



Introduction to Brain and Cognitive Science

脑与认知科学概论

杨文伟

wwyang@hdu.edu.cn

自动化学院



華東師範大學
EAST CHINA NORMAL
UNIVERSITY

CARDIFF
UNIVERSITY

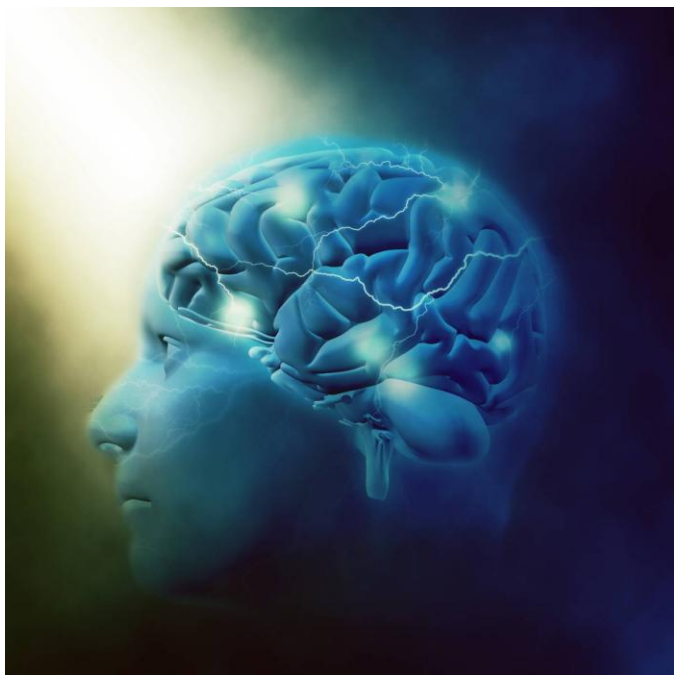
PRIFYSGOL
CAERDYDD



About
the
Tutor



脑与认知科学 Brain and Cognitive Science



1、作为现今最具挑战性和最活跃的科学前沿之一，已成为全球性研究热点。

2、是人类认识大脑和自身，从对外部世界的探索转向对人类自身的探索，从对物质世界的探索转向对精神世界的探索。

3、对于探索意识的产生、智能的运作、大脑的衰老等一系列人类绵连的重大问题都具有重大的科学价值。



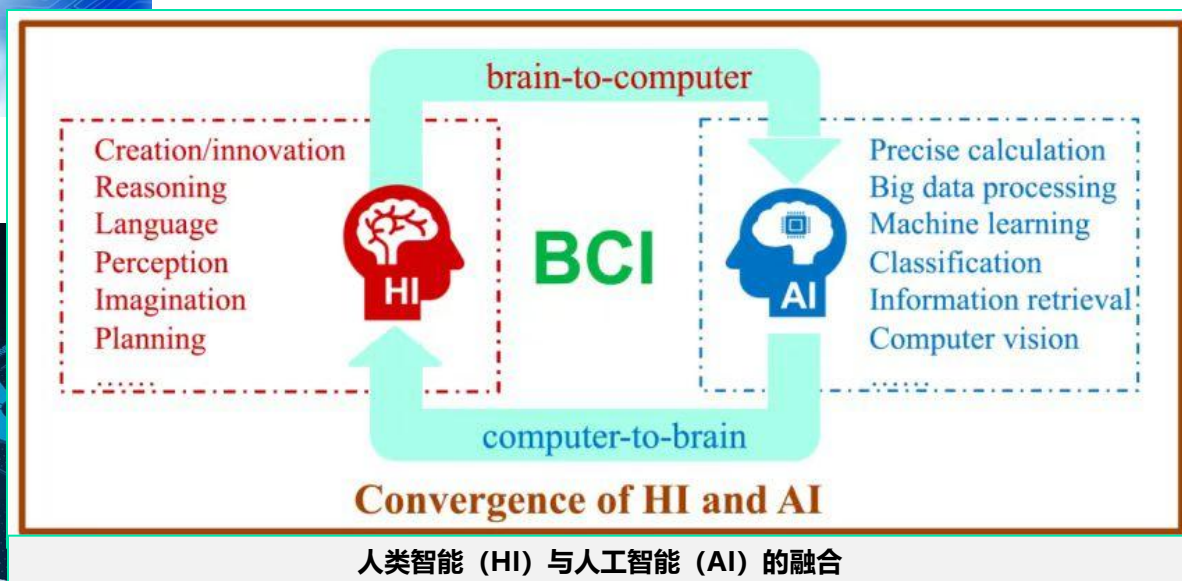
●研究智能的本质和实现技术

●交叉学科 Interdiscipline

脑科学 Brain Science

认知科学 Cognitive Science

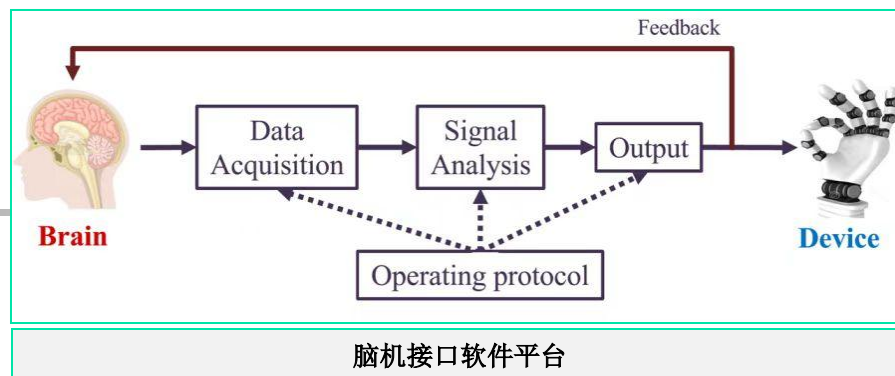
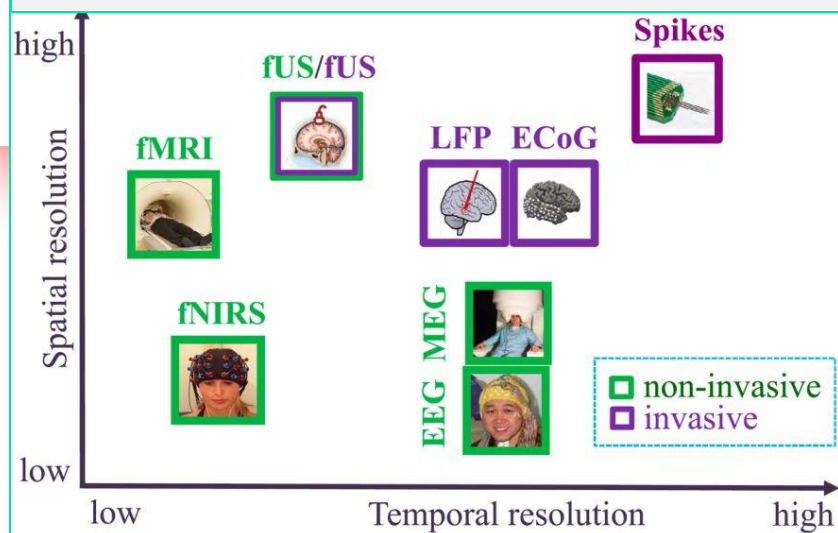
人工智能 Artificial Intelligence



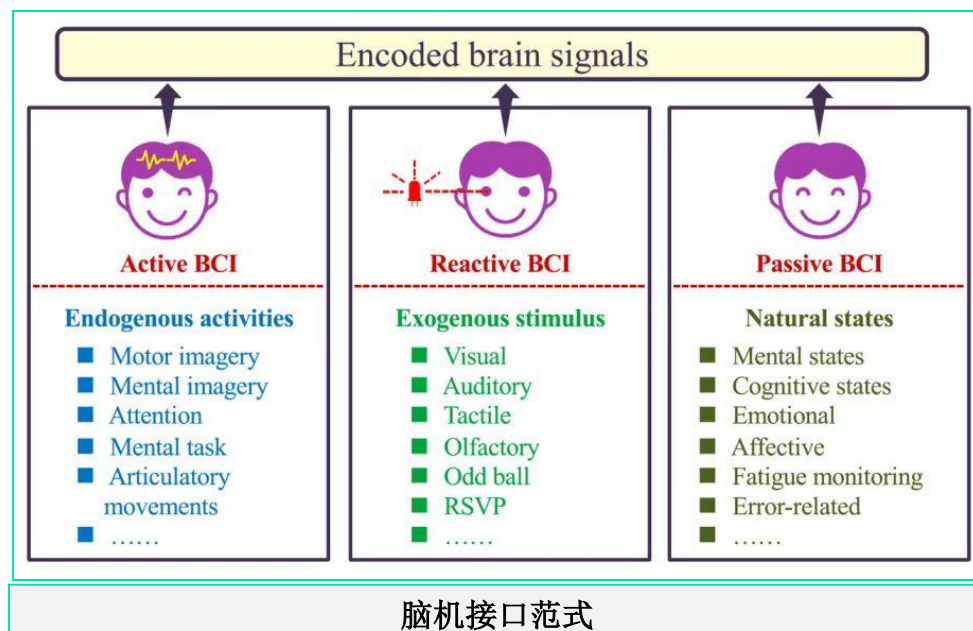
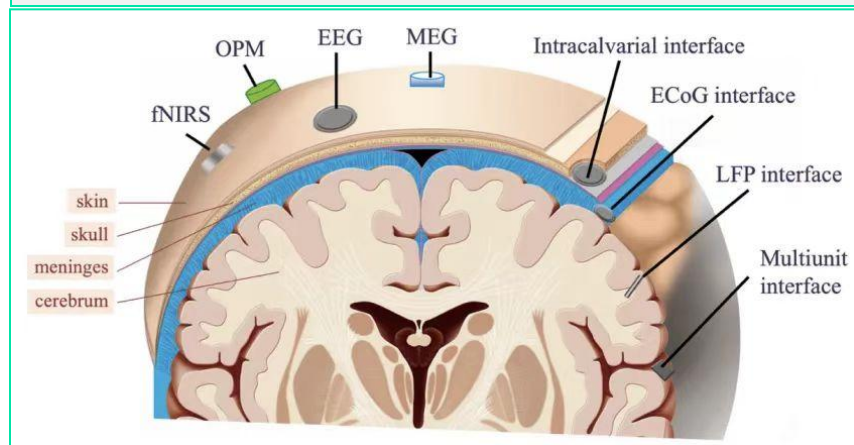
●21世纪是智能革命的世纪，以智能科学技术为核心，生命科学为主导的高科技 智能技术革命

人机共生体； 人机共同思考的新时代

脑机接口的常用脑信号



典型脑机接口传感器的解剖学位置



图片引自Xiaorong Gao#, Yijun Wang#, Xiaogang Chen, Bingchuan Liu, and Shangkai Gao*. Brain-Computer Interface—A Brain-in-the-Loop Communication System, in Proceedings of the IEEE, doi: 10.1109/JPROC.2025.3600389.



课程目标

- 介绍脑科学与认知科学的基本概念和知识框架
- 论述脑科学和认知科学在显示生活中的应用，使学生熟悉智能科学与技术的生物基础
- 论述人工大脑、认知计算的相关知识，启发学生利用脑科学和认知科学的基本理论来分析、设计人工智能系统

智能科学与技术的生物基础——脑科学 Brain Science
智能科学与技术的中间件——认知科学 Cognitive Science



课程结构

- ◆ **脑与认知科学概述 Introduction to Brain and Cognitive Science**
- ◆ **神经活动的基本过程 Fundamental Processes of Neural Activity**
- ◆ **脑科学基础知识及工作原理**
Basic Concepts of Brain Science and Its Operating Principles
- ◆ **脑科学知识的应用 Applications of Brain Science**
- ◆ **认知科学基础知识 Fundamentals of Cognitive Science**
- ◆ **脑与认知实验 Brain and Cognition Experiments**



教材:

- 1. 王志良编著，脑与认知科学概论（第二版），北京邮电大学出版社，2025
- 2. 寿天德 主编，神经生物学（第三版），高等教育出版社

参考书:

- 1. 韩济生 主编，蒲慕明、饶毅 副主编，神经科学（第4版），北京大学医学出版社
- 2. 刘洪波、冯士刚 编著，脑与认知科学基础，清华大学出版社
- 3. 吴思 等 编著，计算认知神经科学，认知神经科学书系第二辑，科学出版社



About the Class

- ***Introduction to Brain and Cognitive Science*** involve a lot of content, including the structures and functions of brain and cognitive science. The course time is limited and can not cover everything. 课程内容多，课程时间有限，不能涵盖全部。
- We will select and learn some contents of brain science and cognitive science, especially those interact with or applied with artificial intelligence. 选择部分内容讲解，尤其是和人工智能研究或应用有交互的部分。
- This course is an experimental science, so some important experimental links will be introduced to help you learn the content of the course. 是一门实验和实践性的科学，课程中会对一些重要实验进行介绍。
- In addition, there are two experimental sections about brain structure and EEG recording method in this course. 课程内有两次实践环节。



About the Class

Assesment

Process assessment

50%

(homework, discussion, experiment, performance)

15%

10%

20%

5%

Final test

50%



课程内容 Course Contents

本课程是智能科学与技术本科专业的重要**专业基础课程**。

- 脑科学的基本概念和研究方法
Basic concepts and research methods of brain science
- 认知科学的基本概念和研究方法
Basic concepts and research methods of cognitive science
- 脑科学基本原理及在工程实践中的应用
Basic principles of Brain Science and its application in Engineering
- 认知科学理论的基本原理及在工程实践中的应用
Basic Principles of Cognitive Science and its application in Engineering

第一章 绪 论

Chapter 1 Introduction

(Ref: “脑与认知科学概论 (王志良编著)”P3-P23)

内容梗概 **Content Outline**

- **智能的概念 The Concept of Intelligence**

 - 自然智能 **Natural Intelligence**

 - 人工智能 **Artificial Intelligence**

- **脑科学概述 Overview of Brain Science**

 - 脑科学的研究现状

 - 脑科学的研究内容

 - 脑科学的研究方法

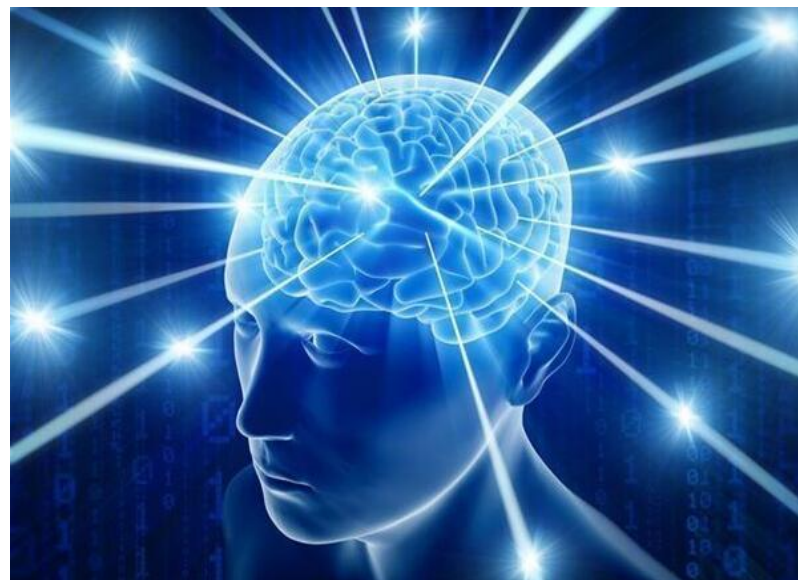
- **认知科学概述**

 - Overview of Cognitive Science**

 - 认知科学的研究现状

 - 认知科学的研究内容

 - 认知科学的研究方法



人工智能正在开启新世界之门

Artificial intelligence is opening the door to a new world

2016年初AlphaGo大胜围棋九段李世石，让近十年来再次兴起的人工智能技术走到台前。

The sweeping victory of AlphaGo over Lee Sedol, a 9-dan professional Go player, in early 2016 brought the decade-long resurgence of AI technology to the center stage.

智能科学是关于脑科学、认知科学和人工智能的交叉学科。Intelligent science is an interdisciplinary subject on brain science, cognitive science and artificial intelligence.

我国和其他各国都把人工智能当作未来的战略主导，从国家层面进行整体推进，迎接即将到来的人工智能未来。China and many other countries have recognized AI as a strategic priority for the future and are promoting it in a holistic manner at the national level to embrace the upcoming era of artificial intelligence.



智能的概念 (Intelligence)

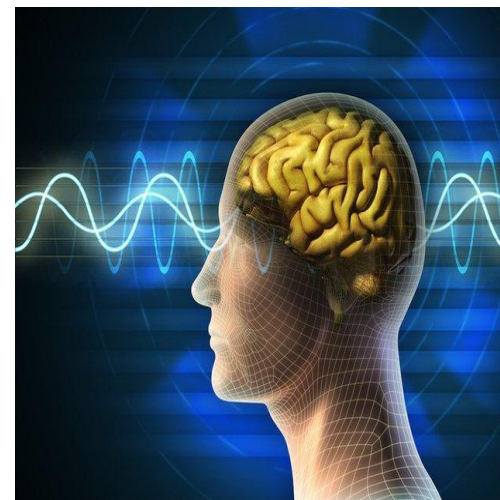
智慧和才能，或者具有人的某些智慧和才能。

—— 《现代汉语词典》

Wisdom and talent, or **the ability to learn, understand and think in a logical way about things.**

以逻辑的方式学习、理解、思考事物的能力。

—— 《牛津高阶词典》





解释智能的几种理论：

知识理论 Knowledge Theory: 知识是智能的基础

核心概念是知识表示、知识推理和知识获取；相关应用是专家系统、知识库、智能决策支持系统。

思维理论 Thinking Theory: 思维是智能的关键

核心概念是认知模型、神经网络和行为主义；相关应用是机器学习、深度学习、自然语言处理。

进化理论 Evolutionary Theory: 取决于感知和行为

核心概念是自然选择、遗传算法和适应性；相关应用是遗传算法、进化策略、人工生命。

在实际应用中，这三个理论往往相互交织。这三个理论各自从不同的角度探讨智能的本质和实现方式，但它们之间存在着紧密的联系和相互影响。

一般认为，**智能是知识与智力的总和**。其中，知识是一切行为的基础，而智力是获取知识并运用知识求解问题的能力，是头脑中思维活动的具体体现。

自然智能和人工智能 Natural Intelligence and Artificial Intelligence

自然智能
Natural Intelligence

模仿
延伸

人工智能
Artificial Intelligence

人工制品所涉及的智能行为

当前主流人工智能：如大模型，需要大量的数据量和高能耗，尤其是在大规模数据处理和复杂任务中，能耗和成本非常高；

人脑：功耗只有20W，只需要一日三餐就可以完成一天高强度、多场景的学习和决策。

例子比较：小蜜蜂的脑和目前的自动驾驶系统

所以，生物脑是一个高度优化的智能系统，可以在极小能耗、少数据量的情况下，实现高度复杂的感知、认知和决策任务。

需要深入挖掘生物脑运行机理



智能行为 Intelligent Behavior

感知 (Perception)

推理 (Reasoning)

学习 (Learning)

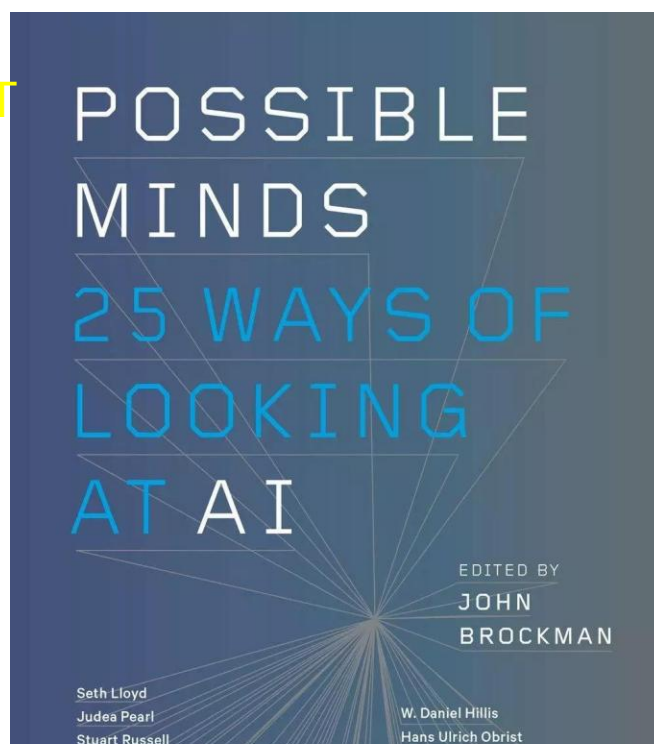
通信 (Communication)

通信和复杂环境下的动作行为 (Acting)

本质上讲，人工智能是研究怎样让计算机模仿人脑从事推理、规划、设计、思考和学习等思维活动，解决需要人类的智能才能处理的复杂问题。

简单地讲，人工智能就是由计算机来表示和执行人类的智能活动。

关于人工智能的讨论 Discussion about AI



人工智能会有意识吗？ 问题问错了！

我们不需要人工意识主体，我们需要的是智能的工具。



思考和讨论

- 1、理解人工智能和自然智能的关系，思考在脑与认知科学及人工智能高速发展的重要时期，作为人工智能相关专业的学生，怎样才能更好地学习和发展专业？**
- 2、思考人工智能伦理问题，比如“人类是需要智能主体还是智能工具？”、“人工智能的潜在影响”等，你怎么理解？**

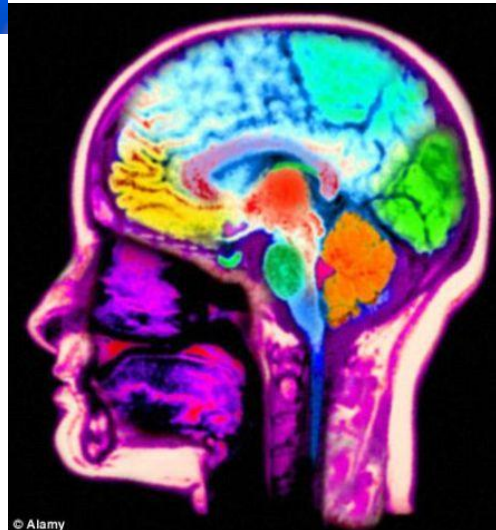
二、脑科学概述 Introduction to Brain Science

巴西神经学家苏扎娜-赫尔库拉诺-霍泽尔



人脑和狒狒脑都具有
860亿神经元neuron

人脑有更多的神经
元用于认知和行为





1. 脑的概述

- 脑的结构和功能都很复杂，是人体内外环境信息获得、存储、处理、加工及整合的中枢。

The structure and function of the brain are very complex, which is the center of obtaining, storing, processing, processing and integration of internal and external environmental information of the human body.

- 大脑是人类的智能发源地，人的一切思维、行为都受到了脑的控制。

The brain is the birthplace of human intelligence, all human thinking and behavior are controlled by the brain.

- 对智能的揭示必须对大脑进行探究，脑科学是智能科学的本质基础。

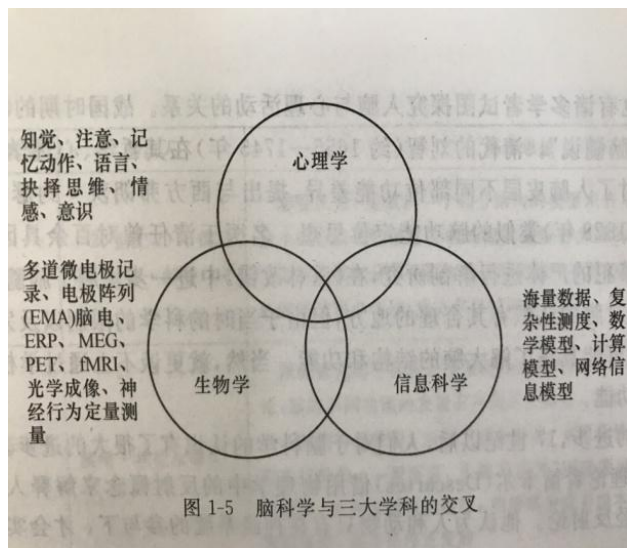
To reveal intelligence, we must explore the brain, and brain science is the essential basis of intelligence science.

2. 智能科学与技术的生物基础——脑科学

Biological Basis of Intelligence Science and Technology-Brain Science

- 脑科学是研究脑认知、意识与智能的本质与规律的科学。

Brain science is a science that studies the essence and law of brain cognition, consciousness and intelligence.



- 脑科学研究范围很广，涉及生命科学各个领域，与数学、物理学、化学、信息学等各个学科都有交叉。是多学科交叉的重要前沿科学领域。

Brain science has a wide range of research, involving various fields of life science, and intersects with mathematics, physics, chemistry, informatics and other disciplines. It is an important frontier scientific field of multi-disciplinary intersection.

- 脑科学的每一步研究都将推动和引领人工智能的发展。

Brain science research will promote and lead the development of artificial intelligence.



(1) 脑科学发展历史 History of Brain Science

- 哲学角度：希腊文明时期，柏拉图；
- 解剖学角度：《脑的解剖学》；战国时期《黄帝内经》脑髓说
- 17世纪以后：巨大进步 笛卡尔神经反射论
- 19世纪末：神经元学说；巴甫洛夫高级神经活动条件反射学说
- 20世纪50年代以来：脑科学理论丰富、发展（见P10）
- 20世纪最后十年：脑的十年，各国脑计划
- **21世纪：生物科学、脑科学的百年**
 - 神经活动基本过程的分子调控机制进行探索（例：浙大胡海岚教授抑郁症研究）
 - 神经元网络与功能之间的关系
 - 神经系统可塑性
 - 神经元和神经胶质细胞之间的相互作用（例：浙大段树民院士研究）
 - 脑功能成像和脑的高级功能（感觉信息加工、学习、记忆、抉择的神经经济学、语言文字的理解）



(2) 脑计划 Brain Projects

- 2005年，美国曾推出 “神经科学研究蓝图” 计划，并于 2013 年投资了 30 亿美元用于推动创新性神经技术开展大脑研究的国家专项计划，2016 年还制定了 “国家人工智能研究与发展战略规划”。美国更侧重于研发新型脑研究技术。

In 2005, the United States launched the Blueprint for Neuroscience Research program, invested \$3 billion in 2013 to promote innovative neurotechnology for brain research, and formulated the National Strategic Plan for Artificial Intelligence Research and Development in 2016. The United States is more focused on developing new brain research technologies.

- 欧盟则主攻以超级计算机技术来模拟脑功能。

The European Union focuses on supercomputer technology to simulate brain function.

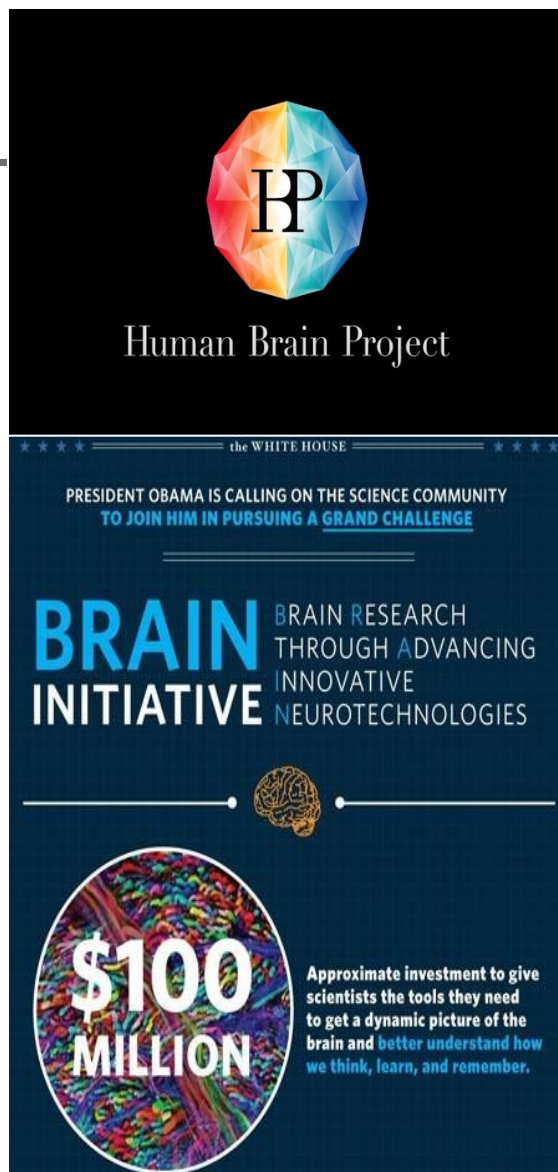
- 日本推出 “脑与心智计划”，主要是以狨猴为模型研究各种脑功能和脑疾病原理。

Japan launched the Brain and Mind Project, mainly using marmosets as a model to study various brain functions and the principles of brain diseases.

人类脑计划

是继人类基因组计划之后，又一个宏大的科学计划。美国、欧盟最先开始人类脑计划。

每个国家的脑计划都有其独特的研究重点和方法，但共同的目标是增进我们对大脑的理解，并利用这些知识来改善人类健康和福祉。由于脑科学的复杂性，这些计划通常需要跨学科合作和国际合作。



- 欧盟则主攻以**超级计算机技术来模拟脑功能**
- 日本 脑/MINDS项目
- 加拿大神经退行性疾病计划
- 澳大利亚大脑计划
- 韩国脑科学先导计划
- 瑞士脑计划



Homework: 查阅各国脑计划内容



人类脑计划关键特征：多学科合作和
国际合作；模拟大脑计算模型；集成
来自不同来源的数据；应用实验和观察
来研究大脑；开发高性能计算平台；
理解大脑疾病，寻找治疗方法；人工
智能；伦理和社会问题、教育和培养
下一代科学家和工程师

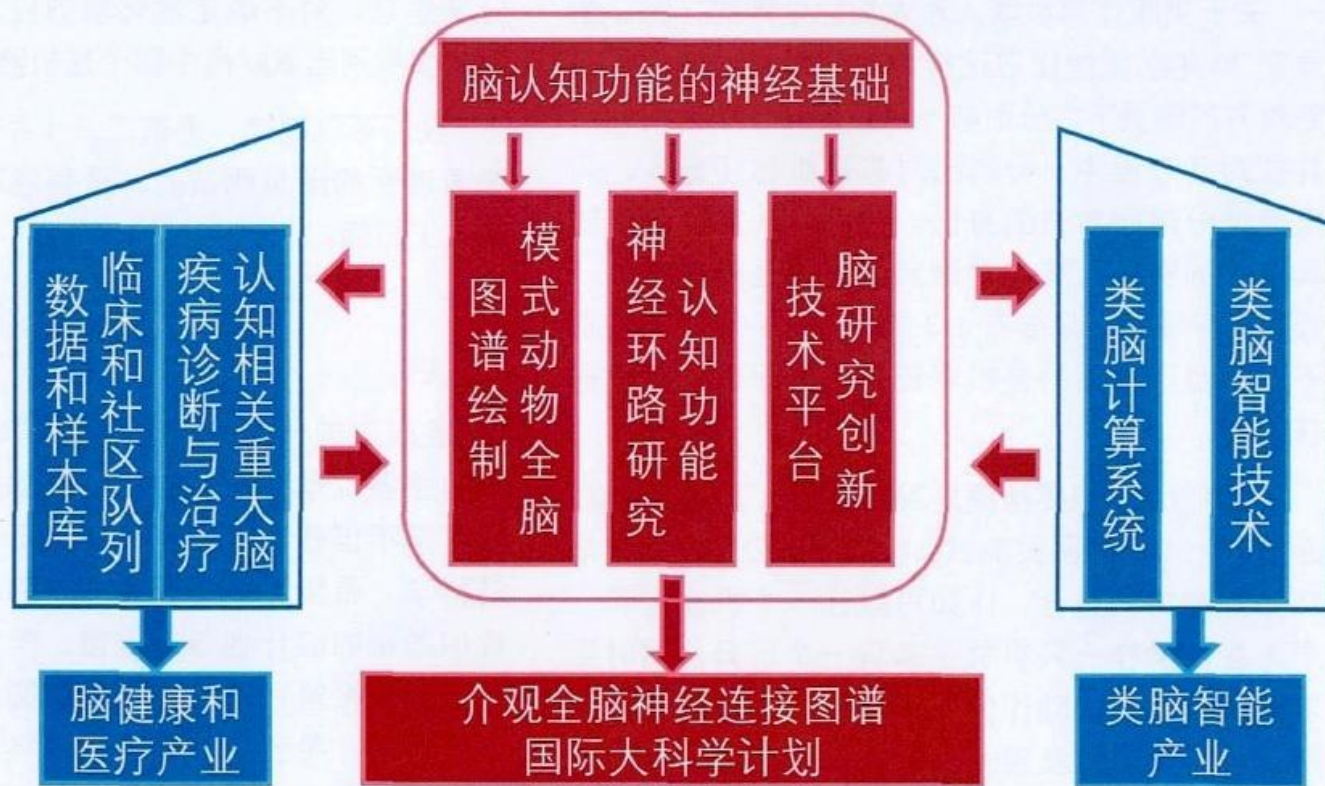
中国脑计划

China brain project: basic neuroscience, brain diseases, and brain-inspired computing

- 经过 4 年讨论，中国在 2018 年正式确定了中国脑计划的内容。
After four years of discussion, China formally determined the content of **China Brain Project in 2018**.
- 融合了上面三个不同层面的布局，主要有三大支柱，形成**一体两翼**的结构：
主体结构是脑认知功能的神经网络基础；
Forming a structure of **One-Entity-Two-Wing**: the main structure is the **neural network basis of brain cognitive function**;
- 其中**一翼**是做**脑疾病的诊断与治疗**----新兴医疗产业；
- One wing is to do **the diagnosis and treatment of brain diseases**
- **另外一翼是类脑人工智能、类脑计算、脑机接口等与人工智能相关的新技术**，该领域对未来人工智能产业具有重大影响。
- The other wing is **brain-inspired artificial intelligence, brain-inspired computing, brain-computer interface and other new technologies related to artificial intelligence**, which have a significant impact on the future artificial intelligence industry.

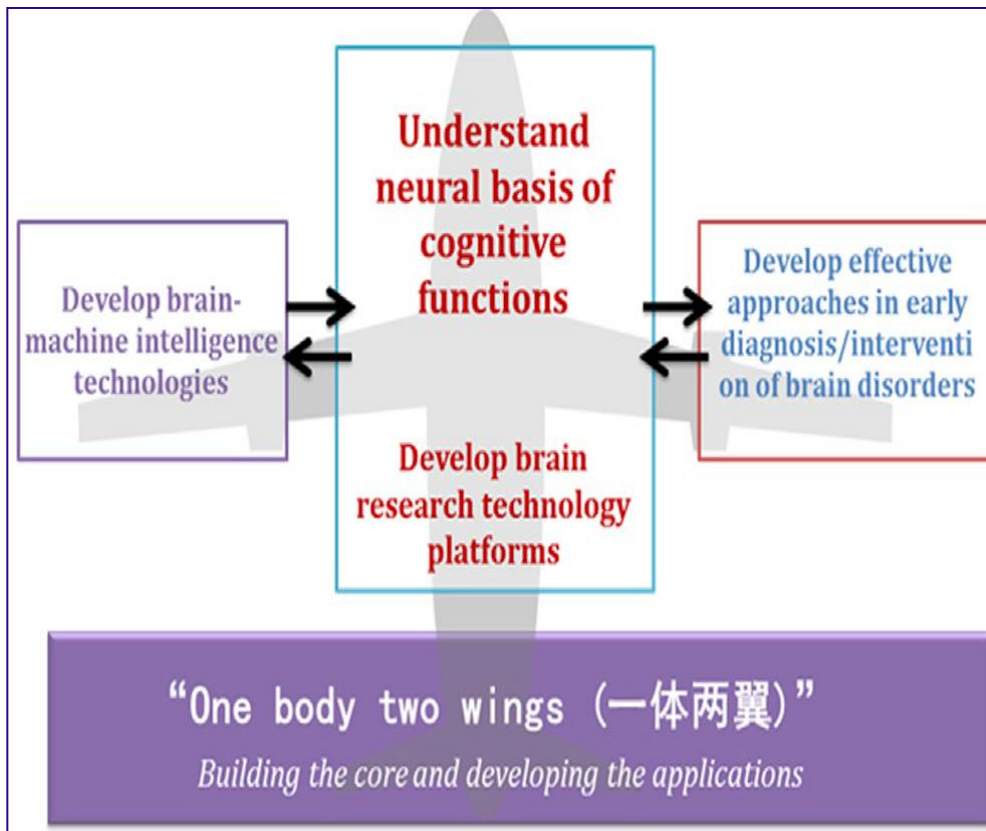
中国脑计划：一体两翼

China Brain Project: One-Entity-Two-Wing



中国脑计划：“一体两翼” China Brain Project: One body Two Wings

中国脑计划的规划和设计



- **主体结构：脑认知功能的神经网络基础**
Neural network basis of brain cognitive function;
- **一翼：重大脑疾病的诊断与治疗**
Diagnosis and treatment of brain diseases
----脑健康和医疗产业
- **另外一翼：类脑人工智能、类脑计算、脑机接口等与人工智能相关的脑机智能技术**
Brain-inspired artificial intelligence, brain-inspired computing, brain-computer interface and other new technologies related to artificial intelligence
----类脑智能产业

必须坚持的三个原则：

- 1、有所为，有所不为
- 2、要在重要的前沿领域占一席之地
- 3、优势领域一定要更加强，一定保持领先

中国脑计划对人工智能技术发展的影响

- **推动类脑计算和脑机智能技术的发展**

利用脑科学的研究成果来启发新的计算模式和算法，以及开发类脑硬件和软件

- **加强人工智能与脑科学的交叉融合**

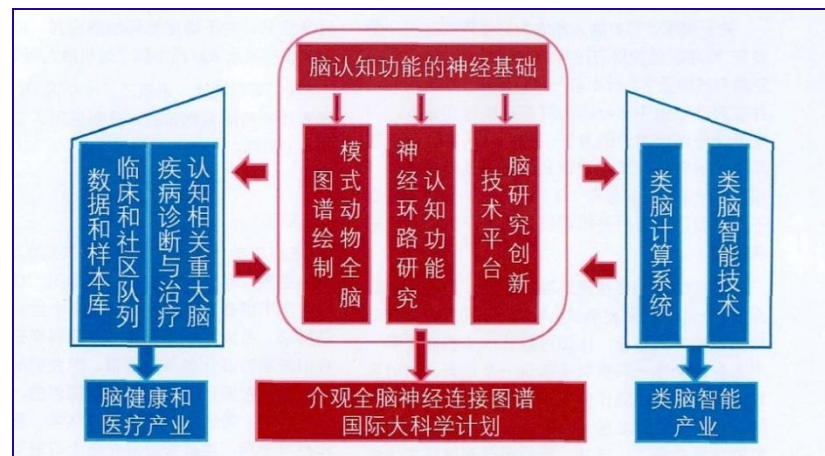
通过脑科学对人工智能的启发，推动专用人工智能向通用人工智能的转变

- **为人工智能提供新的研究方向和应用场景**

如脑疾病的早期诊断和治疗、脑机接口技术等，同时，将开拓人工智能技术在医疗健康、智能制造、智能服务等多个领域的应用场景

- **为人工智能技术的发展储备人才**

设立青年人才培育计划和提供特殊资助，促进青年科研人员在脑科学和人工智能领域的研究





(3) 脑科学的三个发展方向

The future development of brain science

脑科学的发展方向

The future development of brain science are introduced in three aspects:

- **Understanding brain 理解脑**

阐明脑认知功能的神经基础和工作原理

- **Protecting brain 保护脑**

促进智力发展，防治脑疾病和创伤

- **Simulating brain 模拟脑**

研发类脑计算方法和人工智能系统



三、认知科学概述 Introduction to Cognitive Science

- 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。
Cognitive science is the process of exploring how human intelligence is generated by matter and how information is processed in the human brain.
- 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。
Cognitive science is a frontier science that studies the essence and regular pattern of human cognition and intelligence.
- 认知科学是发现智能的表达和计算的规律，揭示认知系统的结构、功能和操作要素的特点。
Cognitive science is to discover the laws of expression and calculation of intelligence, and to reveal the characteristics of the structure, function and operation elements of cognitive system.
- 认知系统的最根本的认知功能就是对信息的重构（reconstruction）。



1. 智能科学与技术的中间件——认知科学

Middleware of Intelligence Science and Technology

—— Cognitive Science

- 认知科学以脑科学研究为基础，同时也反作用于脑科学，并对智能科学的应用提供了重要的基础。

Cognitive science is based on the research of brain science, and at the same time, it also reacts on brain science, and provides an important basis for the application of intelligence science.

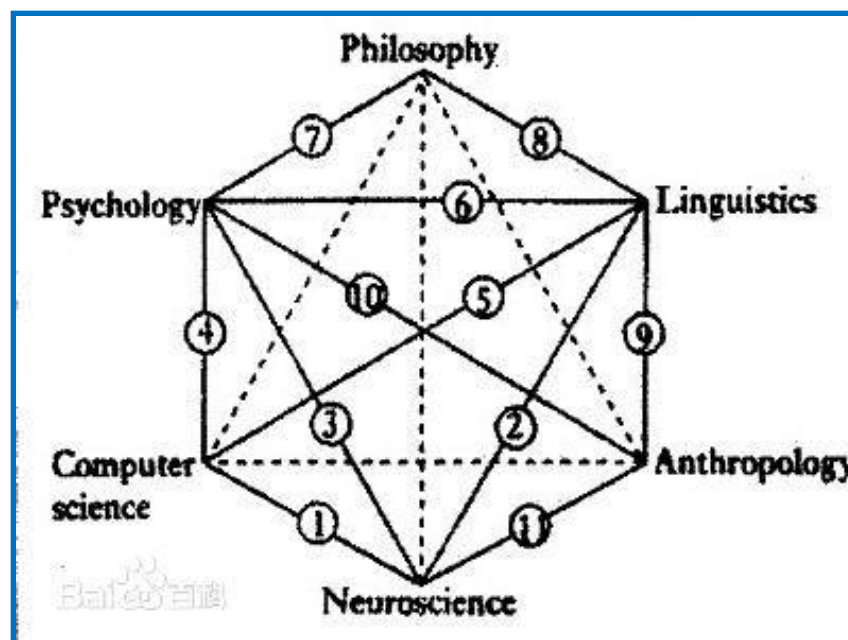
- 心智是脑和神经的功能，而脑与心智之间的桥梁就是认知。

Mind is the function of brain and nerve, and cognition is the bridge between brain and mind.

2. 认知科学学科结构

- 心理学、语言学、人类学、计算机科学和神经科学6大学科整合在一起研究“在认识过程中信息是如何传递的”，这个研究计划的结果产生了一个新兴学科——**认知科学**。

Psychology, linguistics, anthropology, computer science and neuroscience are integrated to study how information is transmitted in the process of cognition, and the result of this research project has produced a new discipline-cognitive science.



认知科学学科结构



3. 认知科学的研究历史

History of Cognitive Science Research

- 古希腊时代：哲学思辨；
- **1879年**：德国人冯特，第一个心理实验室，认知问题实验研究
- **1967年**：美国心理学家奈塞，认知心理学
- **1975年**：认知科学
- **1979年**：第一届认知科学会议
- **20世纪最后十年至现在**：

脑的十年，**各国脑计划**

包括知觉、注意、记忆、动作、语言、推理和思考、意识乃至情感动机在内的各个层次和各个方面的人类认知和智力活动都被列入研究重点。



4. 认知科学的研究目标

Research Objectives of Cognitive Science

- 探索智力和智能的本质，建立认知科学和新型智能系统的计算理论，解决对认知科学和信息科学具有重大意义的若干理论基础和智能系统实现的关键技术问题。

To explore the essence and capability of intelligence; To establish the computational theory of cognitive science and new intelligent systems; To solve some theoretical foundations with great significance of cognitive science and information science, and solve key technical problems in the realization of intelligent systems.

- 以知觉表达、学习和记忆过程中的信息处理、思维、语言模型和基于环境的认知为突破口，在认知的计算理论和实验方法与策略等方向实现原始创新；

To achieve original innovation in the direction of computational theory and experimental methods and strategies in the process of perceptual expression, learning and memory, information processing, thinking, language model and environment-based cognition as a breakthrough point;

- 探讨创新学习机制，建立脑功能成像数据库，提出新的机器学习方法。

To explore the mechanism of innovative learning, and establish the database of brain functional imaging, and propose new methods of machine learning.



5. 认知科学的研究内容

Research Contents of Cognitive Science

- 学习与记忆过程的信息处理
- 思维、语言认知问题
- 基于环境的认知
- 计算认知学的感知信息获取与处理
- 意识问题



6. 认知科学的研究方法

Research Methods of Cognitive Science

- 认知内在主义方法

指从**心智内在因素的关联**中研究认知问题，不考虑外在因素对心智的影响的方法论。

- 认知外在主义方法

指从**心智之外的行为、文化等因素**来解释心智的功能的方法论。

- 认知语境主义方法

指从**心智的内在和外在因素整合**上认识心智的方法论，这种整合也即相关认知多因素的整合，表现出认知内在主义和认知外在主义方法的整合。

- 研究思路

认知心理学：top-down 策略，心理能力——计算结构

人工神经网络：bottom up 策略，简单模型不断增加复杂度，达到真正模拟

认知神经科学：bottom up 策略，立足功能单位和神经元理论，从真正的大脑工作开始。



思考题 Questions need to be thought

- 什么是智能科学、脑科学、认知科学、人工智能？他们之间的关系是什么？
- 人工智能与人类智能的关系是什么？
- 脑科学的研究内容是什么？
- 认知科学的研究内容是什么？
- 脑科学与人工智能的关系是什么？
- 脑科学与认知科学的实验技术有哪些？
- 简述认知科学的研究方法和思路。