

智能科学

史忠植

shizz@ics.ict.ac.cn

中国科学院计算技术研究所

内容提要

- 科学发展的大趋势
- 人工智能的困惑
- 知识科学
- 脑科学
- 心理学的研究
- 认知科学
- 智能科学 基本科学问题
- 人工脑
- 脑机接口
- 展望

科学发展的大趋势

- 👉 学科结构重心: 从物理科学转到生命科学
- 👉 跨学科综合研究滋生新科学
- 👉 社会的迫切需要

科学发展大趋势

20世纪末, 生物信息学

生物信息学是采用信息科学、计算机科学、生物数学、比较生物学等学科的观点和方法对生命的现象及其组成分子(核酸、蛋白等)进行研究, 主要是研究生命中物质的组成、进化、结构与功能的规律、以及这些物质在生命体中能量和信息的交换或传递。该学科以计算机和生物电子设备为工具, 对生物信息进行提取、储存、加工和分析, 用信息理论技术及生物数学的方法去理解和阐述生物大分子的存在和生命价值, 最终对它们进行各种处理与应用。

对信息技术发展态势的看法

- 信息技术仍处在蓬勃发展期，20年内仍然是第一技术。在信息理论方面特别是借鉴脑科学成果的智能技术还处于起步阶段。
- 以编程方式工作的数字电子计算机技术已相当成熟，今后20年主要是应用与集成方面的创新。
- 计算机技术的创新主要体现在系统级，系统级的创新包括大量的原始性创新。

技术浪潮

- 天文学（天问）推动农业、航海业
- 物理化学（物问）推动能源、材料、信息技术
- 生物学（命问）推动基因农业和基因药物
- 脑科学（脑问）推动下一轮智能技术浪潮

科学发展大趋势

美国关于NBIC会聚技术的战略研讨

两次会议：

2001-05-11 NSF预备会

2001-12-03 NSF/DOC (79人)

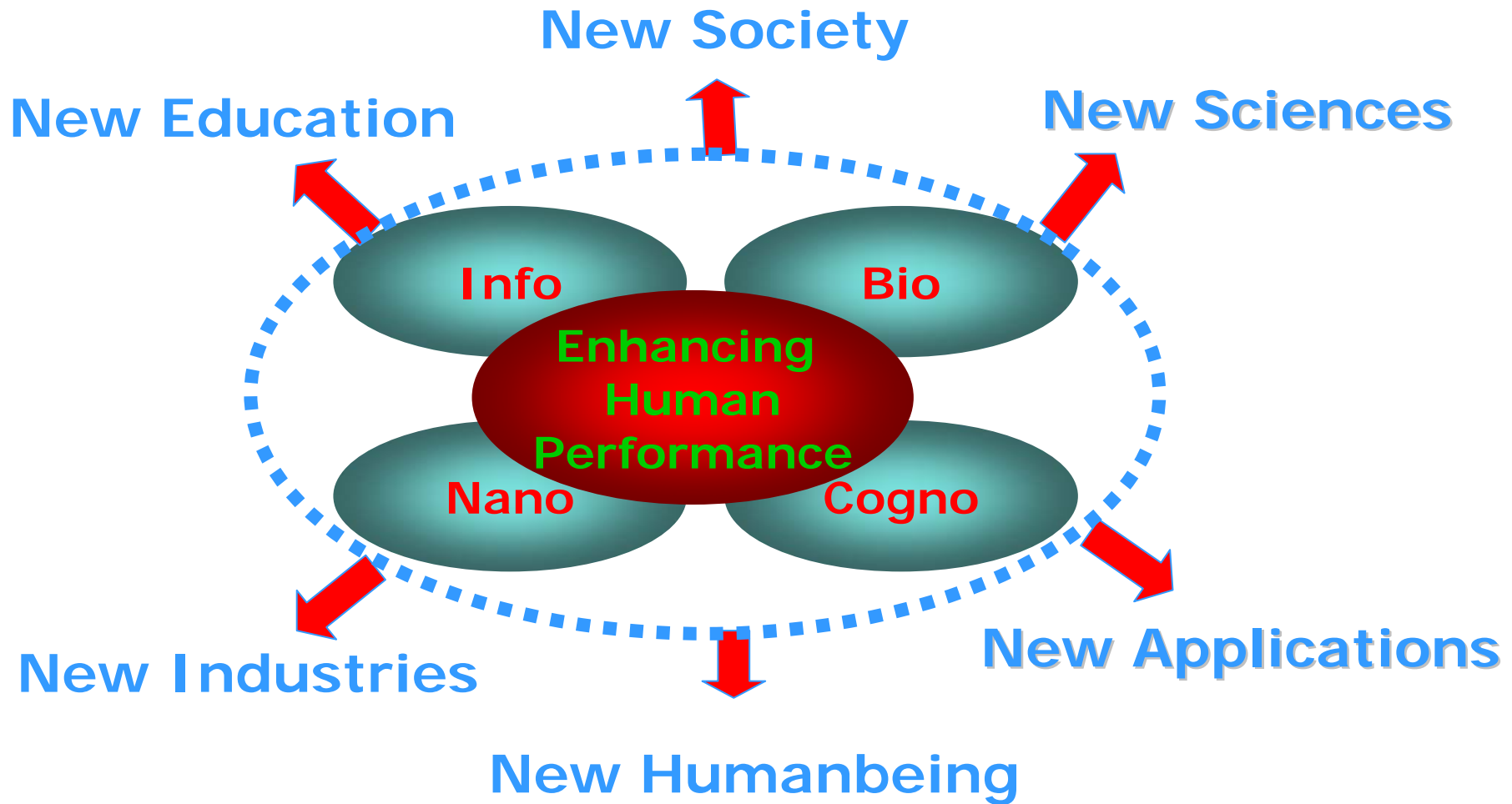
政府及国家实验室 32人

大学 28人

企业及非政府组织 19人

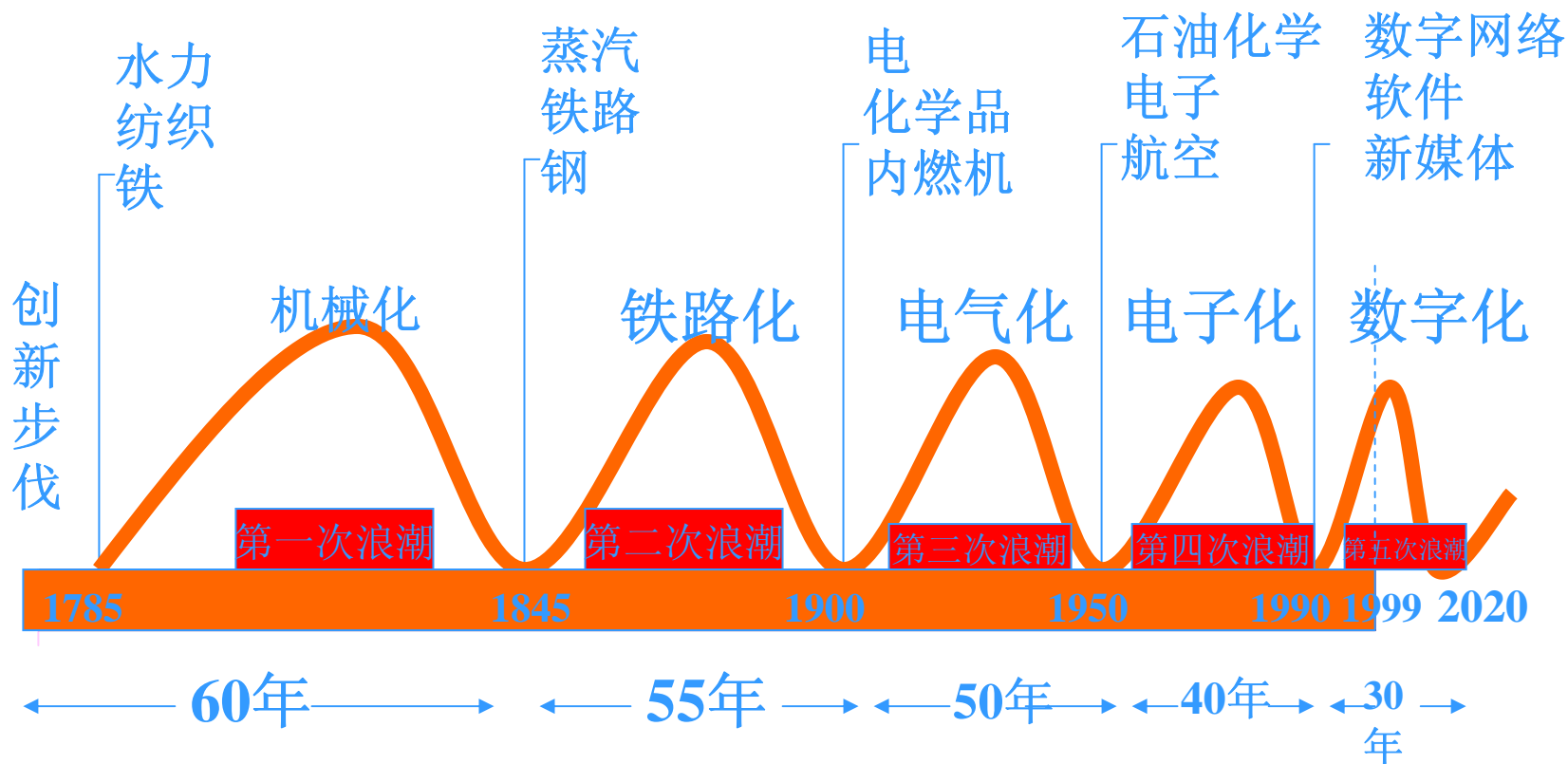
2004-03 成立Converging Technologies Bar Association (CTBA)

科学发展大趋势

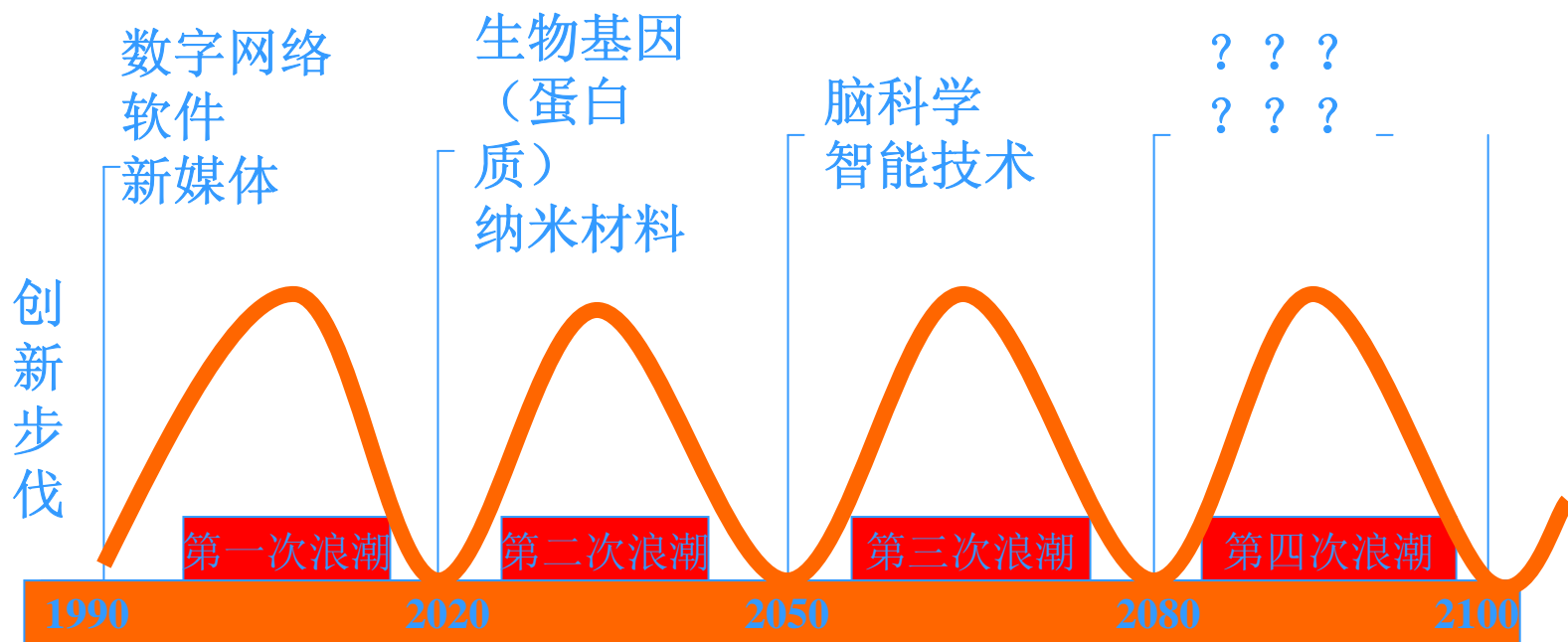


技术创新浪潮的经济长波规律

(康德拉捷夫)



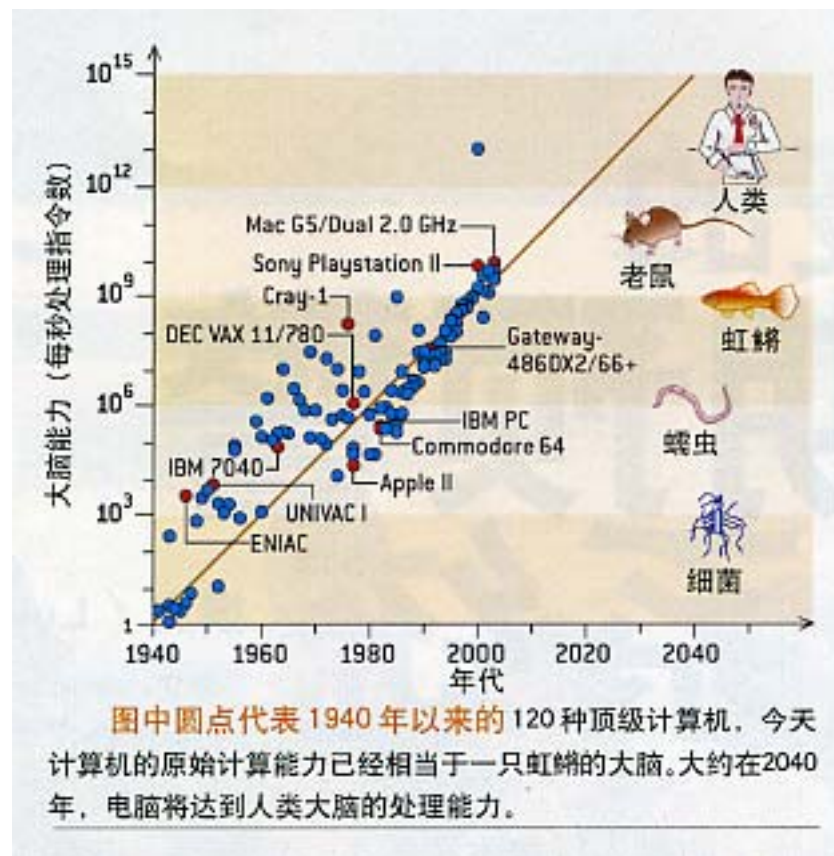
对21世纪技术创新浪潮长波的猜想



信息处理技术发展面临的瓶颈

计算机的处理方式与人脑的信息处理方式存在很大差距。

如何广泛地模拟人的智能对信息进行智能加工和利用，使机器能够认知环境、正确接收和理解人给予的指令是信息处理技术发展的瓶颈。



引自《科学美国人》，2005（3）

智能科学研究

国内外现状

美国

纳米技术、生物技术、信息技术、认知科学四大汇聚 (NBIC)。

日本

“脑科学时代”计划，总预算200亿美元。

国际组织

“国际人类前沿科学计划”，100亿美元。

欧盟

第6次研究与技术发展框架

中国

国家中长期科学与技术发展规划-“以人为中心”的智能信息处理技术。



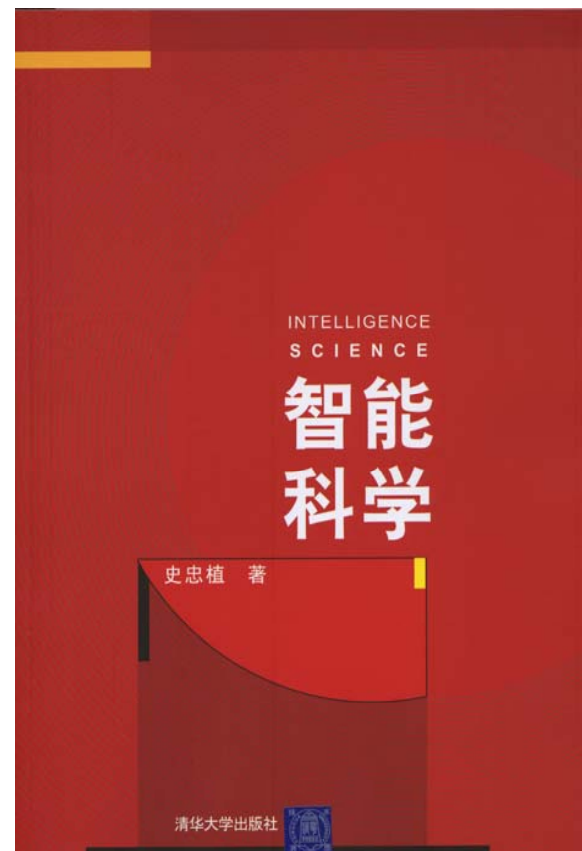
智能科学

21世纪, 智能科学

智能科学是一门交叉学科, 主要由

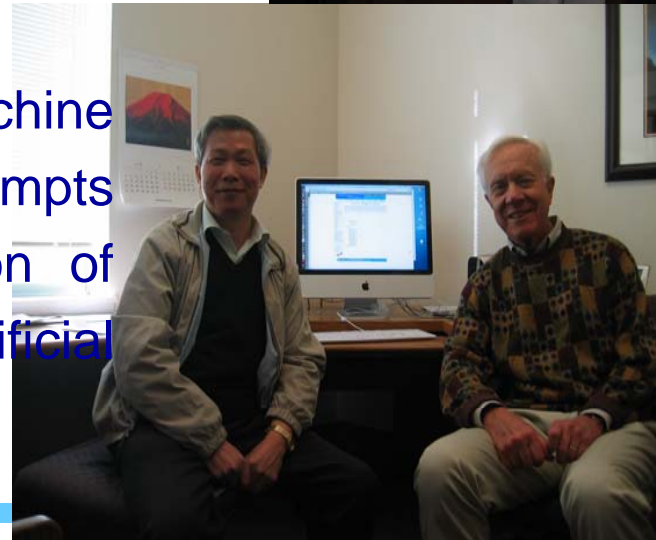
- ☞ 脑科学
- ☞ 认知科学
- ☞ 人工智能

等学科共同研究智能的基本理论和实现技术。



智能科学 Intelligence Science

- **Brain science** explores the essence of brain, research on the principle and model of natural intelligence in molecular, cell and behavior level.
- **Cognitive science** studies human mental activity, such as perception, learning, memory, thinking, consciousness etc.
- In order to implement machine intelligence, **Artificial intelligence** attempts simulation, extension and expansion of human intelligence using artificial methodology and technology



Series on Intelligence Science

Would Scientific Publishing will publish Series on Intelligence Science. Prof. Zhongzhi Shi is the Editor-in-Chief.

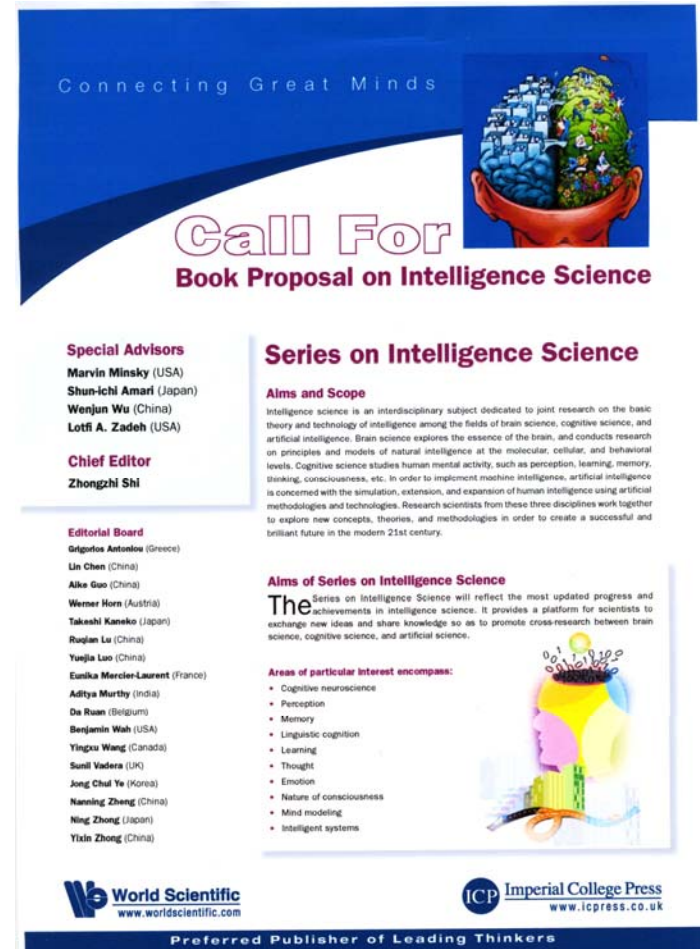
Special Advisors:

Marvin Minsky (USA)


Shun-ichi Amari (Japan)

Wenjun Wu (China)

Lotfi A. Zadeh (USA)



Connecting Great Minds



Call For
Book Proposal on Intelligence Science

Special Advisors
Marvin Minsky (USA)
Shun-ichi Amari (Japan)
Wenjun Wu (China)
Lotfi A. Zadeh (USA)

Chief Editor
Zhongzhi Shi

Editorial Board
Grigoris Antoniou (Greece)
Lin Chen (China)
Aike Gao (China)
Werner Hara (Austria)
Takechi Kaneko (Japan)
Ruijia Lu (China)
Yuejia Luo (China)
Eusjka Mercier-Laurent (France)
Aditya Murthy (India)
De Ruan (Belgium)
Benjamin Wah (USA)
Yingxu Wang (Canada)
Sunil Vadera (UK)
Jong Chul Ye (Korea)
Nanning Zheng (China)
Ning Zhong (Japan)
Yixin Zhong (China)


Series on Intelligence Science

Aims and Scope
Intelligence science is an interdisciplinary subject dedicated to joint research on the basic theory and technology of intelligence among the fields of brain science, cognitive science, and artificial intelligence. Brain science explores the essence of the brain, and conducts research on principles and models of natural intelligence at the molecular, cellular, and behavioral levels. Cognitive science studies human mental activity, such as perception, learning, memory, thinking, consciousness, etc. In order to implement machine intelligence, artificial intelligence is concerned with the simulation, extension, and expansion of human intelligence using artificial methodologies and technologies. Research scientists from these three disciplines work together to explore new concepts, theories, and methodologies in order to create a successful and brilliant future in the modern 21st century.

Aims of Series on Intelligence Science
The Series on Intelligence Science will reflect the most updated progress and achievements in intelligence science. It provides a platform for scientists to exchange new ideas and share knowledge so as to promote cross-research between brain science, cognitive science, and artificial science.

Areas of particular interest encompass:

- Cognitive neuroscience
- Perception
- Memory
- Linguistic cognition
- Learning
- Thought
- Emotion
- Nature of consciousness
- Mind modeling
- Intelligent systems



World Scientific
www.worldscientific.com

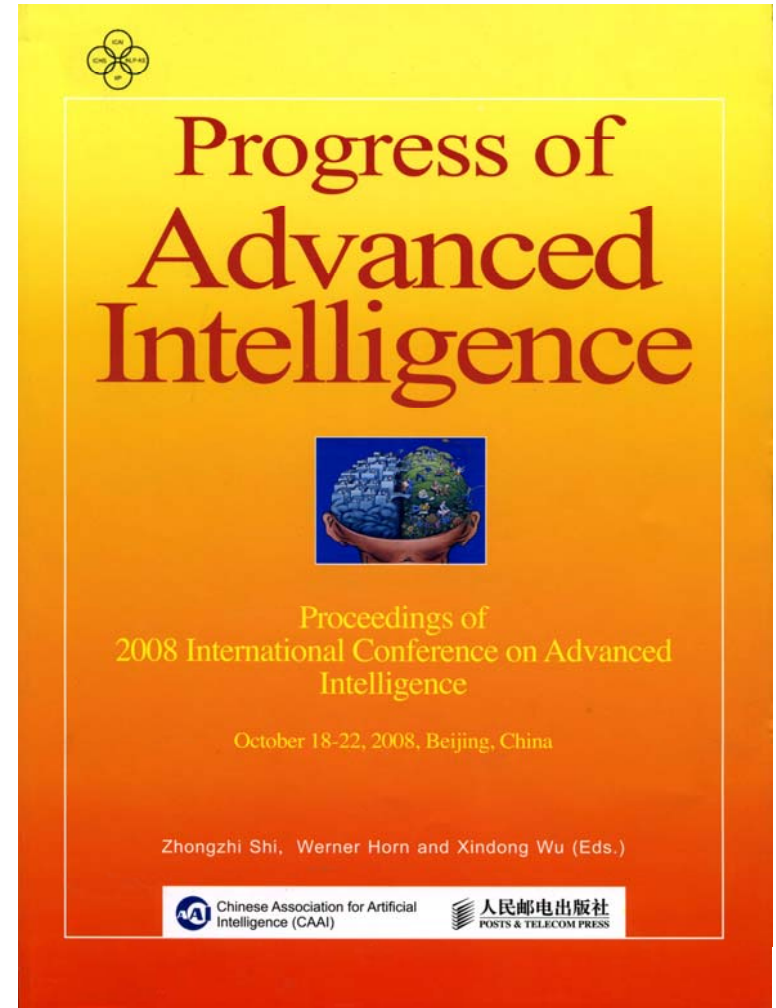
ICP Imperial College Press
www.icpress.co.uk

Preferred Publisher of Leading Thinkers

Advanced Intelligence



International Conference On Advanced Intelligence held in Beijing on October 19th to 22nd.



人工智能的困惑

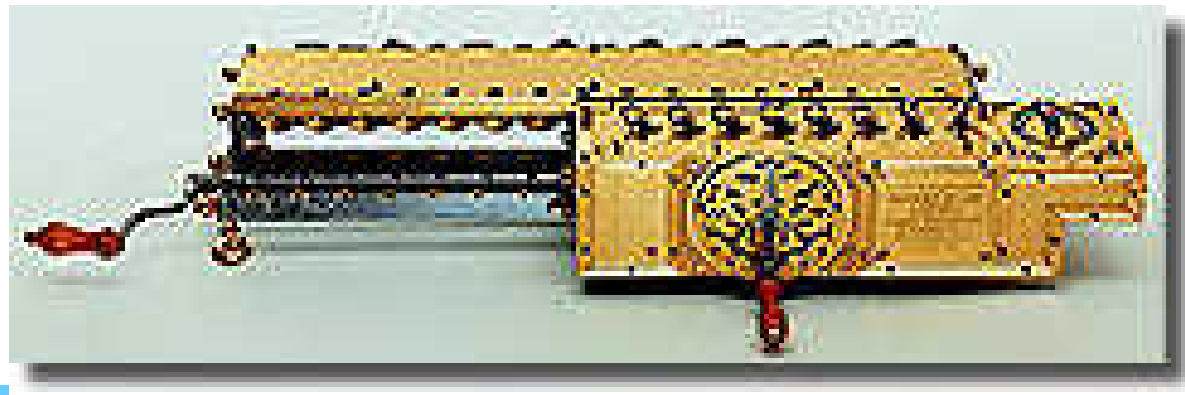
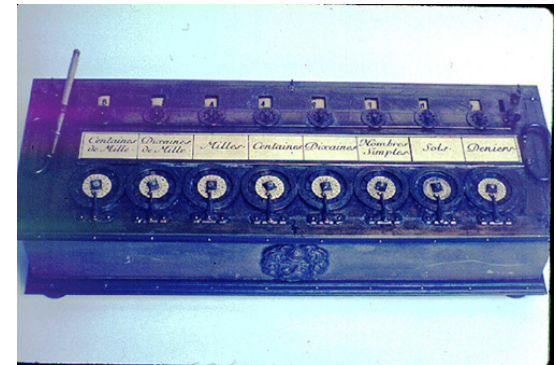
人工智能(artificial intelligence，或简称AI)，有时也称作机器智能。1956年John McCarthy在他的Proposal for the Dartmouth Summer Research Project On Artificial Intelligence中首先引入了这个术语，他将人工智能定义为：“使一部机器的反应方式就像是一个人在行动时所依据的**智能**”。到目前为止，该领域中在基于预先定义好的系列规则之上的**计算机**模拟智能的方面，人们已经作了大量的工作。

智能机器

5thc B.C. Aristotelian logic invented

1642 Pascal built an adding machine

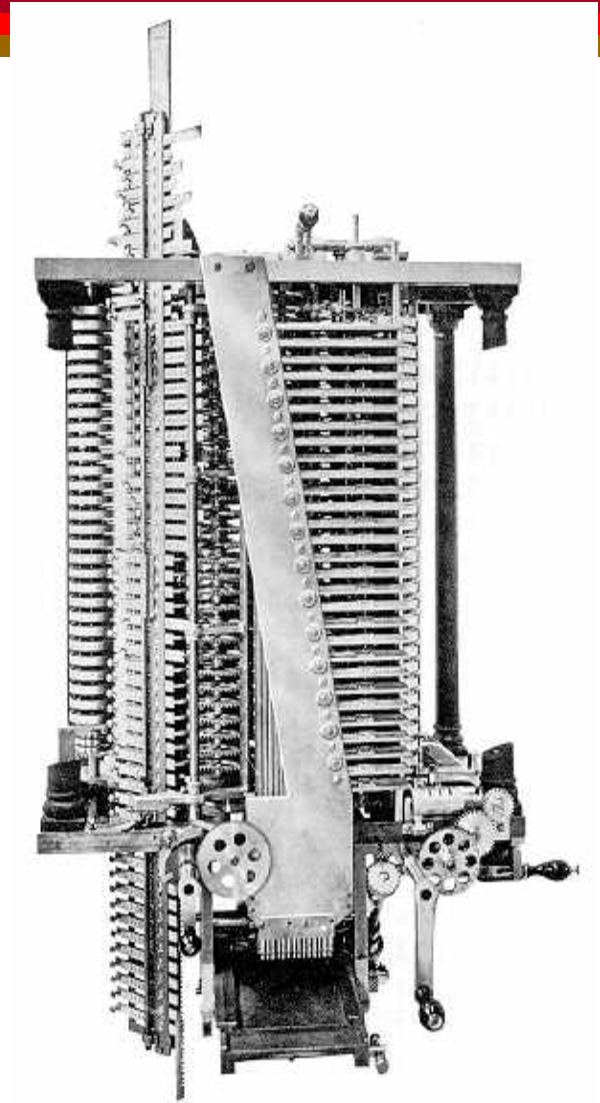
1694 Leibnitz reckoning machine



1834 Charles Babbage's Analytical Engine

Ada writes of the engine, “The Analytical Engine has no pretensions whatever to originate anything. It can do whatever we know how to order it to perform.”

The picture is of a model built in the late 1800s by Babbage's son from Babbage's drawings.

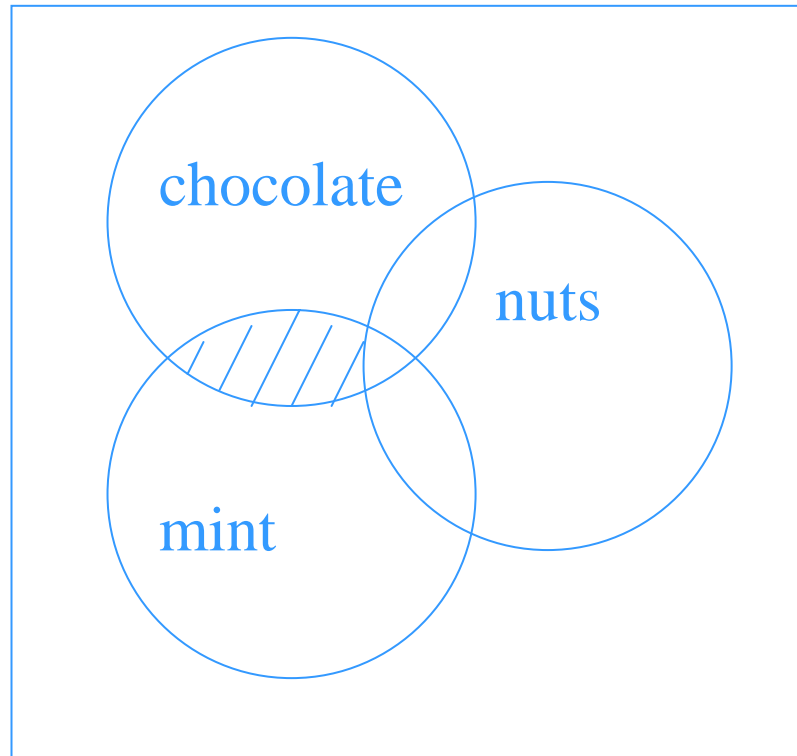


1900 Hilbert's program and the effort to formalize mathematics

1931 Kurt Gödel's paper, *On Formally Undecidable Propositions*

1936 Alan Turing's paper, *On Computable Numbers with an application to the Entscheidungs problem*

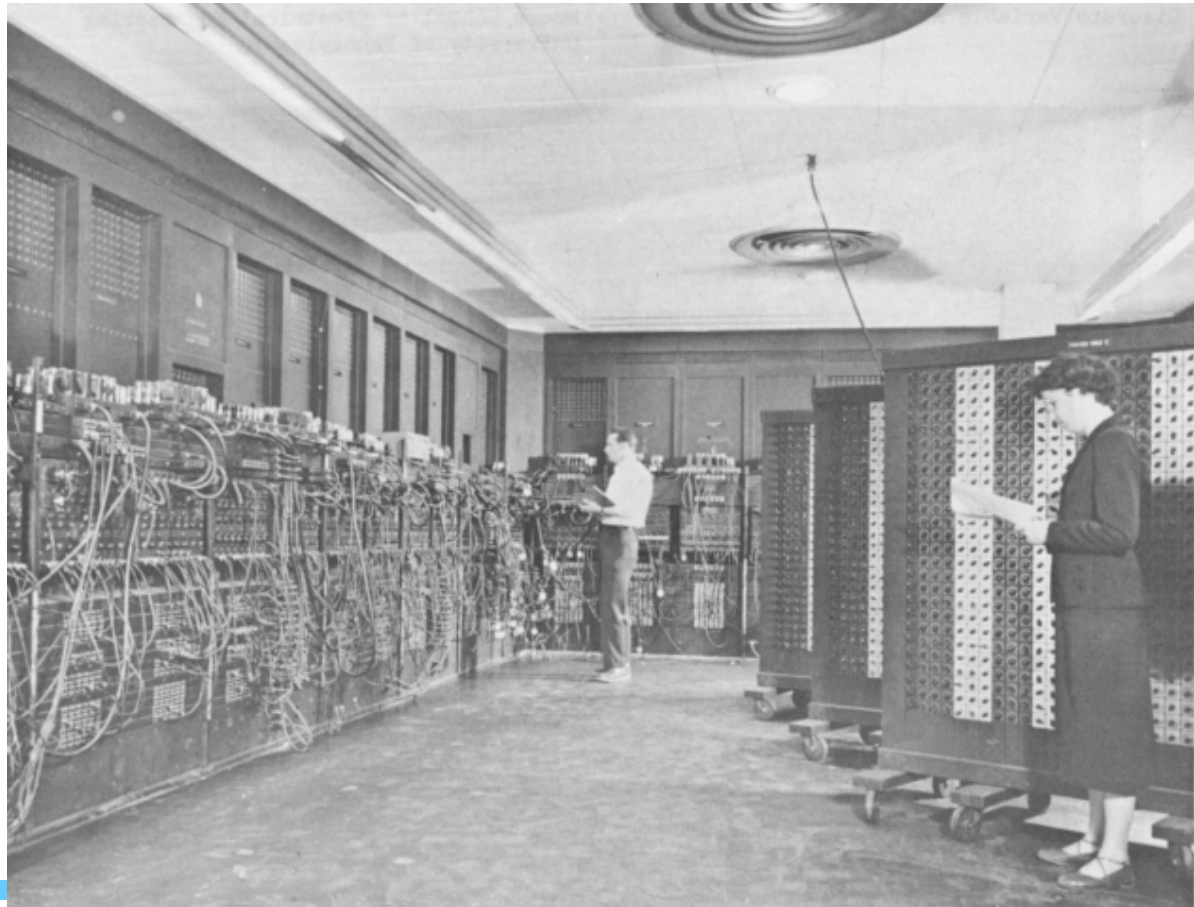
1848 George Boole *The Calculus of Logic*



chocolate and \neg nuts and mint

ENIAC 出现

1946
ENIAC
*The first
electronic
digital
computer*



人工智能的发展

- 1950: Alan Turing的文章“Computing Machinery and Intelligence.”提出图灵测试
 - Mind*, Vol. 59, No. 236, pp. 433-460
- 1955: Newell, Shaw 和Simon 开发了IPL-11
 - Information Processing Language
 - 第一个AI语言，能够处理概念
- 1956: CIA 资助GAT项目（Georgetown Automatic Translation）
- 1956: Newell, Shaw和Simon的“The Logic Theorist”
 - 用IPL开发，证明命题逻辑的命题

人工智能的发展

- 1958: Newell和Simon的四个预测
 - 十年内, 计算机将成为世界象棋冠军
 - 十年内, 计算机将发现或证明有意义的数学定理
 - 十年内, 计算机将能谱写优美的乐曲
 - 十年内, 计算机将能实现大多数的心理学理论
- 1959: Frank Rosenblatt提出感知器模型 (Perceptron Model)
- 1959: MIT AI Lab正式成立 (Minsky和McCarthy)

人工智能的发展

知识工程时期

- 1981: 日本政府宣布日本五代机 (first-generation computer) 计划 (即智能计算机)
- 1982: John Hopfield 掀起神经网络的研究
- 1983: MCC (Microelectronics and Computer Technology Corporation) 成立 (Bobby Inman 任主任)
- 1984: Doug Lenat在Bobby Ray Inman的劝说下在MCC开始Cyc的研究
- 1986: Thinking Machines Inc 研制联结机器 (Connection Machine)
- 1987: LISP机器市场开始暗淡
- 1988: 386芯片使得PC机速度可以与LISP机器媲美

人工智能的发展

分布智能和机器学习

- 1992: 日本政府宣布五代机计划失败。随后启动RWC计划 (Real World Computing Project)
- 1993: Shoham提出AOP, Agent-Oriented Programming
- 1995: Vapnik提出SVM
- 1996: 中科院计算所多主体系统MAPE
- 1996: DARPA启动HPKB计划
 - 军事上的“Grand Challenge”问题分析和求解
- 1997: IBM 深蓝II (Deep Blue) 击败Garry Kasparov
- 2000: 中科院计算所多主体环境MAGE, 知识发现系统MSMiner

人工智能50年

用人工的方法和技术，模仿、延伸和扩展人的智能，实现机器智能。

仿真系统

- 图灵测试
- 物理符号假设
- 连接主义
- 行为主义
- 知识工程

人工智能的困惑

人工智能困难：

知识的复杂性
表达不完整知识
推理的时空爆炸性
没有可靠的理论

人工智能的五个基本问题

- (1) 知识与概念化是否是人工智能的核心？
- (2) 认知能力能否与载体分开来研究？
- (3) 认知的轨迹是否可用类自然语言来描述？
- (4) 学习能力能否与认知分开来研究？
- (5) 所有的认知是否有一种统一的结构？

知识科学

知识科学是研究以知识为对象的基本问题，包括

知识的数学理论

逻辑基础

知识模型

知识挖掘

知识共享等

脑科学

脑科学从分子水平、细胞水平、行为水平研究脑结构，建立脑模型，揭示自然智能机理和脑本质。

硬件系统

心理学

心理学是研究心理现象的科学。

普通心理学研究心理现象的一般规律。

专门研究心理活动的不同过程和心理特征的不同方面的有感觉知觉心理学、记忆心理学、思维心理学、言语心理学、个性心理学、发展心理学、创造心理学。研究不同主体的心理现象有儿童心理学、动物心理学、生理心理学、神经心理学、病理心理学等。

研究社会不同领域内心理活动的规律，以提高有关方面的工作效率为主要任务的有社会心理学、政治心理学、教育心理学、军事心理学、管理心理学、商业心理学、医学心理学、艺术心理学、运动心理学等。

心理学

最近几十年来，对复杂行为的理论主要有三个派别：

新行为主义

格式塔心理学派

信息加工学派

心理学

新行为主义强调客观的实验方法，要求对实验严格加以控制，它的方法是操作主义的，也就是说其结果能被别人重复。行为主义把复杂的心理现象化为各个简单部分，并研究比较简单的初级的现象，也就是所谓的还原主义。

心理学

格式塔（Gestalt）心理学是20世纪初叶德国一群实验心理学家开始的运动，开创先锋是韦特海姆（Max Wertheimer）、考夫卡（Kurt Koffka）和柯勒（Wolfgang Kohler）。他们强调研究复杂的心理现象，而这些现象有时是很难用客观的术语和客观的方法加以描述的。格式塔心理学认为经验或行为的本身是不可分解的，每一经验或行为活动，都自成为一个特殊的形态，且有其一定的特征或属性。一个经验或行为一旦被分解成若干部分，则该经验或行为原有形态和属性就消失了。换言之，全体形态和属性并不等于各部分之和。他们认为在问题解决的复杂过程中，不只靠简单的尝试错误，而且还要通过顿悟。在研究方法上，格式塔心理学主张内省法和客观法并用。主张主要研究知觉、思维和解决问题。

心理学

认知心理学是用信息加工过程来解释人的复杂行为，它吸收了行为主义和格式塔心理学的有益成果。认知心理学也认为复杂的现象总要分解成最基本的部分才能进行研究。当给被试刺激时，他要依靠头脑中的经验才能决定做出什么反应。所谓经验，包括机体的状态和记忆存储的内容。因此，刺激和被试当前的心理状态这二者共同决定着被试作出什么反应。下面我们将要详细介绍认知心理学产生的背景，为认知科学的形成奠定了基础。

认知科学

认知科学是探索人类的智力如何由物质产生和人脑信息处理的过程。具体地说，认知科学是研究人类的认知和智力的本质和规律的前沿科学。认知科学研究的范围包括知觉、注意、记忆、动作、语言、推理、思考、意识乃至情感动机在内的各个层面的认知活动。为了使信息向知识的转变由盲目走向自觉、由经验走向科学，我们必须研究和理解人类知识的认知结构及其过程。

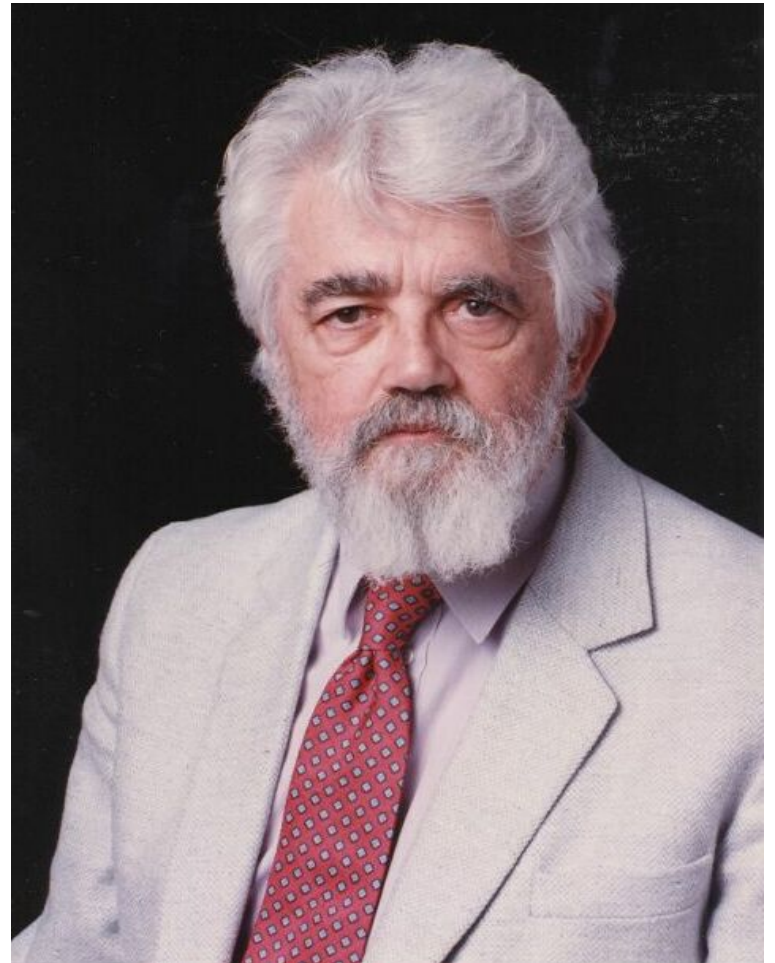
软件系统

智能科学 (Intelligence Science)

智能科学研究智能的基本理论和实现技术，是由脑科学、认知科学、人工智能等学科构成的交叉学科。21世纪智能科学的研究将会取得突破性进展，进一步揭示人类智能的本质，使信息社会实现智能化。

智能科学 (Intelligence Science)

人工智能
的长期目标
是人类水平
的人工智能



基本科学问题 (1)

神经活动的基本过程

☞ 神经信号的发生、转导、传导、突触传递等。

☞ 神经递质的合成、维持、释放及与受体的相互作用的研究都取得了令人瞩目的进展。

☞ 对神经元和神经系统发育的分子机制的研究

19世纪末叶，Cajal染色法的发明在技术上为Cajal的神经元学说不得准备了前提条件。20世纪40年代末期微电极的发明，开创了神经生理研究的新时代，对神经活动的认识因此出现了重大的飞跃。

基本科学问题 (2)

脑的感知过程和知觉表达

知觉信息的表达是知觉研究的基本问题，是研究其它各个层次认知过程的基础。知觉过程是从那里开始的？外在物理世界的那些变量具有心理学的知觉意义？作为知觉的计算模型计算的对象是什么？

现有脑成像技术的时间、空间分辨能力将大幅度提高，新的无创伤检测脑活动的技术将进一步发展起来。

基本科学问题 (3)

突触可塑性与记忆过程中的信息处理

记忆在智能活动中占有突出的位置，记忆能力也是智能水平的重要标志之一。在内容上，记忆可分为陈述性记忆（包括情景记忆和语义记忆等）和非陈述性记忆（包括启动效应、运动技巧、习惯等）；在时间上，记忆又可分为感知记忆、短时记忆和长时记忆。工作记忆是一种短时记忆，它的功能是短时间“在线”式地保存和处理信息，是多种高级认知功能的核心环节。

基本科学问题 (4)

学习过程中的信息处理，感性认识与理性认识的相互关系

学习在脑内如何发生，是神经生物学的核心问题之一。学习导致神经系统结构和功能上的精细修饰，形成记忆痕迹。揭示学习的神经机制，对理解人类智力的本质具有重大意义。

基本科学问题 (5)

语言加工的认知机制

☞ 语言的中枢表象是什么？语言加工的认知和脑机制理解和使用语言是人类特有的功能，是人类意识和意志表达的基本途径。

☞ 汉语以其独特的词法和句法体系、文字系统和语音声调系统而显著区别于印欧语言。

☞ 从神经、认知、和计算三个层次上研究汉语加工和信息处理是摆在我国科学家面前刻不容缓的任务。

基本科学问题 (6)

思维的认知机理

思维是具有意识的人脑对于客观现实的本质属性、内部规律性的自觉的、间接的和概括的反映。

☞ 通过研究不同层次的思维模型，研究思维的规律和方法，为新型智能信息处理系统提供原理和模型。

☞ 近年来神经生理学和脑科学的研究成果表明，脑的感知部分，包括视觉、听觉、运动等脑皮层区不仅具有输入/输出通道的功能，而且具有直接参与思维的功能。智能不仅是运用知识，通过推理解决问题，智能也处于感知通道

基本科学问题 (7)

智能的发展过程

- (1) 基于知识的方法
- (2) 基于行为的方法
- (3) 遗传搜索方法
- (4) 基于学习的方法
- (5) 自主机器人智能发展

基本科学问题 (8)

脑功能成像数据库的研究及构建

- (1) 有中国人特色的大脑标准化方法。现有的脑功能成像数据库基本上都是基于Talairach坐标进行标准化。要对现有的数据进行分析研究，提出有中国人特色的，能够体现大脑精细结构差异的大脑标准化方法；
- (2) 超大规模脑功能成像数据的快速存取技术；
- (3) 脑功能区划分（segmentation）的方法和技术；
- (4) 基于内容的层次型脑功能成像数据库体系结构；
- (5) 脑功能区的动态变化的跟踪、演示与存储。

基本科学问题 (9)

情感系统

情感 (emotion) 是人们对客观事物的主观态度和相应的内心体验。

情感活动与大脑边缘系统和植物神经系统有着重要的联系。大脑皮层则调节着情绪和情感的进行，控制着皮层下中枢的活动。包括丘脑、下丘脑、边缘系统和网状结构的机能。动物实验表明边缘系统的5-羟色胺和去甲肾上腺素含量最高。并对情感活动的调节起重要作用。

基本科学问题 (10)

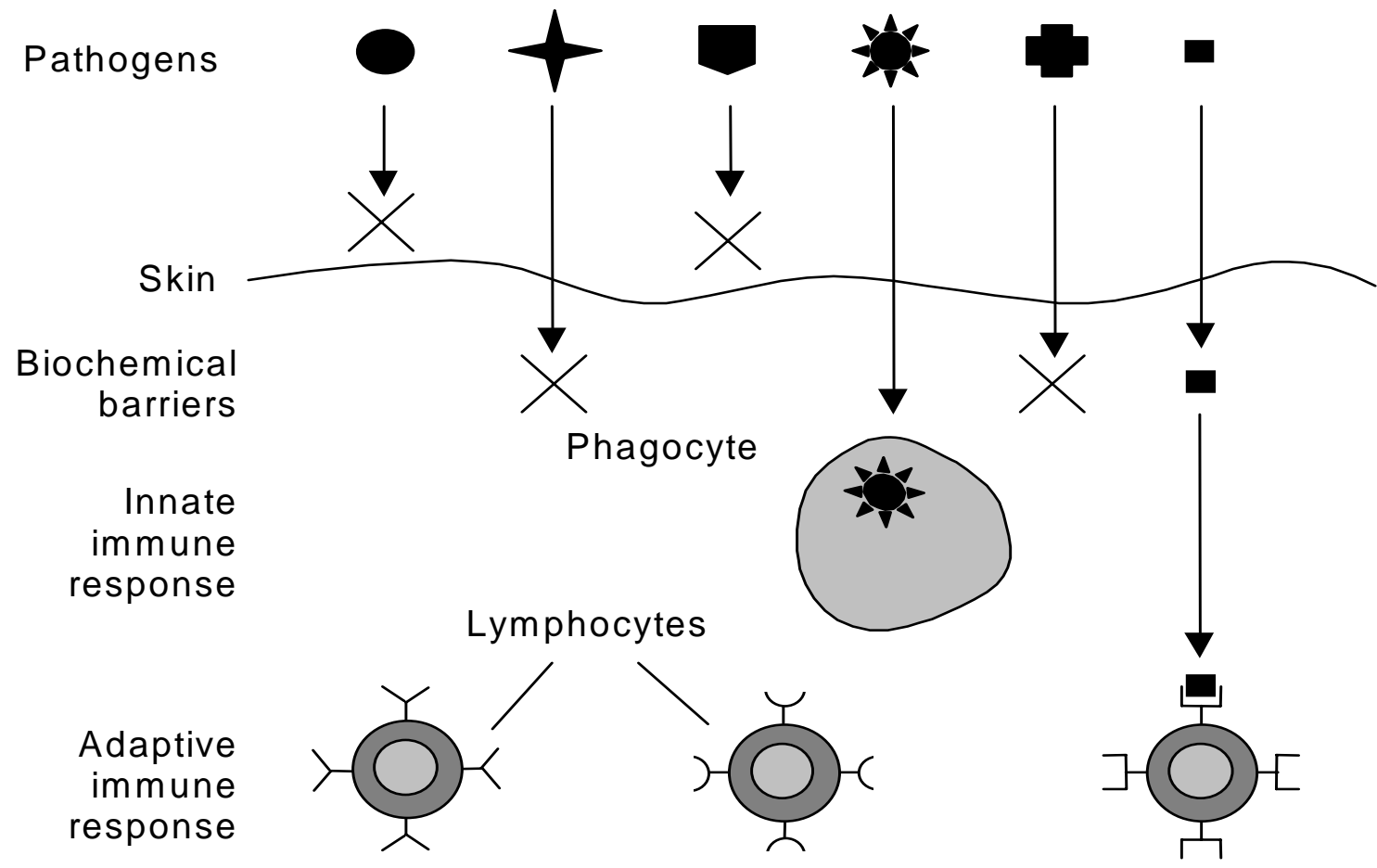
免疫系统

免疫系统是生物在长期进化中与各种致病因子的不断斗争中逐渐形成的，在个体发育中也需抗原的刺激才能发育完善。免疫系统的功能主要有两方面：

(1) 识别和清除侵入机体的微生物、异体细胞或大分子物质（抗原）

(2) 监护机体内部的稳定性，清除表面抗原发生变化的细胞（肿瘤细胞和病毒感染的细胞等）。

Multiple layers of the immune system



基本科学问题 (11)

意识问题

意识是人脑对外部世界和自身心理、生理活动等客观事物的觉知和控制。意识问题是对当代科学的巨大挑战。

☞ 1879年现代心理学建立以来，意识就成为心理学的主要研究对象。James认为，心理学是研究意识的科学。

☞ 20世纪20年代兴起的行为主义心理学，不承认意识的存在。

☞ 50年代出现的认知心理学重新提出意识问题

基本科学问题 (12)

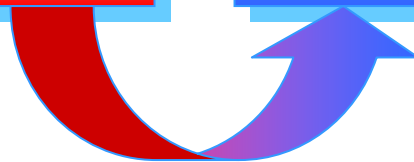
人工脑

- 👉 了解脑—弄清脑活动机制
- 👉 保护脑—征服脑疾病
- 👉 创造脑—制造人工脑计算机

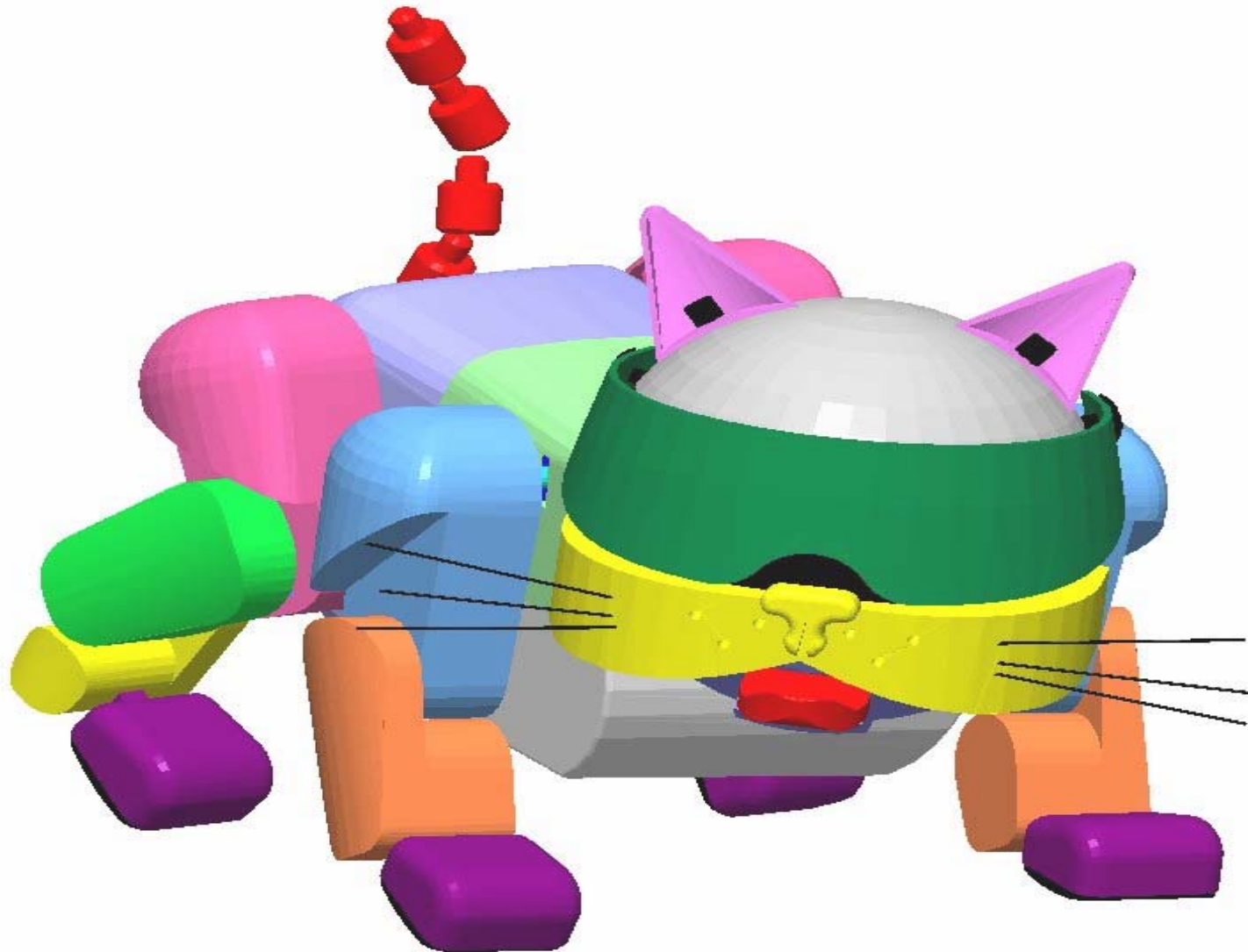
人脑和 CAM-人工脑

- 10^{14} Neurons
- Parallel Computing
- Speed: 100+ M./sec.
- Natural Evolution

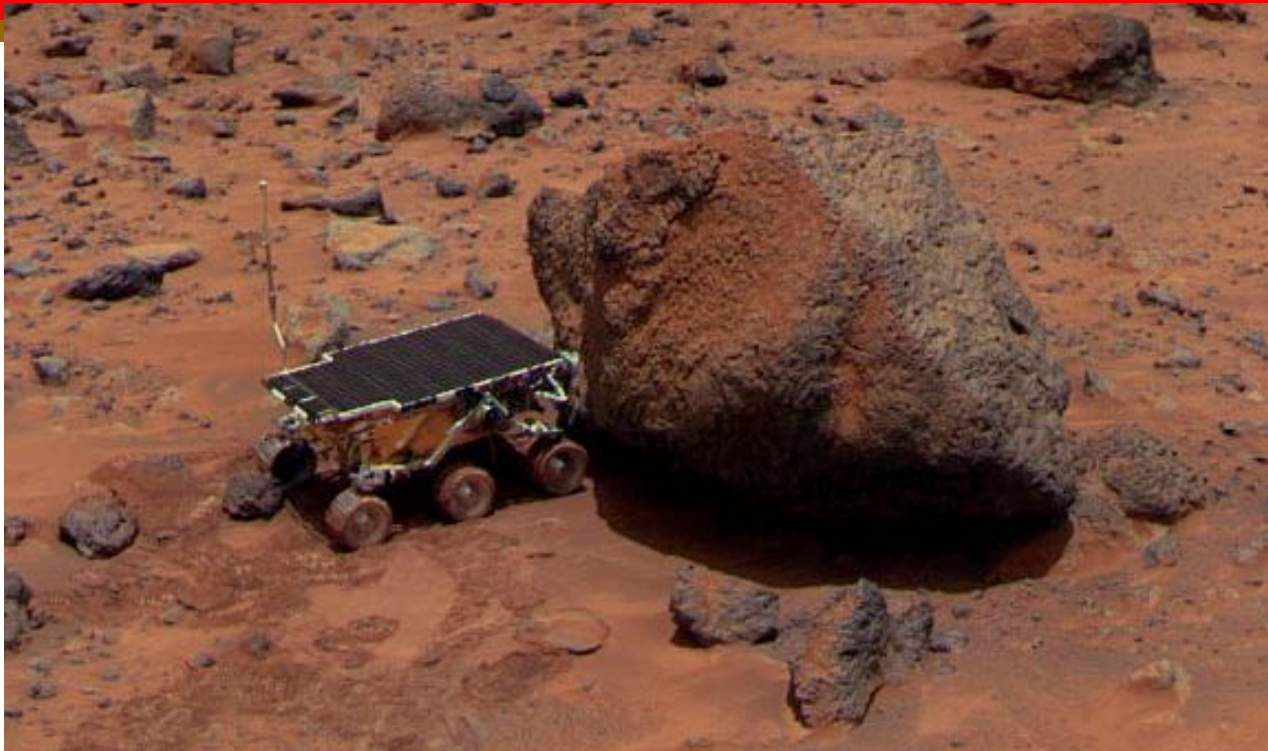
- $4 * 10^7$ Neurons
- 1150 parallel neurons
- Approx. speed of light
- “Designable” Evolution



ROBOKONEKO

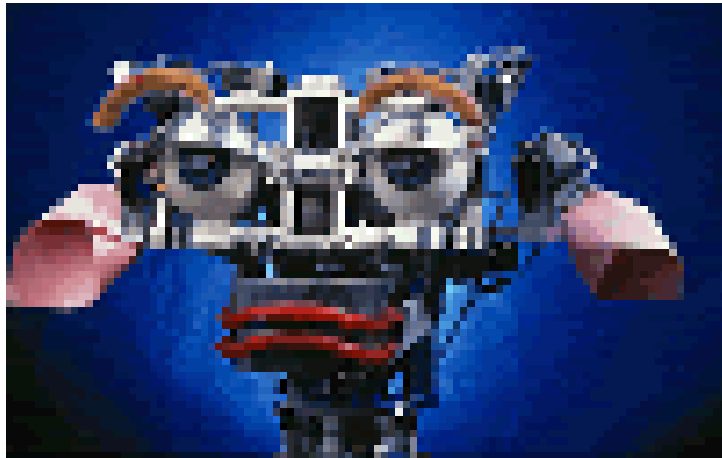


Robotics - Sojourner



Oct. 30, 1999 Sojourner on Mars. Powered by a 1.9 square foot solar array, Sojourner can negotiate obstacles tilted at a 45 degree angle. It travels at less than half an inch per second.

1998 – now Kismet shows emotions



sad



surprise

1997 – First official Rob-Cup soccer match



Picture from 2003
competition

Brain Computer Interface, BCI

(Brain Machine Interface, BMI)

(Human Computer Interface, HCI)

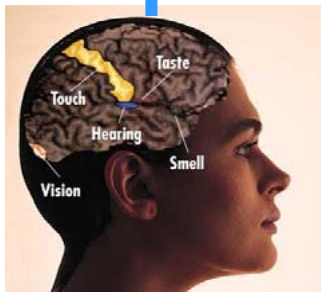
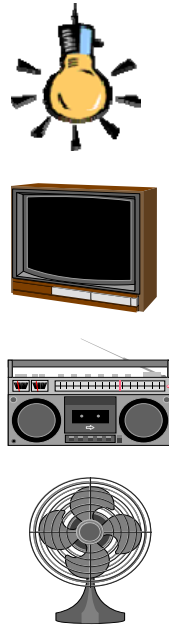


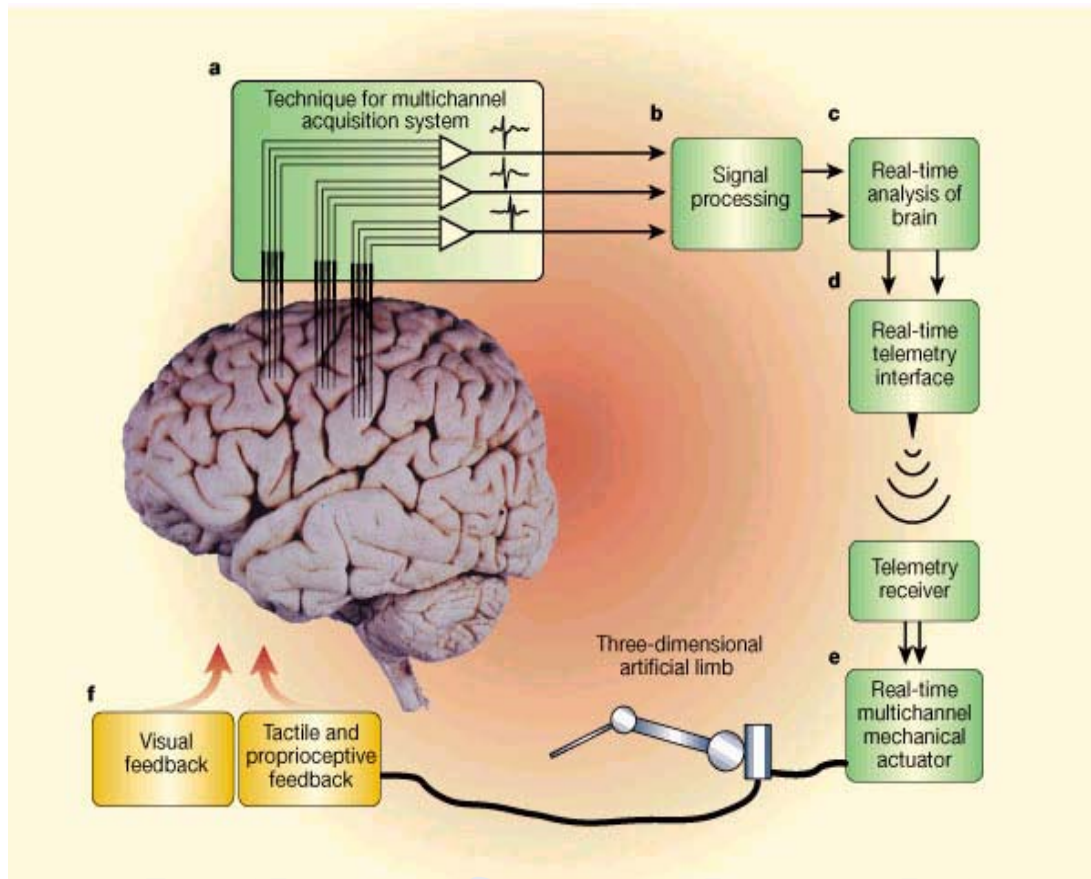
Photo of head-Nicholas Freeman. © © scan of head-John DeDreese. FMRI Centre, Massachusetts General Hospital.



A brain-computer interface is a communication system that does not depend on the brain's normal output pathways of peripheral nerves and muscles.

Actions from thoughts

脑电波指挥计算机：人脑与外界的交流



Actions from thoughts

BCI Research Activities

The First International BCI Workshop, June of 1999 (22 groups)

- 1) Review the current state of BCI research**
- 2) Define the aims of basic and applied BCI research**
- 3) Identify and address the key technical issues**
- 4) consider development of standard research procedures and assessment methods**

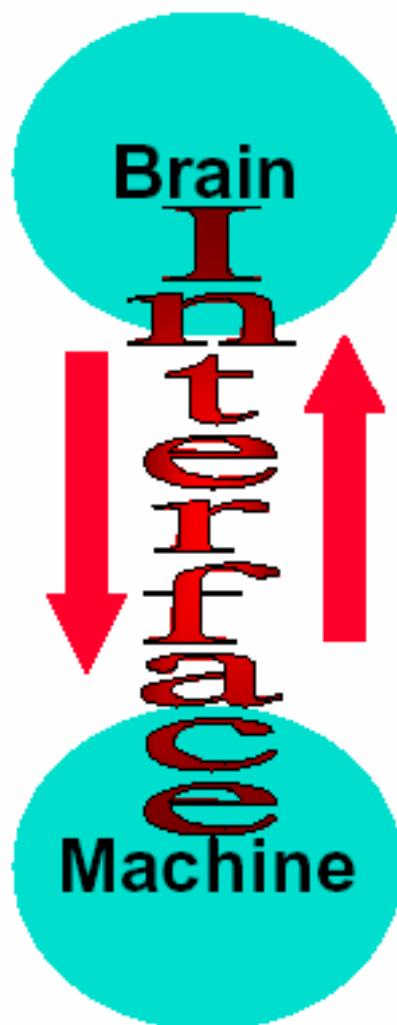
The Second International BCI Workshop, June 12-16, 2002 (30 groups)

Brain-Computer Interface Technology: Moving Beyond Demonstrations



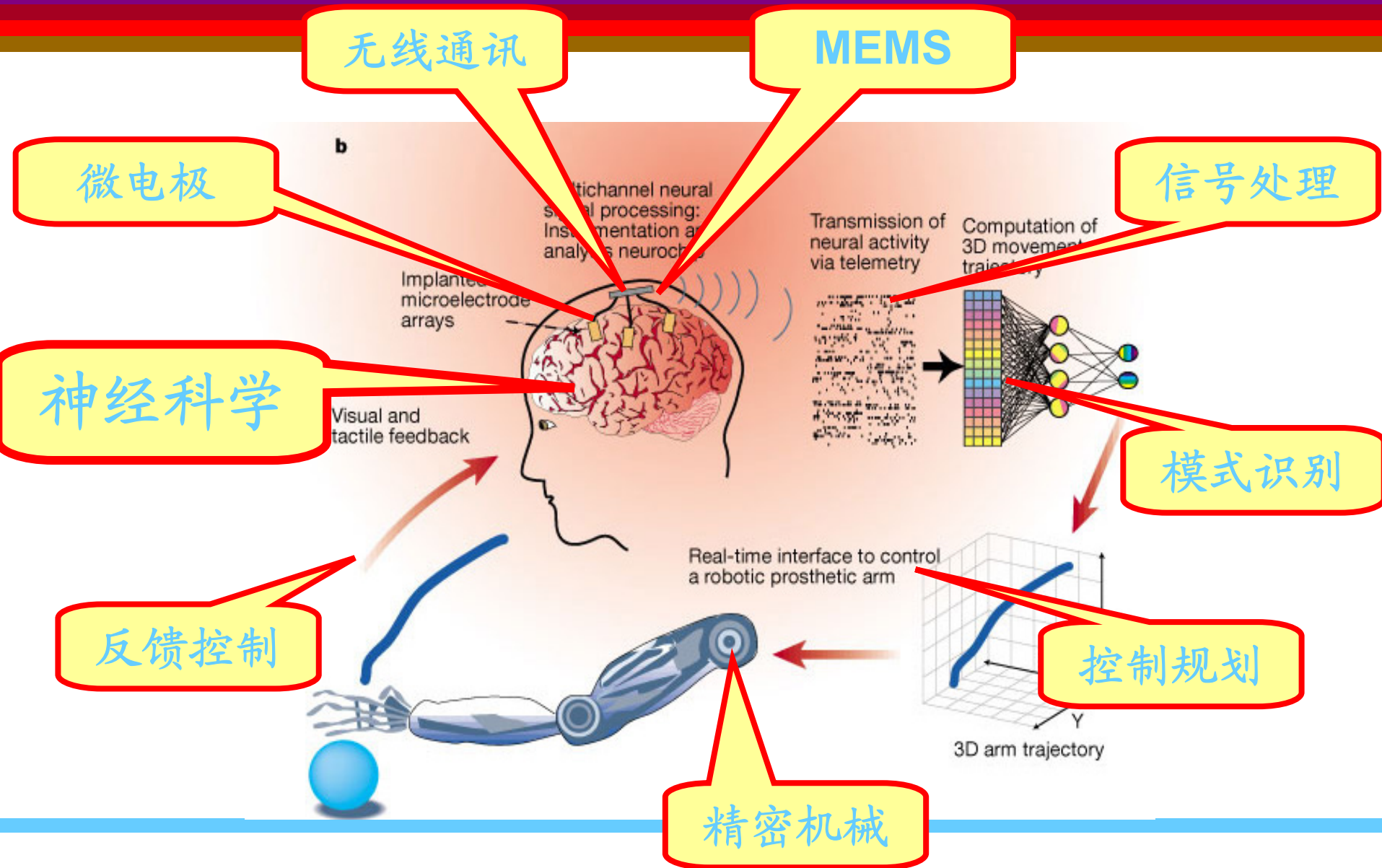
The Big Challenges

Defense Sciences Office



- Getting the right brain activity codes out for the desired action
- Getting the appropriate feedback in (sensory, force, visual, vestibular, acoustic, olfactory)
- Deriving algorithms that represent interaction of codes out and feedback in
- Accessing the codes non-invasively
- Optimizing the signal to noise over the spatiotemporal scale
- Determining interface biocompatibility
- Integrating new processes, form, function and materials (actuators, sensors) in devices which can be optimally controlled by the brain
- Exploiting dynamic plasticity of brain and machine to optimally perform work and control actuation

重要的研究领域

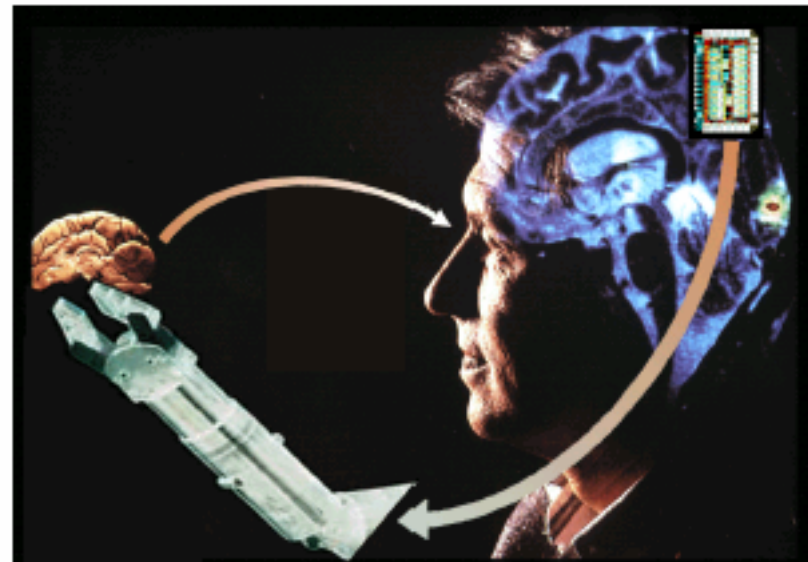




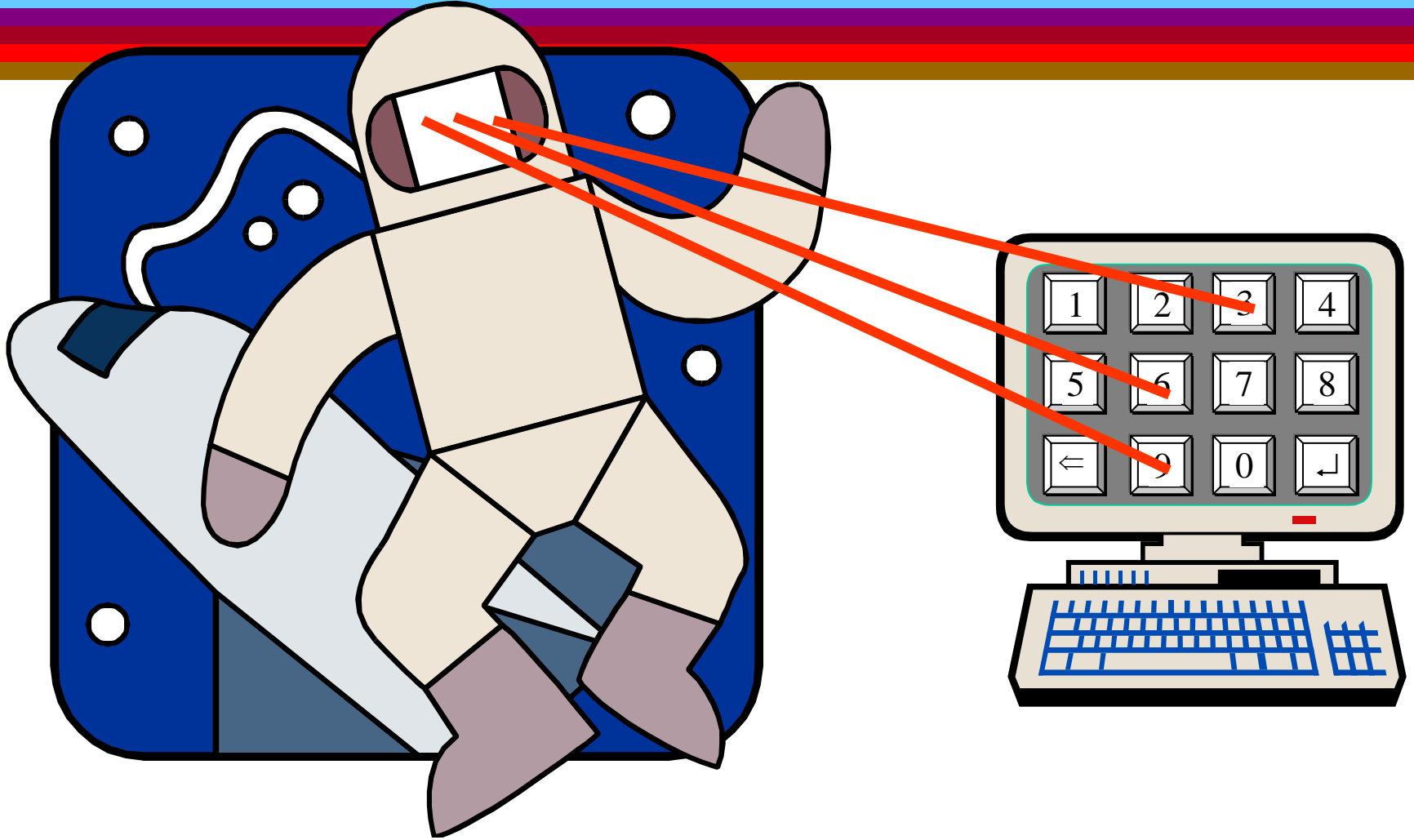
The Dream: Brain C³

Defense Sciences Office

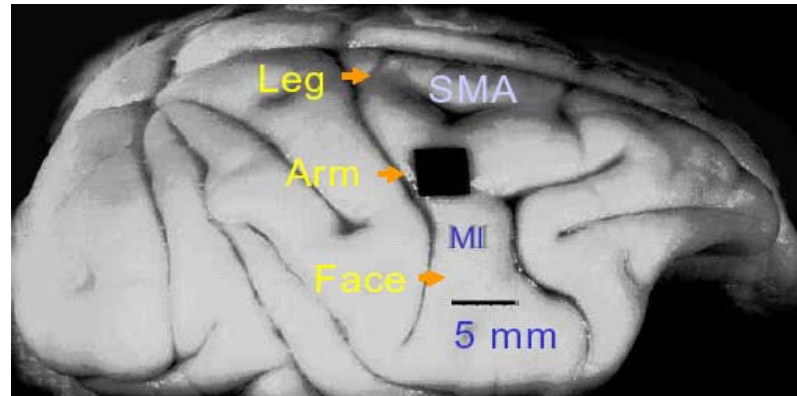
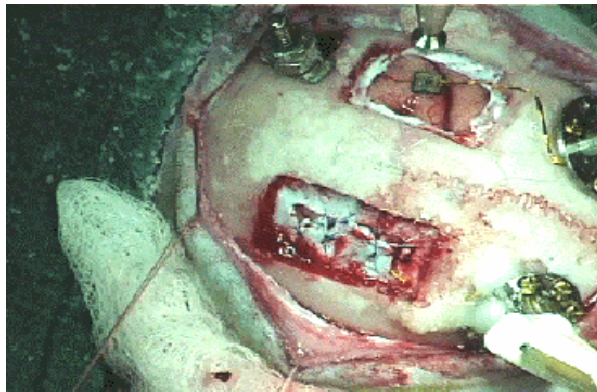
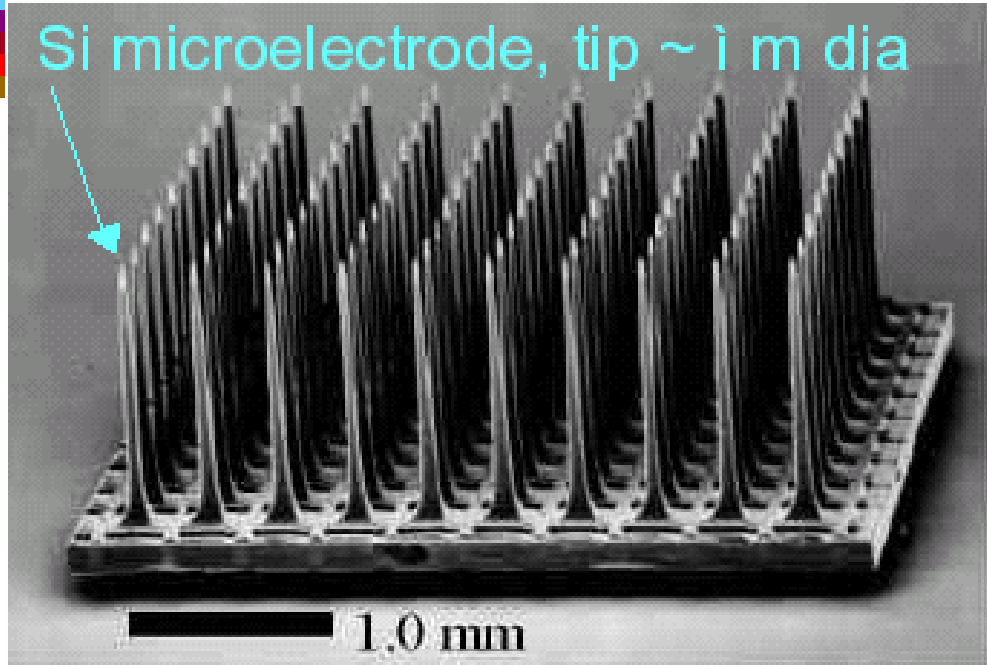
- To use brain activity to do work; to command, control, actuate and communicate with the world directly through brain integration with peripheral Devices and Systems



Special environment Control



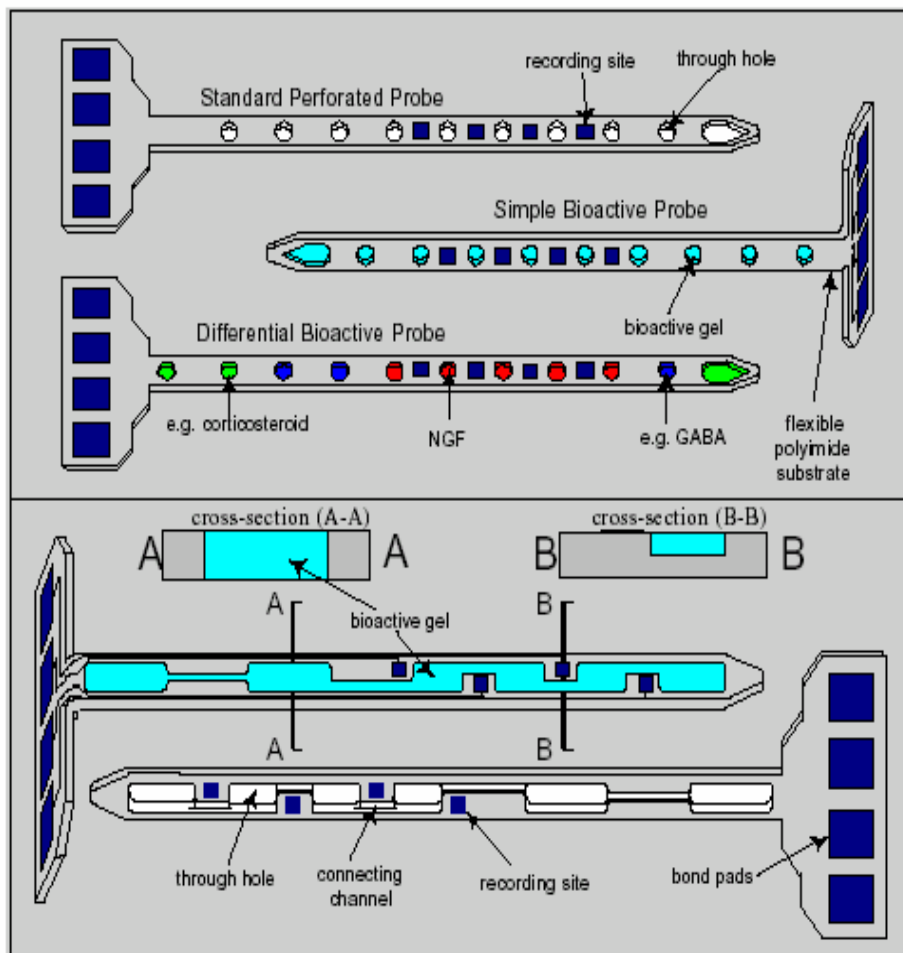
植入式微电极



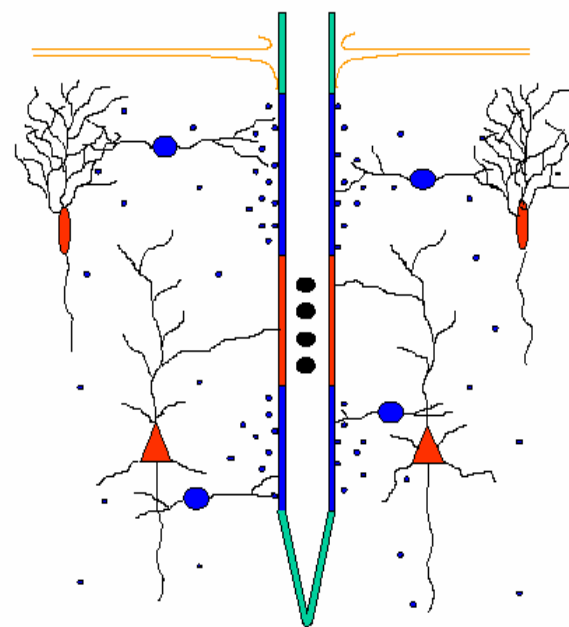
MEMS

Implantable MEMS devices

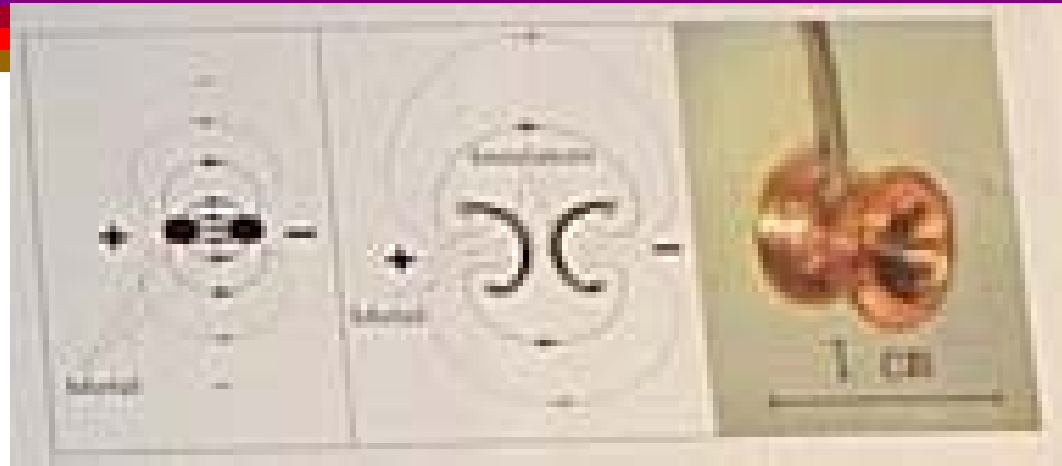
Initial conceptual designs



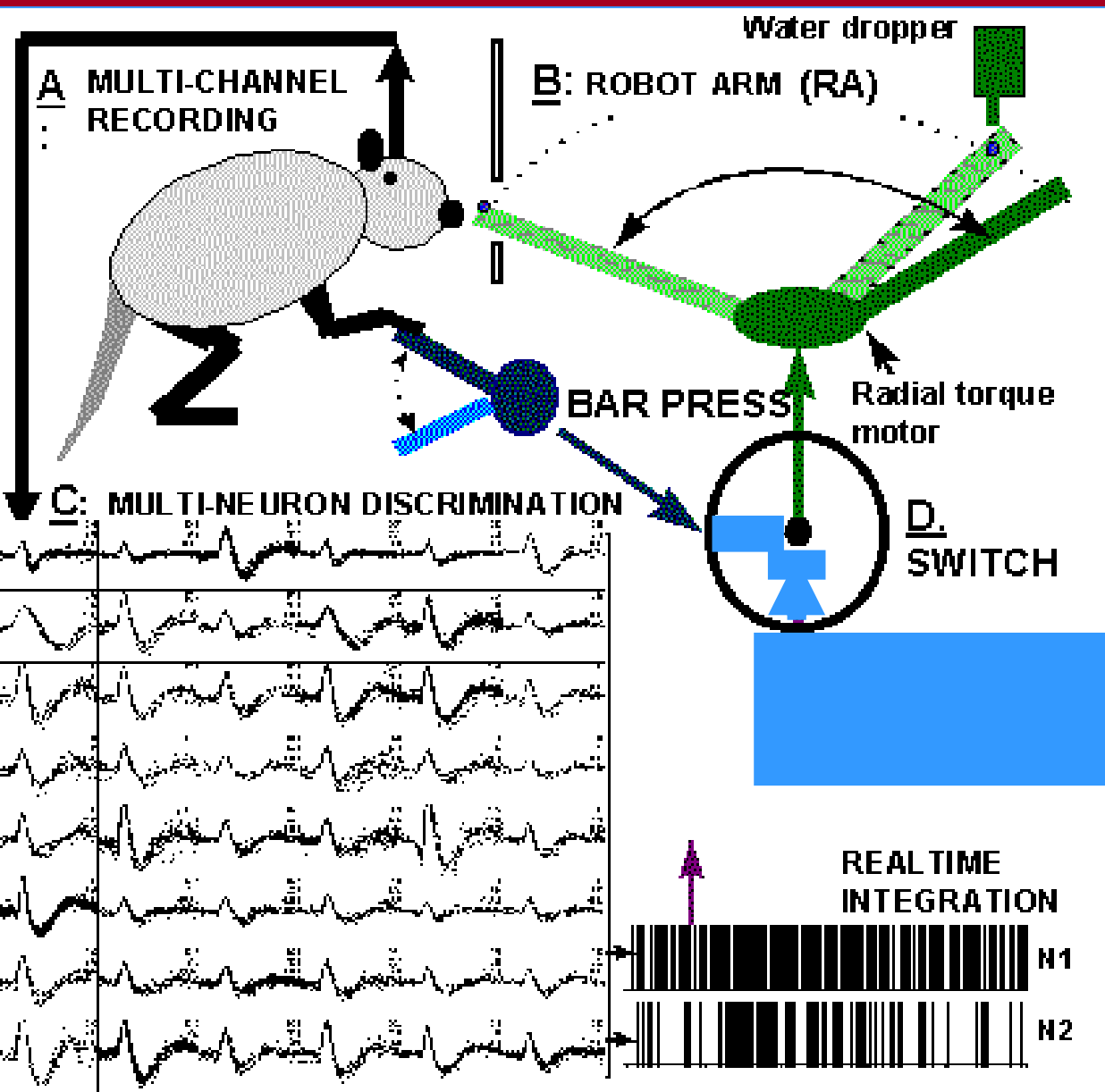
Neural Interface:
Micro-device, Neurons, Glia, Extracellular Space



体内微型发射天线



解读大脑的命令



Controlling
Artificial Limb
Directly
from the Brain

*Duke University
MCP Hahnemann School
of Medicine*

精密机械

电极安装



生命的本质

- 薛定谔在这里所说的“秩序”，就是信息。因为，信息是物质结构性的一个度量。
- 所以，最后，薛定谔对生命是什么的结论是：**生命的本质是信息。**
- 因此，不理解信息，就难以理解生命。

生命的本质

电脑（人工脑）

- 在信息处理的基础上与人脑一致。

智慧的本质——信息本质？

- 但人工智能研究者只声称AI是功能模拟——黑箱，不敢说是机理模拟（或机理一致）。
- 从信息处理观点看——是否机理一致？

讨 论

- 智能科学将在21世纪蓬勃发展。不仅只是功能模仿，即黑箱的观点，而且要持有信息机理一致的观点。即人工脑与生物脑将不只是功能模仿，而是具有相同的特性。这两者的结合将开辟一个全新的领域，开辟很多新的研究方向。

展望

智能科学将探索智能的

☞ 新概念

☞ 新理论

☞ 新方法

☞ 新技术

必将在**21**世纪取得重大成就

谢谢!



THANK YOU!