

美国机器人技术路线图（2016）

【译者按】 早在2009年美国国家科学基金会就已发布了《美国机器人技术路线图》。在过去几年中，美国机器人技术取得了长足进步，对世界机器人产业做出了较大贡献。随着互联网与工业技术融合的不断深入，美国产研学界对该路线图进行重新审定，于2016年11月出版了《从互联网到机器人：美国机器人技术路线图》。该路线图对机器人共性技术、重大应用领域以及机器人发展中存在的问题进行了重点分析，力图为未来一段时期美国机器人发展提供指南。赛迪智库信息化研究中心对该报告进行了编译，希望能为我国相关决策部门提供参考。

【关键词】 机器人 路线图 国防

机器人发展已有近 50 年的历史，实现了从基本机械辅助系统到无人驾驶、环境监测和宇宙探索等智能执行系统的跃升，从代替人们执行困难、枯燥或危险的任务，到广泛应用于人们的生产生活，帮助处理日常事务或开展休闲活动。自 2009 年美国发布首份《美国机器人技术路线图》报告以来，国家科学基金会（NSF）、国家航空航天局（NASA）、农业部（USDA）和国家卫生研究院（NIH）于 2011 年共同推动实施“国家机器人技术研究计划”。在 NSF 和计算机界财团（CCC）的支持下，产学研组织力量于 2013 年对路线图进行了修订完善。近年来，机器人技术在医疗保健、自动驾驶和无人飞行器、摄像系统、通信系统、显示器和基础计算等领域的应用得到长足进步。为确保在机器人技术研发、应用和标准制定等方面的领先地位，美国产研学界结合技术融合趋势，对路线图进行重新审定，修订形成 2016 年版《美国机器人技术路线图》。

一、共性技术研究路线图

（一）机械制造和执行元件

新型制造技术、新型材料和建构范式的演进，使得机械装置、执行元件和控制系统融为一体，形成高效节能的紧凑型系统，从而降低机器人制造成本，提升机器人应用效能。

表 1 机械制造和执行元件技术路线图

发展目标	5 年	10 年	15 年
在制造作业中可保障人身安全的机器臂	在简单制造作业中，更多地使用保障人身安全的机器臂	机器能与人类合作，包括手对手传递及其他物理合作	尽管功能有限，但在生产制造领域，机器人越来越普遍地成为人类的合作伙伴
类人行走和跑步机器人	基本实现机器人室内和户外独立行走	人们对机器人运动科学的认识进一步加深，机器人具备高效、机敏的运动能力	开始用于商业和军事活动，包括物流与远程监控

(二) 移动和操纵

1、移动功能

感知/规划技术和新型移动装置（四轴飞行器、步行机、游泳机器人）可提高机器人的移动应用性能，进一步扩大机器人用途。感知/规划技术方面，三维导航技术是移动性需要破解的最重要挑战之一；当机器人用于操控目的进行移动时，需要具备捕捉三维表征信息的能力，包括周围环境的几何布局、物体的功能性、与任务相关的语义信息等，这对于提升机器人的传感、感知、测绘、定位、物体识别、功能识别以及规划等能力提出了高要求。新型动装置方面，需要破解的难点是机器人完成任务严重依赖设定动作，在执行救灾等模拟性任务时缺乏机敏性、自主性，并且无法高效可靠地完成任务。机器人移动机能方面，通过加强人体结构学和生物学研究，动力外骨骼和义肢技术发展，可提高机器

人的移动机；而行走、游泳和飞行机能的提升，可从动物身上获得启发，通过生物学深入理解动物行为背后的原理，并用于工程系统，从而获得超越动物的移动性、感知和规划等能力。

2、操纵性

操纵性是指服务机器人与周围环境进行物理互动，如开门、捡物体、操作机器设备等。当前，自主操纵系统能在精心设计和高度受控的环境中良好运行，但无力应对开放、动态变化、结构凌乱的不确定环境。真正自主操纵的实现，取决于机器人在缺乏任务相关环境模型的情况下，获取任务相关环境模型的能力，这意味着感知能力将成为自主操纵研究的一个重要内容。

(三) 感知能力

感知能力对机器人实现移动性、操控性、人机互动以及应对环境变化等各种能力具有重要意义。新型传感器比传统传感器更先进、更高分辨率、更低成本，包括触觉传感器、声学传感器、专用传感器、距离传感、具有驱动装置的特殊扭矩传感器以及皮肤传感器等。为提高对复杂和高度动态环境的感知能力，必须使用近实时算法对传感数据进行处理分析，并推动高级目标建模、探测和识别技术的发展，从而改进情境感知技术，同时还需规划发展多类传感方式集成和动态物理约束情景下的综合算法。当前的感知能力注重获取几何信息、识别物体和语义语境理解，下一

步应朝能获取任务的现实特征方向发展，包括材料特性、物体功能、人类活动、人与物的互动、环境约束等。

表 2 感知技术路线图

发展目标	5 年	10 年	15 年
感知能力	传感与感知算法应能随着时间推移不断整合信息，以实现在大规模数据下的可靠运行。机器人将能感知各种环境和物体与任务相关的特征，并能在杂乱环境中识别、定位和搜寻数以千计的目标。	在静态环境中的基本操作能力将被扩展到动态环境，使机器人系统能够感知动态事件和人类活动，从而向人类学习并与人类合作。有必要开发机器人专用的感知算法，以便适应人机交互、敏捷操纵、移动性及其他任务领域。对于长期运行的系统而言，有必要开发能随时间推移而不断学习和不断提升自适应性的方法，以改善感知能力。	机器人将整合多种传感方式，如声音、距离、视觉、GPS 和惯性，以获取环境模型，并使用这些模型进行导航、搜寻以及与新物体或人类交互，重点研究在杂乱、动态环境中的长期运行状况，并通过探测和/或与人类互动改善感知能力的适应性。

(四) 算法模型

随着越来越多的自主系统的出现，如无人驾驶汽车和送货无人机，机器人行业面临的一个主要挑战是开发方法和工具，以实现安全、可靠的自主性。这需要明确规定机器人安全行为标准和安全运行标准。算法模型是用于论证机器人系统安全性、可靠性和可预测性的数学手段，并使机器人能“自省”，即主动报告自身能胜任工作的可能性。下一步研究方向包括：

1、闭环系统的综合验证，以及对不确定性因素和动态环境加以整合

机器人在动态环境中运行，根据传感器采集的信息进行决策，但极端情况下，所有机器人都无法完成任务，如无人驾驶汽车可能会在雪盲环境中偏离车道。下一个挑战是开发算法模型，统筹考虑感知—执行的闭环系统，以及外界环境的不确定因素。这将使人们了解机器人运行的局限性，即在何种环境下机器人能正确完成任务，在何种条件下无法完成任务。

2、确保行为安全性

机器人任务失败将造成严重后果，如自动驾驶汽车撞上障碍物、类人机器人跌倒、飞行机器人坠毁等。算法模型可用于监测机器人行为，预判即将发生的故障并采取策略，确保安全性。

3、算法模型与机器学习

算法模型有助于判断机器学习算法的可靠性，监测机器人行为以检测偏离预期目标的程度，并可用作后期训练的输入参数；同时还可对机器学习过程加以限制，确保系统在学习过程中满足特定性能指标，实现“安全学习”。目前，机器学习算法模型尚未达到全系统规模，需进一步强化验证和综合能力，可分为两大不同研究方向：一是如何在学习的同时满足安全性；二是开发“安全学习”方法。

4、人机互动与协作的算法模型

机器人与人类互动与协作的挑战是交互协作过程进行数学建模，定义包括人类角色在内的规范，检验并合成交互情境下的机器人行为系统。这将有助于解决一系列问题，如，在自主性共享的情况下，机器人何时应承担更多的控制功能？何时需要寻求更多的人类干预？在辅助设备中，如何确保机器人只有在需要时才可以为人类提供服务？应该如何对交互过程中人类的行为进行判断，以确定何时需要机器人接管受伤人员？

（五）学习能力和适应性

感知和规划/控制使机器人能估算外界状态，在满足特定要求的情况下决定如何采取行动完成既定任务。但实际应用中，人体环境引起的不确定性可能会使服务机器人无法在合理时间内计算出一种优良策略。如外科手术机器人可能需要使用一种新型工具，却不知如何用工具与人体组织之间的交互进行建模；随着新产品上线，工厂机器人可能需要执行新的任务，其编程设定的原有功能因此需要做出改变。机器学习有望使机器人通过自身经验不断学习，或向人类学习，不断改进升级，使自己适应上述情境。

1、示教学习

示教学习是指通过终端用户（工厂工人、服务人员、消费者）通过演示教会机器人如何完成工作，而不用专家对机器人重新编

程以执行新任务。而此项技术面临的挑战包括：提取任务结构（识别任务目标和子目标）、实现更多功能（使机器人学会施加的力度）、通过观察人类（而非通过动作示范）进行直接学习；同时，还需进一步研究如何使非专业人士也能轻松使用示教学习算法，以及学习和适应人类对于机器人完成任务的偏好。

2、增强学习和深度学习

机器人通过执行一次任务，可直接学习如何将所得经验用于所应执行的动作，从而绕过对外界的规划、感知和建模，或者通过学习掌握如何建模并加速规划。目前深度学习发展成效惊人：机器人（或人工智能系统）能够以人类水平玩“雅达利”游戏，或者在人机对弈中战胜世界顶尖高手。计算机视觉、语音识别和自然语言理解等领域在深度学习方面，同样取得令人瞩目的进展。

（六）控制和规划

未来机器人需要更先进的控制与规划算法，以处理具有更大不确定性、更大范围和更多自由度的单一或多任务系统。普通机器人的机器臂将具有末端执行元件，能在结构凌乱和受限环境中有效规划并持续执行精细作业和抓取任务，这需要 12 个自由度。类人机器人有多达 60 个自由度以完成控制和协调任务。极端条件下，多类型和蜂群机器人需要数个或数千个机器人协同工作。

过去，控制和规划彼此独立，而现在需要统筹处理，换句话说就是既需要考虑各种类型机器人（机械臂、探测车、无人机等）的低层级控制装置，又要兼顾任务（操纵、穿越障碍物、飞行等）。这将采用一系列新技术，包括数学拓扑和近期采样规划法，实现在多维度空间环境和交互条件下的有效搜索任务。其技术路线图如下：

表 3 控制和规划技术路线图

目标	5 年	10 年	15 年
不确定条件下的任务整合与运动规划	在布局规律的环境下用于简单任务的实时算法	在布局规律的环境下用于现实任务的实时算法，或在结构凌乱的环境下用于简单任务的实时算法	在结构凌乱的环境下用于现实任务的实时算法
约束优化	对于短期任务，将物理/系统约束集成到控制器和运动规划器中	对于长期任务，将物理/系统约束集成到控制器和运动规划器中	实现在已知约束下可独立运行的自动化和各类优化机器人的商业整合
操纵	对现实情境中简单几何体的可靠抓取能力，可操纵简单的可变形物体	对复杂和独特几何体的抓取能力，可简单使用工具	对复杂和可变形物体的可靠抓取与操纵能力，可有效使用工具
从规范到部署	建立可行的计算模型，在设计部署中通过实时控制代码进行修正	实现对实用化机器人重要安全应用的数学模型验证	实现机器人重要安全应用的全面商业化
动态环境	动态过程建模，其复杂程度超过简单线性或重复性模型；实现动态环境下对模型进行控制与规划	对具有多种动态因素的多维空间进行评估与规划	建立与复杂机器人行为（如不适于抓握的任务）相关的动态物体和环境的语义模型

多类机器人规划	通过高级规范自动生成分布式控制算法	在现实环境中部署可靠的多机器人系统	商业化、用户友好的模块化多机器人解决方案
---------	-------------------	-------------------	----------------------

(七) 人机交互

未来机器人将在工厂生产、康复护理等众多领域与人类并肩工作。由于机器人用户在学科背景、培训基础、身体机能、认知和技术应用等能力方面存在差异，未来机器人产品应直观、易用、能够根据用户的需求和特点做出响应。

表 4 人机交互技术路线图

发展目标	5年	10年	15年
接口设计	为机器人接口制定基本/通用标准和设计指南。	为拓展性（针对不同用户、任务复杂程度、长期交互）制定实用性标准和原则。	用于机器人拓展性目标的编写和编程工具，解决安全、隐私和安保问题。
感知、建模、对人的适应能力	在明确建模的任务和环境后，机器人可以识别人类的基本行为、任务行为和意图，并调整自身的行为。	在中等复杂程度的任务和环境，机器人可以快速学习和更新用户模型，并处理感知、建模和适应活动。	在中等复杂程度的任务和环境，机器人可以对复杂用户的行为和意图进行感知、建模和适应，并将所习得模型应用于在不同领域和环境。
社会性	在可控和半可控的环境中（如教室、康复中心），机器人可以进行基本对话、识别用户基本状态、表达内部状态。	在半可控的环境中（如公司大楼的大厅），机器人可以处理对话中的紧急情况，适应用户状态并无缝整合社交行为。	在不可控的环境中（公共场所、野外和灾难环境中），机器人可利用对话和社交策略来调整与不同用户之间的交互。
协作系统	在明确的分配计划下，机器人可以应对必要的感知、操纵和	机器人可以快速学习和推断任务模型并采取行动，并且	机器人不仅能识别还可以预测紧急情况、用户错误和人类协同者的能

	交流。	能对不断变化的任务进行识别并调整行动。	力变化，并采取预防行动或将其影响降到最低。
共享自主性	共享自主性系统可整合用户多种显性形式的输入，以执行用户指导的行动，并为用户提供不同层级自主性选择。	共享自主系统可识别用户隐含输入及判断用户目标，并采取主动学习方式与用户互动，以支持用户目标，还能选择完成任务所需的自主性程度。	共享自主性系统可快速整合和融合不同形式的隐性和显性的用户输入，并在运行过程中完成用户目标，而且在与用户沟通的同时，可根据需要改变自主性水平。
长期交互	在半可控环境中，机器人在数月时间框架内可与用户保持交互，了解用户情况并适应用户。	在半可控环境中，机器人可在一年的时间框架内保持运行，并满足能力各异的多个用户的需求。	在不可控环境下，机器人可在几年的时间框架内保持自适应能力，满足能力各异的任意数量用户的需求。
安全性	需要制定详尽的安全标准，以应对特定领域的风险。验证部署的机器人系统的适用性和有效性。	应制定有关机器人如何在人类环境中发挥作用的规范（除机器人本身安全性以外，人们对机器人的要求），用于规范已部署机器人系统以及有效性验证。	基于对已部署系统的长期使用和交互情况的了解，将机器人无缝整合到社会生活中，并在不可控的环境下为多个用户提供安全、有效且可接受的服务。

（八）多智能机器人组

在大量应用中，机器人组的功能集成要明显优于单一机器人。将多台机器人部署于一个大的空间中，可以实现更有效的覆盖，或者可将能力分布于多个平台，获得灵活性、自适应性更强的机器人系统，即使一台机器人出现问题，任务仍能继续。

表 5 多智能机器人组路线图

发展目标	5 年	10 年
分布式控制和决策	从高水平、全球规范自动生成分布协议。	在现实环境中可靠部署大型编队。
混合型分散/集中信息交换机制	基本了解如何在集中和分散渠道中分配信息需求。	基于云的体系结构实现多台机器人编队的协同学习与合作。
人与机器人蜂群的交互	有效的人-机器人蜂群交互的多种建模。	以人为中心的蜂群系统实现商业化。
异构网络	众多维度（包括功能、空间和时间）的异构性表征。	复杂任务的异构解决方案而非编队方案成为首选。
多个机器人系统中的通信和感知	用于权衡移动性、传感和通信能力的有效模型。	传感、移动性和通信模型中功耗的自动协同优化。

二、重大应用领域发展路线图

（一）制造机器人

机器人是引领制造业变革的一项关键性技术，美国亟需在制造机器人基础研究、技术研发和系统应用等方面加大投资，助力提升“美国制造”水平。美国政府“先进制造业合作计划”（AMP）和“国家制造业创新网络”（NNMI）的部分实施计划中也明确表述了这一战略。制造机器人的广泛应用，将有效解决人工成本上升问题，充分满足未来复杂产品对生产线的适应性、精细性、稳定性等方面的高要求，还可以增加就业岗位。NCR、思科公司、苹果公司、联想公司和特斯拉等企业已纷纷在美国建造大量使用制造机器人的新工厂，目的在于提高竞争力，促进持续繁荣。

表 6 制造机器人路线图

目标	5年	10年	15年
具有适应性、可重构性的装配线	实现在 24 小时以内利用专用工业机械臂、工装和辅助材料处理设备为新产品建立、配置和编组基本装配线作业。	实现在 8 小时以内利用专用工业机械臂、工装和辅助材料处理设备为新产品建立、配置和编组基本装配线作业。	实现在 1 小时以内利用专用工业机械臂、工装和辅助材料处理设备为新产品建立、配置和编组基本装配线作业。
绿色制造	生产过程将能循环利用 10%的原材料，设备的再利用率将达到 50%，能源消耗仅为 2010 年的 90%。	生产过程将能循环利用 25%的原材料，设备的再利用率将达到 75%，能源消耗仅为 2010 年的 50%。	生产过程将能循环利用 75%的原材料，设备的再利用率将达到 90%，能源消耗仅为 2010 年的 10%。
像人一样灵活操作的能力	具备少量独立关节的复杂程度较低的手臂，能可靠完成全手抓取动作。	具备数十个独立关节、全新构造的中等复杂程度的手臂，可靠完成全手抓取动作，具备有限的灵活操作能力。	触觉阵列密度接近人类且移动能力超越人类的高度复杂的手臂，能可靠完成全手抓取动作，像工人一样在生产过程中可实现对物体的灵活操作。
基于模型的供应链集成与设计	为散装零件制造和装配提供安全正确的设计方案，在生产设施建设过程中不会出现瑕疵。	为跨多种时间长度的完整的制造供应链提供正确的设计方案，在生产供应链的设计中不会出现瑕疵。	下一代产品的生产：随着微型科技和纳米科技的进步以及新制造工艺的出现，可为任何生产线提供安全正确的设计方案。
纳米制造	通过自行组装实现大规模平行装配，并利用生物学研发有机材料的新型制造方式。	CMOS 革命之后的制造业可实现下一代分子电子材料和有机计算机的生产。	用于输送药物、治疗与诊断的纳米机器人制造。
感知复杂环境	在量产生产作业中，3D 感知可实现在典型复杂环境车间的自动化。	感知能力可支持小批量自动化生产，如专业医疗设备、轮椅框架和可穿戴式辅助设备。	感知能力真正实现独一无二的制造，包括定制辅助装置、个性化家具、专业化水上或水下船只、用于星球探索和星际殖民的宇宙飞船。

机器人 与人类 安全协 同工作	在工厂车间，广泛应用便于编程、具备可适应性和安全性的固定装配或者移动装配机器人。	在工作场所，系统自动探测人类行为并能做出恰当响应，同时保持性能的连续性。	在建筑工地和新配置的生产车间等复杂环境中，系统可以识别人类或者其它机器人的行为，实现协作。
--------------------------	--	--------------------------------------	---

(二) 服务机器人

服务机器人指辅助人类工作、生活和娱乐的机器人，能更好地代替人类执行任务，且能与人直接协作。服务机器人通常分为专业和个人服务。一般而言，专业服务机器人应用包括发电厂、桥梁等基础设施检修、物流、医院制药和草坪清洁等领域，年增长率为 30%，有望成为经济增长的加速器。个人服务机器人用于辅助人们的日常生活，或辅助克服心理和身体障碍。家用真空吸尘器是应用最为广泛的个人服务机器人，仅 iRobot 公司一家就在全球销售超过 1000 万个 Roombas 吸尘机器人，且这一数字仍在持续增长。此外，大量机器人还被用于人造宠物、个人助理等娱乐应用。个人服务机器人以每年 28% 的速度增长，2014 年销售额高达 470 万，未来市场仍将强劲增长。无人机和无人驾驶车辆领域也涵盖了大量服务应用，未来 5-10 年有望出现颠覆性技术。

表 7 服务机器人路线图

发展目标	5 年	10 年	15 年
环境感知和任务执行	能通过环境感知、物理交互或人类指令来创建语义地图。实验室非结	在一个近似和可能不完整的部分静态模拟环境中(事先提供或从网络上获得相关数	服务机器人拥有多样化的活动机能，如行走、跟踪、轮子高速运转等，以及在全新、非结构化和动态的

	构化二维环境下机器人能表现出多种移动机制以及简单的抓取和放置动作。在任务对象具备有限和特定属性情况下，机器人能思考如何柔性地处理复杂动作，比如移动障碍物、打开橱柜等等，从而获取其他物品。	据），服务机器人能够以完成任务为导向，可靠地计划和执行服务中的移动或操作指令。机器人能通过感知、物理交互和指令深刻理解周围环境；能在多楼层环境中导航行进；能调整环境以提供完成任务的可能性（如移动、清除障碍物，开灯等等），并对故障自我检测和修复。	环境中灵活操控；能有效应对动态环境变化（如因被推攘或拥挤而造成的意外扰动）；能在必要时以任务为导向执行交叉探索行为；能与环境交互并智能地进行调整，从而确保任务完成，这包括对机器人、接触对象、静态环境之间物理交互动作的推理（如滑动、推攘、投掷等）。
物流应用	工厂仓库物流机器人应用规模增加，用来管理库存和搬运货物。	使用具有特定程序的无人机、地面车辆和跑腿机器人递送包裹的商业应用进入市场。	在物流全过程越来越多地使用机器人，包括自动装载车、自动飞机、小型搬运机器人、重物搬运仓库机器人等。
自动驾驶	自动驾驶车辆能够在有明亮标记道路的现代城市像人类司机一样安全行驶。自动驾驶车辆在执行穿越工业矿区或建筑区、倒入堆满货物的码头、平行停车、紧急制动和停止等任务时表现出比人类司机更优越的性能。	自动车辆能在任何城市和未铺砌的道路上行驶，具备在越野环境中有限的行驶能力，其安全程度达到人类驾驶员的平均水平；能够安全应对其他车辆的突出行为（如分解或故障）；能拖拽其他分解车辆；在遭遇感知故障时能自动达到安全状态。	自动车辆能在人类能驾驶的任何环境中行驶；除了比行驶经验小于一年的人类驾驶员行车安全性能更高、预判能力更强外，其驾驶技能将实现与人类驾驶员无差别；能自我学习如何在未提前认知的场景下行车（如极端天气、传感器功能减弱等）。

（三）医疗机器人

医疗机器人能帮助残疾人克服身体缺陷、协助临床护理工作以及改善病人愈后效果，多用于外科手术室、康复中心和家庭。机器人系统在医疗保健领域的应用在不断拓展（从手术室到客

厅)、用户群不断增加(从婴儿到老人,从身体虚弱到体格健全的人,从发育正常到有生理和/或认知缺陷的人),互动模式也日趋多样化(从实操手术到术后康复陪练)。辅助机器人、人一机互动、高级义肢和智能传感技术等核心技术正为家庭保健和人类活动带来积极影响。

表 8 医疗机器人路线图

发展目标	5 年	10 年	15 年
护理机器人	在简单定义的场景中,机器人将自动维持一次性(如健康访问)或短期(如特定运动)交互,并符合人类社会社交规范,包括社交距离、手势、表情和其他非语言线索,以及简单的语言内容、指令和反馈。	在更宽泛的场景和受控制的环境中,机器人将自动维持长时间、重复的交互。人类和机器人之间的交互使用开放的对话模式,包括语音、手势、有限的目光交互等。在确定的场景下,能够提供精确的干预/治疗。	在极为广泛场景下,机器人在数周和数月中自主维护多种交互。在大量社交场景中,机器人能主动进行复杂交互、熟练地使用多模式行为。能主动使行为适应时间变化,包括小的情绪波动或意想不到的变化,以及与用户需求 and 角色匹配的应对行为。
外科手术和干预治疗机器人	新设备与算法使人类和机器人之间的双向信息及能量交换更加有效。控制接口和导航系统与实时传感器和数据库有效连接。机器人在掌握机器设备和远程病人信息的情况下,能提供完整全套的治疗反馈。	机器人可以做到直观和透明的人机交互。机器人的回应行为能结合对用户意图的理解,而不是简单执行用户指令。	机器人可以感觉一个人的运动行为并对其意图进行推断。算法能自我优化,从而为人类操纵者提供适当的物件和操纵力量。
临床辅助机器人	机器人将通过定义好的任务自动帮助临床医生,如传递物品、清除废弃物和管理药	机器人将帮助临床医生进行危险操作,包括转移病人(从床到椅子)、病人流动、	机器人将像手机一样无缝集成到临床工作中。能为有行政管理职责的临床医生提供认

	物等。远程监控机器人将用于远程医疗，来促进农村卫生、家庭健康和医疗服务。	传染性很强的疾病护理（如埃博拉病毒）。富有表现力的“智能”机器人模拟器将为学习者提供高保真的临床医师培训体验。	知帮助，包括安排或引导病人检查。能快速学习新的交互范式，低调地介入临床工作。
--	--------------------------------------	---	--

（四）国防安全机器人

无人系统拥有持久性、便携、快速、机动和良好感知等固有优势，美国国防部和国土安全部门已在设想促进无人系统与有人系统的无缝作业，辅助人类决策，降低人工控制程度。美国国防部正在努力推进利用载人系统、（半）自主系统、遥控系统之间协同的作战理念，提升全球行动能力，优化海、陆、空、太空领域的通用性和互操作性。

表 9 无人航空系统路线图

发展目标	5 年	10 年	15 年
情报、监视和侦察	使无人机和载人飞机保持地理空间关系；依照指令，对关注点和关注区域展开调查；自动化（ATR）和半自动化（AiTR）程度更高；情报评估得以改善；友军空中系统定位和航线意图感知；搜索特定威胁的能力，包括基于图像和非图像的传感器；改进目标识别	在军事和民事行动中响应标准空中交通管制人员（ATC）程序的能力；增强机载自动目标识别；提高检测和响应威胁性无人机的能力；能承受极端环境的加固小型无人机和传感器。	协调多个无人交通工具（无人机、无人车和无人艇）收集情报或搜寻威胁；能承受极端环境的小型加固先进传感器。

	和生命迹象探测能力;为应急服务(ES)设计小型无人平台 and 先进传感能力。		
军事应用	有限的空对空反无人机能力,包括检测组件和国防部的辅助武器;拥有标准化任务理念、资格认证和应急服务部门的训练(仅适用于应急服务部门)。	机器人可以智能评估损伤;将运行范围扩展到极端环境,以帮助行动策划;先进的空对空反无人机能力(仅适用于国防部)。	机器人拥有高级综合损伤评估能力;将运行环境扩展到极端环境,支持行动策划;反多目标无人机能力;反无人机计划中的协同作战能力(仅适用于国防部)。
保护	机器人可以用于早期预警人机一体化团队;识别被击落人员和系统所受威胁的能力;跟踪应急人员的能力(仅适用于应急服务部门)。	机器人拥有基础设施的自动化检查能力;核生化(CBRNE)危害检测;在GPS失效环境下,坠落人员、伤亡人员和系统的位置通信;为下车部队提供侧翼警戒的武装系统(仅适用于国防部)。	机器人在GPS无效环境下,向被击落人员、伤亡者和系统提供通信路线和自主引导应答机;与无人机协同作战,应对对峙威胁(仅适用于国防部)。
后勤	无人系统后勤补给。	机器人可以在机上人员协助和干预下的无人医疗撤离。	可全天候运行的自动重新补给、起飞和降落的自主无人运货飞机。

表 10 无人地面系统路线图

发展目标	5年	10年	15年
情报、监视和侦察	通过自定位实现最佳扇区覆盖。	负责最佳扇区覆盖的无人地面车队的角色自感知;高级情报评估,即自动提示其他无人运载工具(无人机、无人车和无人艇)和人员。	自部署、自回收的预警设备;负责最佳扇区覆盖的无人地面车队的角色自感知;可耐受极端环境的加固系统;高级情报评估,即自动提示其他无人运载工具(无人机、无人车和无人艇)和人员。

军事应用	智能损伤评估；扩展任务范围，协助行动策划；在无人车上安装和拆卸步兵重武器（50口径迫击炮导弹）的能力（仅适用于国防部）；激光指定能力（仅适用于国防部）。	协同自主空对地、地对地、地对空作战。高级综合损伤评估；将运行范围扩展到受限和复杂空间；在极端环境下的基本、实时半自主操控。	协同作战以及针对固定位置的火力压制和机动；极端环境下的高级、自主操控。
保护	消防系统；坠落人员、伤亡者和系统的位置通信，包括在GPS失效环境中；在GPS环境下为人类队友和公民进行自主导航。	为下车部队提供侧方警戒的武装系统；在GPS失效环境中，为坠落人员、伤亡者和系统提供通讯路径、自主引导应答器；为复杂和危险环境中的人类队友和公民进行自主导航；基础设施的半自主基本检查。	与无人车协同作战，应对对峙威胁；在GPS失效和极端环境中，为人类队友和公民提供自主导航；高级基础设施检查。
后勤	集成载人和无人车队，使多辆大型可选的载人车自主航行，并在附近操作员的监督下，作为头车或随车横穿设定的次级路线；无障碍环境中无人医疗疏散。	可以在任何环境条件下配送；物料搬运无人车可以全自动识别、卸载、装载和保护集装箱或托架货物。	追踪国内库存和负荷的全自动化后勤管理系统；可以通过地面通信线路为所需物资无人车规划路线，以便进行无人参与的及时补货；极端环境中的无人医疗疏散。

表 11 无人海洋系统路线图

发展目标	5年	10年	15年
情报、监视和侦察	自动遵守《国际海上避碰规则公约》；远程部署传感器；通过无人艇探测金属和塑料水雷（仅适用于国防部）	持续的自动化水面和海底监测（用户在环路中）；利用无人艇进行人类检测。半自主设备、基础设施检查和异常检测；作为广域探测一部分的协同任务。	在任何天气条件下的持续自动化监测全球水面和海底情况（用户在环路中）；自主设备、基础设施检查和异常检测；可重定位探测区域；躲避探测。

军事应用	定位静止目标的船载设备。	应对远程海上威胁；反潜能力（仅适用于国防部）。	远程海上威胁自动应对；人类团队输送；协调多个无人载人工具（无人机和无人艇）收集情报或探测和跟踪威胁。
保护	自动遵守《国际海上避碰规则公约》。	自动应对载人或无人机威胁；用于侧翼安全的武装无人艇（仅适用于国防部）。	无人艇协同作战，应对对峙威胁；全自动船舶和岸上安全装置，应对海上威胁（仅适用于国防部）。
后勤	自动健康监测；船舶和岸上装置连续检查；自动船体清洗（仅适用于国防部）。	自动无人艇诊断；半自动水下加油；自动浮出水面并释放易于识别的颜色（仅适用于国防部）；自动船舶和岸上装置预防性维护（仅适用于国防部）；有限度的无人艇维修（仅适用于国防部）。	全自动船舶和岸上行动（无需操作员配合）；自动水下加油。

（五）地球和宇宙探测机器人

1、高危材料处理机器人

核原料和核废料等高危材料处理作业环境充满复杂性和危险性，远程遥控机器人能帮助远程操作人员与远程智能介质（远程移动传感器/操控系统）直观、流畅地共享任务，犹如现场作业一般。在需由人类直接操作的修复工作中，机器人技术能提升人员的防护能力、确保人身安全。

2、侦察机器人

机器人侦察指通过地面控制或宇航员舱内控制行星探测车，在人类进行舱外活动之前开展探测活动。探测方式包括漫步式

（沿一条路线观察）、基地式（在一个区域内观察）、调查式（在某些截面进行系统数据收集）和单纯侦察。

3、行星洞穴探险机器人

行星洞穴探险旨在研究行星起源、地质特征、生命迹象，并且考察行星作为人类避难所的适宜性。地面机器人技术已发展 50 年，但还不具备沿陡峭壁面下落、攀爬巨石以及在洞穴内随意移动的能力。洞穴内没有光线，无法进行视距通信，行星洞穴探险机器人需要具备全新的交互和自主能力。

4、农业机器人

精细种植业使用无人机可以从高空观察大片区域，测绘作物需求，并传递信息给作物种植、灌溉、施肥及收割的机械设备，从而促进作物生长。除此之外，判断作物疫情、成熟度以及作物运输辅助系统的原型也已问世。机器人在精细畜牧业的应用不及种植业，但仍须机器辅助养护动物，比如食物喂养、疫病防治等，且响应周期要短的多。

5、环境监测机器人

空气监测方面，装载传感器的无人机、无线传感网络已广泛用于空气监测，由大量无人机组成的一体化无线传感网络为空气监测开辟了一个崭新途径。传感监测与云计算技术加以整合或会带来以下益处：支持实时信息储存和处理，形成科学决策。云机

器人对空气的连续监测可为决策人员、科学家和相关人士提供空气质量数据，从而采取相应对策。水体监测方面，无人机、无人潜航器、无人水面艇、水体取样机和便携式水下机器人原型机等，已用于水体及沉积物取样，实现了水体取样和水体监测系统的理想费效比。

6、太空机器人

机器人探测器、轨道飞行器、登陆器及探测车帮助人类获得许多关于太阳系和宇宙深空的知识。这些探索机器人代表人类在黑暗的深空中航行，观察、测量并寻访遥远的宇宙。借助制导和观测传感器、机载航电设备以及定位驱动装置，太空机器人在轨道及行星表面执行着重要的科学与工程任务。

三、机器人发展中存在的问题

（一）人才培养和学科发展

与“机器人正越来越多地取代人类劳动者”这一媒体刻画不同的是，机器人和自动化技术的广泛使用，将可能产生更多的非技工类和工程类岗位。各类企业需要借助大量计算机应用、电子软件和硬件等领域的工程技术人员，来承担实施和维护机器人应用的工作。目前，这类人才稀少，需要建立新的人才培养规划，以满足对此类人才日益扩张的需求。

机器人应用的广度、深度和复杂程度为众多学科（如系统设计、控制工程、计算科学和人工智能等）提供了新思路和新算法，机器人学科与各学科界限也日益模糊，因此，有必要明确未来机器人学科的研究范围并制定前瞻性研究路线图。一方面，机器人形态正在向更小型、更智能、更便携的方向发展，通过物理和信息资源的异构融合，与人类社会和生态环境的联系更加紧密。另一方面，机器人技术的进步、交叉融合和应用领域扩张，正加速推动和重塑整个产业未来发展。

（二）共享基础设施建设

基于小型试验的理论研究和可靠高效的应用研究之间的差距正在拉大，使得试验设施成为机器人创新中的一大瓶颈。当前发展趋势是，搭建一个共享通用的机器人试验床，将不同研究机构、学科背景的人员聚集在一起，并整合各类已有学科发现，将有望显著提升创新效率。大型通用试验床的研制和维护是一种资源密集型工作，适合采用共享模式甚至是远程合作模式。

目前，美国已建成一些机器人专用试验床（如麻省理工罗维尔校区的 NERVE 中心，西南研究所的小型机器人运载器评估和应用小组，马里兰州盖瑟斯堡国家科学与技术研究所的应答机器人和制造机器人试验场，以及德克萨斯州农工大学的灾难城）。但是，这些试验床都缺乏多种类别的机器人系统，要求研究人员

携带自有的机器人系统，由此限制了试验算法的通用性，没有机器人系统的研究人员也无法对理论研究进行验证。佐治亚理工学院的 Robotarium 项目目前正在研制中，将其打造成为首个具备试验环境和硬件系统的蜂群机器人试验床。为提升机器人研发和有效试验能力，必须在全美范围内开发适用于各种机器人系统、各类应用领域机构试验床资源，每个试验床应专注于每个专用领域（如农业、海事、制造和医疗等）。同时，应扩充现有设施，建立综合性的共享基础设施（如带有两个试验床和共享机器人系统的基础设施），并为未建立试验设施的应用领域搭建共享设施。

（三）机器人应用带来的法律、伦理和经济问题

1、安全性

机器人必须安全。政府应针对可能对人或财产造成伤害的机器人系统制定专门安全标准，如美国联邦航空管理局应针对投送货物的无人机系统制定安全标准；国家道路运输安全局应针对无人驾驶车辆制定安全标准。此外，还须对相关技术进行标准符合性测试验证。针对机器人执行专业任务的情况，还应考虑将专业操作标准转变为执行此类任务的技术系统要求，如外科手术机器人执行手术时，应要求其同医生一样签字确认。为确保机器人对人类工作的安全替代，研究人员应熟知相关法律要求，包括《预防计算机欺诈和滥用法》、《数字著作权法案》中的反规避条款

等。立法和执法机构也应告知公众，所有法律都允许开展机器人系统安全性的逆向工程研究和硬件测试验证活动。

2、责任划分

和人类一样，有时机器人进行的伤害是无法避免的。比如，一个家用机器人因为执行了第三方提供的软件系统而伤害到了人，不应简单地将责任归到家用机器人的制造商上。因此，法院或立法者应对机器人伤害进行准确的责任划分，在保护创新的同时，对被机器人伤害的人给予适当补偿。

3、对劳动力替代的影响

反对应用机器人的言论认为，人工智能进行理性决策时，将对缺乏技术能力的弱势群体造成更大影响，机器人也可能替代低技术或高技术工作岗位，造成更多失业。但事实表明，机器人既能取代一些工作，也能创造新的就业机会，人类是在不断提升与机器合作的能力，而不是简单地被取而代之。即便如此，对机器人应用造成的短期、中期和长期的影响需加强管理。有人倡议实行全民补贴计划，把自动化实现的生产力提升获得的收益按比例换算，作为基本收入补贴给每个美国公民。还有人提出，雇主应有义务为被机器人取代的工人的再培训提供资助。全民补贴存在的问题是：政治上缺乏可行性；无法解决其他失业相关问题；机器人可能永远无法实现财富重新分配。这就导致要求公司资助工

人再培训也面临难题，企业可能因资助费用过高而减少使用机器人的积极性。

4、社会关系

人们倾向于将机器人当作社会实体，人类和机器人之间的互动应积极且彼此尊重，但这也可能对人际关系造成影响。人机交互（HRI）研究人员已达成共识，认为应建立一个或多个用于模拟现实世界的试验设施，用于研究人机互动给人类社会带来的影响。美国和一些国家已形成相关研究设施的模型。

5、隐私和安保

机器人应用将带来至少三类隐私问题：第一，机器人使监视更加容易，如警察可使用无人机监视抗议活动；第二，机器人为入侵私人空间创造了机会，如政府或黑客入侵家庭机器人；第三，拟人化技术（如机器人）会使人们产生被监视的感觉。机器人入侵还可能造成物理伤害，从而带来更大的安全漏洞。各国政府应当积极支持和持续推进针对隐私和安全问题的解决方案的研究。

译自：*A Roadmap for US Robotics: From Internet to Robotics (2016 Edition)*

思想，还是思想 才使我们与众不同

《赛迪专报》

《赛迪译丛》

《赛迪智库·软科学》

《赛迪智库·国际观察》

《赛迪智库·前瞻》

《赛迪智库·视点》

《赛迪智库·动向》

《赛迪智库·案例》

《赛迪智库·数据》

《智说新论》

《书说新语》

《两化融合研究》

《互联网研究》

《网络空间研究》

《电子信息产业研究》

《软件与信息服务研究》

《工业和信息化研究》

《工业经济研究》

《工业科技研究》

《世界工业研究》

《原材料工业研究》

《财经研究》

《装备工业研究》

《消费品工业研究》

《工业节能与环保研究》

《安全产业研究》

《产业政策研究》

《中小企业研究》

《无线电管理研究》

《集成电路研究》

《政策法规研究》

《军民结合研究》

编辑部：赛迪工业和信息化研究院

通讯地址：北京市海淀区万寿路27号院8号楼12层

邮政编码：100846

联系人：刘颖 董凯

联系电话：010-68200552 13701304215

010-68207922 18701325686

传真：0086-10-68209616

网址：www.ccidwise.com

电子邮件：liuying@ccidthinktank.com

报：部领导

**送：部机关各司局，各地方工业和信息化主管部门，
相关部门及研究单位，相关行业协会**

编辑部：工业和信息化部赛迪研究院

通讯地址：北京市海淀区紫竹院路 66 号赛迪大厦 15 层国际合作处

邮政编码：100048

联系人：韩宇雪

联系电话：（010）88559543 18610215602

传 真：（010）88558833

网 址：www.ccidgroup.com

电子邮件：hanyx@ccidgroup.com

