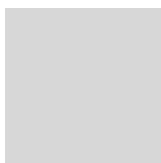
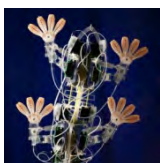
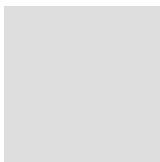




创意主题——

仿生机器人



什么是仿生学？



仿生学就是以生物为研究对象，研究生物系统的**结构性质、能量转换和信息流动**等过程，并将所获得的知识用来改善现有的或创造崭新的机械、仪器、建筑结构和工艺过程的科学，它是生物科学与工程技术相结合的一门综合的**边缘学科**



为什么要研究仿生学？



自然界在亿万年的演化过程中孕育了各种各样的生物,它们经历了沧海桑田和物竞天择久远的考验,铸就了神奇的特性与功能,得以适应复杂多变的环境而生存下来。通过洞察、学习、模仿来复制和再造某些生物特性和功能,将提高人类对自然的适应和改造力,产生巨大的社会经济效益。



仿生学例子



自古以来，人们一直渴望像鸟儿一样自由飞翔。从十五世纪达·芬奇设计的扑翼飞行器到1903年莱特兄弟发明第一架飞机，人类不停地在追求着像鸟一样自由飞翔



仿生学例子



蝙蝠飞行时，喉部产生一种超声波，由嘴或鼻孔发射出去，遇到障碍物后超声波被反射回来，由耳朵接收，蝙蝠由此判断目标和距离，人类根据这一原理发明了雷达。



仿生学例子



IBM和斯坦福大学使用“蓝色基因”（BlueGene/IP）的超级电脑，建立了猫的大脑皮层模型,包括感觉(sensation)、知觉(perception)、行动(action)、互动与认知(cognition)等。其运行速度相当于真猫的1/100。



仿生学的研究方法



仿生学研究方法是：先对生物原型开展研究，对原型提供的数据做数学分析，抽象出内在的联系，用数学语言把生物模型翻译成具有一般意义的数学模型，再用电子、机械、化学等手段，制造出工程实物模型。在仿生过程中，不应该仅仅限于简单的模拟，而是要注意不断地改进和创新，使开发出的实物模型在性能指标和功能方面能够达到或者超过原来生物的水平

例如：信鸽平均每小时飞行76km，最快的雨燕为140km，超音速飞机约为1000km。



生物学的研究方法



1

在清晰解构生物结构与功能的基础上，去伪存真，去粗取精，简化和抽象出生物模型

2

将有关生物模型的实验资料转化成数学语言，提炼成数学表达公式，成为具有普遍意义的数学模型

3

直接源于生物原型，或由数学模型，借助电子电路、机械结构、化学结构等手段制作工程技术意义上的实物模型，实现对生物工程系统的仿造



仿生学的研究内容



仿生学是一门建立在多学科交融基础上的**综合学科**，相关的**基础学科**包括：

生理学、心理学、生物物理学、电子学、物理学、数学、化学以及通信、计算技术、建筑工程、航空、航海工程及系统科学等。因此，仿生学的研究内容极其广泛，无论是宏观的还是微观的，整体的还是局部的，无论是结构的还是功能的，只要生物相比现有技术有明显优点且值得人们去模仿的部分，就都涵盖在仿生学的研究内容中



仿生学分类



- **结构仿生**——借助解析生物肌体的构造，建造类似生物体或其中某部分的机械装置。通过结构相似实现功能相近。如昆虫仿生，蛇类仿生、人体仿生等。
- **控制仿生**——适应复杂多变的环境，仿生机器人必须具备强大的定向导航功能；多个仿生机器人协作，必须具有良好的群体协调控制能力；要解决复杂和困难的任务，仿生机器人需要自身的协调、完善和进化，所以控制仿生是仿生机器人的核心技术。
- **材料仿生**——模拟生物的特点或特性开展材料的开发。以阐明生物体的材料构造与形成机理为目的，从生物材料的观点考虑材料的设计与制作。如人体器官仿生材料研究。
- **功能仿生** ——使人造机器能部分实现思维、感知等高级动物的功能。功能仿生应该以结构仿生为基础，对智能机器人中有重大意义。如大脑、视觉、听觉、嗅觉的功能仿生等。
- **能量仿生**——研究与模拟生物器官发光、生物体把化学能转化成机械能等能量转化的机理和过程。



什么是仿生机器人



仿生机器人就是模仿自然界中生物的外在形状或某些机能的机器人系统。

本质上说，仿生机器人就是利用机、电、液、光等各种无机元器件和有机功能体相配合所组建起来的在运动机理和行为方式、感知模式和信息处理、控制协调和计算推理、能量代谢和材料结构等多方面具有高级生命形态特征，从而可以在未知的非结构化环境下精确地、灵活地、可靠地、高效地完成各种复杂任务的机器人系统



仿生机器人的优势



从 1959 年美国制造出世界上第一台工业机器人起，在短短半个世纪的时间里，机器人的研究就已经经历了 4 个发展阶段：工业机器人、遥控机器人、智能机器人和仿生机器人。从机器人的角度来看，仿生机器人是机器人发展的最高阶段；从仿生学的角度来看，仿生机器人是仿生学理论的完美综合与全面应用

形似与神似的结合



仿生机器人分类



按照所模仿的运动机理、控制机理、材料组成的不同，常见的仿生机器人一般可以划分为：

结构仿生
控制仿生
材料仿生



结构仿生

生物肌体构造得到启发，建造类似生物体或其中某部分的机械装置，通过结构相似实现功能相近



陆地生物运动仿生

- 无肢动物仿生
- 双足生物仿生
- 四足生物仿生
- 六足生物仿生
- 八足生物仿生
- 跳跃生物仿生
- 地下生物仿生
- 仿生手

水中生物运动仿生

- 仿生鱼

飞行生物运动仿生

- 仿生鸟

两栖生物



六足仿生机器人



Genghis

麻省理工人工智能实验室1989年，用于行星（如火星）表面执行探测任务。每条腿2个旋转自由度，采用基于位置反馈的伺服电机驱动，集成了电流测量单元以获取关节力矩信息，装备了2个触须传感器、2个单轴加速度计，可在复杂路面上高效行走



Ariel

麻省理工浅滩探雷的六足机器人Ariel。每条腿2个旋转自由度，具有翻转步行能力。电路和控制器都置于的密闭的空腔内，具有防水功能。配备了罗盘与姿态传感器，可对硬件故障进行自动检测。



四足仿生机器人



BigDog

美国波士顿动力公司（Boston Dynamics）研发的“大狗”高约1m，重75kg，汽油发动机驱动。有四只强有力的腿，每条腿有三个动力关节，并有一个“弹性”关节。这些关节由机载计算机控制。它体内装有机身平衡回转仪、内力传感器等，可感知地势变化。最大负载160kg，速度8km/h，可在丘陵地形上前行，由立体视觉系统或远程遥控器确认路径



蛇形仿生机器人



ACM-R3

东京工业大学 Hirose 机器人实验室研制，由若干个轮子构成，轮子的作用是把机器人内部包裹起来，并具有像生物蛇皮肤一样的减摩效果，如果碰到障碍物，轮子自行滚动或滑动，无需电机驱动

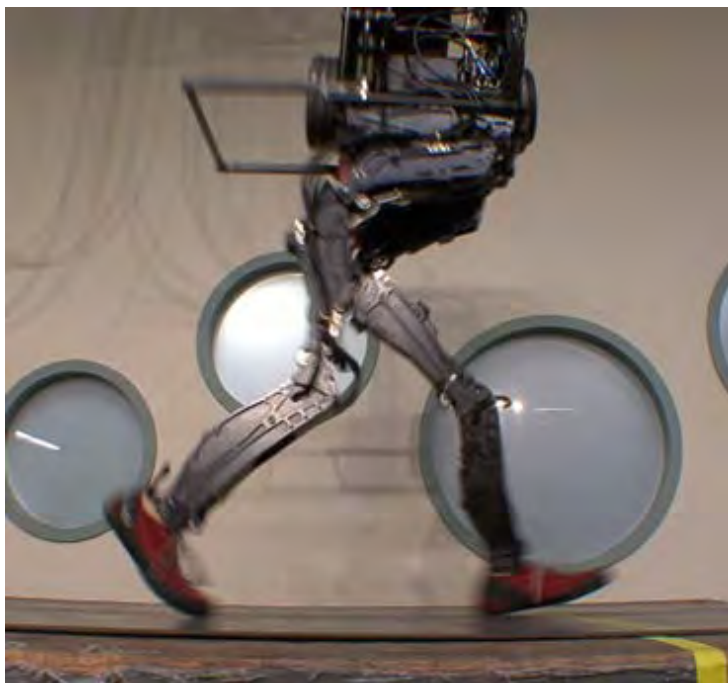


OmniTread

适合复杂地形，例如震后废墟。表面积80%覆盖着履带，能够在障碍物上攀爬自如。如翻越2倍于自身高度的障碍物，跨过宽度相当于自身长度1/2的壕沟，还能爬楼梯、钻管道，在垂直管道内向上攀爬



双足仿生机器人



Petman

由波士顿动力公司研发，任务是为美军实验防护服装。与其他机器人的区别是它无需外部支持就能站立、行走，因为它有“双腿”。Petman能自动维持平衡，灵活行动，行走、匍匐、以及应对有毒物质的一系列动作，还能调控自身的体温、湿度和排汗量来模拟人类生理学中的自我保护功能，从而达到最佳的测试效果。行进速度5.1km/h，几乎和真人无异



双足仿生机器人

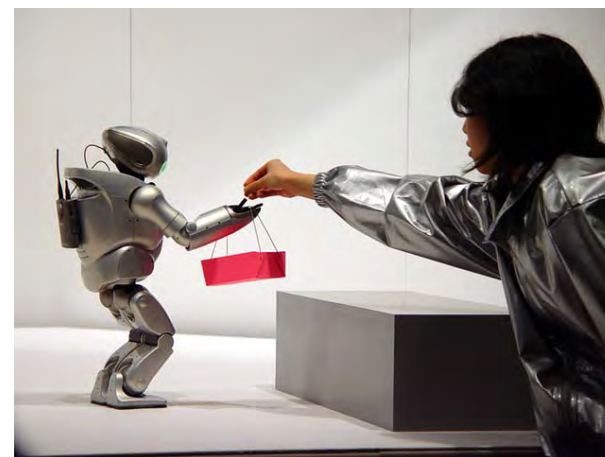
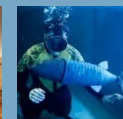


ASIMO

本田公司从1986年开始研发双足自律类人形机器人，目标是创造出一个可在人类生活空间里自由移动，具有极高移动能力和智能的类人机器人，在未来进入千家万户。今天，ASIMO的名字来源于Advanced（新纪元）、step in（进入）、Innovative（创新）、Mobility（移动工具）的缩写。身高1.3m、体重54kg、速度0~6km/h。它可实时预测下一个动作并提前改变重心，因此行走自如，诸如“8”字形行走、下台阶、弯腰等。此外可握手、挥手，甚至随音乐翩翩起舞，以憨厚可爱的造型博得人们的喜爱



双足仿生机器人

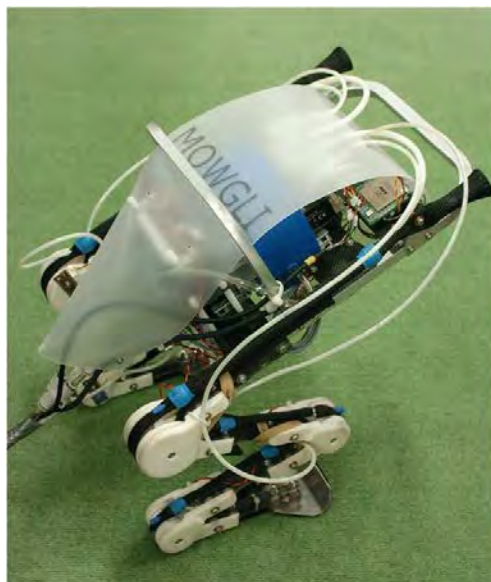


SDR-4X

索尼公司开发的智能娱乐机器人，有各种传感器、基于记忆和学习的行为控制软件不断积累智能，能以丰富的感情跟人类进行交流。借助灵活的机械装置具有完成各种高难度动作的天赋，能歌善舞。主要功能是用来做人类伴侣。重7kg，身高61cm，38个DOF



弹跳机器人



Mowgli

东京大学双足青蛙机器人，在结构上的特点是腿部按照跳跃的生物力学设计，髌、膝、踝三个关节各由气动人工肌肉驱动，仿人腿的肌腱结构，使腿具有柔顺和更自然的动力学特性。机器人展长 0.9m，主要材料为高强度聚合物，重 3kg，可在平地或斜坡上跳跃，最高为0.5m，落地采用软着陆



弹跳机器人



瓦砾堆上搜救机器人



仿生蚯蚓



仿生蚯蚓

哈尔滨工程大学研制的仿生蚯蚓，又被称为“拱泥机器人”，能够在土中爬行穿孔的机器人，能够实现光缆等小直径管线的地下非开挖铺设，也可以工作在河床或海床的淤泥环境中



水下八足仿生机器人

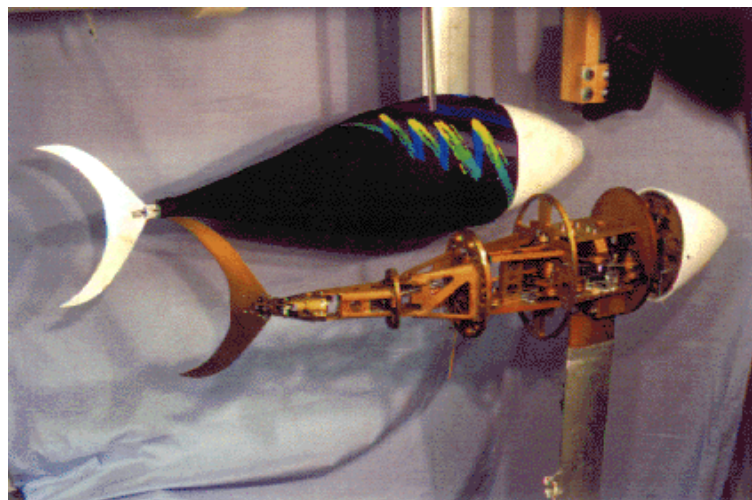


Lobster

由美国东北大学水下研究实验室研制。每条腿 3 个旋转自由度，能够在复杂的水底环境中自主浮游和爬行。头部装有类似液动控制舵作用的 2 个钳爪，用于控制步行方向。步行时钳爪和尾部近似地伸展成三角形，以获得最大的稳定性



仿生鱼



Robotuna I

是世界上第一条真正意义上的仿生机器鱼，体长1.2m，8关节+9肢节，2843个零件。弹力玻璃纤维外皮，8个2hp的无刷直流伺服电动机拉动钢丝，再带动各关节处的铝合金脊柱，模仿鱼体的摆动，从而通过流体反作用力推动鱼体游动。速度2m/s



机器狗鱼

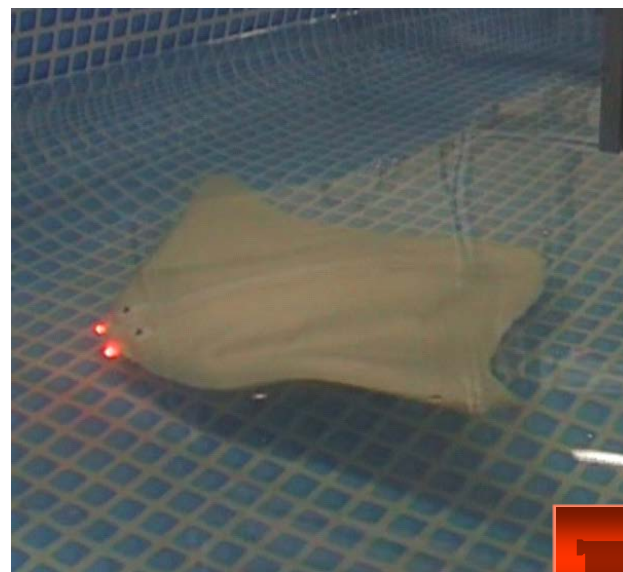


RoboPike（机器狗鱼）

1995年，MTI的狗鱼(Pike)作为仿生原型，研究鱼类高机动性游动、良好转向性能、大加速度游动的机理。机器人体长0.8m，重3.6kg，由头、躯干、尾和尾鳍三部分构成，3关节4肢节结构。头部材料玻璃纤维，躯干和尾部为玻璃纤维的螺旋形骨架，尾鳍为木质薄板



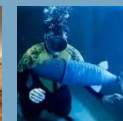
牛鼻鲭机器鱼



北航牛鼻鲭

北航机器人研究所以软骨鱼纲鲭形目的牛鼻鲭为原型，研制出牛鼻鲭机器鱼。其特点是靠胸鳍而非尾鳍巡游。速度 0.3m/s ，最小转弯半径为 0 ；能实现牛鼻鲭所没有的倒游运动（ 0.2m/s ），机器鱼上浮下潜动作灵敏，俯仰稳定性良好，机动性能优异





水龟（上海2011年作品）



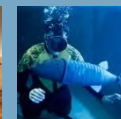
(a) 池塘溜冰者



(b) 仿生机器人



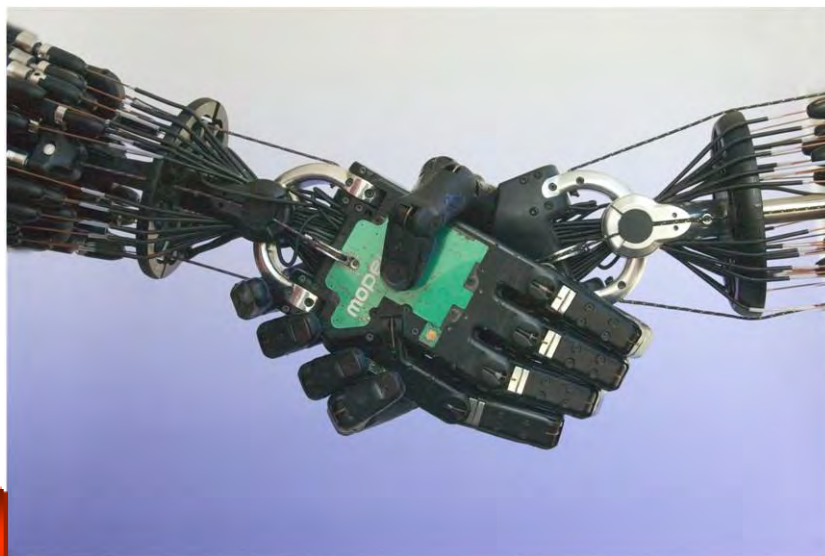
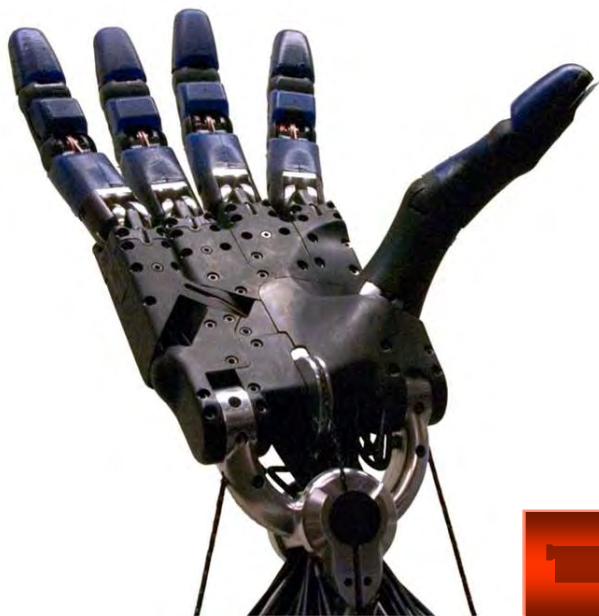
两栖机器人



北航的两栖机器人
(另两个录像)



仿生灵巧手

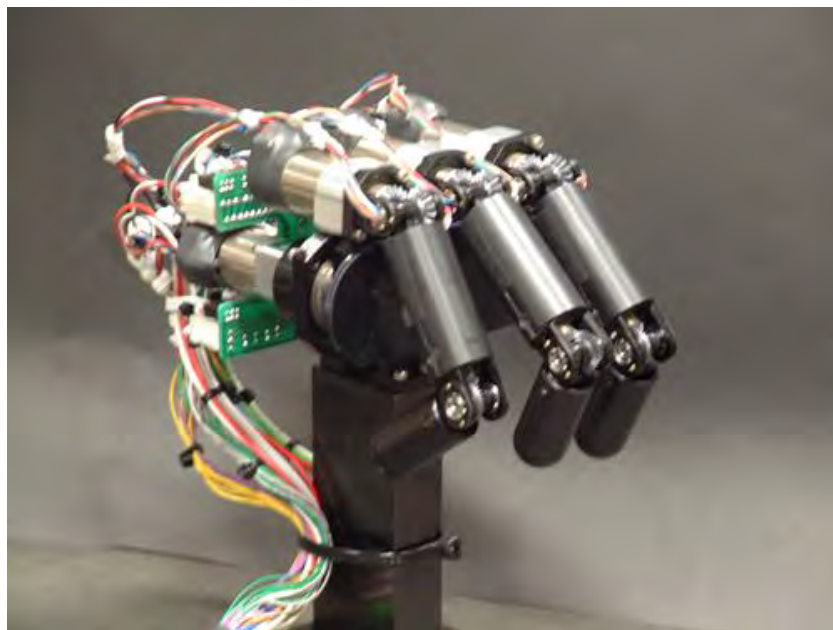


Shadow

英国Shadow公司研制的五指灵巧手。2002年展出后在2004年开始商品化批量生产。驱动源是人工肌肉。5个手指 \times 4DOF。加上腕部共计24DOF。该设计成功指出在于，它是目前世界上第一个完全模仿人手自由度设计的灵巧手；其次达到了商业化目标



仿生灵巧手

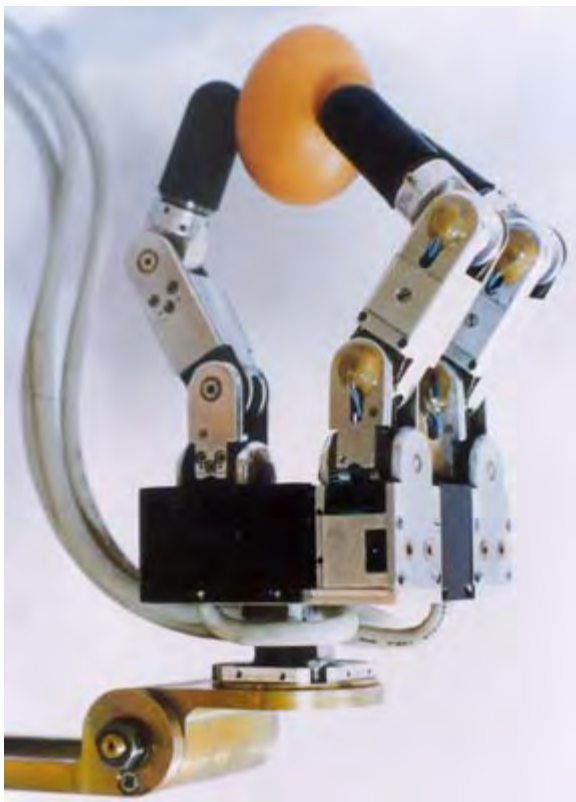


日本高速机械手

东京大学研制的高速机械手，特点是能够高速准确地捕捉或拾取。为了达到高速的目的，机械系统、传感器、控制都必须跟上。手指可以捕捉4m/s运动的球体，瞬间的处理速度 <0.01 秒。与前面的**Shadow**比较，后者更形似。



仿生灵巧手

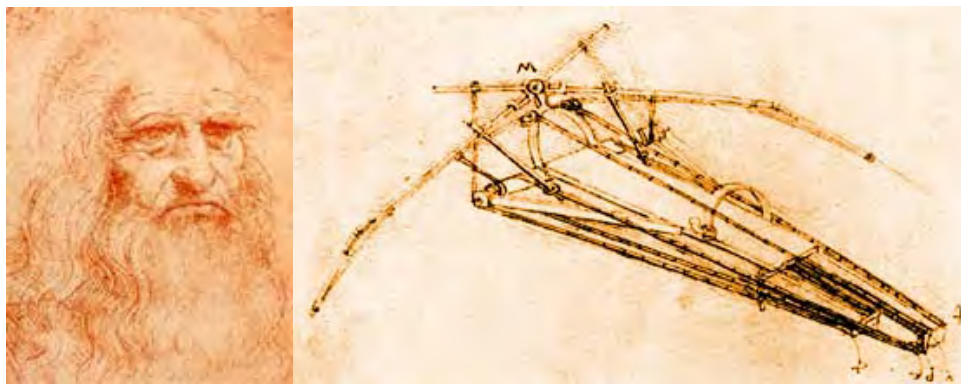


北航灵巧手

北航于80年代末开发的BH-1型灵巧手，填补了国内空白。在随后的几年中又不断改进，现在的灵巧手已能灵巧地抓持和操作不同材质、不同形状的物体。它配在机器人手臂上充当灵巧末端执行器可扩大机器人的作业范围，完成复杂的装配、搬运等操作。比如它可以用来抓取鸡蛋，既不会使鸡蛋掉下，也不会捏碎鸡蛋。灵巧手在航空航天、医疗护理等方面有应用前景



仿生扑翼机



达芬奇的扑翼机

15世纪初，达·芬奇是欧洲文艺复兴时期在文艺和科学方面的巨擘。他对飞行也抱有热忱，是研究扑翼机的开拓者。具体设想为人俯卧在扑翼机中部，脚踏后顶板，手扳前部装有鸟羽的横杵（chong），就像划桨一样扇动空气，推动飞行。这个方案是达·芬奇研究了鸟翅，利用物理和解剖知识而设想出来的。总之，从仿生获取了创新的灵感



仿生扑翼机



北航微型扑翼机试验



Microbat

加州大学、Aerovironment公司、加利福尼亚理工学院微机械加工实验室共同研制的微蝙蝠（Microbat），将微电机和精密机构传动结合实现扑翼运动。翼展15~20cm，扑翼频率20~30Hz。首架原型机在1998年10月作了持续9秒的试验飞行。



北航小型扑翼机



仿生扑翼机



北航RP-II 小型扑翼机



翼展：100cm
重量：300g
滞空时间：8~10min
电池：锂聚合物电池
驱动：外转子无刷电机（30W）
功能：微型摄像头
（航拍）
15g无线

传输
无线遥控：1000m内



仿生扑翼机



Nano Hummingbird

美国国防先进研究项目局资助的微型飞行器“蜂鸟”，是世界上第一架无舵扑翼飞行器，用一对翅膀飞行以及控制方向，体积非常小，可以悬停，在侦察及探测灾难方面有应用前景



控制方法仿生研究内容



群体控制仿生

- 数学模型
- 分布式控制
- 强化学习

运动控制仿生

- 高级神经系统仿生控制
- 低级神经系统仿生控制
- 对生物进化机制的仿生控制



群体控制仿生



- 群体智能的概念源于对群居性昆虫行为的研究，产生了一个新的研究领域——群体机器人学。蚁群、鸟群、蜂群、鱼群等生物社会群体所表现出的群体智能，给群体机器人学以启发。
- 群体机器人学的核心是个体-群体的关系，相互的协作性、共享性。例如蚂蚁可以集体搬运远超过自身大小的猎物，蜜蜂可以集体构建结构合理的巢穴，社会性昆虫通过群体的协作可以完成复杂的任务，这种能力远远超过单个个体的能力，甚至超过个体能力简单数量上的叠加。
- 群体机器人学就是模仿和研究生物社会中群体智能的特性。若干相对简单的自治机器人，在没有集中控制单元，只具备局部通信和感知能力的条件下如何表现出昆虫群体所具有的能力。与结构越来越复杂的单个机器人和传统的多机器人系统相比，群体机器人系统的特点就是**小人办大事，以多胜少**。



群体控制仿生应用



未知环境的探索

鉴于未知环境的复杂性，传统多机器人系统往往无法胜任探索任务。而群体机器人则靠集体的智慧提高复杂环境的适应能力

研究动物群体行为

既然群体机器人系统是基于蚁群、鸟群和鱼群等动物群体行为模型构建。因此，反过来也可以利用它们更深入地研究动物群体的行为

参与种军事活动

群体机器人系统密集型、分布式的特点非常适合大面积战场环境中，如战场实时监视、目标的定位、战场评估、核攻击和生物化学攻击的监测等。它们的参与有效地降低士兵伤亡，还可在陆地和水下排除各种爆炸物。



群体控制仿生



Swarm—Bots

比利时布鲁塞尔大学开发的机器人，由数个小型的机器人S-Bot通过夹头相互连接起来，组成群体，借助合作完成个体无法完成的任务。图中Swarm—Bots正在协作探测复杂环境。明显，单个机器人无法进入洞穴探测，但是一群机器人相互连接在一起，就具有了探索洞穴的能力。



群体控制仿生——侦察兵机器人

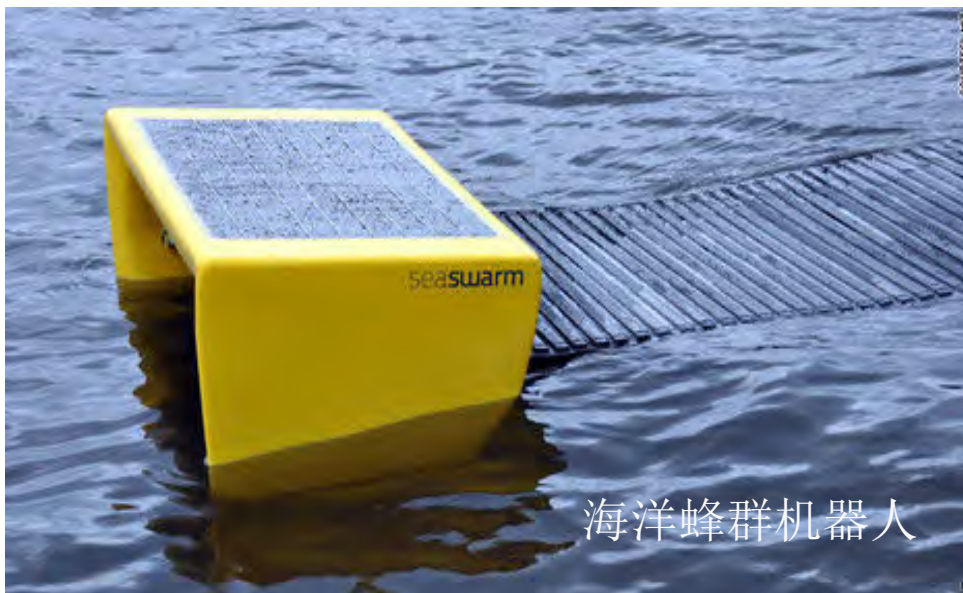


长度	187 mm
直径	(机身) 38mm (轮子) 76mm
重量	544g
最高速度	0.5 m/s
有效控制距离	(室内) 30m (室外) 91m
抛掷高度	9.1m
可抛掷距离	31.4m
视角	(水平) 60° (竖直) 32°
研发者	明尼苏达大学 (1999年)

99年明尼苏达大学推出，重量小，大小与可乐瓶相似，可从窗户投入。装备1台摄像机，后部靠平衡尾支撑，手持操控单元控制，用操作杆控制，显示屏再现机器人前方图像。该机器人已有系列产品，用于反恐侦察、城市作战侦察、探测前方陷阱和埋伏等，群体作战的效能很高（录像）。



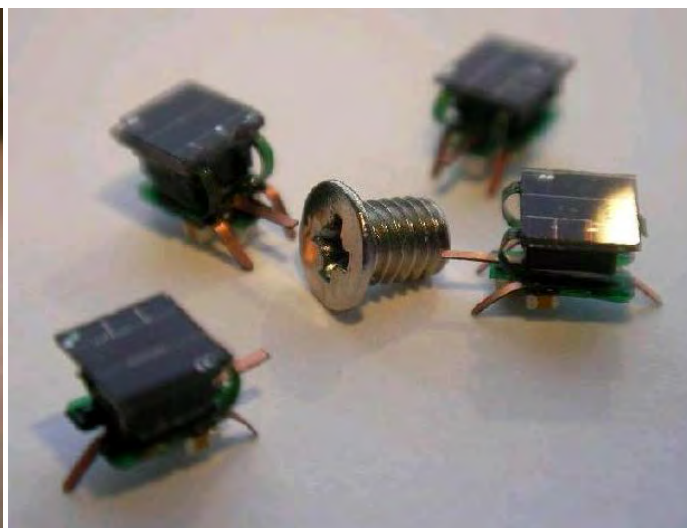
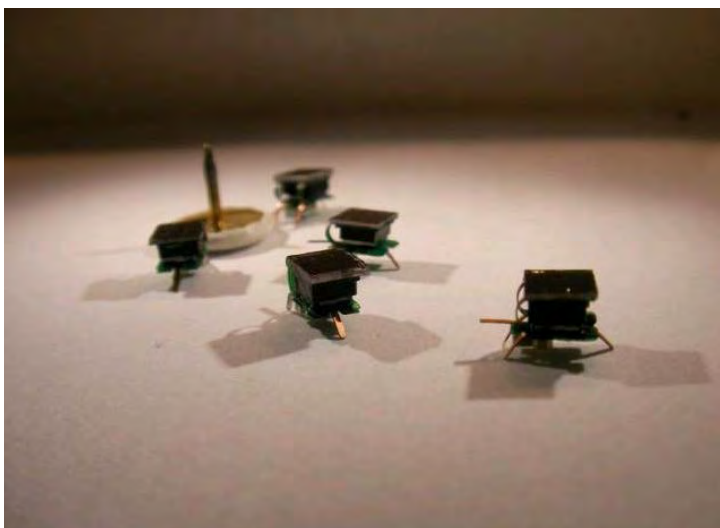
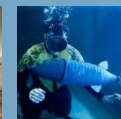
群体控制仿生



海洋蜂群机器人（Seaswarm）长4.9m×宽2.1m，2万\$。其外形像个冷藏箱，后面再拖一条跑步机传送带。传送带用亲油排水纳米材料做成，能吸附自重20倍的原油。机器人漂在海面上，靠太阳能电池（100w）驱动，并驱赶吸附的原油进入“冷藏箱”里。这些油或借助加热器当场烧掉，或打包留待回收。该机器人采取“集群”工作模式，可在漏油区域部署上千台，靠GPS定位和协同工作，并靠智能策划最有效的清理方案，可连续工作数月。



群体控制仿生



I—swarm

该项目开发的一个模仿蚂蚁行为的微型群体机器人系统，用于蚁群行为的研究和模拟。



运动控制仿生



在自然界中，动物运动的稳定性、快速性和适应性是人工控制的机器人无法比拟的。借鉴动物的运动控制机理，将生物技术同机器人技术结合起来，从而提高机器人运动的稳定性和适应性，对机器人控制是一种很好的启发，有益于开辟新的控制思路。



运动控制仿生研究内容



- **高级神经系统仿生控制**——模仿动物高级神经系统机理实现控制的方法有人工神经网络和模糊控制
- 人工神经网络研究和利用人脑的某些结构机理以及人的知识和经验对系统进行控制，有较强的容错能力。
- 模糊控制模拟人的思维、推理和判断。与常规控制方法相比它有若干优点，如不需建立数学模型，鲁棒性强等。
- **低级神经系统仿生控制**——低级神经系统仿生控制分基于行为的控制与中枢模式发生器控制
- 基于昆虫智能产生的行为控制方法，在非结构化环境中有良好的适应性，使机器人能对时变的、非人为构造的环境做出快速反应。
- 基于中枢模式发生器(CPG)的控制方法模拟生物低级神经中枢的自激行为引起自发的节律运动。不少动物的节律运动是由 CPG控制实现的，如毛虫、蝶螈、螃蟹等。
- **对生物进化机制的仿生控制**——主要指遗传算法。借鉴生物界自然选择和遗传机制的随机化的搜索算法。



电极植入大脑操控

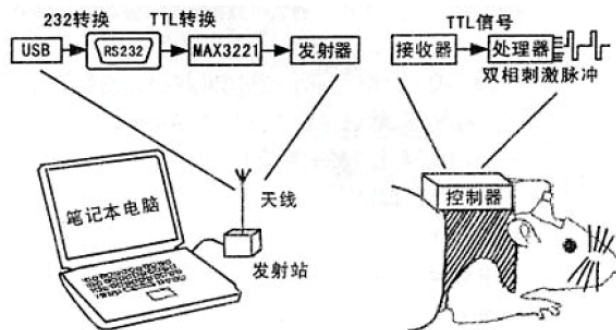
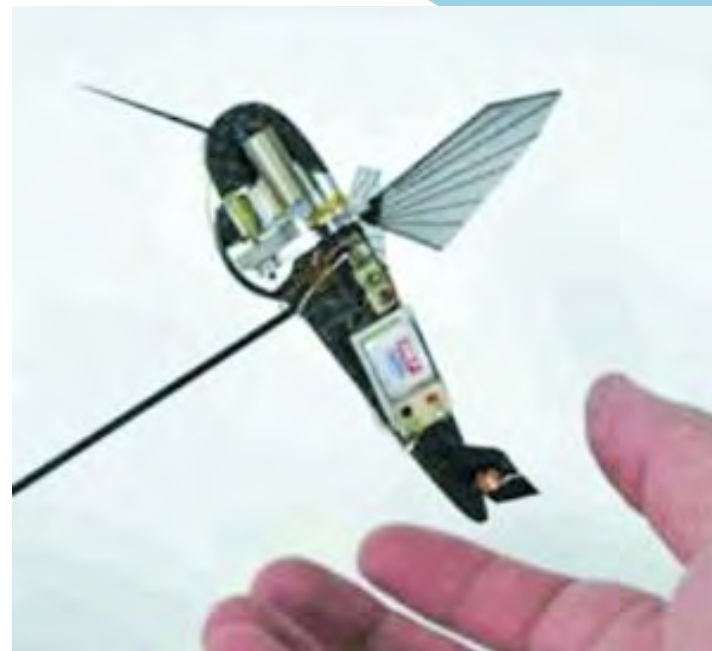
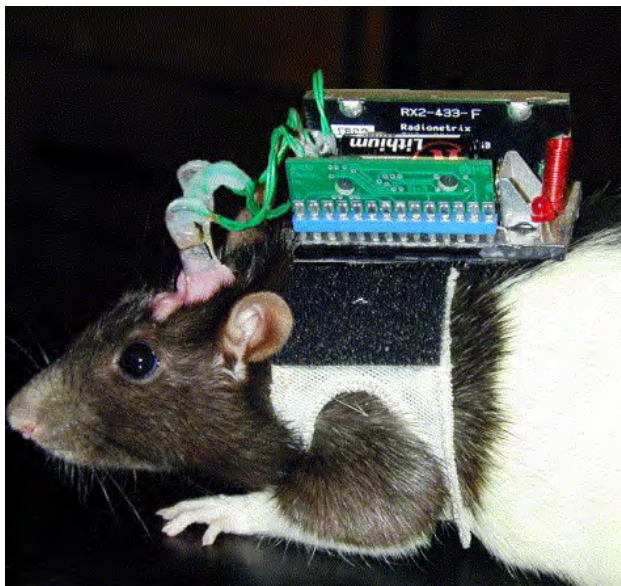


图1 遥控导航系统示意图



僵尸昆虫飞行器



长期以来工程师们一直致力于研发体型跟昆虫差不多的微型飞行器。但是在长期研究后工程师们逐渐意识到这样做面临的巨大困难，因为微小飞行器为了完成侦查功能，必须能携带一定重量的载荷，以及靠高性能电池进行长时间稳定供电，这几乎是一个不可逾越的挑战。

因此一些工程师另辟蹊径，放弃独立开发全机械系统，转而设法利用昆虫的真身，而仅对它们的中枢神经系统动些手脚。

比如在它们的触角附近安装微型刺激体、在中枢神经系统内部或神经肌肉连接处植入电极等等。结果均可以在一定程度上实现对昆虫大脑的操控，得到了一个**“僵尸”昆虫机器人，或“混合微电子昆虫”**。

僵尸昆虫飞行器



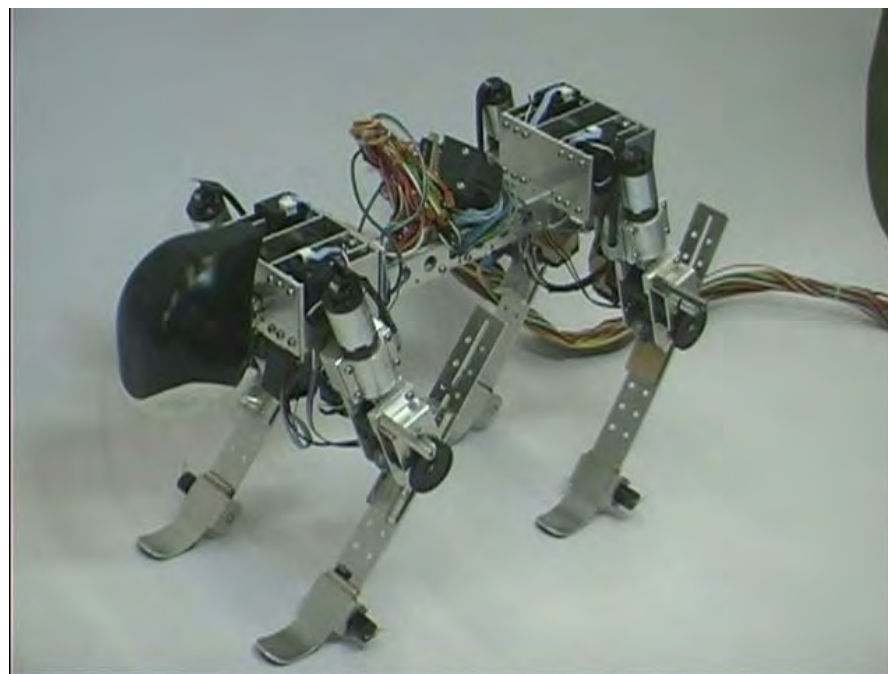
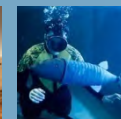
DARPA“混合微电子昆虫”的一个项目由康奈尔大学改造**烟草天蛾**。烟草天蛾的幼虫成**蛹**后植入一个微电子传感器，蛹成熟后变成寿命相对较长的蛾子。烟草天蛾们体内的传感器就能控制其肌肉，以便远程操纵烟草天蛾的飞行过程。

该微电子传感器仅有 56mm^2 ，重 0.5g ，电池 5V ，试验证明，成蛹时植入传感器效果最好

另一项研究是加州大学伯克利分校在两种甲虫的身上进行类似尝试，微电子系统植入甲虫体内的四个位置，能控制飞行方向，但芯片的重量过重，结果**绿金龟**飞不起来，而**拖瓜塔花金龟**（手掌大小）虽能起飞，飞行时间也不过 1min 。这种非洲甲虫最大能长到人的。



CPG控制的机器狗 (中枢模式发生器)



Tekken

2003年，Y.Fukuoka 等人把 CPG 应用在四足机器人“Tekken”的控制上，通过关节处的传感器提供给 CPG 反馈信号来调节其相位，实现了四足机器人在非结构环境中的行走



基于CPG控制的机器人



机器蝶螈

利用完整的CPG相位振荡器模型，成功地将之应用于仿蝶螈机器人。该方法可以模仿蝶螈在水陆两种环境下的运动与步态的切换机制。



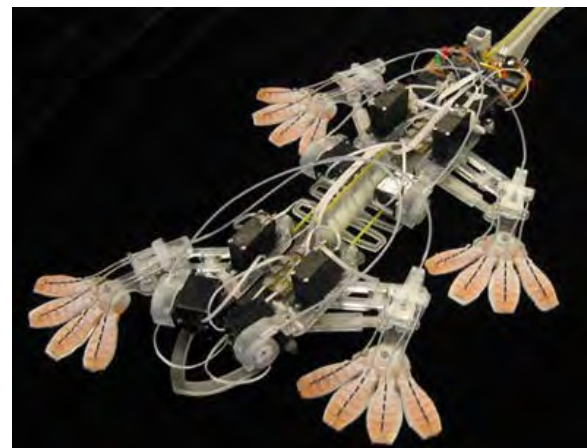
材料仿生



从生物功能的角度来考虑材料的特性，并模仿生物体材料的构造与形成过程来设计与制作材料，使之具有特殊的强度、韧性、减摩降阻、质感等类生物的特性。近几年，一些具有人体皮肤、肌肉性能的仿生皮肤、人造肌肉以及一些集传感、控制、驱动三种功能于一身的智能材料被研究出来。



材料仿生



Stickybot

壁虎脚足的刚毛具有很强的壁面吸附特点和适应性。据精确测定，壁虎脚与物体表面的吸力属于“范德瓦尔斯力”。静止时紧紧吸附，移动时轻松脱离。斯坦福大学开发足底长着人造毛（人造橡胶）的微小聚合体毛垫，它们能确保足底和墙壁接触面积大，使范德瓦尔斯粘性最大化



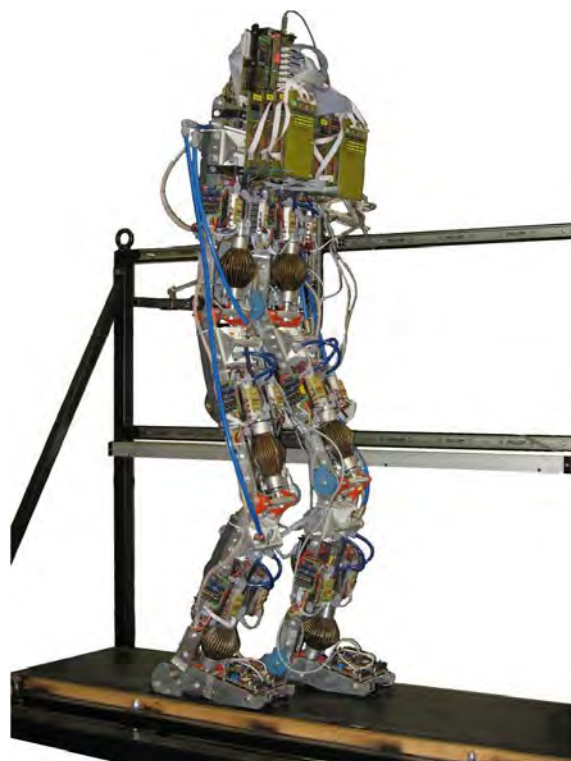


Festo Airic's Arm

由30根肌肉块组成的手臂。人工肌肉的材料是芳纶纤维增强橡胶管。肌肉充满空气时，长度缩短，直径增大。



材料仿生



LUCY

布鲁塞尔自由大学两足步行机器人。铝合金骨骼+气动人工肌肉（6DOF，踝、膝盖、臀各1，每个DOF由2根肌肉驱动），重33 kg，高150 cm，





K-bot

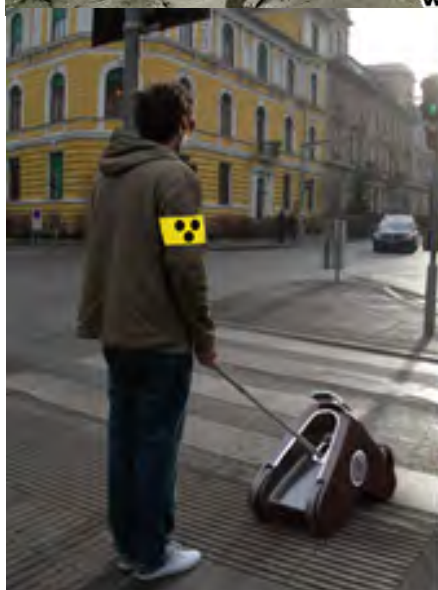
美国科罗拉多州科学促进会上的机器人展品。有女性脸型，皮肤相当柔软，能按照指令完整地模仿并表达人类的28种面部表情，而且面部还会随年龄的变化而出现皱纹。K-bot的脸部肌肉由24块导电聚合物组合成，能使面部做出丰富的表情动作，



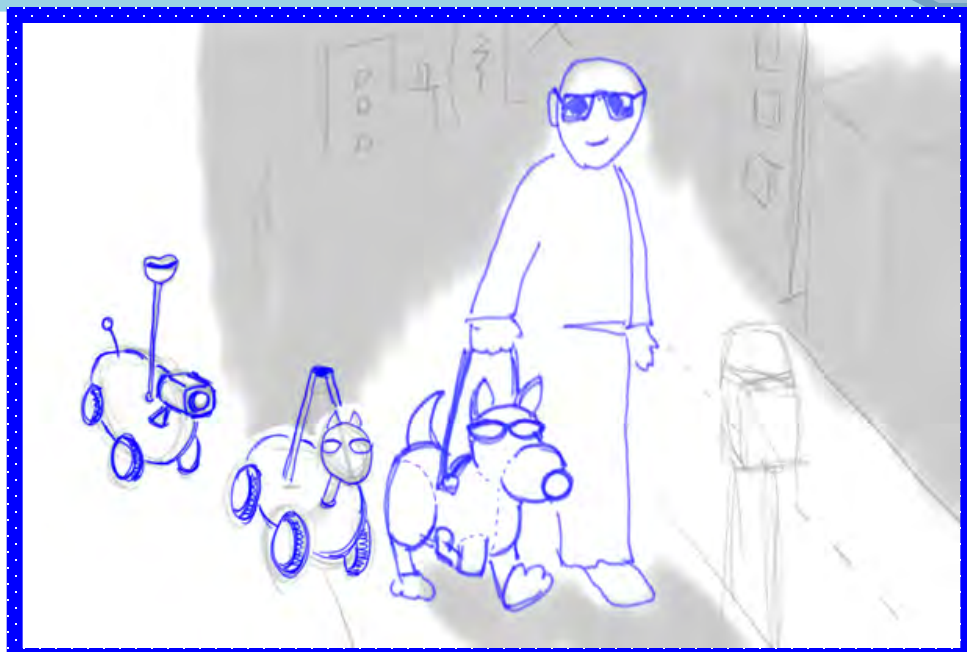
功能仿生



日本研发出一款Telenoid-R1家用机器人，其功能是与操作者实时对话和互动。对话时，它的视觉和语音读取系统读取对话者脸部的表情变化和语音上传计算机，经处理后返回动作指令给机器人。它的眼、嘴和头部就会惟妙惟肖地模仿对话者的面部表情和声音，不愧是一个会实时传情的机器人，售价5.5万人民币（70万日元）。9DOF，肌肤材料是特制的，身高80cm，重约5kg。



功能仿生



1819年维也纳世界首个导盲犬训练营问世。100年后，在第一次世界大战中很多德国兵失去视力，导盲犬因此火了起来。选导盲犬，要上溯三代**血统**，查生理、遗传疾病、性格、行为等，若基因天生就是导盲犬的料，会大大提高训练的成功率。**训练**一条优秀的导盲犬既严格也很困难，要求牠心态平和，熟记主人的物品、起居习惯、行动路线，对身边小鸡、小猫等的嬉闹挑逗无动于衷。训练过程虽慢，但学会后会终生不忘。小犬与主人的配对训练在出生10个月后即开始了，要默契到成为主人的眼睛、助手、忠诚伙伴和家庭成员。牠们的上岗期约10年，**退休**后将继续成为家庭的一员。

不过，有各国都有一个**法律**是否允许导盲犬出入公众场合的问题。

导盲机器人在血统、训练、退休、准入法律等均无问题，但在亲情方面肯定不敌导盲犬。

结论

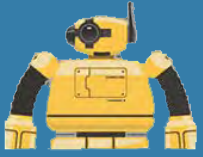


1 生物结构具有足够的合理性，并且这种合理性仍然可以不断地向前发展和进化

2 仿生机器人的研究目的在于延长人的能力，不应当局限于模仿生物

3





Thank You!

