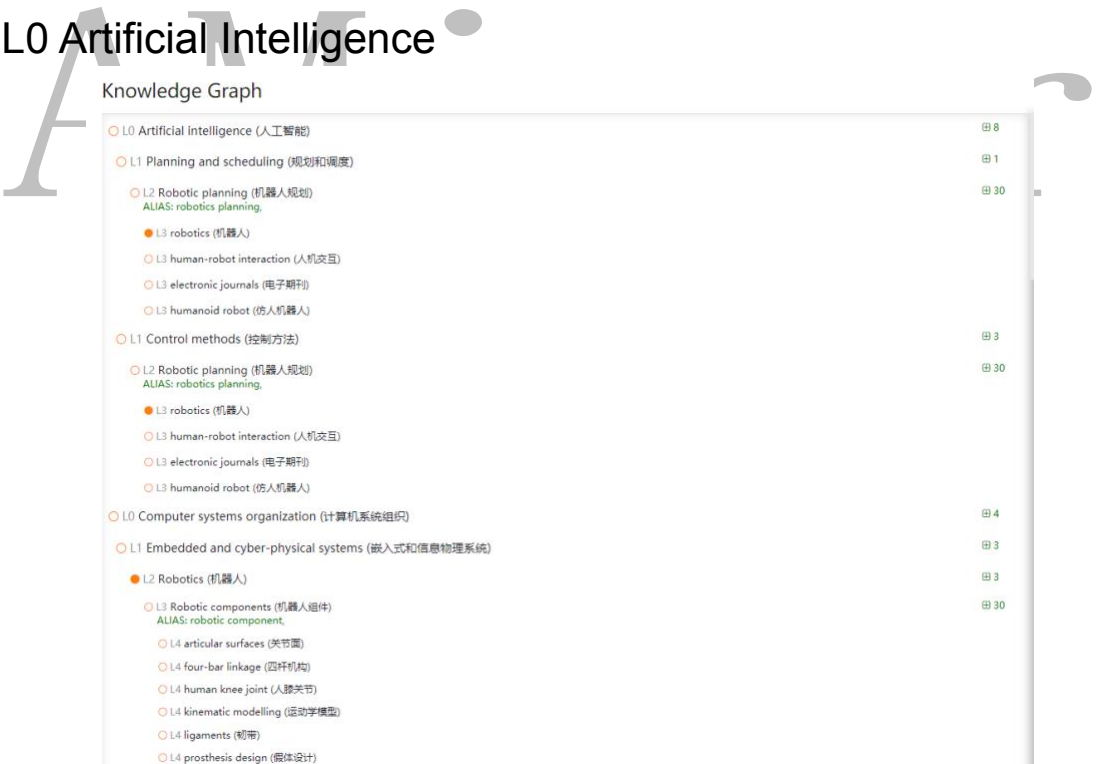


图 3 Robotics 知识图谱

Robotics 是专门研究机器人工程的学科，其最基础的研究内容便是机器人的路径规划控制与人机交互。Artificial Intelligence 是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门系统科学。Robotics 的研



究推动了许多人工智能思想的发展，在 **Artificial Intelligence** 构建世界状态的模型和描述世界状态变化的过程中起到了至关重要的作用。举例来说，关于机器人动作规划生成和规划监督执行等问题的研究，推动了 **Artificial Intelligence** 这一学科中有关 **Robot Planning** 规划方法的发展。机器人的智能化的发展更是 **Artificial Intelligence** 的研究成果运用的一个重要方面。

虽然说 **Robotics** 与 **Artificial Intelligence** 的结合大大推动了 **Artificial Intelligence** 的学科发展，二者的发展存在着千丝万缕的关系，甚至可以说，二者的发展是休戚与共的。但是，总体来说，**Robotics** 只是 **Artificial Intelligence** 领域的一个重要的组成部分。

**Artificial Intelligence** 的主要研究方向有语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等，这些研究方向对于机器人智能化的实践有着重要的意义。其中，尤其是机器翻译，智能控制，专家系统，语言和图像理解不仅是人工智能需要研究的重点，同时也是智能机器人得以实现必须攻破的科技难点。人工智能实际上是将人的智能赋予给其他工具，而机器人则是为这样的智能化提供了一个很好的容器与载体。

**Robotics** 作为 **Artificial Intelligence** 领域一个重要的组成部分，其发展在人工智能领域是有两条主要脉络的发展的。

其中，一级学科 **Planning and Scheduling** 二级学科 **Robotic Planning** 下的 **Robotics** 的代表学者有 **Sebastian Thrun**、**Wolfram Burgard**、**Hiroshi shiguro**、**Atsuo Takanishi** 等。



Sebastian Thrun

H

128

A

38.32

S

15.06

C

73902

P

546

Research Professor

Computer Science Department,Stanford University

Mobile Robot

Mobile Robots

Path Planning

Navigation

Probability

Real Time

Computer Science

Mobile Robot Navigation



Wolfram Burgard

H

94

A

145.27

S

37.32

C

45874

P

458

professor

Autonomous Intelligent Systems,University of Freiburg

Mobile Robot

Mobile Robots

Path Planning

Simultaneous Localization And Mapping

Navigation

Computer Science

Probability

Robustness



Hiroshi Ishiguro

H

55

A

152.53

S

80.86

C

11664

P

676

Professor

Osaka University

Human Robot Interaction

Humanoid Robots

Humanoid Robot

Robots

Human-robot Interaction

Mobile Robots

Social Robot

Psychology



Atsuo Takanishi

H

32

A

164.33

S

66.11

C

5159

P

635

Professor

Waseda University

图 4 L0 artificial intelligence L1 planning and scheduling L2 robotic planning L3 Robotics 代表学者

这一领域的代表论文主要有 Probabilistic robotics、Robot vision、The complexity of robot motion planning 等。

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Probabilistic robotics</b><br>Sebastian Thrun<br>Commun. ACM (2002)<br>Cited by: 7859                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Robot vision</b><br>Berthold Klaus Paul Horn<br>Robotics (1986)<br>Cited by: 5854                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>The complexity of robot motion planning</b><br>J. Canny<br>Cited by: 1833                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>The complexity of robot motion planning</b><br>John F. Canny<br>The complexity of robot motion planning (1988)<br>Cited by: 1674                                                                                                                                                                         |
| <b>Introduction to Autonomous Mobile Robots</b><br>Roland Siegwart, Illah R. Nourbakhsh<br>Introduction to Autonomous Mobile Robots (2004)<br>Cited by: 2726                                                                                                                                                |
| <b>Robotics: Modelling, Planning and Control</b><br>Bruno Siciliano, Lorenzo Sciavicco, Luigi Villani, Giuseppe Oriolo<br>Robotics: Modelling, Planning and Control (2008)<br>Cited by: 4758                                                                                                                |
| <b>Learning and executing generalized robot plans</b><br>Richard E. Fikes, Peter E. Hart, Nils J. Nilsson<br>Readings in knowledge acquisition and learning (1981)<br>Cited by: 1401                                                                                                                        |
| <b>Learning and Executing Generalized Robot Plans</b><br>Richard Fikes, Peter E. Hart, Nils J. Nilsson<br>Artif. Intell. (1972)<br>Cited by: 1198                                                                                                                                                           |
|  <b>Planning walking patterns for a biped robot</b><br>Qiang Huang, Kazuhito Yokoi, Shuuji Kajita, Kenji Kaneko, Hirohiko Arai, Norihiro Koyachi, Kazuo Tanie<br>IEEE T. Robotics and Automation (2001)<br>Cited by: 1062 |

图 5 L0 artificial intelligence L1 planning and scheduling L2 robotic planning L3 Robotics 代表论文

而属于一级学科 Planning and Scheduling 二级学科 Robotic Planning 下的 Robotics 与属于一级学科 Control Methods 二级学科 Robotic Planning 下的 Robotics 的代表学者和代表论文类似,均以 Sebastian Thrun、Wolfram Burgard、Hiroshi shiguro、Atsuo Takanishi 等学者与 Probabilistic robotics、Robot vision、The complexity of robot motion planning 等论文为代表。

## L0 Computer Systems Organization

人工智能的发展为机器人提供了人的智能,极大推动了机器人的智能化的发展,而 Computer Systems Organization 则是为机器人提供了一套科学的行为行动规划系统。

属于 Computer Systems Organization 下的一级学科 Embedded and Cyber-physical Systems 下的 Robotics 以 Jian Huang(黄健)与 Shankar Sastry 两位学者为代表。

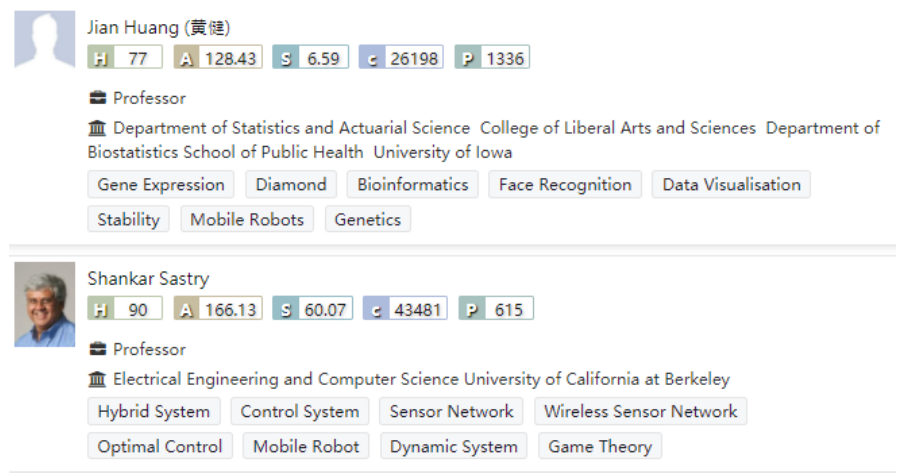


图 6 L0 computer systems organization L1 embedded and cyber-physical systems L2 robotic planning L3 Robotics 代表学者

**Optimal Adaptive System Health Monitoring and Diagnosis for Resource Constrained Cyber-Physical Systems**  
Y. Zhang, I.-L. Yen, F. B. Bastani, A. T.Tai, S. Chau  
ISSRE (2009)  
Cited by: 7

**Toward a Science of Cyber-Physical System Integration.**  
Janos Sztipanovits, Xenofon D. Koutsoukos, Gabor Karsai, Nicholas Kottenstette, Panos J. Antsaklis, Vijay Gupta, Bill Goodwine, John S. Baras, Shige Wang  
Proceedings of the IEEE (2012)  
Cited by: 171

**CPSGrader: synthesizing temporal logic testers for auto-grading an embedded systems laboratory**  
Garvit Juniwal, Alexandre Donzé, Jeff C. Jensen, Sanjit A. Seshia  
EMSOFT (2014)  
Cited by: 16

**Framework for Estimating Energy Consumption in Embedded Systems.**  
Elisabete Nakoneczny Moraes, Leandro Buss Becker  
SBESC (2011)  
Cited by: 3

**Intelligence technology for cyber-physical robot system**  
Jong-Hwan Kim  
ICPAIR, 2011 International Conference (2011)

**Hybrid Dynamical Systems: An Introduction to Control and Verification**  
Hai Lin, Panos J. Antsaklis  
Foundations and Trends in Systems and Control (2014)  
Cited by: 18

**Active smart u-things and cyber individuals**  
Jianhua Ma  
AMT (2010)  
Cited by: 1

**SenseDSL: Automating the Integration of Sensors for MCU-Based Robots and Cyber-Physical Systems**  
Christian Berger  
Proceedings of the 14th Workshop on Domain-Specific Modeling (2014)

**Using Robots and Contract Learning to Teach Cyber-Physical Systems to Undergraduates.**  
Tanya L. Crenshaw  
IEEE Trans. Education (2013)

图 7 L0 computer systems organization L1 embedded and cyber-physical systems L2 robotic planning L3 Robotics 代表论文

相关的代表性论文有 optimal adaptive system health monitoring and diagnosis for resource constrained cyber-physical systems、toward a science of cyber-physical system integration、GPS Grader: synthesizing temporal logic testers for auto-grading an embedded systems laboratory 等。

## Robotics 的技术源起

早在 20 世纪 20 年代前后，人们便已经产生了关于机器人的想象，在早期的人们的想象中，机器人实际上是一种无所不能的超人式的存在。这些作品主要产生于捷克与美国，相关的国家传创作的科幻作品与动漫作品，都有大量的有关于人们对机器人的功能的想象。

从产业的发展来看，最早在 1954 年，美国的戴沃尔制造了世界第一台机器人实验装置，发表了《适用于重复作业的通用性工业机器人》一文，并获得美国专利；1960 年，美国 Unimation 公司根据戴沃尔德技术专利研制出第一台机器人样机，并定型生产 Unimate（意为“万能自动”）机器人。同时，美国“机床与铸造公司”（AMF）设计制造了另一种圆柱坐标形式的可编程机器人 Versatran（意为“多才多艺用途搬运机器人”）；1967 年日本川崎重工公司从美国购买了机器人的生产许可证，日本从此开始了对机器人的制造和开发热潮。

到了 20 世纪 80 年代，随着计算机技术的不断发展，人们关于机器人的想象逐渐成为现实，机器人技术的发展达到了一个新的水平。

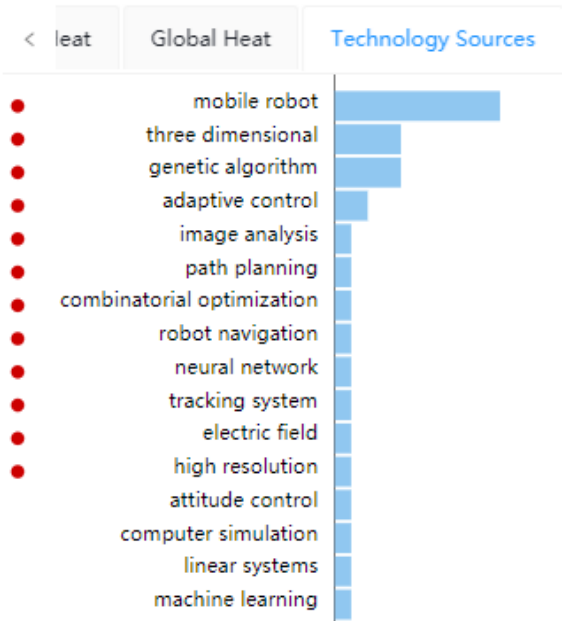


图 6 technology sources

从技术源起上讲，Robotics 的发展是以 mobile robot、three dimensional、genetic algorithm、adaptive control、image analysis 等学科的发展为基础的。

其中，mobile robot、genetic algorithm、adaptive control 在今天仍是研究的热点，而 three dimensional、image analysis 的热度则开始消退。

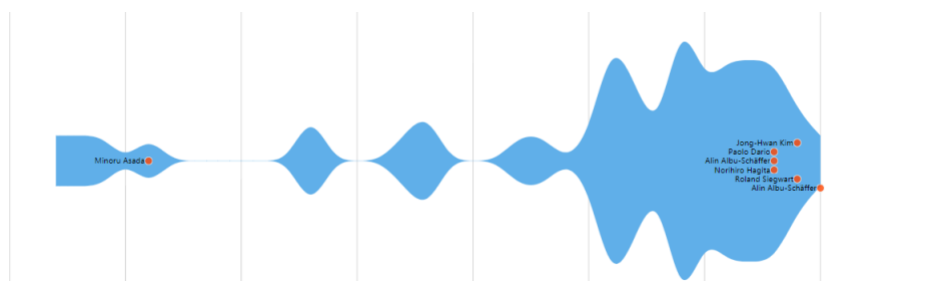


图 7 1980-2016 three dimensional 发展图

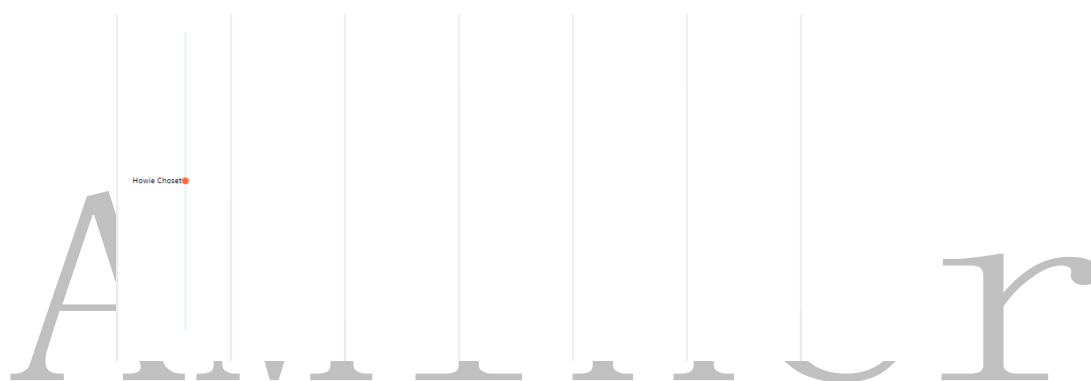


图 8 1985-2016 image analysis 发展图

## 中国 Robotics 的发展

从产业的角度而言，我国对于机器人有着极大的产业需求，据 IFR 的产业报告，中国是全球机器人需求量最大的国家。但是就技术的发展而言，我国对于机器人学的研究起步比较晚。在 20 世纪 70 年代开始，机器人学才开始在我国萌芽。随后的二十年里，机器人学在我国蓬勃发展，随着一批批中国学者前赴后继地投入机器人学地研究，我国在相关领域的学术发展在全球崭露头角。其中，我国机器人学发展的主要的历史事件有：1972 年，中国科学院沈阳自动化研究所开始了机器人的研究工作；1985 年 12 月，我国第一台水下机器人“海人一号”首航成功，开创了机器人研制的新纪元；1997 年，南开大学机器人与信息自动化研究所研制出我国第一台用于生物实验的微操作机器人系统。2015 年，国内版工业 4.0 规划——《中国制造 2025》行动纲领出台，其中提到，我国要大力推动优势和战略产业快速发展机器人，包括医疗健康、家庭服务、教育娱乐等服务

经过近四十年的发展，我国机器人的研究有了很大的发展，有的方面已达到世界先进水平，但与先进的国家相比还是有较大差距，从总体上看，我国机器人研究仍然任重道远。

早期机器人的运用主要是在工厂结构化的环境中，而到了 20 世纪 80 年代中期开始，机器人的力量开始向日常生活中渗透。家庭清洁、办公助理、医院辅助，机器人给人们的生活带来了天翻地覆的变化。作为一门与人类福祉息息相关的学科，**Robotics** 在全球掀起了研究的热潮。

机器人学的全球学者分布与相应国家对于机器人的产业需求是类似的，全球 **Robotics** 研究学者集中分布在美中日德等少数国家，美国在 **Robotics** 方面的研究在全球遥遥领先。



机器人最早是在美国研发而成的，早在 1962 年，美国便研发出了世界上的第一台工业机器人，即使比起号称是“机器人王国”的日本，起步也是早了五六年。从机器人学的产业化运用来看，美国是绝对的机器人强国，相关技术的发展远远领先于其他国家。

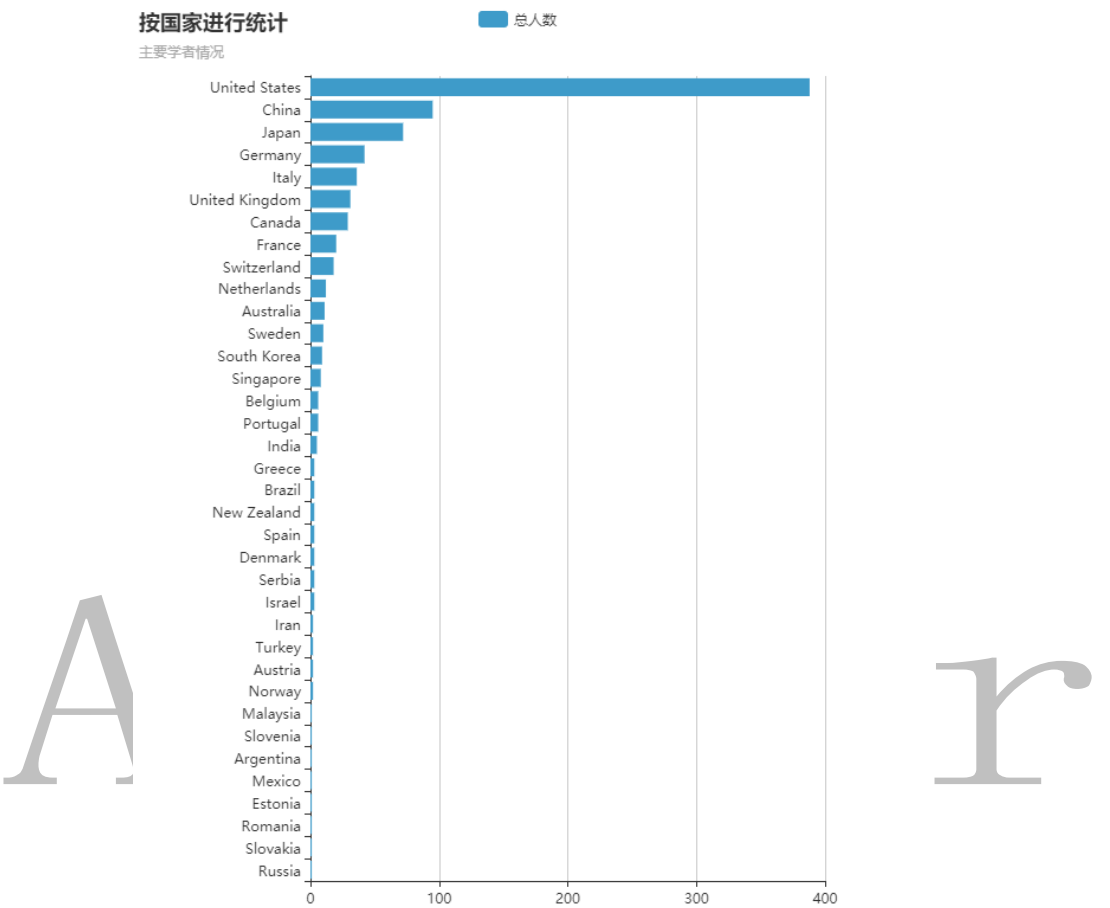


图 10 全球 Robotics 学者分布

尽管美国的技术在全球遥遥领先，但是在机器人研究这一领域美国的发展并不是一帆风顺的。在机器人学发展的早期阶段，政府并不支持相关产业的发展，因此，机器人的研究仅限于部分的实验室与少数企业。对于大多数企业来说，他们看不到短期能够盈利的增长点，再加上没有政府的资金支持，投资机器人产业是一项非常冒险的事情。而政府出于维护劳动力的考虑，防止机器人的产生会带来失业率下降的风险，对于机器人的产业保持不支持的态度。在当时美国失业率高达 6.65% 的背景之下，美国政府的态​​度虽然对于机器人的发展来说是一种战略性的错误，但事实上确实在早期保护了部分劳动者的利益。到了 20 世纪 70 年代后期，美国政府改变了对机器人产业的态度，重点投资了部分军用机器人、海洋探索机器人、太空探索机器人等高端机器人，对于用于实际生产运用的工业机器人投入较少。而在这一阶段，日本对于工业机器人的研究后来居上，在工业机

机器人的产业研究与运用上大展拳脚，成为世界上非常有竞争力的工业机器人生产国家。到了 80 年代以后，美国政府才开始重视工业机器人的研究，在政策上对于机器人的研究给予了相当程度的支持，加大了对于机器人研究的资金投入，并制定了完善的发展计划。政府的支持给予了学界与产业界极大的激励，机器人产业的发展成为了美国再次工业化的特征。政府的政策成为了研究的方向标，美国机器人的产业在这一阶段迅速发展。在政府的支持下，大量的实验室与公司投入了机器人的研究，到了 80 年代中后期，各大厂家在机器人技术上的研究日臻成熟。当时机器人的发展已经满足不了美国工业发展的需求。由于生产的需要，美国开始研究具有视觉与力觉的新一代机器人。这些机器人的诞生极大地提升了工业的生产率，诞生初期便受到了产业界的极大的欢迎，并在短期之内占领了美国 60% 的机器人市场。美国机器人的发展因其性能可靠，功能全面，精确度高在国际上备受赞誉。就目前的发展来看，美国的机器人学研究在机器人语言学、人工智能技术、军用机器人技术成果尤为显著。在机器人语言学上，美国机器人语言类型多、应用广，水平高居世界之首；在人工智能技术的发展商，智能技术发展快，其视觉、触觉等人工智能技术已在航天、汽车工业中广泛应用；说到高智能、高难度的军用机器人、太空机器人，美国在相关产业的发展也是十分迅速，产出的机器人主要用于扫雷、布雷、侦察、站岗及太空探测方面。

机器人产业的是日本的一个战略产业，从一开始，日本政府便对机器人产业的发展给予了极大的政策支持。日本由于人口老龄化十分严重，政府不得不寄希望于机器人产业的发展来提升劳动力水平，承担日常的生产生活活动。在日本，人们可以感受到一种“让机器人成为人”的氛围，这样一种文化氛围也在一定程度上增长了日本学术界于产业界对于机器人研究的热情。为了攻克服务机器人发展的关键技术难题，在 2006 年至 2010 年间，日本政府每年投入 1000 万美元用于研发服务机器人。

而德国在于机器人产业上的发展与其自身的社会环境是有很大关系的。由于战争的原因，德国面临着严重的劳动力不足的现实。机器人产业的发展成为了政府解决工业发展瓶颈的最佳选择之一。与美国和日本不同的是，德国采取了一些行政手段推动机器人产业的发展。对于一些高危的产业，政府强制限制相关工作只能由机器人来执行。这一计划在很大程度上推动了机器人在德国的发展与运，并进一步促进了机器人技术的研究。在德国政府的大力支持之下，德国的服务机器人的研究和应用方面在世界上处于公认的领先地位：机器人保姆 Care-O-Bot3 是德国服务机器人的巅峰成果之一。在机器人保姆 Care-O-Bot3 身上有着不计其数的传感器、立体彩色照相机、激光扫描仪和三维立体摄像头，这些传感器使



得识别日常生活用品与避免误伤主人成为了可能。与此同时，语言分析技术与运动规划技术的发展，让这一机器人具备了声控或手势控制的能力。在相关技术的支持下，机器人保姆 Care-O-Bot3 可以听懂主人的语音命令并看懂主人的手势命令。

## 中国 Robotics 的学者分布

中国的机器人研究虽然起步非常晚，但是政府对相关产业给予了相当程度的支持与重视。1986 年 3 月，中国政府把、把研究、开发智能机器人的内容列入国家 863 高科技发展规划中。在中国政府的支持之下，中国建成了一批高水平的研究开发基地，造就了一支跨世纪的研究开发队伍，为 21 世纪机器人技术的持续创新发展奠定了基础。在中国，Robotics 研究学者集中分布在北京、江苏、广东等地。京东、阿里巴巴、腾讯等企业在 Robotics 领域持续加大投入。



图 11 中国 Robotics 学者分布

# Robotics 的研究学者

有关 Robotics 的研究主要以 Roland Siegwart、Atsuo Takanishi、Paolo Dario、Kerstin Dautenhahn、Hiroshi Ishiguro、Takayuki Kanda、Wolfram Burgard、Manuela M. Veloso、Gerd Hirzinger、Sebastian Thrun 十人为首的流派研究构成。这十位研究学者分别来自于不同的研究机构，研究兴趣主要集中在 human motion、mobile robots、motion planning、humanoid robots 和 human robot interaction 等方向。这些学者在 citation、G-index、H-index、diversity 和 sociability 方面都有着不俗的表现，但是近两年参加的活动较少。

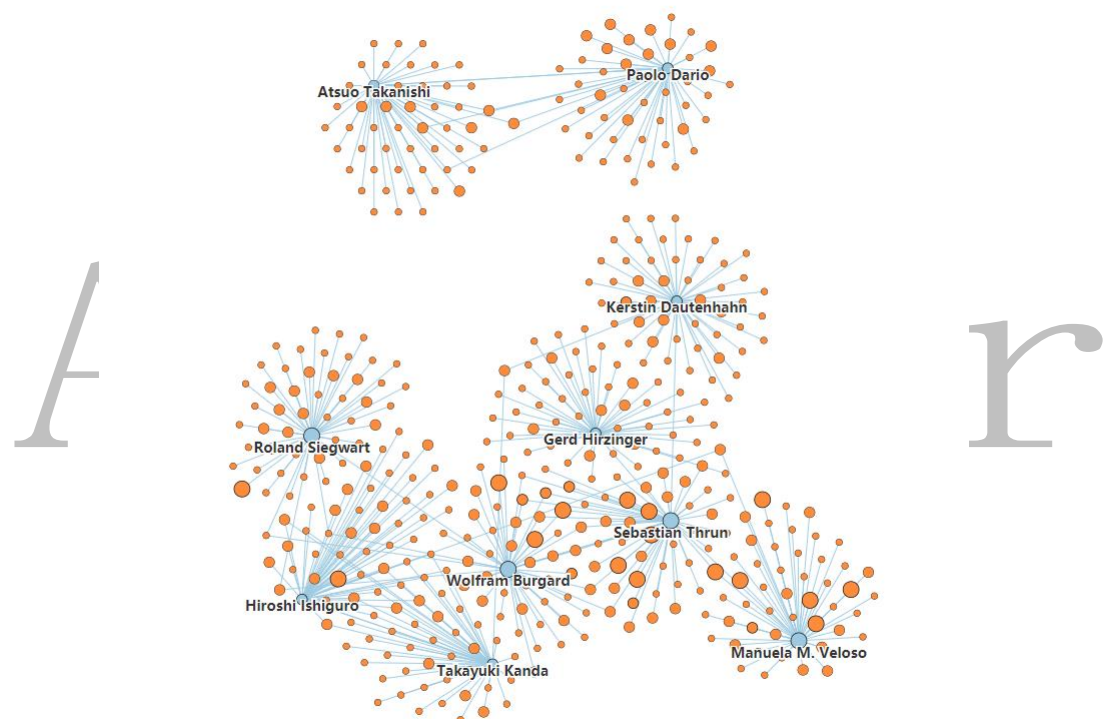
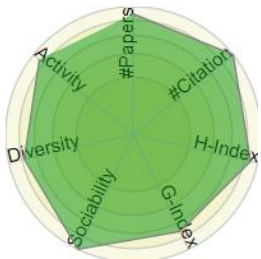
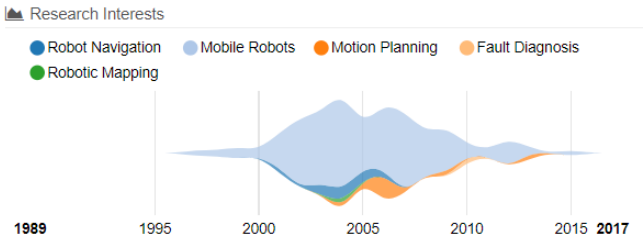
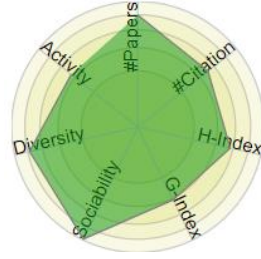
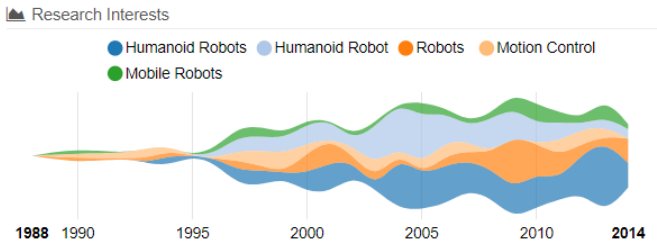
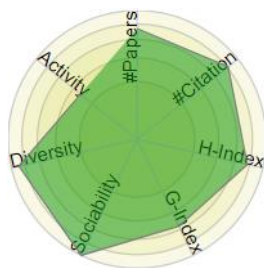


图 12 Robotics 全球专家关系图谱

代表研究学者

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div data-bbox="269 302 531 721"><p>Roland Siegwart</p><p>h-Index: 75   #Papers: 490</p><p>professor</p><p>Swiss Federal Institute of Technology</p></div> <div data-bbox="277 797 539 1055"></div> | <p>Roland Siegwart</p> <p>Roland Siegwart 教授现在 Swiss Federal Institute of Technology 工作，研究兴趣主要在 Robot Navigation、Mobile Robots、Motion Planning、Fault Diagnosis 和 Robotic Mapping。Roland Siegwart 发表有 490 篇 paper，在 paper、citation、H-index、G-index、sociability、diversity、activity 等方面有着出色的表现。与他相似的研究人员有 Nicola Tomatis、Cédric Pradalier、Agostino Martinelli、Samir Bouabdallah、Gilles Caprari 等。</p> <div data-bbox="668 808 1315 1043"></div> <p>图 13 RolandSiegwart 的研究兴趣</p> |
| <div data-bbox="269 1196 531 1603"><p>Atsuo Takanishi</p><p>h-Index: 32   #Papers: 635</p><p>Professor</p><p>Waseda University</p></div> <div data-bbox="277 1635 539 1892"></div>               | <p>Atsuo Takanishi</p> <p>Atsuo Takanishi 教授现在 Waseda University 工作，研究兴趣主要在 Humanoid Robots、Robots、Motion Control、Mobile Robots。Atsuo Takanishi 发表有 635 篇 paper，在 paper、sociability、diversity 等方面有着出色的表现。与他相似的研究人员有 Hun-Ok Lim、Hideaki Takanobu、Massimiliano Zecca、Hiroyukilshii、Salvatore Sessa 等。</p> <div data-bbox="655 1563 1315 1805"></div> <p>图 14 Atsuo Takanishi 的研究兴趣</p>                                                                                         |



## Paolo Dario

Paolo Dario 教授现在 CRIM Lab, Polo Sant' Anna Valdera, Scuola Superiore Sant' Anna, Pisa, Italy 工作, 研究兴趣主要在 Surgical Robots、Rehabilitation Robotics、Mobile Robots、Human Motion 和 Visual Tracking。Paolo Dario 发表有 548 篇 paper, 在 paper、citation、sociability、diversity、等方面有着出色的表现。与他相似的研究人员有 Arianna Menciassi、Cecilia Laschi、Maria Chiara Carrozza、Eugenio Guglielmelli、Cesare Stefanini 等。

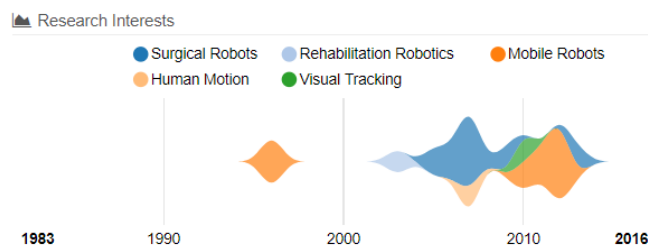
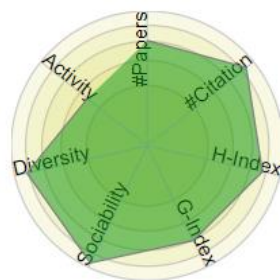
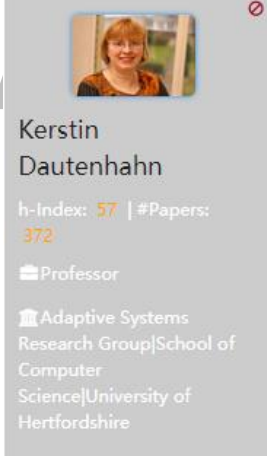


图 15 Paolo Dario 的研究兴趣



## Kerstin Dautenhahn

Kerstin Dautenhahn 在 Adaptive Systems Research Group, School of Computer Science, University of Hertfordshire 任职, 研究兴趣主要在 Human Robot Interaction、Virtual Environments、Intelligent Agents、Computational Models、Autonomous Robots。Kerstin Dautenhahn 发表有 372 篇 paper, 在 citation、H-index、sociability、diversity 等方面有着出色的表现。与他相似的研究人员有 Chrystopher L. Nehaniv、Michael L. Walters、Kheng Lee Koay、Dag Sverre Syrdal、Ben Robins 等。

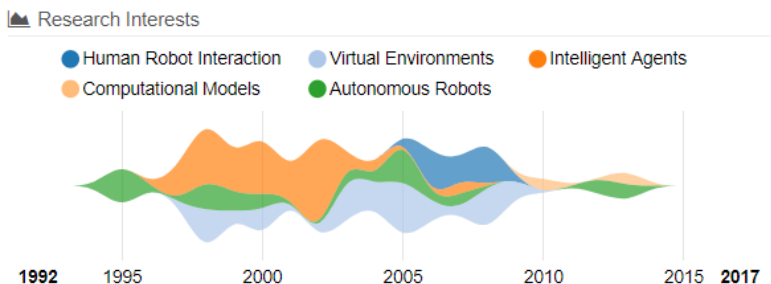
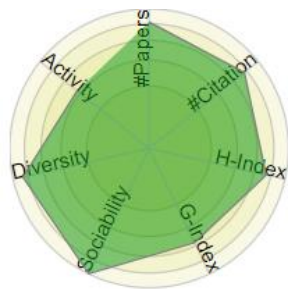


图 16 Kerstin Dautenhahn 的研究兴趣



**Hiroshi Ishiguro**  
h-Index: 55 | #Papers: 676  
Professor  
Osaka University



## Hiroshi Ishiguro

Hiroshi Ishiguro 现在 Osaka University 工作，研究兴趣主要在 Human Robot Interaction、Humanoid Robots、Robots。Hiroshi Ishiguro 发表有 676 篇 paper，在 papers、citation、H-index、sociability、diversity 等方面有着出色的表现。与他相似的研究人员有 Takayuki Kanda、Norihiro Hagita、Masahiro Shiomi、Takahiro Miyashita、Shuichi Nishio 等。

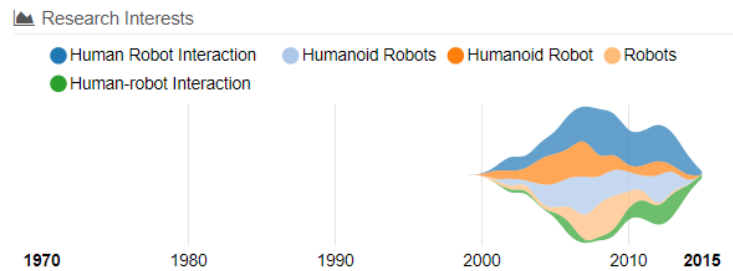
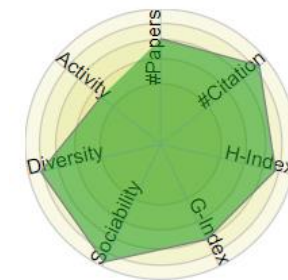


图 17 Hiroshi Ishiguro 的研究兴趣



**Takayuki Kanda**  
h-Index: 52 | #Papers: 250  
Senior Research Scientist  
ATR Intelligent Robotics and Communication Laboratories



## Takayuki Kanda

Takayuki Kanda 教授现在 ATR Intelligent Robotics and Communication Laboratories 工作，研究兴趣主要在 Humanoid Robots、Human Robot Interaction、Social Robots、Mobile Robots、Autonomous Robots。Takayuki Kanda 发表有 250 篇 paper，在 H-index、sociability、diversity 等方面有着出色的表现。与他相似的研究人员有 Hiroshi Ishiguro、Norihiro Hagita、Masahiro Shiomi、Michita Imai、Tatsuya Nomura 等。

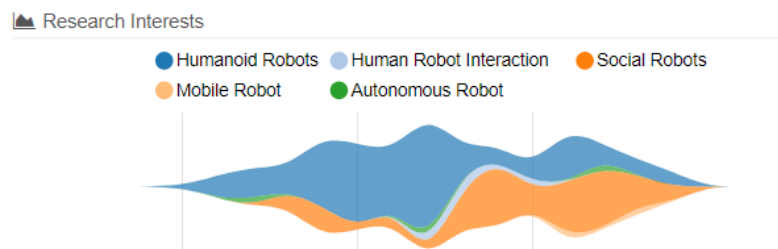
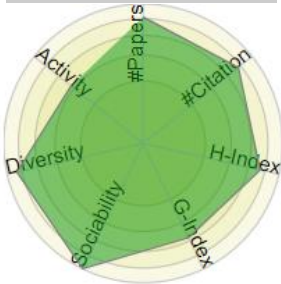


图 18 Takayuki Kanda 的研究兴趣





## Wolfram Burgard

Wolfram Burgard 教授现在 Autonomous Intelligent Systems, University of Freiburg 工作, 研究兴趣主要在 Mobile Robot、Path Planning、Simultaneous Localization and Mapping、Navigation, 发表有 458 篇 paper, 在 papers、citation、H-index、G-index、sociability、diversity 等方面有着出色的表现。与他相似的研究人员有 Sebastian Thrun、Cyrill Stachniss、Dieter Fox、Giorgio Grisetti、Armin B. Cremers 等。

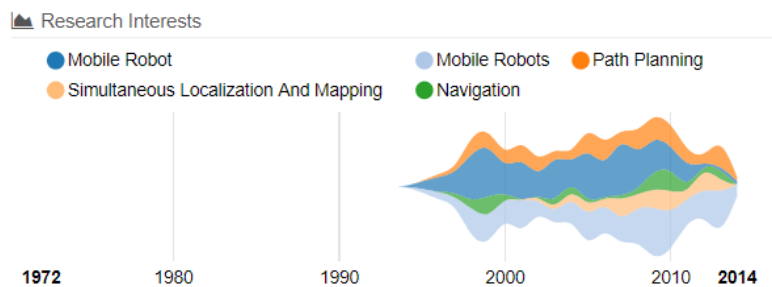
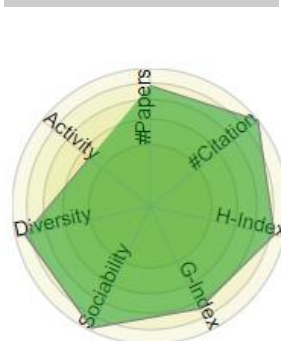


图 19 Wolfram Burgard 的研究兴趣



## Manuela M. Veloso

Manuela M. Veloso 教授现在 Department of Electrical & Computer Engineering, Carnegie Mellon University 工作, 研究兴趣主要在 Mobile Robot、Robot、Real-time、Artificial Intelligence、Multi Agent System。Manuela M. Veloso 发表有 588 篇 paper, 在 papers、citation、H-index、sociability、diversity 等方面有着出色的表现。与他相似的研究人员有 Rune M. Jensen、Michael H. Bowling、Paul E. Rybski、Scott Lenser、Minoru Asada 等。

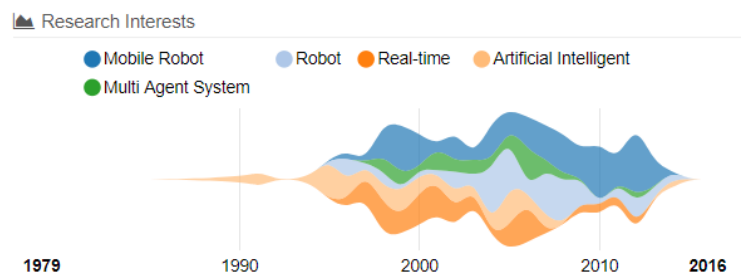
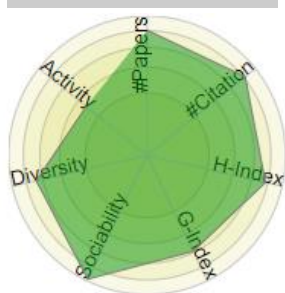


图 20 Manuela M. Veloso 的研究兴趣



## Gerd Hirzinger

Gerd Hirzinger 教授现在 Institut für Informatik VI Technische Universität München 工作, 研究兴趣主要在 Motion Planning、Path Planning、Inverse Kinematics、Adaptive Control、Data Acquisition。Gerd Hirzinger 发表有 588 篇 paper, 在 papers、citation、H-index、sociability、diversity 等方面有着出色的表现。与他相似的研究人员有 Alin Albu-Schäffer、Christian Ott、Markus Grebenstein、Christoph Borst、Thomas Wimböck 等。

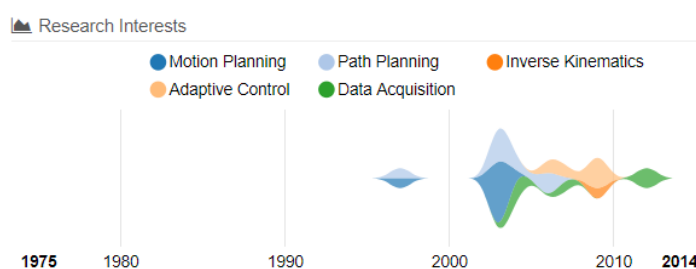
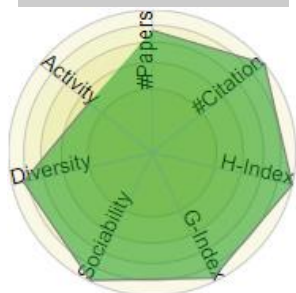
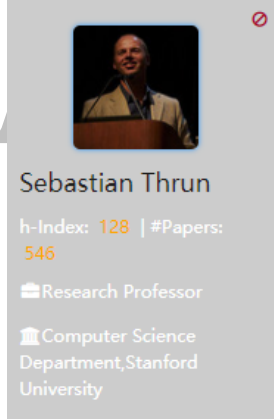


图 21 Gerd Hirzinger 的研究兴趣



## Sebastian Thrun

Sebastian Thrun 教授现在 Computer Science Department, Stanford University 工作, 研究兴趣主要在 Mobile Robot、Path Planning、Navigation、Probability。Sebastian Thrun 发表有 546 篇 paper, 在 papers、citation、H-index、G-index、sociability、diversity 等方面有着出色的表现。与他相似的研究人员有 Wolfram Burgard、Dieter Fox、Michael Montemerlo、Joelle Pineau、David Stavens 等。

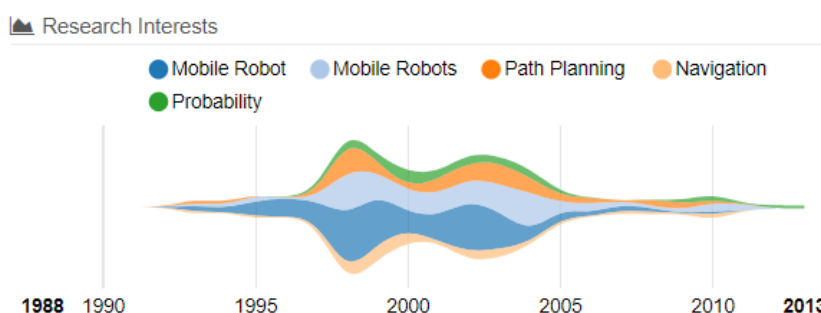


图 22 Sebastian Thrun 的研究兴趣

## Rising Star

在 Robotics 的研究学者中，学术新秀主要是 Albert Y. Zomaya、Witold Pedrycz、Fuchun Sun(孙富春)、Dasgupta Prokar、Shuzhi Sam Ge 等人。

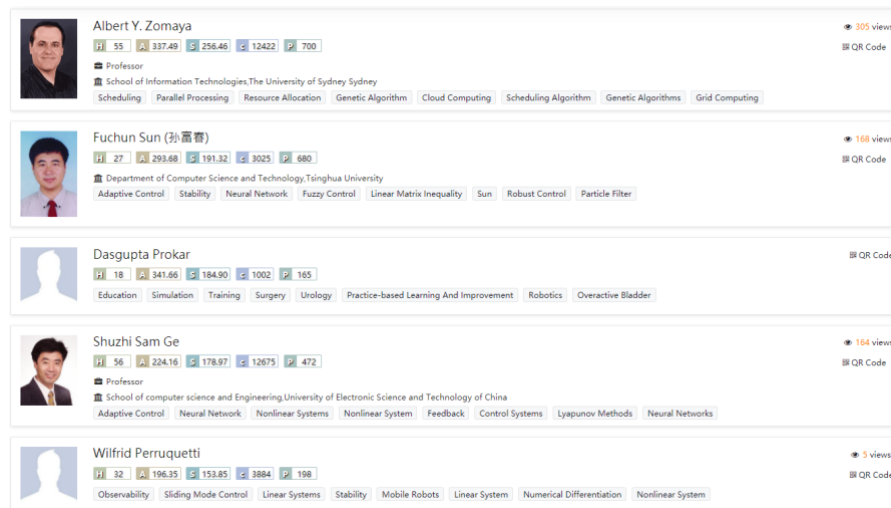


图 23 Robotics 研究活跃度高的学者

# AMiner



# Robotics 发展趋势

Robotics 的发展主要围绕 mobile robot、human robot interaction、real time 等细分领域的研究展开，从全局热度与近期热度看，侧重点有重合也有不同。

## 全局热度

从全局的热度来看，mobile robot、humanoid robot、human robot interaction、real time、neural network、sensor networks 等是整体关注的热点。

### Mobile Robot

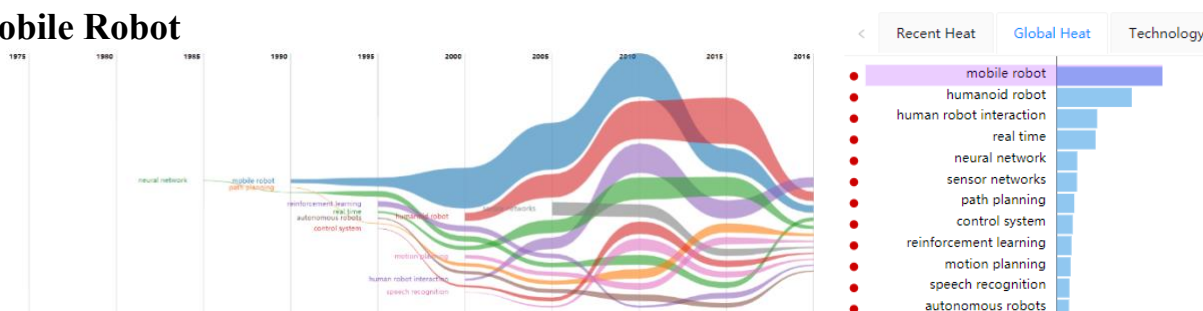


图 24 Robotics 全局热度

移动机器人是最常见的应用机器人之一，无论是在家庭日常所用的机器人，比如说自动扫地机器人，还是在工厂里运作的机器人，比如说物流机器人，移动机器人技术都是研究不可逃避的一个技术要点。移动机器人技术包含了传感器技术、信息处理、电子工程、计算机工程、自动化控制工程以及人工智能等多学科的研究成果，是行为决策与控制的总和成果。移动机器人技术在工业、农业、军工等领域都有着广泛的运用，受到全球各国政府的高度重视。

### Mobile Robot 的基本发展与分类

美国和日本在移动机器人的研究领域做出了重要的贡献。早在 60 年代后期，美国和苏联率先开启了探索太空的征程。为了更多地了解太空的情况，美国和苏联研制并运用了移动机器人参与到这一事业之中。美国的“探测器”3 号、苏联的“登月者”20 号都是通过远程遥控的方式，完成了在月球上进行数据采集和样品带回的任务。同样在机器人这一产业上颇有建树的日本也同樣在移动机器人的研究上做出了巨大的贡献。70 年代初期，日本早稻田大学研制出具有仿人功能的两足步行机器人。随着人类探索的脚步不断加快，为了适应太空探索与海洋开发的需要，在极限条件下工作与水下作业的移动机器人的发展速度正不断加快。

根据应用环境和移动方式的不同，移动机器人的研究内容也有着巨大的差别。不同类别的移动机器人都需要客服的共有的技术要点有传感器技术、移动技术、操作器、控制技术、人工智能等方面。这些技术的发展为移动机器人提供了眼耳口鼻，让移动机器人具备了视觉功能、听觉功能与触觉功能。在这些共性的基础之上，移动机器人根据移动机构的不同分为轮式（如四轮式、两轮式、全方向式、履带式）、足式（如 6 足、4 足、2 足）、混合式（用轮子和足）、特殊式（如吸附式、轨道式、蛇式）等不同的类型。其中，轮子适于平坦的路面，足式移动机构适于山岳地带和凹凸不平的环境。而根据控制方式的不同，移动机器人又分为远程遥控机器人、监控机器人与自主控制的机器人。随着人工智能技术的不断发展，综合应用机器视觉、问题求解、专家系统等技术的自主控制机器人越来越成为研究的热点。

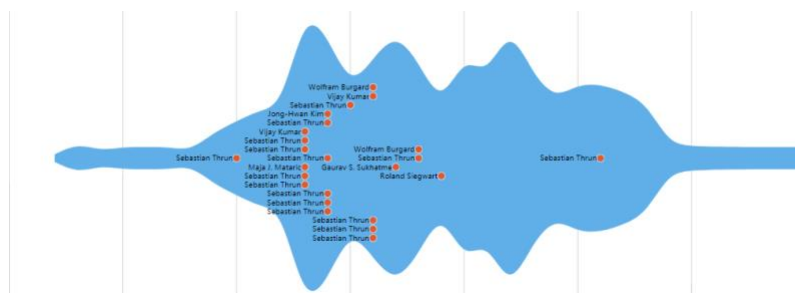


图 25 1985-2016 Mobile Robot 发展趋势

Mobile Robot 一直是全球研究的重点，从 1985 年至今更是进入了发展的高峰期。学者们积极投入相关的研究，代表性的人物有 Wolfram Burgard、Sebastian Thrun、Roland Siegwart 等人。

## Mobile Robot 国内研究

由于我国机器人研究整体起步较晚，在移动机器人的研究方面我国尚处于单项研究的阶段。在这一领域，以清华大学为首的各大科研团队做出了重要的贡献。清华大学的研究人员不断攻克来自基于地图的全局路径规划技术研究（准结构道路网环境下的全局路径规划、具有障碍物越野环境下的全局路径规划、自然地形环境下的全局路径规划）；基于传感器信息的局部路径规划技术研究（基于多种传感器信息的“感知—动作”行为、基于环境势场法的“感知—动作”行为、基于模糊控制的局部路径规划与导航控制）；路径规划的仿真技术研究（基于地图的全局路径规划系统的仿真模拟、室外移动机器人规划系统的仿真模拟、室内移动机器人局部路径规划系统的仿真模拟）；传感技术、信息融合技术研究（差分全球卫星定位系统、磁罗盘和光码盘定位系统、超声测距系统、视觉处理技术、

信息融合技术)与智能移动机器人的设计和实现(智能移动机器人 THMR—III 的体系结构、高效快速的数据传输技术、自动驾驶系统)的技术难题,并于 1994 年研发出了智能移动机器人并通过了鉴定。

除了清华大学之外,香港城市大学、中国科学院沈阳自动化研究所、中国科学院自动化研究所与哈尔滨工业大学等机构也不断地做出新的尝试。在他们的努力之下,我国有了自己的自动导航车和服务机器人、AGV 和防爆机器人、全方位移动式机器人视觉导航系统与导游机器人。

## Mobile Robot 的关键技术发展现状

移动机器人的研究有着两条不同的技术路线。其中一条是以日本和瑞典为首的“需求牵引,技术驱动”的路线。走这条技术路线的国家主要是根据产业的发展需求出发,以需求为导向,生产出一批具有特定功能的应用型机器人,从而形成了庞大的机器人产业。另一条技术路线则是依托于人工智能的发展进一步发展机器人。美国、欧洲的一些大学及研究所进行的工作从模仿人或者某些动物的功能出发,进行着研发与智能有关的机器人的工作。这一条技术路线的发展受制于人工智能的发展,因为目前人工智能的发展尚落后于人们对于人工智能的期待,所以这一方向的研究成果大多处于试验阶段,尚未投入实际的生产生活的应用。

移动机器人的产业化运用面临来自于运动与互动的两大难题。要解决这两大难题,研究人员需要给机器人提供可靠的运动系统与导航系统,同时精确的感知能力与友好的人机互动能力将使移动机器人更适应现代生产生活的需求。根据以上需求,现代化的移动机器人的评价指标分为自主性、适应性和交互性。其中,自主性指的是移动机器人独立判断周围环境并根据相关指令完成任务的能力,适应性指的是移动机器人根据不同的环境条件,识别并测量周围的物体,做出相关的判断、操作与移动的能力,而交互性则是机器人处理环境、自身与用户三者之间的关系的能力,这一能力对信息的获取、处理和理解产生着重要的影响。

## Humanoid Robot

在科幻电影里,我们经常会见到具备人类的外形特征和行动能力的智能机器人。从外表上看,我们看不出来这些机器人与真正的人类的区别,他们与我们一样直行站立、双脚走路,有着眼耳口鼻,与人类用着同样的语言体系进行交流。这样的人形机器人已经不仅仅是存在于科幻电影中人类的想象,甚至于 2017 年,人工智能机器人索菲亚成为了第一个拥有沙特公民身份的机器人。

人形机器人的应用扩大了机器人的使用范围,相较于传统机器人,能够更大

程度地满足人类日常生活的需求。同时，由于人形机器人与人类类似的外貌，人类对其的排斥心理较低，在融入人类的日常生活方面，人形机器人有着天然的优势。作为未来日常生活中运用最为广泛的机器人，机器人的发展需要控制科学、传感器技术、人工智能、材料科学等学科的协同进步，才能进一步地满足人类产业化的需求。

## Humanoid Robot 的发展

人形机器人的研究早在 20 世纪 60 年代后期就已经开始了。日本是世界上较早地开始进行人形机器人研究地国家。作为一个具备行走能力、感知能力与交互与智能化的高科技产品，对于人形机器人的研究也是分几个不同的阶段完成的。以日本为例，日本最先解决的是人形机器人的移动问题。为了使机器人能够与人类一样双足行走，日本早稻田大学的加藤一郎教授在 1969 年研制出 WAP-1 平面自由度步行机，通过行走机构的设计以及相应的控制方法使得人形机器人可以像人类一样行走。在解决行走问题之后，日本的研究学者们开始致力于解决如何赋予人形机器人视觉与听觉。1973 年，加藤等人在 WL-5 的基础上配置机械手及人工视觉、听觉装置组成自主式机器人 WAROT-1。这两大问题的解决使得人形机器人有了一个较为完备的雏形，在此基础之上，研究人员才开始向智能化的方向发展，研究人形机器人的自主控制与交互能力，并深入发展机器人的基础能力。以行走能力为例，早期的行走机构仅能保证人形机器人像人类一样行走，在速度方面有着很大的限制。最新的研究通过采取新的驱动方式和步行方式的控制方法，极大地提高了人形机器人的行走速度。以索尼的 SDR-3X 为例，最新的人形机器人已经具备了快速奔跑的能力。

进入 90 年代以后，随着人工智能的研究成果的不断出现，人形机器人的技术也随之快速发展。人形机器人的行走能力、视听能力与交互能力都得到了很大的提升，人形机器人开始逐渐从早期的基础人形机器人发展成为智能的人形机器人，本田公司的 ASIMO 便是人形机器人智能化发展的一个重要的例子。

在技术的发展路线上，人形机器人的发展与移动机器人的发展同样有着两条不同的线路。其中，一种是追求外形上与人类的更加类似，而另一种追求的则是功能上与人类的更加类似。前者致力于完善机器人的外部细节，使人形机器人在细部特征上与人类完全一致，在 2005 年的日本爱知博览会上，就出现了多种与真人外观一样的机器人，在北京第 19 届智能机器人与系统国际会议上，我国同样也出现了这类人形机器人。这一类的人形机器人单纯追求外表上与人类的相似，因而在运动系统、感知系统与智能化方面较为欠缺，在模仿人类行动时比较机械

呆板。后者则是希望人形机器人能够具备与人类一样的运动能力、灵活性与对环境的判断能力。



图 26 机器人 ASIMO



图 27 机器人邹仁偶

对于 Humanoid Robot 的研究热度一直高居不下，2000-2005 年更是涌现出一批学科领军人，Hiroshi Ishiguro、Minoru Asada、Cynthia Breazeal 等人在相关领域表现卓著。

### Humanoid Robot 的关键技术

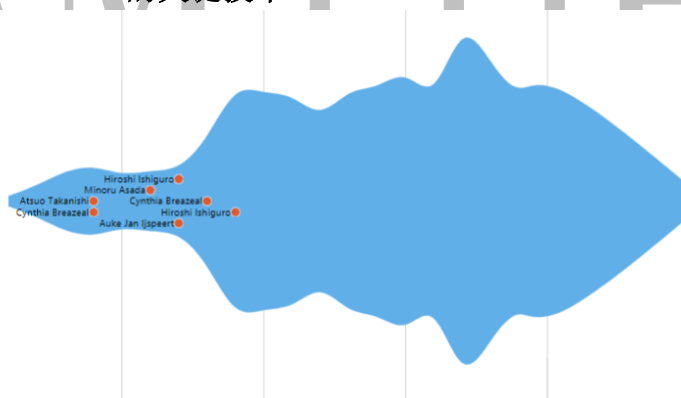


图 28 1995-2016 Humanoid Robot 发展趋势

人形机器人的发展需要解决机器人的行走问题、感知问题、交互与智能化的问题。这三大问题的解决与机构学、控制技术、传感器技术、人工智能这些技术的发展息息相关。这四种技术的发展与进步直接影响着人形机器人技术的发展。

机构学

人形机器人的整体构架依赖于精巧的机构设计，完善的机构是人形机器人各项功能实现的载体。尤其是人形机器人的行走能力，更是直接受到机构设计的影

响。从最早的 WAP-1 到最先进的 2007 版的 ASIMO，研究人员一直致力于机器人机构的研究与优化。尽管研究人员不断地寻求人形机器人机构地优化，目前的人形机器人的恶结构设计仍存在着许多不完美之处。比如说，人形机器人在模仿人类行动的时候机械感较强，没有流畅的优美感。游戏研究机构寻求增加臀部的自由度，来实现机器人行走时状态与真实人类行走状态的相似，但是效果不甚明显。同时，增加了臀部的自由度意味着增加更多的电机，使机器人的结构复杂化，不像人体一样匀称合理。目前，研究人员仍然在尝试着用不同的方法解决机构设计带来的问题，也取得了不少的成就。以麻省理工学院的研究为例，研究人员在“被动动力学理论设计”方面取得了长足的进步，并有望利用该理论去除机器人腿部部分关节的电动机与控制器，在实现类人运动的同时，有效减少了机构的尺寸。

## 控制技术

没有先进的控制技术作为支撑，再精巧的机构设计也只不过是一个精美的框架。对于人形机器人的控制技术的研究一直都是学界与产业界关注的重点。更为先进的控制术的影响直接体现在对行走机构的控制上。与传统的机器人不同，人形机器人需要用双脚行走。双脚行走的方式虽然提高了运动的效率，但同时也增加了机构控制的复杂度。如何使人形机器人的行走姿态更加贴近人类，除了需要在机构设计上面进行更多的研究之外，控制技术的发展也是制约人形机器人行走能力提升的重要因素之一。

## 传感器技术

对周围环境的合理判断是人形机器人执行任务的基础之一。人类的日常生活离不开眼耳口鼻对环境的综合感应，人形机器人的产生作业也同样缺少不了传感器的辅助。用于机器人的传感器主要有视觉传感器、听觉传感器、触觉传感器、力传感器、陀螺仪，它们分别为机器人提供了视觉、听觉、触觉、力的感应能力与方向感。随着技术的不断发展，感应器的种类也在不断增加。这也就意味着，最新的机器人除了具备上述的基本感应能力之外，还扩展了其他方面的感应能力。比如说，嗅觉传感器和味觉传感器的发明让人形机器人具备了嗅觉与味觉功能。传感器的不断发展使得人形机器人的感知系统与控制系统愈加完善。在多模式信息呈现的世界中，随着人形机器人的运用范围的复杂化，人类对机器人的性能要求越来越高，应用范围越来越广，人形机器人需要通过传感器收集到的信息也越来越多样，因此，需要有更多种类传感器运用到人形机器人身上，以提升人形机



机器人的适应性，支持人形机器人在不同环境下做出正确的判断与决策。

## 人工智能

只有行动能力与感知能力的人形机器人与传统的机器人除了外表上的区别，是没有其他重要的不同的。将人形机器人与传统人区分开来的，除了外表之外，很重要的一点便是人形机器人对人工智能的追求。

人们希望人形机器人最终能够与人类协同工作或者替代人类进行独立的工作。而这一最终目标的达成需要人形机器人具备一定的决策功能，这样的判断能力则意味着人形机器人是高度人工智能的。在具备了人工智能的基础之外，人形机器人可以对通过传感器收集的信息进行处理，并在数据的基础之上产生对环境的判断与处置能力，从而提升独立性，自主完成任务。

## Humanoid Robot 的应用

目前全球大量的国家正面临着老龄化的问题，研究显示，2020 年以后，我国 65 岁以上人口将达到 17139 万，占总人口的 11.8%。老龄化问题的不断加重同时带来了劳动力短缺的问题，这将在未来几十年里严重影响社会的发展。具有高度人工智能的人形机器人能够与人类协同工作并有可能脱离人类独立工作，将在一定程度上缓解人口老龄化带来的社会危机。同时，人类也将受益于人形机器人在部分高危环境下的运用，减少自身在危险环境中受到危险的可能性。

人形机器人的运用分为日常应用与特殊领域的应用。日本是全球老龄化程度最严重的国家，在人性机器人的研究方面也做出了重要的贡献。在日本，人形机器人主要用于日常的生产服务，承担着家用智能机器人、医疗机器人的角色服务于人类。而其他技术强国也在人形机器人的应用上不断地探索着。与日本的侧重点与应用环境不同的是，以美国为例，欧美的机器人强国更多地强调机器人的智能化发展与军事化运用，应用成果以军用机器人为主。

## 家用智能机器人

RT (Robotics technology) 将取代 IT 成为全球经济增长的新引擎。20 世纪末至 21 世纪初，互联网的发展给人类的生活带来了天翻地覆的变化。21 世纪初，取代互联网引人注目的是物联网。物联网的概念是在 1999 年由麻省理工学院提出的。物联网是指通过信息传感设备把用户端延伸和扩展到了任何物品与物品之间，进行信息交换和通信，以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络，被称为继计算机、互联网之后世界信息产业发展的第三次浪潮。智能手环、智能手表、智能眼镜等终端设备都是物联网的一环。物联网的发展必将带

来产业界的一场大洗牌，机器人作为物联网的重要终端设备之一，是未来极具前景的产业。未来是机器人的时代，而家庭智能机器人，则是物联网时代家庭的核心终端。

家庭智能机器人承担着人类家庭保姆的角色，将人们从繁重的家务劳动中解放出来。家庭智能机器人的工作有清洁、看护、娱乐等，是物联网时代家庭信息处理的核心中枢，具有人性化交互、运动化控制和组件化成长的特性。目前的家庭智能机器人有娱乐机器人、厨师机器人、清洁机器人、教育机器人、服务机器人等。

本小节主要介绍两款家庭智能机器人，分别是娱乐机器人 **QRIO** 与服务机器人 **ASIMO**。

娱乐机器人 **QRIO** 是索尼公司研发的，一款集科技与娱乐于一身的机器人。**QRIO** 身高 580mm，体重 7kg，得益于全身 38 个可运动的关节，**QRIO** 既可以唱歌跳舞、唱歌、踢足球，也可以根据不同的环境调节自身的姿势。传感器技术的发展更是让 **QRIO** 可以记录用户的声音特征与脸部特征，并通过声音与脸部的识别，与用户进行实时的互动。

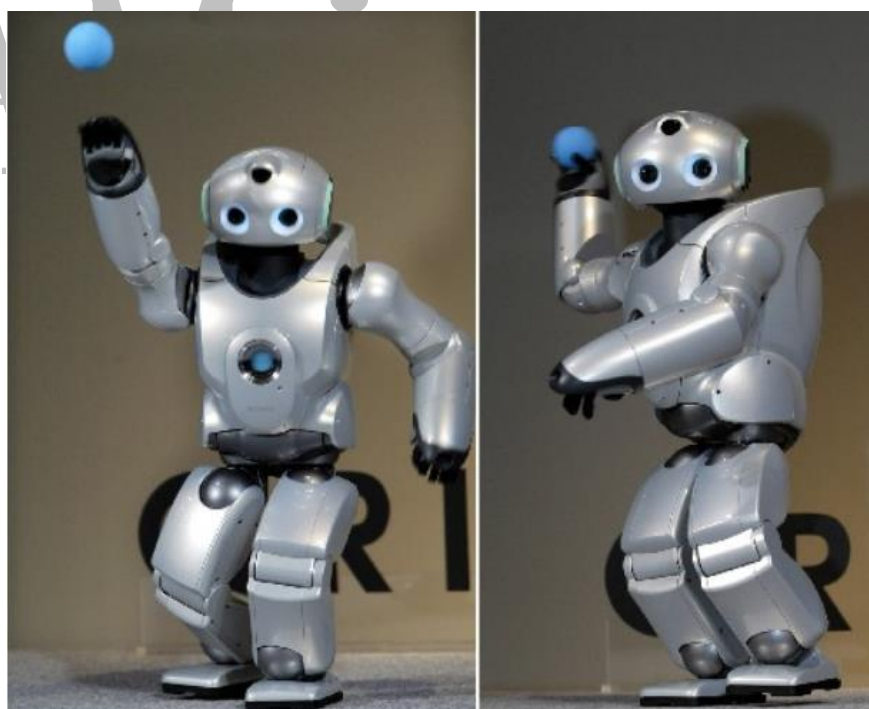


图 29 机器人 **QRIO**

服务机器人 **ASIMO** 是本田公司研发的一款机器人。**ASIMO** 是一款类人程度非常高的人形机器人，不仅可以和人手拉手走路，同时可以进行日常的物品搬运工作。得益于一套强大的中枢系统，**ASIMO** 可以对自身所具有的功能进行综合性的控制，可以自主地进行接待、向导、递送等工作。同时，因为在机构设计

和控制能力上的提升，ASIMO 的移动速度达到了时速 6km/h，可以进行奔跑与来回行走。强大的视觉传感器与运手腕力度传感器，让 ASIMO 可根据实际情况交接实物。以日常家庭的物品整理为例，ASIMO 可以根据所持的物品判断物品的重量与高度，将物品防止到合理的地方，并根据不同的环境条件进行挑战。手腕传感器的存在则让 ASIMO 可以调整左右手腕的推力，保持与推车之间的合适距离，一边前进一边推车。当推车遇到障碍时，ASIMO 还会自行减速并改变行进方向，直线或者转弯推车。



图 30 机器人 ASIMO

根据美国研究公司（ABI Research）的数据，2012 年全球家用智能机器人的产品总额已经达到了 16 亿美元，家用机器人将成为未来最具有发展潜力的产业之一。IFR 的统计表明，2017 年，全球服务机器人市场预计达 29 亿美元。2020 年将快速增长至 69 亿美元，2016-2020 年的平均增速高达 27.9%。2017 年，全球家用服务机器人市场规模预计分别为 7.8 亿美元。

从区域的发展来看，日本作为世界上最早研究机器人并且开发的技术最为发达的国家之一，在家用机器人的产出上具有惊人的成果。数据表明，日本 2010

年家庭智能机器人产量为 4 万台，约占全世界 50%。同为亚洲发达国家之一的韩国也在不遗余力地投入着家用机器人地开发。韩国家用机器人 2010 年的产值约为 1717 亿韩元，政府更是计划到 2020 年让每个韩国家庭都拥有一个能做家务的机器人。相较于两位近邻，中国在家用机器人的产业化运用上则稍显落后。由于缺乏支柱性产业与具有影响力品牌的支撑，中国的家用机器人市场产业形成产业规模，在全球市场上仅占有 5%左右的份额。由于中国本土的电机、驱动器、减速器等关键部件性能较差，中国的家用机器人主要靠进口外国部件组装而成。

中国家用机器人市场的低迷与城市化水平发展程度不够高是相关的。由于国内区域性收入差距较大，再加上传统文化的影响，我国人民尚未形成使用家用机器人的习惯，甚至对于在国外普及率较高的清洁机器人的使用也较少。我国的清洁方式还停留在吸尘器或者人工清理的方式上。虽然目前我国家用机器人的年销售额已经超过了 10 亿，但是巨大的区域收入差距造成了家用机器人的渗透率的巨大差距。以清洁机器人为例，沿海城市的产品渗透率为 5%，内地城市才刚达到 0.4%。除了巨大的内部区域差距之外，与国际之间的差距更为明显。美国家庭清洁机器人的渗透率已经达到 16%。当前社会，人们越来越希望能够从简单家务劳动中释放出来，而家政服务劳力的价格越来越高，家用机器人的需求因而有其刚性驱动。随着城市化水平与消费水平的不断提升，相信未来家用机器人将成为我国一个爆发性成长的市场。

| 公司             | 公司简介                                                                                                                                                                                    | 主营业务                                                               | 产品代表                                                                                 | 备注                                                                                                                     |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 科沃斯机器人有限公司     | 1998 年成立，原为伊莱克斯吸尘器的代工企业，06 年开启自主品牌。下设九家子公司，其中七家位于中国，另外两个海外子公司分别位于德国杜塞尔多夫和美国洛杉矶。现有员工 3500 余人，八个销售大区，覆盖国内 90%以上的大中城市，拥有近 600 家门店，产品远销西班牙、法国、加拿大、德国、马来西亚等 30 多个国家和地区，全球累计超过 3500 万中高端家庭使用。 | 家庭服务机器人的研发、制造和销售。在家服务机器人的设计、研发等领域居于世界领先地位。科沃斯拥有全球唯一最完整的家庭服务机器人产品线。 | 地宝（扫地机器人）、沁宝（空气净化机器人）、窗宝（擦窗机器人）、亲宝（功能家庭服务机器人）                                        | 09 年推出地宝价格为 irobot 同类价格的一半，国内份额超过 50%；12 年窗宝国内市场份额为 65%；全部产品通过了最为苛刻的欧洲 ROHS 环保认证；地宝被德国 GT Maganize 评为“世界上清扫效率最高的扫地机器人” |
| 深圳银星智能电器有限公司   | 2011 年成立，银星集团下属子公司，集智能家用电器产品开发生产销售为一体的综合性高科技企业。现有员工 600 余人，销售规模 2.28 亿元，主要市场分布在亚洲、欧洲、南美洲、北美洲及日韩等 58 个国家与地区。                                                                             | 公司致力于家庭服务机器人产品的研发、生产和销售                                            | 智能清洁机器人、宠物机器人、看护机器人；吸尘器产品线有 4 大系列（M-H290 系列、XR210 系列、XR510 系列与 M-788 系列），共 20 款智能产品。 | 公司与中国科学院、北京大学等科研院所进行合作                                                                                                 |
| 北京利而浦电器有限公司    | 1998 年成立，2003 年推出全球第一台智能扫地机，正式踏入清洁行业；2003 年在中国率先推出智能保洁机器人。销售网络遍布全国 30 多大中城市百货及电器城，500 多家产品形象专柜。                                                                                         | 自动清洁机、保洁机器人、吸尘器、超声波清洗机、无叶风扇、感应垃圾桶等                                 | 福玛特保洁机器人                                                                             | 福玛特保洁机器人的扫地、擦地、吸尘、净化空气四大功能同步进行清洁。                                                                                      |
| 深圳智宝人工智能科技有限公司 | 公司现有 10 多位国家级软件开发和人工智能技术的专家，在深圳、东莞等地有自己的的人工智能研究所和生产基地。                                                                                                                                  | 专业从事人工智能研究、智能家电产品技术开发及产品销售                                         | 智宝 Z 系列                                                                              | 与美国斯坦福大学、北大智能研究所、深圳银星智能研究所等科研单位合作；在 AI 技术应用和机械自动化领域具有国际领先水平；2009 年 280 系列智能吸尘器年产量达到 10 万台                              |
| 苏州益节智能科技有限公司   | 2007 年成立，集研发、制造、销售于一体的智能型“家用保洁机器人”民营企业，以网络加实体的模式多渠道、全方位推进品牌战略，配套出口美、德、法、日等国家                                                                                                            | 研发、制造、销售于一体的智能型“家用保洁机器人”                                           | 益节智能吸尘器 KK 系列                                                                        | 与天猫、京东、国美、苏宁等众多电商平台建立战略合作伙伴关系                                                                                          |
| 浙江海星电子科技有限公司   | 2000 年成立公司现有职工 50 多人，专业技术人员 10 人，公司与浙江电子科技大学联合，共建海电科技研究室，共同研发高科技产品。                                                                                                                     | 智能吸尘器、船用监控仪、海图导航仪                                                  | HAC-2 智能吸尘器                                                                          |                                                                                                                        |
| 上海罗宝信息技术有限公司   | 2005 年成立，专业从事家用机器人技术应用研究、产品开发、加工销售，以及相关技术、产品、零部件进出口和技术咨询、服务。                                                                                                                            | 智能吸尘器、智能除草机、家庭电子保姆、自动太阳能割草、智能清洁机器人开发、加工销售、服务。                      | 罗宝智能吸尘器机器人、清洁吸尘器机器人 Lbx-320、F1A、F2                                                   | 在复旦大学设立研发中心                                                                                                            |

图 31 中国清洁机器人公司

## 医疗服务机器人

18 世纪 80 年代，外科医生 Billroth 完成了病人腹腔手术，这是人类史上首例外科手术，由此揭开了医疗手术的历史的序幕。从此之外，传统的手术刀一直活跃在外科手术的舞台之上，被沿用至今。如果说传统的手术刀被称为是第一代外科手术的符号，那么 20 世纪 80 年代取得突破性进展的以腹腔镜胆囊切除术为标志的微创手术则是第二代外科手术的标志。微创手术因其精准性与安全性在很多领域取代了传统的手术刀。进入 21 世纪，达芬奇机器人的产生预示着第三代外科手术时代的来临。医用机器人的发展带来了外科史上的一次突破性的革命。相较于第一代与第二代外科手术，医用机器人具有精细化、智能化与微创化的特点，可以更精确地诊断症状，科学分析病理，降低人工操作失误，并可以减少患者在手术过程中的痛苦，使患者恢复的速度加快。

医用机器人是一种专业性的服务机器人，融合了医学、生物力学、机械学、机械力学、材料学、计算机图形学、计算机视觉、数学分析、机器人等诸多学科为一身。根据使用目的和领域的不同，医用机器人具体区分为诊断机器人、外科手术辅助机器人、康复机器人及其它。其中，诊断机器人根据数据库内收录的内容，依据患者提供的具体信息判断患者的具体病症；外科手术辅助机器人则通过独立编制的操作计划，通过控制系统将操作计划变成机构的实际运动，因其精细化、智能化与微创化能有效减少医疗事故的发生；康复机器人则是用于辅助病人术后的回复。是重要的康复材料之一。

随着医疗卫生水平与人类生活水平的不断提升，人们对医疗的质量提出了更高水准的要求。与此同时，老龄化程度的不断加深，也对医疗、护理与康复提出了实际的更高水平的需求。除了人们客观上对于医疗水准的更高要求之外，医疗力量的相对缺乏也促进了人们对于医用机器人的迫切需求。

根据 IFR2017 年发布的全球服务机器人的统计报告显示，医用机器人的销量同比上涨增加了 23%，达到 2016 年专业机器人销量的 2.7%。值得一提的是，用于帮助病人康复行走或减轻病人承载自身的体重外骨骼康复机器人的增长尤为显著，2016 年这类机器人的销量同比上涨了 21%。动力型外骨骼机器人将继续保持高速增长的势头，IFR 报告显示该类机器人 2017 年销量同比 2016 年增长 35%，预计 2018 年到 2020 年平均增长率为 25%，增长势头迅猛。根据波士顿咨询的预计，现在每年医疗机器人的营收是 40 亿美元，2020 年将达到 114 亿美元，这其中最知名的医用机器人公司直觉外科在 2014 年的营收就达到了 21 亿美元。



目前我们尚未能在普通医院中见到医用机器人的实际应用，市场主要集中在北美地区。但医生们对于未来医用机器人的市场怀抱着积极乐观的态度。根据摩根一份调查问卷，50%的美国的外科医生们认为未来 3-5 年里医用机器人在手术中的使用率会迅速上升到一个比较高的层次，看好医用机器人的未来发展。

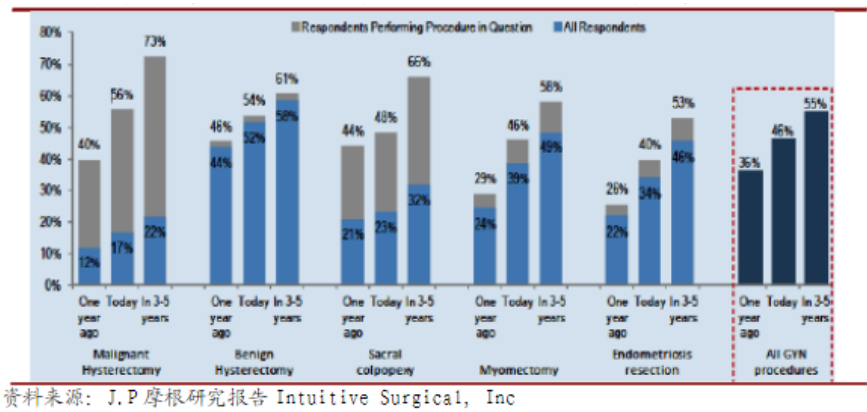


图 32 外科手术中过去、现在及未来医用机器人的使用频率（摩根调查问卷）

本小节以日本早稻田大学的 Twendy-One 为代表，介绍医用机器人的实际发展。Twendy-One 事实上是一种介于康复机器人与家庭机器人之间的产品，它是针对老年人与残障人士等行动不便的群体设计的。在它笨重的外表之下，有一双灵活的双手，可以为行动不便者提供非常细致的服务。小到拿起一根吸管，端起一个杯子，Twendy-One 都可以完成。考虑到用户身体情况以及减少伤害用户的可能性，Twendy-One 在保持了灵活的设计的同时还兼具了柔软的触感，使人们在与它进行互动时，不用担心意外被伤害。早稻田的机器人研究人员指出：“人手可以做的动作，这个机器人都可以，因此机器人手部的触感和人的手几乎一模一样”。



图 33 机器人 Twendy-One

相较于欧美等发达国家，我国在医用机器人的研究上起步较晚，医用机器人的普及率较低，国内市场的渗透率不足 5%。尽管如此，目前哈工大、博实股份等企业也开始积极介入医用机器人的研究。

目前来说，我国医用机器人的研究还处于发展较为缓慢的阶段，虽然不少的企业开始积极投入医用机器人的研究，但是技术含量较低，产品大多集中在中低端的医用机器人领域。根据中国机器人网上列出的医用机器人品类，我国的医用机器人产品大多集中在小型机器人部件，网站上所显示的成品机器人只有上海硅莱实业有限公司生产的便携式牙科治疗机。这仅存的便携式牙科治疗机的技术难度也不大，价格较为便宜。

我国政府对于医用机器人的产业发展是极为重视的，在 2016 年 4 月，工信部、发改委等三部委联合印发了《机器人产业发展规划（2016—2020 年）》，提出到 2020 年，我国服务机器人年销售收入超过 300 亿元，在助老助残、医疗康复等领域实现小批量生产及应用。我国政府对于医用机器人的高度重视的驱动型因素主要有：对各种疾病诊断和治疗的巨大高端技术需求、老龄化对老残辅助和护理的社会压力以及高素养医护人员的缺乏导致的供需矛盾。

我国是目前世界上老龄化速度最快的国家之一，数据显示，截至 2016 年底，中国 60 岁及以上老年人口超过 2.3 亿，占总人口的 16.7%；65 岁及以上老年人口超过 1.5 亿，占总人口的 10.8%。预计到 2050 年，中国老年人口将达到 4.8 亿，约占届时亚洲老年人口的五分之二、全球老年人口的四分之一，比现在美、英、德三个国家人口总和还要多。老年人口数量多，老龄化速度快等问题，让我国应对人口老龄化的任务显得愈发繁重。可以预见的是，我国未来将面临繁重的老年人口护理的需求。与此同时，我国残障人士的人口总数极大，早在 2013 年，我国的残障人士的人口总额已经与德国总人口数相当，对残障机器人和康复机器人的需求总量大。此外，根据世界银行 2014 年公布的数据，我国每千人的护士仅为世界人均量的 0.46，占日本的 0.4，占美国的 0.15；我国每千人的医生人数仅为日本的 0.79，仅为德国的一半。医护人员的不足引起的供需矛盾使得医用机器人的发展具有更多的动力。我国目前医用机器人使用率和普及率低下，医用机器人的市场有着巨大的开发潜力。在政府政策的大力支持之下，我国医用机器人产业将很快迎来规模化的生产，进入发展的快速期。



| 研究所   | 技术                                                                                                                                                  | 产品                 |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 哈工大   | 空间机器人技术、纳米级微驱动与微操作机器人技术、医疗机器人技术、先进机器人机构与控制技术、机电一体化成套装备系统集成与控制技术等 5 个大的研究方向。机器人辅助上肢康复系统、机器人辅助导管导丝介入手术系统、机器人辅助经皮穿刺介入手术系统等，均将应用于辅助骨科手术、介入微创手术和康复治疗等领域。 | 接骨医疗机器人、微创腹腔镜外科手术器 |
| 天津大学  | 完成直径为 1 毫米以下的微细血管的剥离、剪切、修整、缝合和打结等各种手术操作，代表了国内外显微外科手术机器人的最高技术水平                                                                                      | 妙手机器人、ENT 医疗机器人系统  |
| 深圳先进院 | 国内第一套具有自主知识产权的骨科手术辅助系统，集高精度光磁混合定位、智能导航、高精度执行机构为一，通过定位和影像导航控制机器人或执行机构完成高准确性的骨科手术植钉。整个系统完成了对模拟对象的手术定位导航下的脊柱手术植钉过程。                                    | 骨科手术辅助系统           |

图 34 中国医用机器人重点研究单位

| 公司             | 公司简介                                                                                                                                                | 主营业务                                                           | 医用机器人                          | 备注                                                             |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 妙手机器人科技集团公司    | 多家子公司组成：12 年 4 月成立的江苏省南京妙手机电科技；14 年 4 月成立的福建省晋江力达妙手机器人科技；14 年 4 月福建省福州妙手机电科技。设计和提供延伸所有人士体能和智能的机电一体化技术、机器人产品和数字化制造设备。                                | 设计、制造和营销用于工业、服务、医疗和科研的智能人形机器人、包括医疗及辅助手术机器人、工业机器人、服务机器人、科教机器人   | 妙手“S”医用机器人                     | 妙手机器人是第一家国产并得到临床使用的医用机器人                                       |
| 重庆金山科技有限公司     | 1998 年 6 月成立，是重庆金山控股集团的全资子公司，集数字化医疗设备研发、生产、销售和服务于一体，成功开发了胶囊内镜、胶囊机器人、pH 胶囊、阻抗 CT、大型手术机器人、人工耳蜗、微型生化分析光谱仪等数十项国际领先水平的医疗器械产品。产品广泛应用于亚洲、欧美、非洲等 62 个国家和地区。 | 研制、销售生物医学工程产业化和微机电系统（MEMS）、手术机器人及胶囊类医疗器械产品                     | 胶囊内镜、OMOM 手术机器人                | 世界上第二家、中国第一家研制出胶囊内镜的企业，占国内市场 95% 国际市场份额 35%，在微系统医疗器械领域处于国际领先地位 |
| 哈尔滨博实自动化股份有限公司 | 哈工大机器人研究所产业化基地，哈工大机器人产业化平台                                                                                                                          | 从事自动化设备的开发、生产、销售、安装、装配、安置、调试、维修、技术服务、技术转让。                     | 微创腹腔镜外科手术机器人系统，国产微创手术机器人辅助外科手术 | 中国医疗机器人最大的潜力厂商                                                 |
| 新松机器人          | 新松公司隶属中国科学院，是一家以机器人独有技术为核心，致力于数字化智能高端装备制造。                                                                                                          | 自动化装备、系统的设计研发销售安装及服务，包括工业机器人、洁净（真空）机器人、移动机器人、特种机器人和智能服务机器人五大系列 | 胃镜诊断治疗辅助机器人系统，老人陪护机            | 2013 年中国潜 100 榜排名 48 位                                         |
| 深圳市桑谷科技有限公司    | 深圳市机器人协会、银星集团国家高新技术企业子公司，于 2003 年 8 月创建成立                                                                                                           | 集清洗机器人、医疗机器人研发、生产、销售经营。                                        | 智能静脉输液药物配制机器人和静脉输液液监控系统系列      | 与美国 unmaion 机器人公司、南方科附属医院联手研发了国内第一台智能静脉输液药物配制机器人               |
| 沈阳六维康复机器人有限公司  | 成立于 2010 年 11 月，主要目标是完成患者行走步态训练康复机器人的设计、样机制作；面向全球市场，以中国市场为主，通过展会、行业协会、直销形式将产品进入医院和社区。                                                               | 主要研发脊髓损伤、中风后遗症、脑瘫所致运动功能部分或全部丧失患者运动疗法需要的康复机器人                   | 康复机器人                          | 获得医疗器械生产许可证，获得产品医疗器械证，通过美 CSA 认证                               |

图 35 中国医疗机器人潜力公司

## 军用机器人

军用机器人是机器人在军事领域的特殊应用，主要是用机器人替代人类完成一些军事任务，分为自主式、半自主式与人工遥控。通过预先制定一套战略目标，在智能化信息处理系统以及远程通信系统的辅助之下，军事机器人将在一定程度上取代军人完成预先设定的战略任务。按照使用环境和军事用途来分类，军用机器人分三类：地面军用机器人、空中机器人、水下机器人和空间机器人。

| 类别    | 简介                                                                                                                                         |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 地面机器人 | 地面军用机器人主要是指智能或遥控的轮式和履带式车辆。它又可分为自主车辆和半自主车辆。自主车辆依靠自身的智能自主导航，躲避障碍物，独立完成各种战斗任务；半自主车辆可在人的监视下自主行驶，在遇到困难时操作人员可以进行遥控干预。                            |
| 空中机器人 | 这是一种有动力的飞行器，它不载有操作人员，由空气动力装置提供提升动力，采用自主飞行或遥控驾驶方式，可以一次性使用或重复使用，并能够携带各种任务载荷。广义的军用无人机系统不仅仅指一个飞行平台，它是一种复杂的综合系统设备，主要由飞行器、任务载荷、数传/通信系统和地面站4部分组成。 |
| 水下机器人 | 即无人潜水器。它是一个水下高技术仪器设备的集成体，除集成有水下机器人载体的推进、控制、动力电源、导航等仪器、设备外，还需根据应用目的的不同，配备声、光、电等不同类型的探测仪器。它可适于长时间、大范围的侦察、维修、攻击和排险等军事任务。                      |
| 空间机器人 | 轻型遥控机器人，可在行星的大气环境中导航及飞行。它能在一个不断变化的三维环境中运动并自主导航，能够实时确定空间的位置及状态，对它的垂直运动进行控制，并要为其的星际飞行预测及规划路径。                                                |

图 36 军用机器人分类

20 世纪 60 年代开始，美国便已经开始了对军用机器人的研究。军用机器人的发展至今经历了三代的演变。第一代的军用机器人是依赖于人的智慧的“遥控操作器”，延伸了人们军事行动的范围，但主要还是依托于人的存在；第二代机器人则加入了事先编好的程序，机器人可以脱离于用户本身，自动重复地完成某项任务，但智能化程度很低，甚至可以说是没有智能化；第三代机器人则是现代的具有人工智能的机器人，它们通过传感器收集到周围环境的信息，并通过智能系统对环境信息进行数据处理与分析，最终做出判断与决策。军用机器人在侦察、排雷、防化、进攻、防御以及保障等各个领域有着广泛的运用，最近的无人机、机器人步兵则更是多个学科交叉研究的高科技产品，集中了当今科学技术的许多尖端成果。

相较于普通的军人，军用机器人在军事方面天然的具有一些优势。首先，军用机器人可以全方位、全天候连续作战，无论是在多么恶劣的环境之下，军用机器人都可以精准地完成任务。而普通军人能够承受的环境是有限的，有时候不能很好地适用复杂而多变的战场环境。此外，与人类不同，机器人不畏惧疼痛，在战场上具有极其强大的生存能力。同时，因其没有情感因素的存在，对战争与死亡不会产生畏惧心理，能够绝对服从上级的命令，完成用户下达的指挥，减少了战争中因为人类情感的复杂性而带来的变数，有利于战事分局和对武力掌控。

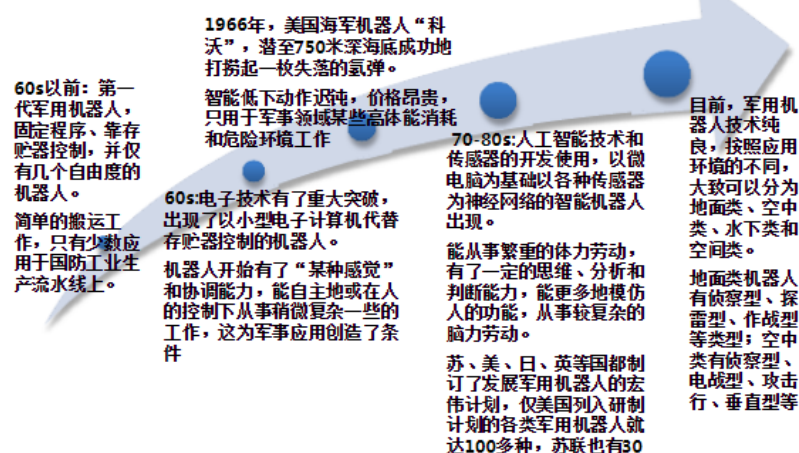


图 37 军用机器人发展特点

军事力量的强弱直接关系到一个国家的军事安全。作为军事力量中的重要组成部分，军用机器人的研发受到了世界上各个国家的重视。目前来看，军用机器人的研发强国主要以发达国家为主，美德英法意以日韩，这八大国家不仅在军用机器人的技术研发上处于世界的先进水平，在成果的输出与军事化的实际应用上也取得了举世瞩目的成就。

军用机器人的研发一直是美国机器人战略的重点。作为世界唯一具有综合开发、试验和实战应用能力的国家，美国研发的军用机器人涵盖了海、空、天等各大兵种，在基础技术、系统开发、生产配套与技术转化和实战应用经验上处于世界上绝对领先的地位。美国的战略部署上制定了一套完备的军用机器人体系。目前，美国已经装配了超过 7500 架无人机和 15000 个地面机器人，美国国会曾批准 2015 年美军作战平台中无人作战系统的比例达三分之一的方案。美国希望通过无人系统及其相关技术打造一套全方位的国防系统，包括无人机系统、无人地面系统与无人水下系统。这一愿景早在美国 2007 年 12 月 18 日发布的《无人（驾驶）系统路线图》(Unmanned Systems Roadmap)便已经有了具体的体现。为了提升海陆空军事系统的实力，美国国防部正致力于研发一套智能机器人的集成作战系统，主要通过四大机器人的运作完成军事系统的协同工作。这四大机器人分别为：用于监视、勘察导弹的无人驾驶飞行器（UAV）；用于深入士兵无法进入的危险领域获取信息的小型无人地面车辆（UGV）；在战斗中负责补充作战物资的多功能后勤保障机器人（MULE）；还有运输功能强大的武装平台和运输复杂的侦查设备的武装机器人战车（ARV）。

本小节将介绍美国的军用机器人“大狗”。波士顿动力学工程公司专门为美国军队研究设计了这一看上去像是一个机械狗的四足机器人。“大狗”长度为 1m，高 0.7m，重量为 75kg，不管是外表还是实际运动方式，“大狗”都与实际的狗

没有什么区别。在军事行动中，“大狗”既可以帮助军队搬运物资，也可以通过远程控制完成具体的军事任务。通过精巧的四足设计与减震设置的嵌入，“大狗”的速度达到了 7km/h，同时，通过内置的计算及，“大狗”可以对传感器收集到的信息进行分析，进而根据环境的不同调整自身的状态。操纵者也可以根据传感器所提供的信息，确定“大狗”的位置并实时监控“大狗”的系统状态。最近，美国计划将这种“大狗”军用机器人，作为美国增兵计划的一部分将被派往阿富汗，和美军作战人员一同参加军事任务。

前面有提到过人形机器人的两种不同发展路线，分别是外表侧重与功能侧重。很显然，美国在军用机器人的研究上更强调机器人的功能，而不注重其外形。



图 38 机器人“大狗”



| 机器人             | 类型           | 公司        | 生产时间 | 主要用户 | 备注                                                                                                                                                   | 图片                                                                                  |
|-----------------|--------------|-----------|------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| PackBot 机器人     | 履带式机器人       | iRobot 公司 | 2001 | 美国军队 | 全地形型、可部署和发现爆炸物类型：“清场侦察”设备。可以迅速展开时一切最危险的场合：通过了一组障碍和危险区域。可以在很短的时间内向所需地点。以确保护卫人的安全；2014 年巴西世界杯上 30m 有机器人负责安全保卫工作；iRobot 旗下最有名最实用的机器人。                   |   |
| MQ-9 收割者侦察机     | 无人航空载具 (UAV) | 通用原子航空系统  | 2002 | 美国空军 | 造价 1800 万美元（2013 年制造后造成）                                                                                                                             |   |
| 波士顿动力机器人        | 仿人非人机器人      | 波士顿动力公司   | 2005 | 美国   | 世界最复杂的机械。仿人和士兵一起在传统机械车辆无法行驶的复杂地形上工作；2014 年在夏威夷测试美国海军陆战队进行了第一次实地测试。                                                                                   |   |
| “剑”(SWORDS) 机器人 | 武装机器人        | 福斯特-利物公司  | 2006 | 美国陆军 | 特种武器观察、侦察、识别系统 (Special Warfare Observation/Recognition/Identification system)。由美国国防部、通用原子、TRC (Talon: H1) 和制剑 MQ40 组成。美国陆军使用武装机器人。美国陆军第一师参加和实战的机器人。 |   |
| Warrior 机器人     | 排弹侦察机器人      | iRobot 公司 | 2008 | 美国   | 处理各种复杂地形。警戒、排弹、清除障碍、清除地雷障碍、检测和识别等。                                                                                                                   |   |
| Atlas 机器人       | 仿生人形机器人      | 波士顿动力公司   | 2013 | 美国   | 世界最复杂及最昂贵的机器人设计。世界最先进的人形机器人。                                                                                                                         |  |

图 39 美国目前最新军用机器人产品

| 公司名称                     | 公司简介                                                                                                                                         | 研发领域                                   | 主要产品                                      | 备注                                                                                                                      |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| iRobot 公司                | 1990 年由美国麻省理工学院教授罗德尼·布鲁克斯、科林·安格和海伦·格雷纳创立，为全球知名 MIT 计算机科学与人工智能实验室技术转移及投资成立的机器人产品与技术专业研发公司。iRobot 发明各型军用、警用、救援、侦察机器人，轻巧实用，被军方、警方、救援单位用于各种不同场合。 | 服务、军用机器人                               | Warrior 机器人，PackBot 机器人                   | PackBot 自 07 年投入市场以来，三年内出售超 3000 台                                                                                      |
| 波士顿动力公司                  | 1992 成立，研制开发动力机器人及人类模拟仿真软件的工程公司，致力于研究人工智能仿真和具有高机动性、灵活性和移动速度的先进机器人。技术利用基于传感器的控制和算法来解决具有一定复杂性的机械的使用问题。                                         | 快速、平衡性好的类人型机器人，采用内燃机和液压结构作为动力          | 阿尔法狗、猎豹、四足兽型机器人、类人型机器人 Petman、大狗机器人、rhex  | 近期被谷歌收购                                                                                                                 |
| Recon Robotics 侦察机器人技术公司 | 2006 年成立，由美国国防高级研究计划局 (DARPA) 和美国国家科学基金会支持，致力于世界领先的战术微型机器人和个人传感系统研制。目前有超过 33 个国家的分销网络，超过 4300 个产品在世界范围得到使用。主要用户是美国的空军、陆军、海军和海军陆战队。           | 作战型微型机器人系统                             | 微型无人地面 (UGV) XT 侦察机器人，Recon scout 微型侦察机器人 | 美国军方在 2011 年夏季花了 580 万美元从 Recon Robotics 公司采购了 385 个 micro-robots 侦察机器人，之后又迅速增加了 315 个订单。这些设备都部署到了前线部队，每四个或六个成员共享一个机器人。 |
| 洛克希德·马丁公司                | 洛克希德·马丁空间系统公司 (Lockheed Martin Space Systems Company) 创建于 1912 年，是一家美国航空航天制造商。                                                               | 人类负重外骨骼，通过提供外力来满足士兵对机动性和支撑性需要的机器人技术装备。 | HULC                                      | 核心业务是航空、电子、信息技术、航天系统和导弹，占据美国国防部每年采购预算 1/3 的订单，控制了 40% 的世界防务市场，几乎包揽了美国所有军用卫星的生产和发射业务。                                    |

图 40 美国主要军用机器人公司

军用机器人因其复杂性需要较大的资金投入，以美国为例，美军“未来战斗系统”的研究经费预计为 250 亿美元，每装备一个旅要花费 60~80 亿美元，总计 1450 亿美元左右，这甚至远远超出了原来预计的 920 亿美元。如果美国陆军

全部装备“未来战斗系统”，则将耗资 13000 亿美元。

虽然军用机器人的研发需要前期大量的资金投入，但是仍然有很多国家前赴后继地加入军用机器人的研究队列。这是因为军用机器人的投入将极大地减少人员伤亡带来的损失。不仅仅是物质上的损失，还包括因为战争伤亡而带来的社会恐慌与压力。单纯地从数字计算来看的话，军用机器人替代人工进行站岗放哨、排雷除爆可以减少经济上的损失。首先，军用机器人的应用将将士兵的伤亡率降低 60%到 80%。将投入的成本与军用机器人的实际应用所带来的福利，主要是替代了的士兵的工资、培训费用、退休金、福利以及伤亡补贴，机器人的成本比实际带来的收益是更低的，也就是说，采用军用机器人是比合同役机器人更实惠的。军机市场预测的权威机构蒂尔集团称未来 10 年全球无人机研发投入和采购需求将达到 940 亿美元，这将是一个巨大的市场。

虽然我国在军用机器人的研发上与发达国家有较大的差距，但是政府一直很重视军用机器人的研发，并给予了相当大的政策支持。在《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020）》、《国家高技术研究计划（863）“十一·五”发展纲要》、《国务院关于加强振兴装备制造业的若干意见》等有着重提出，国家 863 计划、国家自然科学基金、国防科工委预研项目中予以重点支持。

## Human Robot Interaction

Human Robot Interaction 在近二十年来飞速发展，Sebastian Thrun、Gerd Hirzinger、Kerstin Dautenhahn 等学者极大地推动了该研究的发展。

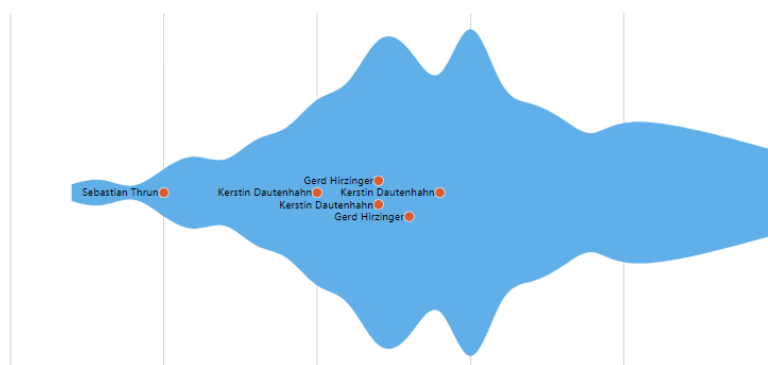


图 41 1995-2016 Human Robot Interaction 发展趋势

随着信息技术的发展，人机互动的模式也在不断丰富，我们认为人机交互的发展可以分为四个阶段：1）基本交互、2）图形式交互、3）语音式交互、4）感应式交互（体感交互）。当前机器人的发展越来越强调交互形式的智能化，体感交互将成为未来交互发展的新方向。

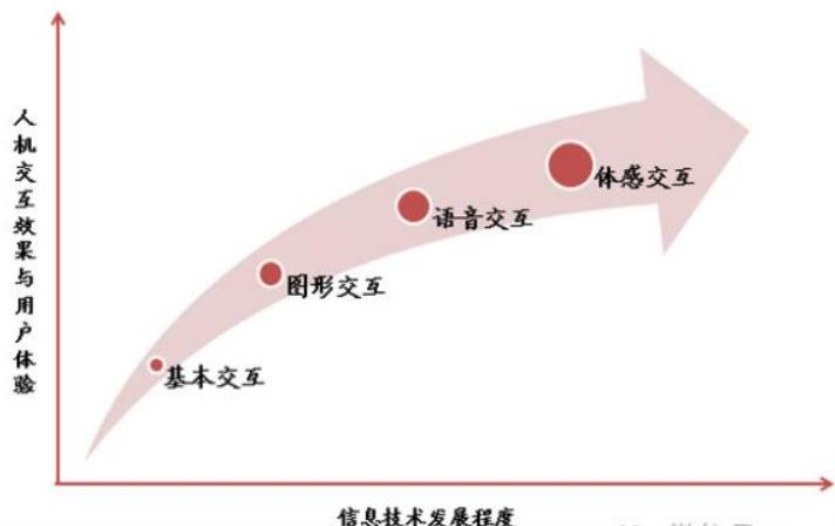


图 42 人机交互的四个阶段

表 1: 人机交互的发展历程

| 交互阶段 | 代表设备        | 输入               |      | 输出               |        |
|------|-------------|------------------|------|------------------|--------|
|      |             | 输入形式             | 输入器官 | 输出形式             | 接受器官   |
| 基本交互 | 算盘          | 数字               | 手    | 数字               | 眼      |
|      | 早期电话        | 数字               | 手    | 单向输入号码           | 单向输入号码 |
|      | 加法器         | 数字               | 手    | 数字               | 眼      |
| 图形交互 | 键盘          | 文字               | 手    | 文字               | 眼      |
|      | 显示屏         | 多种               | 手    | 图像               | 眼      |
|      | 鼠标          | 点击               | 手    | 图像               | 眼      |
| 语音交互 | PDA、手机、触控电脑 | 触摸               | 手    | 图像               | 眼      |
|      | 语音录入设备      | 语音               | 嘴    | 文字               | 眼      |
|      | 车载导航        | 语音               | 嘴    | 图像+声音            | 眼+耳    |
| 体感交互 | 智能电器        | 语音               | 嘴    | 多种               | 全身     |
|      | 图像识别设备      | 图像               | 全身   | 图像+声音            | 眼+耳    |
|      | 机器人         | 语音+图像+触摸等多种形式的结合 | 全身   | 语音+图像+姿势等多种形式的结合 | 全身     |

图 43 人机交互的发展历程

## 基本交互

基本交互状态停留在最基础的人与机器的原生态的状态上，是一种人工手动的输入与输出的交互状态。最早期的转盘式电话就是通讯设备的一个基本交互状态，通过转动拨盘产生脉冲信号输入信息。按钮式电话也是一种基本的交互状态，呈现在用户面前只有最基本的机器，用户通过按键输入信息产生多频信号，用户通过听筒获取输出的信息。人类的计算设备也是由基本的交互逐渐发展而来。无论是我国设计的算盘，还是世界上第一台通过手摇方式操作计算的加减法计算机，都停留在基础的以数字形式作为输入和输出的交互状态。打字机与键盘的出现将交互方式推动到了文字时代，但仍然处于基本交互的时代。



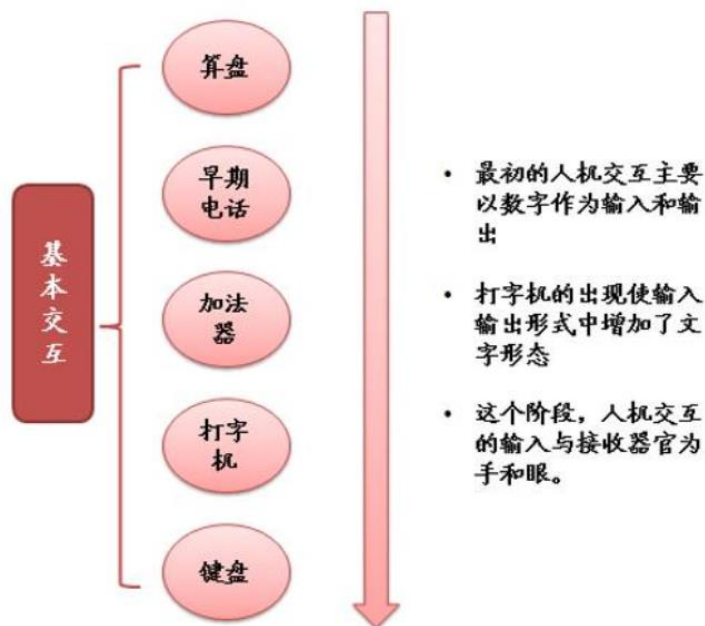


图 44 基本交互时代



图 45 基本交互时代的代表设备

## 图形交互

交互方式由以数字与文字的手动输入输出为代表的基本交互逐渐发展到图形交互的时代。早期的图形交互以显示屏、鼠标的出现为标志，触屏技术的成熟更是将图形交互这一方式推动到了一个新的高度。

### 显示屏

电脑的出现带动了显示屏的发展。早期的显示屏并不像我们现在的显示屏一样具有宽广的色域，只能显示单色的图案。直到彩色屏幕的出现，图形交互所能

展示的内容才开始逐渐更丰富起来。除了色彩的变化之外，显示屏的发展还经历了角度的不同变化，从弯曲的显示屏到平面直角显示屏再到现在的曲面显示屏。而随着成像技术的发展，液晶显示器取代了显像管成像技术登上了时代的舞台。随着技术的不断发展，显示屏的分辨率不断提升，近期 8k 的显示屏也开始普及，从标清到高清到超清到 4k 再到今天的 8k，一块显示屏所能展示的内容在近几十年内翻了好几番。

鼠标

鼠标是图形交互的始祖，与显示屏的搭配构成了计算机的完整的交互系统。鼠标的发展经历机构的变化与功能的变化。最早期的鼠标只有两个滚轮和一个按键，只能实现指针移动和单击的功能。随着鼠标的传动机制由滚轮变成了光电转换器，以及鼠标的按键的增加，鼠标的移动的精准度与功能都得到了很大的扩展。现在的鼠标已经不仅仅停留于当初的指针移动与单击的功能，还可以实现双击、左击、右击、页面滚动等功能。鼠标的连接方式也从有线发展到 2.4GHz 无线再到蓝牙连接。

触屏技术

触屏技术的发展经历了从电阻屏到电容屏的发展，从早期的单点触控到现在的多点触控。触屏技术的发展实现了人在屏幕上直接操作设备，人们可以直接在屏幕上进行手写输入，还能够识别多种手势，比如说双指缩放等。触屏技术的应用逐渐从平板电脑、手机上逐渐扩展，目前带有触摸屏的笔记本电脑也开始普及。

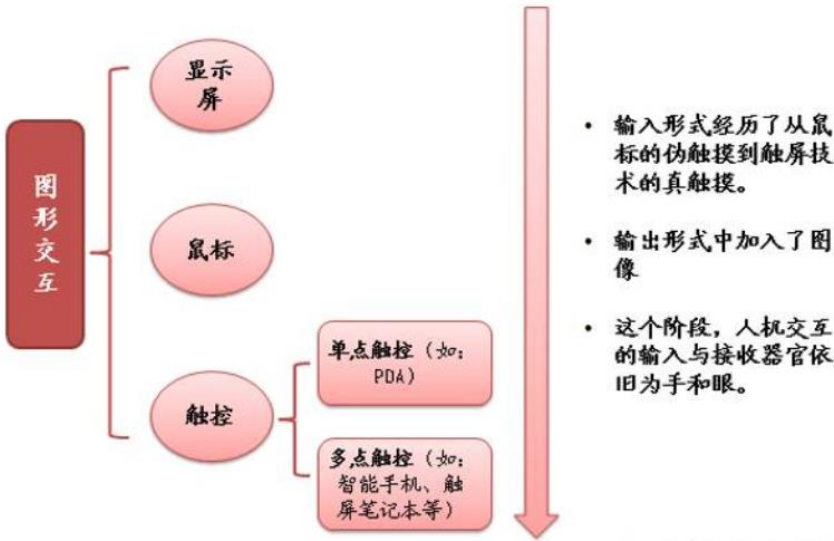


图 46 图形交互时代



图 47 图形交互时代的代表设备

## 语音交互

语音交互的发展由早期的单向交互发展到了后来的双向交互。单向交互指的语音交互指的是语音识别，机器只能够识别输入的语音，将声音信号转化为文字信号。信息的互动处于单项发展的状态，机器无法对人的声音命令进行直接的反馈。讯飞的语音识别系统就是一项语音单项交互的很好的例子。随着语音交互技术的不断发展，自 2009 年以来，借助机器学习领域深度学习研究的发展以及大数据语料的积累，微软公司的研究人员在语音的双向交互取得了突破性的进展。通过深层神经网络模型的建立，语音识别错误率降低了 30%。微软的 **cortana**，小冰，Google 的 **google now**，苹果的 **Siri** 都是语音交互双向发展的产物。通过语音识别实现人机交互已经成为越来越普遍的形式。亚马逊、苹果、阿里巴巴、京东等企业也在加大对语言交互的投入，纷纷推出智能音箱作为家庭物联网终端的中枢。

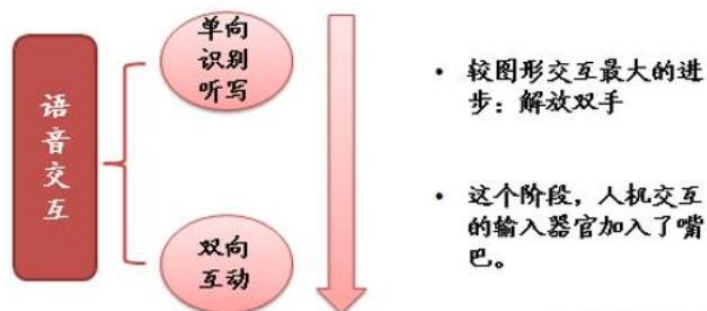


图 48 语音交互时代



图 49 语音交互时代代表设备

## 体感交互

体感交互是直接从人的姿势的识别来完成人于机器的互动。得益于图像识别技术的发展，体感交互成为了可能。体感交互主要是通过摄像系统模拟建立三维的世界，同时感应出人与设备之间的距离与物体的大小。我们常在科幻电影里看到的直接用手来控制光幕的方式实际上就是体感交互的体现之一。这一技术已不再仅仅存在于科幻电影之中，索尼发明的触控型投影仪将这未来带到了现在。体感交互未来将成为先前各种人机交互技术的结合，包括即时动态捕捉、图像识别、语音识别、VR 等技术，最终衍生出多样化的交互形式，而机器人有望在未来成为体感交互的载体。

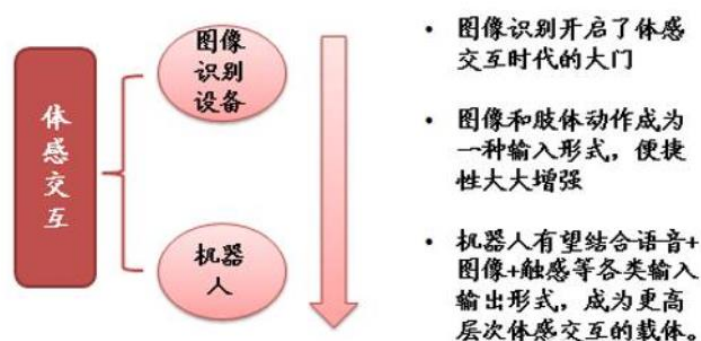


图 50 体感交互时代



图 51 体感交互时代代表设备

## Real Time

不管是早期的工业机器人，还是现在的服务机器人，都要求机器人对现实情况做出快速的反应。机器人的工作，归根到底就是人的工作，甚至是人类活动的拓展和延伸。人能够快速地对各种不可预知的突发情况做出实时的响应，这就要求机器人也必须具有此能力才能保证工作任务的完成。

机器人的检测装置需要实时检测机器人的运动及工作情况，根据需要反馈给控制系统，与设定信息进行比较后，对执行机构进行调整，以保证机器人的动作符合预定的要求。作为检测装置的传感器大致可以分为两类：一类是内部信息传感器，用于检测机器人各部分的内部状况，如各关节的位置、速度、加速度等，并将所测得的信息作为反馈信号送至控制器，形成闭环控制。一类是外部信息传感器，用于获取有关机器人的作业对象及外界环境等方面的信息，以使机器人的动作能适应外界情况的变化，使之达到更高层次的自动化，甚至使机器人具有某种“感觉”，向智能化发展，例如视觉、听觉等外部传感器给出工作对象、工作环境的有关信息，利用这些信息构成一个大的反馈回路，从而将大大提高机器人的工作精度。

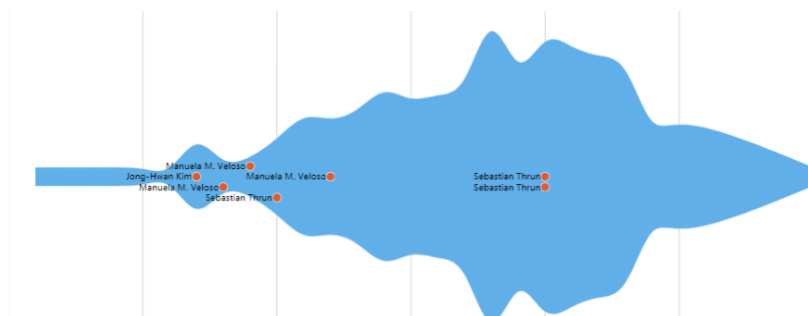


图 52 1990-2016 Real Time 发展趋势



对于实时的研究是从 1990-1995 年开始的，21 世纪以前，Manuela M. Veloso、Jong-Hwan Kim、Sebastian Thrun 等学者奠定了该研究的发展，其中，Sebastian Thrun 教授在今天仍然积极投入相关领域的研究。

## Neural Network

对于神经网络的研究最早可追溯到 1980 年代，神经网络的发展在近十年来进入了高潮，Sebastian Thrun、Dario Floreano、Kazuhiro Nakad 人工智能、Auke Jan Ijspeert 等学者的投入，推动了该研究的发展。

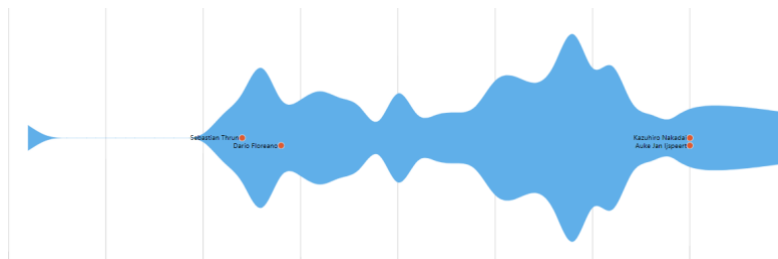


图 53 1980-2016 Neural Network 发展趋势

神经网络的发展推动了针对人工智能的专用处理器芯片的出现，对于机器人的智能化的实现有着重要的影响。受制于传统的通用芯片（CPU 和 GPU），传统算法的运行效率不高，但却有着更高的成本。

人工智能专用处理芯片解决传统芯片的两大缺陷，降低了芯片的成本与功耗，与此同时大幅度提升了算法的运行效率。人工智能专用的处理芯片可以用来加速包括卷积神经网络、递归神经网络在内的各种神经网络算法，将成为机器人的数据运算能力突飞猛进的重要动力。



| 芯片名称                            | 生产厂商   | 芯片特点                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TPU<br>(Tensor Processing Unit) | 谷歌     | 1) TPU 是一种专用的加速器芯片，跟其深度学习软件 Tensor Flow 匹配<br>2) TPU 专门针对机器学习进行过载减，运行单个操作时需要的晶体管更少<br>3) TPU 意在取代 GPU                                                                                |
| Tesla P100                      | Nvidia | 1) Tesla P100 芯片安装了 150 亿个晶体管，是目前市场上许多处理器、图形芯片的 3 倍<br>2) 芯片面积为 600 平方毫米，双精度运算速度 5.3 万亿次，单精度运算速度 10.6 万亿次，半精度运算速度 21.2 万亿次                                                           |
| TrueNorth                       | IBM    | 1) TrueNorth 使用了 54 亿个晶体管，分成 4096 个“神经突触内核 (neurosynaptic cores)”的结构<br>2) TrueNorth 芯片只要几厘米的方寸，功耗只有 65 毫瓦                                                                           |
| 随机相变神经元芯片                       | IBM    | 1) 芯片的神经元尺寸最小能到纳米量级，因而信号传输速度极快，同时功耗较低，这就使得随机相变神经元具有生物神经元的特性                                                                                                                          |
| Knights Mill                    | Intel  | 1) Xeon Phi 家族新成员，专为机器深度学习设计的芯片<br>2) 英特尔的 GPU 和谷歌的 TPU 芯片，都是辅助处理器，必须和 CPU 一起工作；Knights Mill 芯片可以独自充当处理器，不再需要单独的主机处理器和辅助处理器，可以直接接入 RAM 系统                                            |
| 星光智能一号                          | 中星微电子  | 1) 中国首款嵌入式神经网络处理器芯片，全球首款具备深度学习人工智能的嵌入式视频采集压缩编码系统级芯片<br>2) 基于该芯片的人脸识别，最高能达到 98% 的准确率，超过人眼的识别率                                                                                         |
| DianNao                         | 寒武纪    | 1) 向神经网络的原型处理器结构<br>2) 包含一个处理器核，主频为 0.98GHz，峰值性能达每秒 4520 亿次神经网络基本运算，65nm 工艺下功耗为 0.485W，面积 3.02mm <sup>2</sup><br>3) 实验结果表明，DianNao 的平均性能超过主流 CPU 核的 100 倍，但是面积和功耗仅为 1/10，效能提升可达三个数量级 |

图 54 人工智能专用芯片处理器

## 1)谷歌的处理器 TPU——Tensor Processing Unit

2017 年 5 月，谷歌展示了一款由谷歌与 Open Power Foundation 合作开发的专门针对人工智能定制的新型芯片 TPU（Tensor Processing Unit）。TPU 专注于机器学习，具备有深度学习的能力，较之传统的芯片具有更高的效能。相对现在传统的处理器，TPU 具有 7 年的领先优势，宽容度更高，每秒在芯片中可以挤出更多的操作时间，对用户的指令能够给出更为迅速的反应。

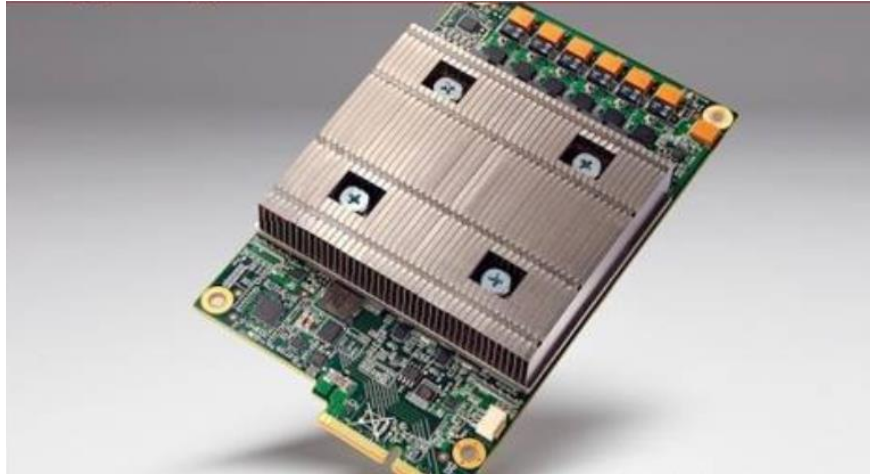


图 55 谷歌 TPU 芯片

## 2) Nvidia Tesla P100 芯片

Tesla P100 是英伟达第一次设计的一个专门用于深度学习领域的芯片。2016 年 4 月 6 日，英伟达 CEO 黄仁勋在其公司 GP Tech 峰会上发布了这一芯片，专门用于加速人工智能。这一芯片的发表表明了全力投入人工智能的决心。Tesla P100 芯片安装了 150 亿个晶体管，是目前市场上许多处理器、图形芯片的 3 倍；芯片面积为 600 平方毫米，双精度运算速度 5.3 万亿次，单精度运算速度 10.6 万亿次，半精度运算速度 21.2 万亿次。Nvidia 同时发布了一款搭载了八个 P100 芯片、可用于深度学习的计算机 DGX-1。



图 56 Nvidia Tesla P100 芯片

## 3) IBM True North 芯片

True North 是一款可以像大脑一样工作的计算机芯片，由 IBM 于 2014 年 8 月 7 日公布。

True North 使用了 54 亿个晶体管，分成 4096 个给并行分布的神经内核；

每一个神经内核结构都能使用交叉通讯模式来存储、处理并向其它结构传输数据，这些计算内核产生的效果相当于 100 万个神经元和 2.56 亿个突触，所需要的功耗却只有 65 毫瓦。

True North 可以是一个可以进行深度机器学习的人工智能芯片，能够应用到手势识别、情绪识别、光流等领域，其终极目标是开发出打破冯诺依曼体系的硬件。

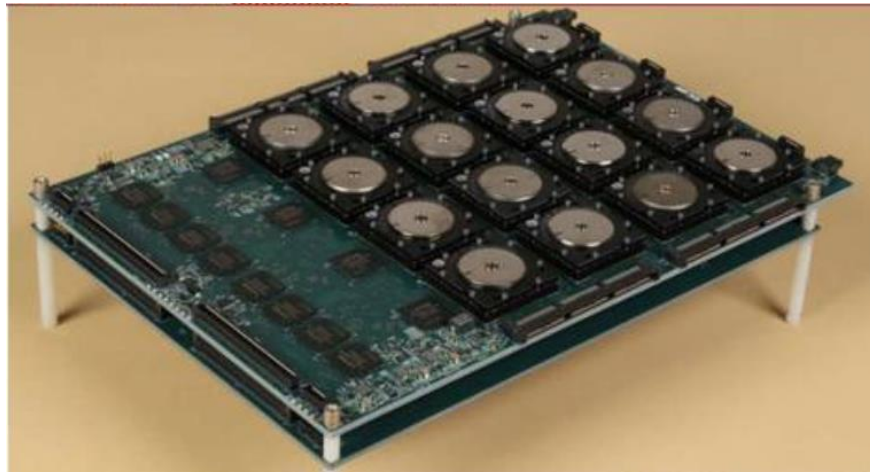


图 57 IBM 集成 16 块 True North 芯片的电路板

#### 4) IBM 随机相变神经元芯片

2016 年 8 月 3 日，IBM 苏黎世研究中心向世界揭示了他们最新的研究成果——世界首个人造纳米级随机相变神经元，构建了由 500 个该神经元组成的阵列，模拟人类大脑的工作方式进行信号处理，成果可用于制造高密度、低功耗的认知学习芯片，可实现人工智能的高速无监督学习。该神经元尺寸最小能到纳米量级，因而信号传输速度极快，同时功耗较低。更重要的是，相变神经元是随机的，这意味着在相同的输入信号下，多个相变神经元的输出会有轻微的不同，而这正是生物神经元的特性。

IBM 相变神经元由输入端（类似生物神经元的树突）、神经薄膜（类似生物神经元的双分子层）、信号发生器（类似生物神经元的神经细胞主体）和输出端（类似生物神经元的轴突）组成。寿命极长，历经几十亿次工作而不损坏，体积极小。同时，由于具有生物神经元的特征，人工神经元有望和人类一样进行决策和处理感官信息。

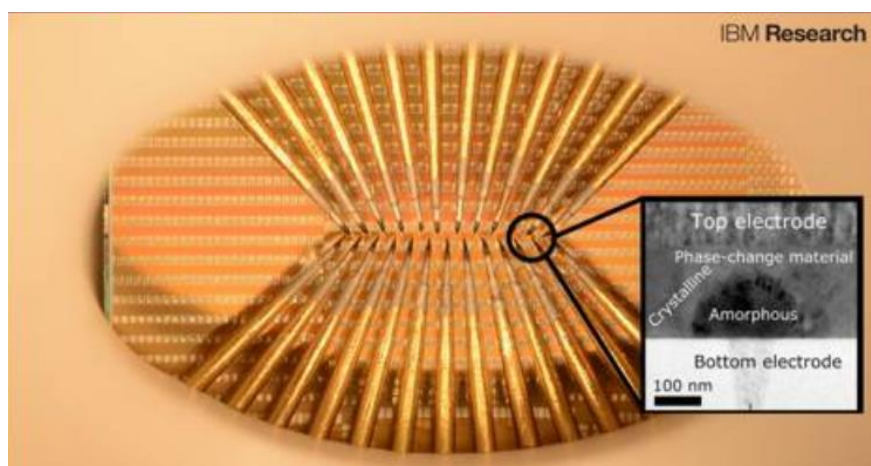


图 58 IBM 随机相变神经元组成的人工神经网络

## 5) 英特尔 Knights Mill 芯片

在 2017 年举行的 Hot Chips 的大会上，英特尔将挡在 Knights Mill 前的帷幕小小地拉起了几分——Knights Mill 是英特尔针对机器学习应用而研发的一款 Xeon Phi 处理器。

作为英特尔在 AI 领域多管齐下的一部分，“Knights Mill”代表了该芯片制造商的第一个专门针对机器学习市场，专门用于训练深层神经网络的 Xeon Phi 产品。从本质上讲，Knights Mill 用一个较小的双精度端口和四个向量神经网络指令（VNNI）端口，取代了 Knights Landing 的矢量处理单元（VPU）上的两个大的双精度/单精度浮点（64 位/ 32 位）端口。后者支持单精度浮点和混合精度整数（16 位输入/ 32 位输出）。与 Knights Landing 相比，Knights Mill 将提供一半的双精度浮点性能，两倍的单精度浮点性能。在 VPU（256 ops/cycle）中添加了 VNNI 整数支持，英特尔声称 Knights Mill 将提供 4 倍于深度学习应用的性能。



图 59 英特尔 Xeon Phi 家族成员



## 6)嵌入式神经网络处理器（NPU）芯片“星光智能一号”

2016年6月20日，中星微的嵌入式神经网络处理器（NPU）“星光智能一号”正式发布。在此前，该产品已经实现在智能安防领域的商业化应用。“星光智能一号”是全球首颗具备深度学习人工智能的嵌入式视频采集压缩编码系统级芯片。这款基于深度学习的芯片运用在人脸识别上，最高能达到 98%的准确率，超过人眼的识别率。NPU 的特点就是以神经网络为模型，开发崭新的、专门用于某类大型并行数据的计算单元，它采用“数据驱动并行计算”模式，极大地提升了计算能力与功耗的比例，特别擅长处理视频、图像类的海量多媒体数据。NPU 因其低成本、高效率、即时性，以及低功耗、小体积，可以广泛应用于高清视频监控、智能驾驶辅助、无人机、机器人等嵌入式机器视觉领域。

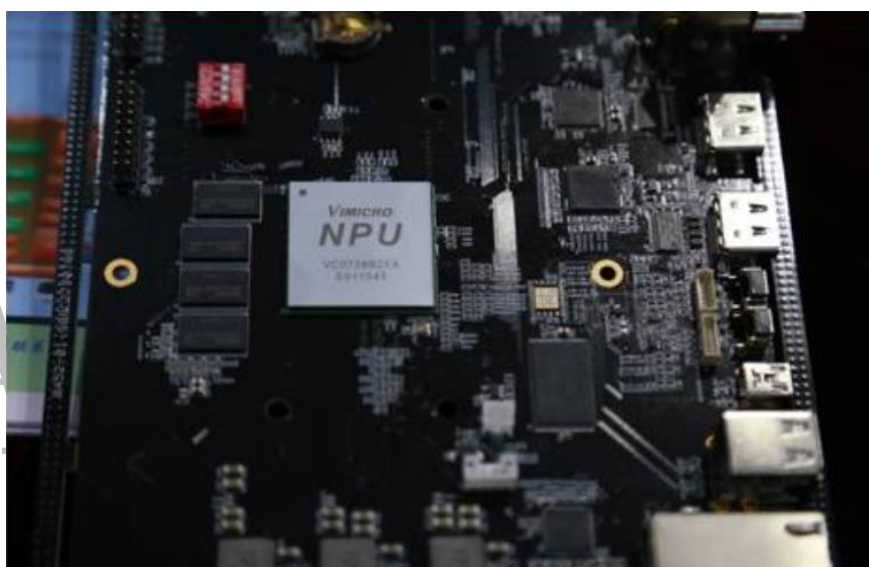


图 60 中星微电子“星光智能一号”芯片和主板

## 7)寒武纪“Dian Nao”芯片

寒武纪于 2016 年曾发布全球首款商用深度学习专用处理器 IP——寒武纪 1A 处理器打破了多项记录，入选了第三届世界互联网大会评选的十五项“世界互联网领先科技成果”。这款处理器基于寒武纪科技所发明的国际首个人工智能专用指令集，具有完全自主知识产权，在计算机视觉、语音识别、自然语言处理等关键人工智能任务上具备出众的通用性和效能比，在 1GHz 主频下理论峰值性能为每秒 5120 亿次半精度浮点运算，对稀疏化神经网络的等效理论峰值高达每秒 2 万亿次浮点运算，同时支持八位定点运算和一位权重。在若干关键人工智能应用上实测，寒武纪 1A 达到了传统的四核通用 CPU 25 倍以上的性能和 50 倍以上的能效。2017 年 9 月，华为发布全球首款人工智能手机芯片麒麟 970（Kirin 970），通过集成寒武纪 1A 处理器使华为旗舰手机 Mate10 具备了强大的

本地智能处理能力。

目前，寒武纪系列已包含三种原型处理器结构：面向低功耗场景视觉应用的寒武纪 1H8（Dian Nao）、拥有更广泛通用性和更高性能的寒武纪 1H16，以及面向智能驾驶领域的寒武纪 1M。Dian Nao 是寒武纪系列的第一个原型处理器结构，包含一个处理器核，主频为 0.98GHz，峰值性能达每秒 4520 亿次神经网络基本运算，65nm 工艺下功耗为 0.485W，面积 3.02 平方毫米，具有更低的功耗、更低的成本，可以应用与计算机视觉领域。包括拍照辅助、图片处理、安防监控领域等都有着非常广泛的应用。

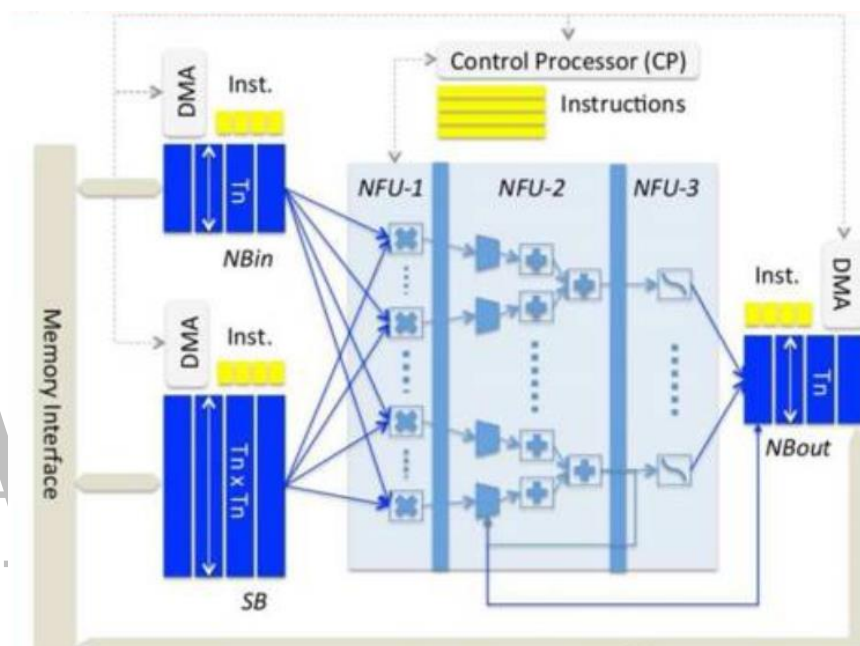


图 61 Dian Nao 结构



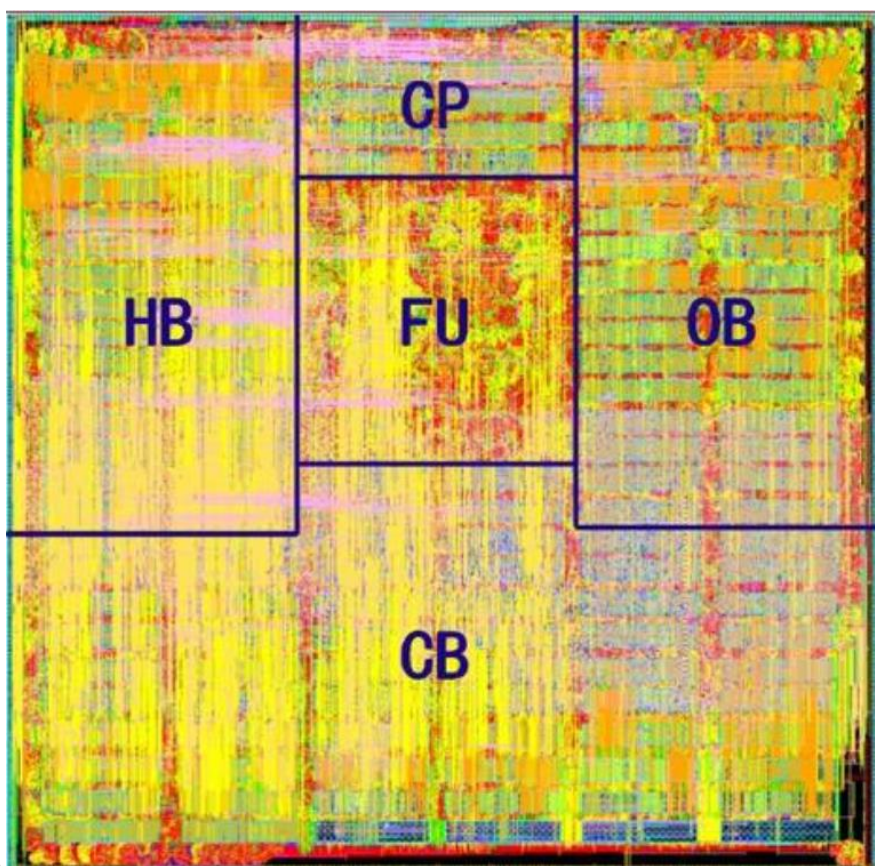


图 62 Pu Dian Nao 结构

## 近期热度

近期关注的重点则是集中在 Humanoid Robot、Human Robot Interaction、Mobile Robot、Real Time、Path Planning 等领域。



图 63 Robotics 近期热度

其中，Humanoid Robot、Human Robot Interaction、Mobile Robot、Real Time 无论是从全局热度来看，还是从近期热度来看，都是研究的重点。

## Path Planning

自 20 世纪 50 年代世界上第一台机器人装置诞生以来，机器人的发展经历了一个从低级到高级的发展过程。第一代示教再现型机器人，可以根据人示教的

结果再现出动作，它对于外界的环境没有感知。在 20 世纪 70 年代后期人们开始研究第二代机器人：带感觉的机器人，这种机器人是类似人某种感觉的功能，如力觉、触觉、滑觉、视觉、听觉。第三代机器人是智能机器人阶段，机器人通过各种传感器获取环境信息，利用人工智能进行识别、理解、推理并做出判断和决策来完成一定的任务。这就要求智能机器人除了具有感知环境和简单的适应环境能力外，还具有较强的识别理解功能和决策规划功能。

智能机器人路径规划是指在有障碍物的工作环境中，如何寻找一条从给定起点到终点适当的运动路径，使机器人在运动过程中能安全、无碰地绕过所有障碍物。机器人路径规划问题可以建模为一个有约束的优化问题，都要完成路径规划、定位和避障等任务。根据机器人对环境信息掌握的程度不同将智能机器人路径规划分为基于模型的全局路径规划和基于传感器的局部路径规划。前者是指作业环境的全部信息已知，又称静态或离线路径规划；后者是指作业环境信息全部未知或部分未知，又称动态或在线路径规划。智能机器人路径规划存在复杂性、随机性和多约束的特点。

Path Planning 则是从 1990 年开始发展，从 2005 年开始，进入发展的高速期，大量的学者以极大的热情投入该领域的研究，主要有 Howie Choset、Manuela M. Veloso、Sebastian Thrun 等人。

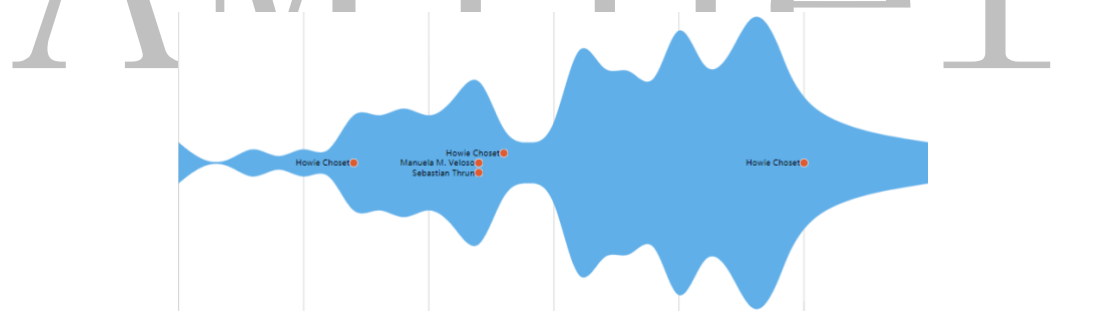


图 64 1990-2016 Path Planning 发展趋势

随着计算机、传感器及控制技术不断发展，特别是各种新算法不断涌现，智能机器人路径规划技术已经取得了丰硕研究成果。特别是周围环境已知的全局路径规划，其理论研究已比较完善，目前比较活跃的领域是研究在环境未知情况下的局部规划。从研究成果看，有以下趋势：(1)智能化的算法将会不断涌现。模糊控制、神经网络、遗传算法以及它们的相互结合也是研究热点之一；(2)多智能机器人系统的路径规划。随着智能机器人工作环境复杂度和任务的加重，对其要求不再局限于单台智能机器人，在动态环境中多智能机器人的合作与单个机器人路径规划要很好地统一；(3)多传感器信息融合用于路径规划。单传感器难以保证输入信息准确与可靠。多传感器所获得信息具有冗余性，互补性，实时性和低代价性，

且可以快速并行分析现场环境；(4)基于功能/行为的智能机器人路径规划。基于模型自顶向下的感知-建模-规划-动作是一种典型慎思结构，称为基于功能的控制体系结构。基于行为的方法是一种自底向上的构建系统方法，并与环境交互作用中最终达到目标。基于功能/行为的机器人控制结构融合了两者优先点，这是研究的新动向之一。

## 中国相关政策

机器人的发展一直都是世界主要发达国家战略重点.从 2012 年至今，发达国家针对机器人发展纷纷推出国家层面的机器人发展支持的策略，希望能够在市场上抢占机器人发展的先机与主动权。2012 年韩国发布《机器人未来战略 2022》，希望进入全球前三强；2013 年美国发布《机器人发展路线图》，提出机器人发展的九大重点领域；德国发布《工业 4.0 战略》，让机器人接管工厂；法国发布《机器人行动计划》，推出机器人发展九大措施；2014 年英国发布《机器人和自主系统战略 2020》，希望占据全球机器人 10%的市场份额。



| 时间   | 国家 | 战略文件                                 |
|------|----|--------------------------------------|
| 2012 | 韩国 | 《机器人未来战略 2022》，希望进入全球前三强             |
| 2013 | 美国 | 《机器人发展路线图》，提出机器人发展的九大重点领域            |
| 2013 | 德国 | 《工业 4.0 战略》，让机器人接管工厂                 |
| 2013 | 法国 | 《机器人行动计划》，推出机器人发展九大措施                |
| 2014 | 英国 | 《机器人和自主系统战略 2020》，希望占据全球机器人 10%的市场份额 |

图 65 发达国家出台的有关政策

我国政策发布进入密集期，从中央到地方，全国多点开花。根据 2017 年 12 月 14 日召开的 2017 中国机器人产业发展大会的记录，中国机器人产业联盟正式发布了由专家委会议评选产生的 2017 中国机器人产业发展大事记。其中记录了 2017 年三大重要的国家产业政策，分别是 1) 2017 年 5 月 22 日，国家标准委、国家发改委、科技部和工业和信息化部联合发布《国家机器人标准体系建设指南》（下称《指南》）。《指南》对统筹推进我国机器人标准化工作做出安排，通过大力推动智能制造标准体系的建立，不断推出重点行业智能制造标准，并率先在《中国制造 2025》十大重点领域取得突破；2) 2017 年 6 月 30 日，机器人被正式列入国家标准《国民经济行业分类》（GB/T 4754-2017）。根据新的分类，工业机器人制造（代码 3491）与特种作业机器人制造（代码 3492）两个行业小类，归属于其他通用设备制造业行业中类（代码 349），归属于通用设备制造业行业大类（代码 34），这一修订将对促进机器人制造行业和企业的发展具有长远的积



极影响；3）2017 年 10 月 25 日，《中国机器人标准化白皮书》（下称《白皮书》）正式发布。《白皮书》对我国机器人标准化战略和规划提供了有益的参考和指导，为我国机器人标准立项和研制提供科学依据，对推动我国机器人自主创新能力和促进机器人产业健康发展提供了有效支撑。对于指导机器人企业、标准化机构制定机器人标准、应用机器人标准、查找机器人标准空白和规划企业内部标准体系均具有一定的指导和借鉴意义。

| 时间         | 发布单位 | 概述                                                                                                                                                                      |
|------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2016.07.28 | 国务院  | 《“十三五”国家科技创新规划》<br>部署启动新的重大科技项目，力争在智能制造和机器人等重点方向率先突破。科技创新 2030—重大项目，先进制造技术专栏均包括智能制造和机器人。                                                                                |
| 2016.06.24 | 国务院  | 《国务院办公厅关于促进和规范健康医疗大数据应用发展的指导意见》<br>支持研发健康医疗相关的人工智能技术、生物三维（3D）打印技术、医用机器人。促进健康医疗智能装备产业升级。                                                                                 |
| 2016.05.30 | 国务院  | 《国务院办公厅关于开展消费品工业“三品”专项行动营造良好市场环境的若干意见》<br>主要任务发展智能、健康消费品，发展服务机器人等智能消费品。                                                                                                 |
| 2016.4     | 发改委  | 《机器人产业发展规划（2016-2020 年）》<br>目标：自主品牌工业机器人年产量达到 10 万台，服务机器人年销售收入超过 300 亿元。<br>十大标志性产品：弧焊机器人、真空（洁净）机器人、全自主编程智能工业机器人、人机协作机器人、双臂机器人、重载 AGV、消防救援机器人、手术机器人、智能型公共服务机器人、智能护理机器人。 |
| 2016.04.21 | 国务院  | 《国务院办公厅关于深入实施“互联网+流通”行动计划的意见》<br>鼓励拓展智能消费新领域。拓展智能消费领域，大力推广生活服务机器人等智能化产品，提高智能化产品和服务的供给能力与水平。                                                                             |
| 2016.04.15 | 国务院  | 《国务院关于印发上海系统推进全面创新改革试验加快建设具有全球影响力科技创新中心方案的通知》<br>在高端装备领域，加强机器人产品整机开发和关键零部件研制能力。在智能制造领域，开发具有国际先进水平的工业机器人、服务机器人产品。                                                        |
| 2016.03.14 | 国务院  | 《国务院办公厅关于促进医药产业健康发展的指导意见》<br>加快医疗器械转型升级。重点开发医用机器人等高性能诊疗设备。推进医药生产过程智能化，加快人机智能交互、工业机器人等技术装备在医药生产过程中的应用。                                                                   |
| 2015.11.23 | 国务院  | 《国务院关于积极发挥新消费引领作用加快培育形成新供给新动力的指导意见》<br>培育壮大战略性新兴产业。推动机器人等产业加快发展，开拓消费新领域。                                                                                                |
| 2015.07.04 | 国务院  | 《国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》<br>大力发展智能制造。加快推动智能工业机器人等技术在生产过程中的应用。                                                                                                           |
| 2015.05.19 | 国务院  | 《中国制造 2025》<br>加快发展智能制造装备和产品。组织研发工业机器人以及智能化生产线，统筹布局 and 推动服务机器人等产品研发和产业化。推进制造过程智能化，加快机器人在生产过程中的应用。在高性能医疗器械领域重点发展影像设备、医用机器人等高性能诊疗设备。                                     |
| 2013.12    | 工信部  | 《工业和信息化部关于推进工业机器人产业发展的指导意见》<br>目标：开发满足用户需求的工业机器人系统集成技术、主机设计技术及关键零部件制造技术，在重要工业制造领域推进工业机器人的规模化示范应用。到 2020 年，形成较为完善的工业机器人产业体系。                                             |
| 2013.01.06 | 国务院  | 《国务院关于印发生物产业发展规划的通知》<br>高性能医学装备产业化行动计划中提出发展新一代外科手术器械和机器人。                                                                                                               |
| 2012.07.20 | 国务院  | 《国务院关于印发“十二五”国家战略性新兴产业发展规划的通知》<br>智能制造装备产业提高工业机器人等典型智能装置的自主创新能力。推进工业机器人产业化。                                                                                             |

图 66 国家层面机器人相关政策梳理

| 地区 | 发展规划                                                                                                                                                                             |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 上海 | 2015 年全市机器人产业规模力争达到 200 亿元，2020 年达到 600-800 亿元。2015-2020 年，应用机器人数量年均增加 30% 以上，平均每年新增机器人 3000 台以上，平均每年新建 5 条以上机器人示范应用生产线。                                                         |
| 广州 | 到 2020 年，培育形成超 1000 亿元的以工业机器人为核心的智能装备产业集群，其中包括形成年产 10 万台(套)工业机器人整机及智能装备的产能规模。全市 80% 以上的制造业企业应用工业机器人及智能装备。                                                                        |
| 东莞 | 到 2016 年，力争全市工业机器人智能装备产业产值达到 350 亿元，平均增长 20% 左右。到 2020 年，力争全市工业机器人智能装备产业产值实现翻一番，达到 700 亿元。全市“机器换人”实现广泛深入推广，全市规模以上工业企业劳动生产率由 2013 年 8 万元/人提高至 11 万元/人以上，全市工业投资中设备投资占工业投资比重达到 60%。 |
| 洛阳 | 力争到 2016 年年末，全市机器人及智能装备产业主营业务收入达到 800 亿元。在全市重点工业领域实现工业机器人及智能装备的规模化应用，现有装备生产线智能化率超过 30%。                                                                                          |
| 南京 | 2016 年前，形成较为完备的产业体系，成为国内机器人产业的新兴基地之一，年销售规模达 350 亿元；到 2020 年，建成国家级机器人协同创新中心与产学研联盟，将南京建设成为“中国机器人产业先进基地”，年销售规模达 1000 亿元。                                                            |
| 重庆 | 到 2015 年，全市机器人产业销售收入达到 300 亿元，到 2020 年，成为国内重要的、具有全球影响力的机器人产业基地，全市机器人产业销售收入达到 1000 亿元，机器人产业成为新的支柱产业。湖北 到 2017 年，力争全省智能制造装备形成比较完备的产业体系，主营业务收入达到 2000 亿元。                           |
| 青岛 | 至 2016 年，青岛高新区机器人企业达到 50 家，产值达到 40 亿元。至 2020 年，企业数量突破 100 家，产值规模达到 100 亿元。                                                                                                       |
| 徐州 | 力争通过 3 至 5 年，全区机器人产业规模达 50 亿元左右，10 年内增至 200 亿元至 300 亿元。                                                                                                                          |
| 唐山 | 争取用 5 年左右时间，全市形成机器人产业年产值 250 亿元，培育核心企业，形成年产值 100 亿元以上企业 1 家，10 亿元以上企业 2 家，年产值 1 亿元以上企业 5 家，年产值 1000 万元以上企业 20 家。                                                                 |

图 67 全国各地机器人发展规划

## 结语

作为与机器人设计、制造和应用相关的科学，机器人学主要研究机器人的控制与被处理物体之间的相互关系，能极大提升生产力的发展，提升人们生活的便利度和幸福指数。从 1996 年开始，机器人一直都是话题的中心。现在，全世界已有近百万台机器人在运行，机器人技术已形成一个很有发展前景的业，机器人对国民经济和人民生活的各个方面已产生重要影响。

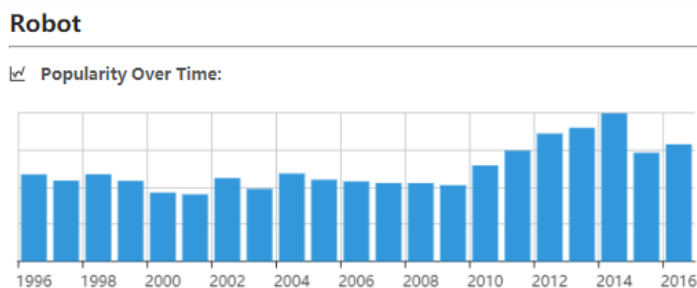


图 68 1996-2016 Robot 的流行指数

## 参考文献

- [1] 招商证券：机器人行业深度报告 [R/OL].(2015-11-26)[2018].  
<https://wenku.baidu.com/view/f469319e580216fc710afd88.html>.
- [2] 机器人产业发展趋势：有望成为下一代人机互动新交口[R/OL]. (2017-6-15) [2018].  
[https://news.uc.cn/a\\_13782917835754549639/](https://news.uc.cn/a_13782917835754549639/).
- [3] 机器人产业发展趋势及投资前景分析 [R/OL].(2016-12-16)[2018].  
<http://smart.huanqiu.com/roll/2016-12/9820688.html>.
- [4] 嵌入式智能机器人路径规划应用研究 [R/OL].(2013-6-20)[2018].  
<https://wenku.baidu.com/view/067363a569dc5022aaea009b.html>.
- [5] 全自主移动机器人的概念与研究现状 [R/OL].(2013-4-19)[2018].  
<http://www.docin.com/p-638057746.html>.
- [6] 人工智能，正在变道超车 [N/OL].(2017-11-7)[2018].  
[http://www.xinhuanet.com/politics/2017-11/07/c\\_129734217.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/2017-11/07/c_129734217.htm).
- [7] 中国首款嵌入式神经网络处理器(NPU)“星光智能一号”:智能监控新篇章 [N/OL].(2016-6-27)[2018]. <http://www.pjtime.com/2016/6/372810492123.shtml>.
- [8] 英特尔 Knights Mill 揭开面纱 它将为 AI 带来什么样的改变? [N/OL].(2017-8-25)[2018]. <http://server.it168.com/a2017/0825/3167/000003167393.shtml>.
- [9] IBM 研发世界首个人造神经元 能模拟大脑工作方式[N/OL].(2016-8-6)[2018].  
<http://tech.163.com/16/0806/07/BTP6M2HO00097U81.html>.
- [10] 终极进化：深度解析人工智能 [N/OL].(2017-4-5)[2018].  
<http://news.hexun.com/2017-04-05/188734163.html>.
- [11] 人工智能芯片：从专用到通用 [R/OL].(2017-6-20)[2018].  
[http://www.360doc.com/content/17/0620/21/41022365\\_664994130.shtml](http://www.360doc.com/content/17/0620/21/41022365_664994130.shtml).
- [12] 人形机器人技术的发展与现状[R/OL].(2016-2-15)[2018]. <http://www.docin.com/p-1457812750.html>.
- [13] World Robotics 2017 - Industrial Robots[R/OL]. [2018]. <https://ifr.org/worldrobotics>.
- [14] World Robotics 2017 - Service Robots[R/OL]. [2018]. <https://ifr.org/worldrobotics>



## 版权声明

AMiner 研究报告版权为 AMiner 团队独家所有，拥有唯一著作权。AMiner 咨询产品是 AMiner 团队的研究与统计成果，其性质是供用户内部参考的资料。

AMiner 研究报告提供给订阅用户使用，仅限于用户内部使用。未获得 AMiner 团队授权，任何人和单位不得以任何方式在任何媒体上(包括互联网)公开发布、复制，且不得以任何方式将研究报告的内容提供给其他单位或个人使用。如引用、刊发，需注明出处为“AMiner.org”，且不得对本报告进行有悖原意的删节与修改。

AMiner 研究报告是基于 AMiner 团队及其研究员认可的研究资料，所有资料源自 AMiner 后台程序对大数据的自动分析得到，本研究报告仅作为参考，AMiner 团队不保证所分析得到的准确性和完整性，也不承担任何投资者因使用本产品与服务而产生的任何责任。

AMiner