

# 仿生学的现状和未来

孙久荣<sup>1</sup>, 戴振东<sup>2</sup>

(1. 北京大学生命科学学院, 北京 100871; 2. 南京航空航天大学高新技术学院, 南京 210016)

**摘要:** 文章以机器人技术的发展、“荷叶效应”与“非光滑表面理论”的发现为例, 介绍了仿生学在当前的蓬勃发展; 以诱导动物运动的研究、神经工程学的建立和隐形技术的发展等, 介绍了仿生学对生物学科与工程技术发展的促进; 论述了仿生学对未来经济发展的重要性。

**关键词:** 仿生学; 机器人; 诱导动物运动; 神经工程学; NBIC

**学科分类号:** Q6

## 0 引言

仿生学 (Bionics) 是生命科学与机械、材料和信息等工程技术学科相结合的交叉学科, 具有鲜明的创新性和应用性。仿生学的目的是研究和模拟生物体的结构、功能、行为及其调控机制, 为工程技术提供新的设计理念、工作原理和系统构成。

在 500 万年进化过程中, 人类不断地模仿自然, 提升生产能力。仿生的领域和技术随着时代的前进而发展。许多影响人类文明进程的重大发明都源于仿生学。例如: 模仿蜘蛛织网捕鱼, 模仿游鱼制造舟楫, 模仿飞鸟发明飞机……。1960 年美国入斯蒂尔根据拉丁文构成 Bionics 一词, 同年召开了全美第一届仿生学讨论会。这标志着现代仿生学的开始。

## 1 当前蓬勃发展的仿生学

在生命、机械、材料和信息等科学快速发展的今天, 仿生学的研究和应用在国内外都得到极大的关注和蓬勃的发展。为迎接全球性竞争和挑战, 我国科技专家和决策者在 2003 年召开了两届香山会议, 第 214 届“飞行和游动生物力学和仿生应用”和第 220 届“仿生学的科学意义与前沿”<sup>[1]</sup>。国内许多科研机构 and 大学都相继成立了仿生学研究所和研究室。科学家们正带着自动控制、能量转换、信息处理、力学模式和材料构成等大量技术难题, 到生物系统中去寻找启迪。机器人技术的发展很好地体现了仿生应用的理念。早期的机器人主要是模拟人的重复性劳动, 替代人完成重复的运动和力学行为, 如汽车安装机器人。这类在常规环境下工作

的机器人已经成熟。仿生机器人的研制始于上世纪 90 年代, 只有十多年的历史, 然而进展迅速, 特别是美国、日本等发达国家的研究工作走在了世界前列, 非常规环境下工作的仿生机器人已成为机器人技术领域的重要发展方向<sup>[2,3]</sup>。目前, 4 足或多足的仿生机械已适应各种作业环境, 其中的机械狗可以负重在山地行走<sup>[4-6]</sup>; 哈尔滨工程大学研发出有八只脚、二十四个自由度的多足机器人, 可模仿神经网络系统遥控其爬行; 日本展出的女机器人在皮肤、步态等方面已达到了乱真的程度<sup>[7]</sup>; 东京工业大学广濑教授等研制的机器蛇从 1992 年的 ACM-R1 陆地型发展到 2005 年的 ACM-R5 水陆两栖型; 中科院沈阳自动化所研制的机器蛇也在向水陆两栖型运动发展<sup>[8]</sup>; 蝠鲞胸鳍扑翼式的运动模式引起国内外专家的关注, 日本有人在研制仿扑翼推进式飞行器; 北京航空航天大学仿蝠鲞的胸鳍, 研究全柔性扑翼式机器人; 美国 Stanford 大学的科学家研究仿壁虎机器人<sup>[9]</sup>, 这也是我们在 863 和国家自然科学基金重点项目支持下正在研究的课题。未来的机器人趋向微小型和多样化, 将进一步采用仿生结构和中枢运动模式发生器制导系统, 以适应各种环境条件下的作业<sup>[10-12]</sup>。2007 年 1 月 30 日, Bill Gates 在国际消费电子展开幕式上发表演说, 认为目前机器人行业的发展与 30 年前的电脑行业极为相似。今天机器人种类繁多, 多种技术发展开始汇为一股推动机器人技术前进的洪流, 因此面临的挑

收稿日期: 2007-02-26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60535020、30470230、30400086)

通讯作者: 孙久荣, 电话: (010)62754706,

E-mail: sjr@pku.edu.cn

战是应该统一操作系统软件，开始硬件的标准化。据国际机器人联盟调查，2004年全球个人机器人约有200万台，2008年将有700万台机器人投入运行。日本机器人协会预测，到2025年，全球机器人产业将从现在的每年50亿美元达到500亿美元的规模。正如电脑一样，机器人将会进入每一个家庭<sup>[13]</sup>。

“荷叶效应”和“非光滑表面理论”的同时发现和相继发展，展示了国内外学者在仿生学研究中的竞争和挑战。1971~1990年，Bonn大学植物学家Borthlott等<sup>[14]</sup>发现荷叶表面的乳状突起构型，研

究其抗污染的自清洁效应，并将模仿荷叶所制备的纳米表面涂层材料应用于汽车制造业和建筑工程（图1）。吉林大学任露泉等人20世纪80年代起开始研究蛻螂、蚯蚓、蝼蛄等所谓土壤动物体表不被粘附的问题。生物界存在着光滑和非光滑两种界面。传统上认为，界面越光滑，阻力越小，越不被粘附。任露泉等<sup>[15]</sup>发现，在一定的条件下，生物体的一定的非光滑表面具有减粘、脱附、降阻和耐磨效应。他们开发出仿生犁壁、推土板和不粘锅等系列的减粘脱附仿生产品（图2）。



图1 荷叶表面的乳状突起和污染的自清洁效应（仿 Barthlott 等，1997）。左：荷叶表面排污现象；中：荷叶表面的乳状突起；右：仿荷叶涂料的自清洁效应：其中左侧为普通涂料，右侧为仿荷叶涂料（4年后）

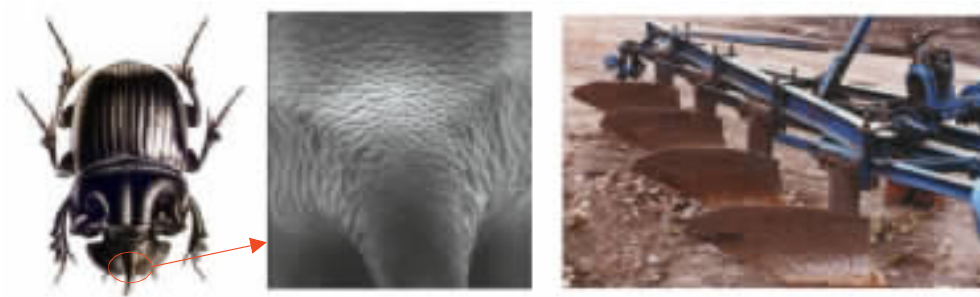


图2 蛻螂的非光滑表面和减黏脱附的仿生学应用。左：蛻螂；中：蛻螂头部非光滑表面；右：仿生犁壁（仿李建桥等，1996）

仿生学具有自己独特的研究方法：一般来讲，工程和生产实践提出技术问题，有针对性地借鉴某种生物体的某些结构的功能，研究并简化其结构、功能和调控机制，择其有用制备出物理模型，建立数学模型。在有用和可用的前提下，采用技术手段，依据数学模型，制备实物模型，最终实现对生物系统的工程模拟。仿生学的发展依赖于生物学和工程技术科学的发展；仿生学的发展也促进了生物学科和工程技术的发展。

## 2 仿生学促进生命科学的发展

近年来生命科学的发展拓宽和加深了仿生领

域，极大地促进了仿生学的发展。反之仿生学的发展也促进生物科学的发展。例如：动物运动的人工诱导和神经工程学的建立。

长期以来，人们对动物运动的研究注重在动物运动的行为和机理。例如：研究昆虫六条腿运动模式是怎样的？神经系统是如何调控这种“交替三角”的步态的？仿生学的研究将问题提高到人能否诱导动物运动的层次。动物运动的人工诱导需要生命、信息和机械科学的交叉，具有广泛的实用性<sup>[16]</sup>。1997年，Holzer（法国）和Isao（日本）将蟑螂（*Periplaneta americana*）两个触角和翅膀切掉，用4个电极替代，有线刺激诱导蟑螂运动。后来Isao成功地遥控诱导了蟑螂运动<sup>[17]</sup>。美国纽约州

立大学 Talwa 博士领导的科研小组实现了人工诱导老鼠运动<sup>[18]</sup>。他们在老鼠脑内埋藏 3 个刺激电极，通过刺激老鼠脑内的两侧胡须感觉区和位于下丘脑视前外侧区的“奖赏中枢”控制老鼠按照人预定的路线爬行（图 3）。南京航空航天大学仿生结构和材料防护研究所研究诱导壁虎运动，他们在壁虎脑内埋藏 3 个刺激电极，通过刺激壁虎脑内特异性核

区成功地控制壁虎左、右转运动（论文待发表）。动物运动系统是亿万年形成的自然系统。机器人在运动平稳性、灵活性、健壮性、环境适应性及能源利用效率等方面远远落后于动物。人工诱导动物运动的研究促进了生命科学的发展，为仿生机械的设计和制备提供了新的理念和结构系统。

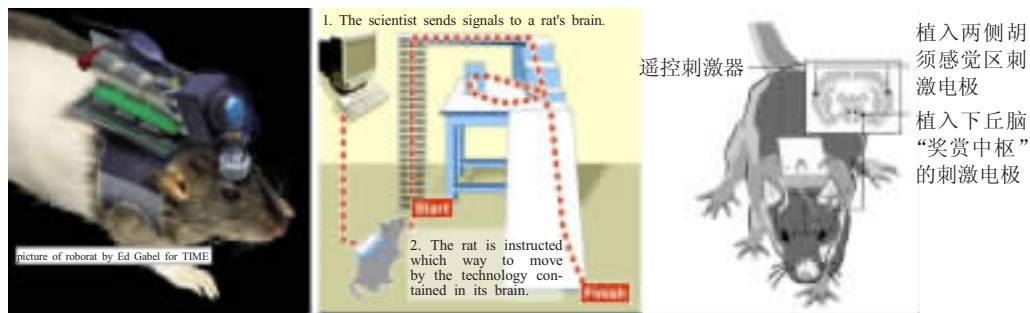


图 3 实现老鼠运动的人工诱导（仿 Talwar 等，2002）。左：植入遥控装置的老鼠；中：示遥控老鼠行进的路径；右：示植入老鼠脑内电极的位置

仿生学与生命科学相互促进发展。2000 年，仿生学开始大踏步地进入脑科学领域，不仅促进了神经科学的发展，而且开辟了一门新兴的交叉学科——神经工程学（Neural Engineering）。自从 Caton（1875）首次在家兔和猴脑、Berger（1929）在人头皮上记录到脑电波以来，传统上认为，这种容积导体记录的电活动是大脑所有神经元活动的总和，其波形变化呈“混沌”相，内涵的信息很难被提取和确认。所以，脑电波只能用于癫痫、脑外伤和脑肿瘤病灶的探测，以及醒觉和睡眠的研究。直到近年来神经电生理学和计算机技术的飞速发展，才使人们可以借助高性能的生物电信号采集系统和专门设计的计算机算法，提取出人思维时脑电波的时-空特征，进行分类和分析，通过计算机将特征性脑电波翻译成遥控的指令，经无线网络发送出去，实现人脑与计算机的“对接”，控制电子装置和仿生电子肢体（图 4）。例如：美国 Duke 大

学、California 大学和 Pittsburg 大学的科学家分别实现了大脑思维对机械装置的控制。他们在猴子身上进行了实验，把近 200 个电极植入猴子的大脑，记录脑内支配手臂活动的神经元的电活动，然后将电波数据传送给 1 000 公里外的机械臂（机械臂内置仿生程序对信号做出响应），控制机械臂在三维方向上活动<sup>[19]</sup>；美国麻省 Cyberkinetics 公司将命名为“脑门”（Brain Gate）的微型电子设备植入一名 24 岁的四肢瘫痪者的大脑皮层。“脑门”使病人可以利用自己的思维来控制计算机和电视<sup>[20,21]</sup>；与此同时，清华大学研制的脑-机接口系统也取得重大进展<sup>[22]</sup>。高上凯教授领导的神经工程研究所的“脑-机接口”系统在 2006 年“第三届国际脑-机接口数据竞赛”中获得好成绩。这个系统将帮助丧失运动能力但大脑功能正常的残疾人通过自己的思维直接操控假肢。神经工程学的兴起促进了神经科学的发展，推动了对人脑思维能力的认识和利用。

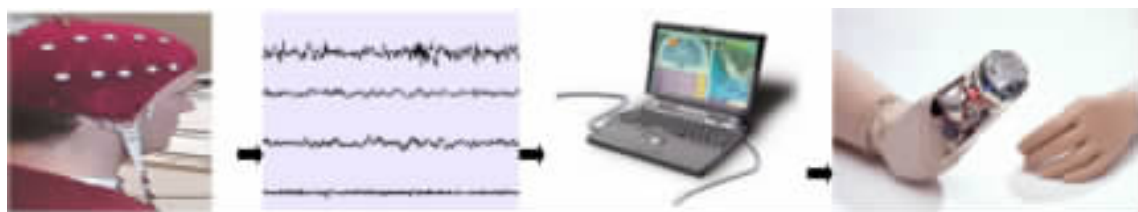


图 4 “人-机接口”系统示意图

### 3 仿生学促进工程技术学的发展

生命科学、物质科学、认知科学、纳米技术、信息技术、能源技术和制造技术将在 21 世纪得到突飞猛进的发展。这些科学和技术的发展有许多是来自仿生学的启迪。

仿生学问题来自工程和技术的难题和需要。人类对自然的仿生绝不是简单的临摹，而是依据人类的认知和工程与技术需要对自然主动的同化和建构，即所谓的“神似”。例如，在汽车生产中进行了大量的仿生应用：大众汽车的仿甲虫外型、保时捷汽车鸭式的后尾、奔驰车模仿蜜蜂眼睛的车灯等。2005 年 7 月，Mercedes-Benz 公司推出的一款车身仿豹纹箱鲀 (spotted boxfish) 的汽车，与同样动力的汽车相比，性能明显得到提高，在 0.8 秒内速度可从 0 达 100 公里 / 小时，最大速度可保持在 190 公里 / 小时，并可以降低能耗<sup>[23]</sup>。

为什么汽车的轮胎、坦克的履带粘附，而蜚螂推粪球时不被粘附？这个问题来自机械工程技术人员而不是生物学家。减粘脱附是机械工程中的一个重大科技难题。粘附严重地降低机械作业的质量和工作效率，增大能耗。目前的减粘脱附技术和方法，例如连续向工作部件注入气体或液态润滑剂的充注法、加热土壤和工作部件界面来减少粘附力的热脱附法、使土壤内的水分迁移到界面达到脱附作用的电渗法、向工作部件表面添加震动或刮削式附件的震动或刮削式脱附法，以及改变部件表面涂层等方法都不如人意。吉林大学的任露泉等人选择与蜚螂推粪球行为最相关的头部唇基进行研究，仿其非光滑表面设计的推土板和犁壁有良好的脱附作用。在相同土壤的耕地实验中，与普通 20 钢光滑犁相比，仿生 20 犁降阻 12.7%；与普通 35 钢光

滑犁相比，仿生 35 犁降阻 18%，省油 12.6%<sup>[24]</sup>。非光滑表面减粘脱附机制在于它能有效地减少土壤粘附表面，降低界面的空气负压，限制连续水膜的形成并改善界面的润滑。非光滑表面理论不仅促进对生物体表形态构筑的认识和研究，也解决了工程技术难题。

仿生学促进工程技术学发展，使一些梦想成真。例如：昆虫复眼有极高的时间分辨率，仿其制造的雷达提高了对飞行器速度的测量；人们称鹰眼为“神目”，其视网膜上的感光细胞对亮度、边缘、方向以及运动有特殊的敏感，美国 E-2 型鹰眼预警机安装了仿鹰眼雷达系统，提升了探测能力；模仿蝙蝠超声波定位功能的雷达和模仿海豚回声定位系统的声纳，都特异地提高了现有仪器的灵敏度、稳定性和信噪比。利用航天技术，科学家研发出超精细人造陶质光感受细胞<sup>[25]</sup>。直径 2 mm 的微芯片可被植入人的视网膜内，极大地改善视觉残疾人的视力 (图 5)。目前最理想的对感受器的仿制当属仿生耳，即人工耳蜗<sup>[26]</sup>。人造的电子声音感受器替代损伤的毛细胞，按音调定位地被植入内耳的耳蜗上，按“局部振动和行波学说”机制翻译声音的信息。经过调制和练习，这种人工耳蜗可修复聋者的听力 (图 5)。触觉感受器和运动状态反馈系统仿生学的研究，将进一步使机器人的步态平稳并把握适度。

隐形技术是重要仿生内容。一些动物使用保护色和拟态，把自己装扮得与外界环境中的物体惟妙惟肖以逃避敌害。最典型的例子是枯叶蝶。枯叶蝶翅两面的色彩不同，正面鲜艳，背面褐色，间有深色条纹，落在树枝上时两翅合拢，翅的背面向外，模样像一片枯叶。

人类的伪装大多来自战争的需要。神出鬼没，出奇制胜，是历代兵家所追求的理想。第二次世界

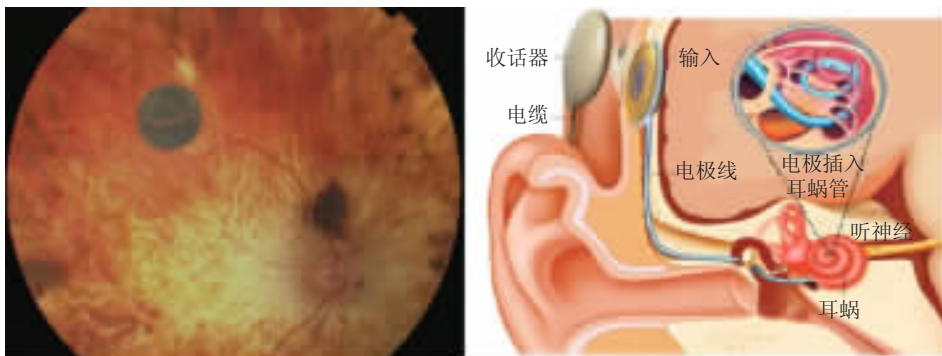


图 5 仿生眼和人工耳蜗示意图

大战中，交战的双方都广泛地使有了各种各样的伪装术。英国军队在北非与意大利法西斯军队的战争中，为了迷惑敌军，掩盖自己军力的不足，在沙漠利用各种各样材料制造假坦克、假汽车、假工事。使得本来英国军队因为兵力不足而只能发动的偷袭战变成了进攻战，大败意军。这是第二次世界大战中盟军的首次胜利。

“销声匿迹”一直被认为是异想天开。今天随着科技的发展，这个幻想正步步逼近现实。猫头鹰无声的飞行在鸟类堪称一绝。它可以悄悄地飞来，再悄悄地飞去，于无声中完成猎杀过程。猫头鹰无声的飞行得力于它的翅膀结构和飞行动作。猫头鹰的翅膀轻而宽大，可以缓慢振动翅膀和长距离的滑翔；其翅膀的大约7千根羽毛排列有序，飞行中羽毛间少有摩擦；翅膀前沿的羽毛呈锯齿状，不但保证飞行的平稳，还可消除飞行中产生的空气湍流。英国南安普敦大学航空学和航天学教授杰弗里·里尔利研究猫头鹰的无声飞行，在弗吉尼亚的美国航空航天局兰利研究中心，从事静音航空器技术（Quiet Aircraft Technology）的研究<sup>[27]</sup>。美国80年代的B-2隐形轰炸机，以及目前的F-22和F-35隐形飞机等，模拟猫头鹰采用轻而宽大的机翼，大量使用了锯齿状边缘结构的消声技术。

自从英国人成功地用胶合板制作的“蚊”式轰炸机骗过德军雷达后，如何躲避敌方雷达的观测成为现代隐形技术和隐形武器一个重要研究目标。自然界是“物竞天择，适者生存”。夜蛾与蝙蝠的“斗法”为我们提供了许多启迪。夜蛾有三种手段使其能在蝙蝠的超声波中逃生。其一，夜蛾胸、腹间凹处的鼓膜对蝙蝠的超声波非常敏感，是专门截获蝙蝠超声“雷达”波的感受器，一经发现，夜蛾就采取不规则飞行，逃之夭夭；其二，夜蛾身体表面披有绒毛，这些绒毛可以吸收蝙蝠的超声波，减少其反射；其三，夜蛾的足部关节上有一种振动器，能发出一连串噪声，干扰蝙蝠的超声定位<sup>[28]</sup>。这三种手段都被广泛地应用在武器研发和战争中：飞机和舰船安装了敏感的雷达波监视仪；信息对抗中大量使用电磁波干扰；新型战舰的设计理念是如何拥有极佳的隐身性能，不仅舰体仿海豚，上层结构低矮平滑而内倾，缩小雷达反射面积，外表还使用有吸收雷达波功能的涂层。随着隐形武器的快速发展和大量使用，隐形战争正大步向我们走来。国外军事专家预言：到2020年，隐形武器会系列化，“隐形战场”会随之出现。届时，隐形武器将会主

宰未来战场。面对这种前所未见的“隐形战争”，我们只有积极应对，加快发展，迎头赶上，才不会在它真正到来时束手无策，坐以待毙。

## 4 仿生学的诱人前景

控制论（Cybernetics）提出者维纳认为，“在已经建立起的科学部门间的无人的空白区上，最容易取得丰硕的成果”。交叉学科的仿生学最容易取得丰硕的研究成果。仿生学随着科技与经济的发展而发展，也必将极大地推动未来学科和经济的发展。

2001年12月3~4日，美国商业部、国家科学基金会和国家科技委员会纳米科学与工程与技术分会联合发起的由科学家、政府官员和产业界技术专家参与的圆桌会议，就“提升人类能力的会聚技术”进行研讨，提出一个NBIC理念<sup>[29]</sup>。NBIC是Nanotechnology（纳米技术）、Biotechnology（生物技术）、Information technology（信息技术）和Cognitive technology（认知技术）的缩写。NBIC会聚技术的重大意义在于：以上四个领域的技术在当前都迅速发展，每一个领域都有巨大潜力。而其中任何技术的两两融合、三种会聚或者四者集成，都将产生难以估量的效能。与会者认为，NBIC会聚技术将缔造全新的研究思路和全新的经济模式，大大提高整个社会的创新能力和社会生产力水平。仿生学目前的发展态势不仅应和了NBIC会聚技术，后者也将是仿生学发展的主要方向。

路甬祥院士在第220届香山会议上以“仿生学的意义与发展”为题，做主题报告<sup>[30]</sup>。他指出：人的创造欲是科技创新的根本动力，自然和社会是我们认知和创新服务的对象，也是我们学习的最好老师。仿生学的意义在于：将生物35亿年进化的结果作为发明的参考；将35亿年演化形成的生物多样性作为技术方案选择的宝库；将35亿年演化形成的脑与神经系统结构与功能作为认知研究和智能机器的最好示范；将35亿年演化形成的生命现象中的精妙和多样的微结构和微系统作为微、纳米结构和微系统技术的极好参照；将35亿年形成的生物在复杂环境中感知、判断、捕食、伪装、轨避能力和适应机制作为传感、判断、控制、隐身、环境适应等技术的最好学习对象……。他认为：1) 经过35亿年进化的生物世界是技术创新不可替代、取之不竭的知识宝库和学习源泉；2) 仿生学是诸

多学科的交叉, 需要, 尤其需要生命科学家和多学科技术科学专家的共同关注与参与; 3) 仿生科学有无止境的前沿, 正向微观、系统、智能、精细、洁净方向发展; 4) 重视并创新仿生学, 是提升科学技术原始创新能力的一个重要方向。

仿生学将为我国科学技术创新提供新思路、新原理和新理论。为适应我国科学和技术源头创新的需要, 进一步推动我国经济和社会实现跨越式发展, 我们应以积极主动的姿态迎接全球性竞争和挑战。

### 参考文献:

- [1] 路甬祥. 仿生学的科学意义与前沿. *科学中国人*, 2004,4: 22~34
- [2] 戴振东, 张昊, 张明, 代良全, 孙久荣. 非连续约束变结构机器人运动机构的仿生: (1) 概念及模型. *科学通报*, 2007, 52(2):236~239
- [3] 郭策, 戴振东, 孙久荣. 生物机器人的研究现状及其未来发展. *机器人*, 2005,27(2):187~192
- [4] Zhang ZG, Kimura H, Fukukoka Y. Autonomously generating efficient running of a quadruped robot using delayed feedback control. *Advanced Robotics*, 2006,20(6):607~629
- [5] Fukuoka Y, Kimura H, Cohen AH. Adaptive dynamic walking of a quadruped robot on irregular terrain based on biological concepts. *Int Journal of Robotics Research*, 2003, 22(3-4):187~202
- [6] Kimura H, Fukuoka Y, Mimura T. Dynamics based integration of motion adaptation for a quadruped robot, adaptive motion of animals and machines. Kimura H, Fukuoka Y, Mimura T (Ed). Tokyo: Springer-Verlag, 2005. 215~224
- [7] Itakura S. Gaze following and joint visual attention in non-human animals. *Japanese Psychological Research*, 2004,46: 216~226
- [8] Li B, Tan D, Wang Y, Chen L, Ma S. Study on a snake-like robot adapting to the ground. In: Intelligent Control and Automation. WCICA, Fifth World Congress, 2004,6:4877~4880
- [9] Alan TA, Stangbae K, Cutkosky MR, William RP, Michele L. Scaling hard vertical surface with compliant microspine arrays. *The International Journal of Robotics Research*, 2006, 25(12):1165~1179
- [10] Fiorini P, Cosma C, Confente M. Localization and sensing for hopping robots. *Autonomous Robots*, 2005,18:185~200
- [11] Arena P, Fortuna L, Frasca M, Patane L, Pavone M. Climbing obstacles via bio-inspired CNN-CPG and adaptive attitude control. *Circuits and Systems*, 2005,23(5):5214~5217
- [12] Ishiguro H. Android science: conscious and subconscious recognition. *Connection Science*, 2006,18(4):319~332
- [13] Bill Gates: <http://www.sina.com.cn> 2007年01月30日 07:17 《环球科学》杂志
- [14] Barthlott W, Neinhuis C. Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces. *Planta*, 1997,202: 1~8
- [15] Ren L, Tong J, Cong Q. Unsmooth cuticles of soil animals and their characteristics of reducing adhesion and resistance. *Sciences Bulletin*, 1998,43:166~169
- [16] Dickinson MH, Farley CT, Full RJ, Koehl MAR, Kram R, Lehman S. How animals move: an integrative view. *Science*, 2000,288(7):100~106
- [17] Holzer R, Shimoyama I. Locomotion control of a bio-robotic system via electric stimulation. France: Proceedings of the IEEE IROS'95 conference in Grenoble, 1997
- [18] Talwar SK, Xu S, Hawley ES, Weiss SA, Moxon KA, Chapin JK. Rat navigation guided by remote control. *Nature*, 2002,417:37~38
- [19] Weiss R. Monkey's brain signals control 'third arm'. New Scientist. Com News Service, Duncan Graham-Rowe, October 13, 2003
- [20] Patoine B. Neural prosthetics harness thoughts to control computers and robotics. Society for Neuroscience Annual Meeting. *The Neuroscience Newsletter*, 2005,15(1):1~12
- [21] Constans A. Mind over machines. *The Scientist*, 2005,19(3): 27~31
- [22] Gao SK, Zhang ZQ, Gao XR, Hong B, Yang FS. Neural engineering and neural prostheses. *中国医疗器械杂志*, 2006, 2:1~4
- [23] Mercedes-Benz Bionic Concept Vehicle. [www.worldcarfans.com/news.cfm?newsid=2050607.004/country/gcf](http://www.worldcarfans.com/news.cfm?newsid=2050607.004/country/gcf)
- [24] 李建桥, 任露泉, 刘朝宗, 陈丙聪. 减粘脱附仿生犁壁的研究. *农业机械学报*, 1996,27(2):1~14
- [25] Baig-Silva MS, Hathcock CD, Hetling JR. A preparation for studying electrical stimulation of the retina *in vivo* in rat. *Journal of Neural Engineering*, 2005,2:S29-S38
- [26] Busby PA, Clark GM. Pitch estimation by early-deafened subjects using a multiple-electrode cochlear implant. *Journal of The Acoustical Society of America*, 2000,107:547~558
- [27] Lilley GM. A quest for quiet commercial passenger transport aircraft for take-off and landing. Manchester, Great Britain: 10th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, May 10-12, 2004. 2922~2927
- [28] 王书荣 (编著). 自然的启示. 上海: 上海人民出版社, 1976. 78~81
- [29] Roco MC, Bainbridge WS (Ed). Converging technologies for improving human performance. In: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science, NSF/DOC-sponsored report. Arlington, Virginia: National Science Foundation, 2002

## BIONICS TODAY AND TOMORROW

SUN Jiu-rong<sup>1</sup>, DAI Zhen-dong<sup>2</sup>

(1. College of Life Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Institute of Bio-inspired Structure and Surface Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** This article introduced the recent development of Bionics using the advancement of robotics technology, and the discovery of "Lotus-effect" and "Non-smooth surface" theory as examples. Using the study in induced animal movement, the establishment of Neural Engineering and the development of stealth technology as examples, it further illustrated the importance of Bionics for future economics development by promoting the technical realization of biological discoveries.

**Key Words:** Bionics; Robotics; Induced animal movement; Neural Engineering; NBIC

---

This work was supported by grants from The National Natural Sciences Foundation of China (60535020, 30470230, 30400086)

**Received:** Feb 26, 2007

**Corresponding author:** SUN Jiu-rong, Tel: +86(10)62754706, E-mail: sjr@pku.edu.cn