

# 人工智能理论与实践

张文生 研究员

中国科学院自动化研究所

2016年9月8日

- 人工智能（Artificial Intelligence, AI）是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术与应用系统的一门新的交叉学科
- 目的：从人工智能的内涵、本质出发，讲解了五十多年来人工智能的研究起起伏伏，让学生们理解历史上哪些研究至今还是重要的？判断哪类研究是没有意义的？从而悟出如何开展人工智能的研究，特别是如何应用。

# 课程安排

## 1. 综述

- 自动定理证明

- 2. 命题逻辑与一阶谓词逻辑
- 3. Herbrand定理与归结原理

- 搜索

- 4. 产生式系统与搜索(一)
- 5. 产生式系统的搜索(二)
- 6. 知识表示与专家系统

- 机器学习

- 7. 符号机器学习
- 8. 统计机器学习
- 9. 概率图模型
- 10. 深度学习
- 11. 在线机器学习
- 12. 集成机器学习
- 13. 大数据学习问题

- 考试

- 14. 笔试2.5小时

# 基础部分参考材料

- Artificial Intelligence: a new synthesis
  - Nils J. Nilsson, 1998
- Artificial Intelligence: A modern approach
  - Stuart Russell, Peter Norvig
  - 人民邮电出版社, 2004
- Neural Networks and Learning Machines
  - Simon Haykin
  - 机械工业出版社, 2011
- Artificial Intelligence(second edition)
  - Rich, Knight, 1991
  - New York: McGraw-Hill

- The nature of statistical learning theory
  - V N Vapnik
  - Springer-Verlag New York, 2000
- 人工智能(上下册)
  - 陆汝钐, 1989, 1995
  - 科学出版社
- 人工智能导论
  - 马少平, 朱小燕
  - 清华大学出版社
- 人工智能及其应用
  - 蔡自兴, 徐光祐
  - 清华大学出版社



# 高级部分参考材料

- Bayesian Reasoning and Machine Learning
  - Barber
  - Cambridge University Press , 2012
- Probabilistic Graphical Models
  - Koller , Friedman
  - MIT Press , 2009
- Pattern Recognition and Machine Learning
  - Bishop
  - Springer , 2006
- Elements of Statistical Learning
  - Hastie, Tibshirani , Friedman
  - Springer , 2009

- [Yoshua Bengio, Learning Deep Architectures for AI, Foundations and Trends in Machine Learning, 2\(1\), 2009](#)



# 联系方式

- [Wensheng.zhang@ia.ac.cn](mailto:Wensheng.zhang@ia.ac.cn)
- 中国科学院自动化研究所  
自动化大厦6层620-629

# 内容简介

- 人工智能的产生
- 重要里程碑事件
- 人工智能基础
- 人工智能应用

# 内容简介

- 人工智能的产生
- 重要里程碑事件
- 人工智能基础
- 人工智能应用

# 引言

- 人工智能作为独立的学科(1956年)已经有60年的历史，最近发展尤为迅速
- 当代人工智能的两大支柱：知识表示、搜索技术
- 知识表示包括：  
演绎系统、产生式系统、框架结构、语义网络和过程性质使得表示等。
- 搜索技术：  
盲目搜索、启发式搜索、博弈树搜索、状态空间搜索、问题空间搜索等。

# 目的

- 近五十年来，人工智能的研究起起伏伏，新的研究成果不断出现，同时大量研究被摒弃
- 历史上，哪些研究至今还是重要的？判断哪类研究是没有意义的？
- 了解这些思想与研究，对今后的研究十分重要

# 人工智能之前的研究(1)

- 十九世纪末James关于神经结构的研究，神经系统由神经元组成，神经元之间是相互连接的
- 二十世纪中叶McCulloch与Pitts对神经元工作方式的研究，神经元有兴奋与抑制两种状态



# 人工智能之前的研究(2)

- Turing的计算理论与Turing测试
- Wiener的控制论
- Shannon的信息论

# Turing测试(1950)

- 测试者A，被测试者B与C
- A是人，B与C一个是人，另一个是计算机
- A提出问题，B与C分别回答
- 如果B与C的回答，使得A无法区分是人的回答还是计算机的回答，则计算机具有了智能
- Turing测试第一次给出了检验计算机是否具有智能的哲学说法
- Turing是人工智能之父

# Searle的批评(汉语实验室)

- 一个不懂汉语的人A，一个充分详细的汉语问答手册
- 不计查手册的时间代价
- 给A一个使用汉语提出的问题，A通过汉语符号的比对使用手册，给出回答
- Searle问，如果A通过查手册做出的回答与懂汉语的人一样，A懂汉语吗？

# “深蓝” (Deep Blue)



IBM RS/6000 SP  
超级计算机

# “深蓝” 下棋程序

- 1997年，IBM设计了 this 程序
- 战胜卡斯帕罗夫！
- “深蓝” 有智能吗？

# Wiener的控制论

- 反馈
- 对变化环境的适应性
- 控制的统计特性
- 计算



# “人工智能”提出

- 一般的说，人工智能这个术语来源于1956年（夏季的）一次关于“复杂信息处理”的 Workshop(达德茅斯大学，MaCarthy 提出Artificial Intelligence这一名词)
- 在这次会议上，J.MaCarthy建议将这类研究称为人工智能

# 复杂信息处理

- 在50年代，计算局限在数值处理，例如，计算弹道等
- 1950年，Shannon完成了第一个下棋程序。开创了非数值计算的先河
- Newell, Simon, MaCarthy and Minsky等均提出以符号为基础的计算

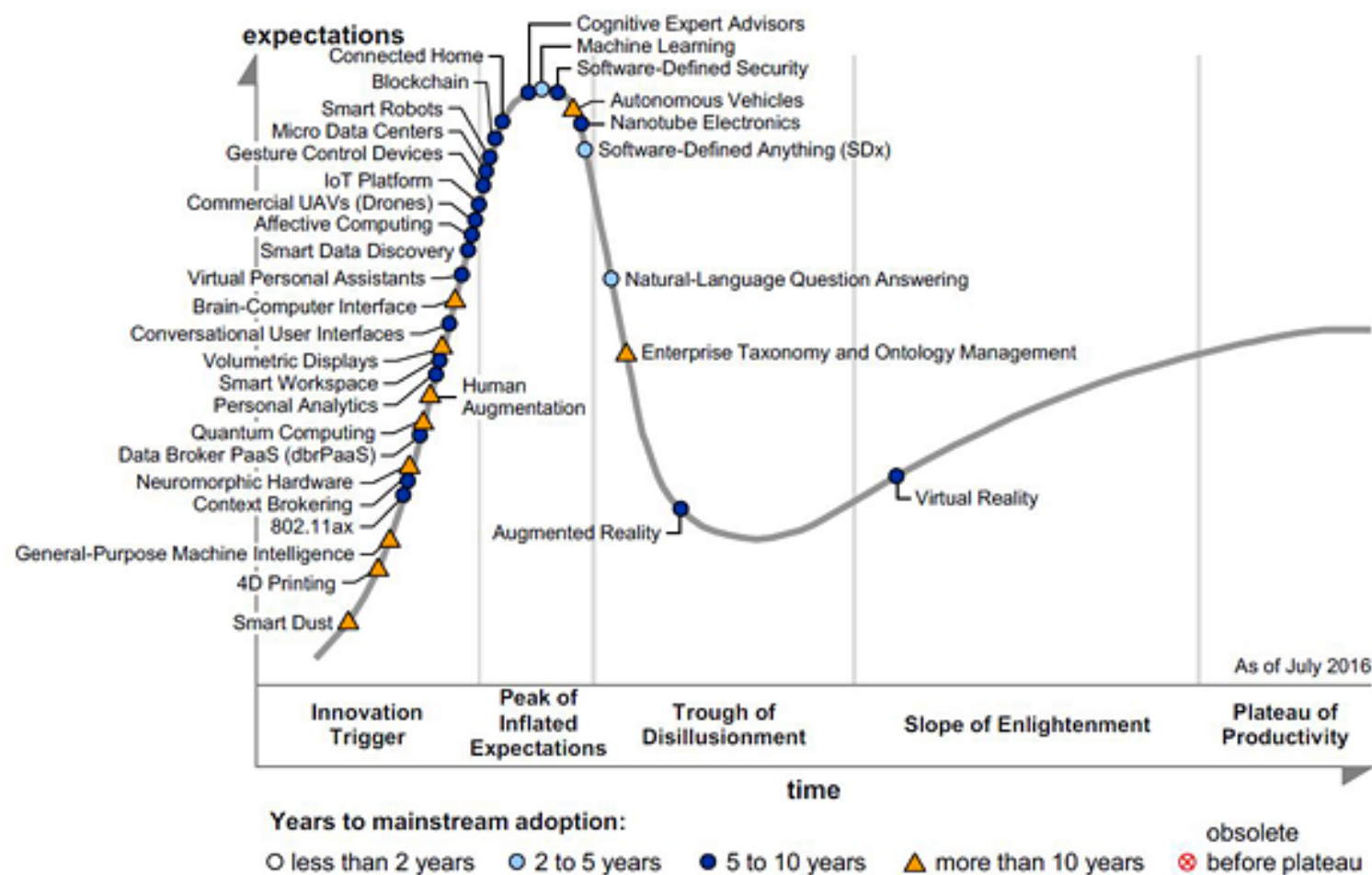
# 复杂信息处理的任务

- 将人的信息加工理解为一种计算
- 计算机的功能是计算，信息加工是计算，计算机似乎可以完成人类大脑完成的信息加工任务
- 符号加工、表示、推理、学习将代替数值计算，成为计算机的主要用途
- 复杂信息本质上就是非线性信息，解决非线性问题是主要任务

# 人工智能的任务

- 根据人类信息加工原理，设计计算系统，以使计算机完成更复杂的任务
- 使用计算系统研究人类的思维活动规律

# 2016年新兴技术竞争优势报告



Source: Gartner (July 2016)



# 内容简介

- 人工智能的产生
- 重要里程碑事件
- 人工智能基础
- 人工智能应用



# 重要里程碑事件

- 启发式搜索
- 感知机
- 基于符号的规则表示
- 适应性
- 知识发现
- 机器学习理论与方法

# 重要事件---启发式搜索

- 1960年，Simon发表了重要的关于启发式搜索的报告
- 据此，Newell, Simon and Shaw发表了通用问题求解器---GPS(General Problem Solver)

# 启发式搜索

- 分析中学生解几何习题的口述报告，Simon认为人类信息加工过程，是在经验知识启示下，对解空间的搜索过程
- 经验知识多少，决定了问题求解的有效性，  
**启发式搜索**

# 重要事件---感知机

- Rosenblatt根据神经网络的工作方式提出了感知机理论。以此解决机器学习问题
- 这是一个线性学习理论

# Minsky的批评

- 1969年，Minsky出版Perceptron一书
- 一方面，他批评感知机无法解决非线性问题，例如，XOR问题
  - 复杂性信息处理应该以解决非线性问题为主
- 另一方面，几何方法应该代替分析方法作为主要数学手段

# 重要事件---人工神经网络

中国科学院  
自动化研究所  
INSTITUTE OF AUTOMATION  
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

- 直到1986年，Rumelhart发现了BP算法，才导致感知机之类的研究重新兴起
- 1988年，Minsky重版他的Perceptron，并指出，BP算法没有解决他在二十年前提出的问题
- 不幸被他言中了



# NP-Hard

- BP算法是非线性优化算法
- 非线性优化算法是NP-Hard问题
- 这意味着，不可能存在一种改进，使得这类算法能够解决大量数据问题
- 除非改变算法本身

# 重要事件---SVM

- 1991年，前苏联数学家Vapnik到了西方，带来了他在1971年的一项研究，统计学习理论
- 人们重新认识了感知机与几何在算法设计中的作用

# SVM原理

- 基于泛函分析原理，将样本从欧氏空间映射到Hilbert空间
- 在Hilbert空间定义划分，以使在欧式空间为非线性划分问题变换为在Hilbert空间为线性划分问题
- 从而回归到Rosenblatt的感知机

## 重要事件---规则表示

- 尽管Widrow的研究没有获得成功，但是，却导致基于规则的知识表示的发展
- Samuel最先提出使用这种知识表示方法，并使用其设计了下棋程序
- 影响了二十年人工智能的发展

# 重要事件---A\*算法

- 1971年，Nillson提出A\*搜索算法
- 这是对启发式搜索理论的研究结果
- 这个算法第一次给出了启发式函数对搜索的定量描述
- 没有给出获得启发式知识的途径

# 重要事件---Resolution原理

中国科学院  
自动化研究所  
INSTITUTE OF AUTOMATION  
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

- 基于符号的表示使得基于逻辑的推理成为可能
- 1965年，Robinson根据30年代Herbrand证明的一个定理，提出了一种相对简单的定理证明的方法，称为Resolution



## 重要事件---KRL

- KRL----Knowledge Representation Language
- 这个研究建立了语义网络、Frame等重要的知识表示的形式化方法
- 目前这已成为面向对象程序设计的主要理论基础之一

# 重要事件---Classifier系统

- 1975年，Holland提出了classifier系统
- 遗传算法
- 对变化环境的适应性(桶队算法)
- 进化计算
- 复杂性

# 重要事件---临场AI

- 1986年，Brooks提出了临场AI的考虑
- 关键是：智能行为来源于对变化的真实环境的适应
- 机器昆虫

# 重要事件---知识发现

- 1979年，CMU发展了Bacon系统。试图从数据重新发现天文学知识
- 1981年，Stanford发展了AM系统，试图发现新的数学定理
- 这些研究成为近年来Data mining的原始思想

# 重要事件---ID3

- 1986年，Quinlan提出了ID3机器学习算法
- 基于特殊等价关系对给定数据集划分
- 重要的是，这个模型使用了一种树结构，称为决策树
- 优点：存在快速算法
- 缺点：有大量冗余

# 重要事件----Rough Set理论

中国科学院  
自动化研究所  
INSTITUTE OF AUTOMATION  
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

- 1981年，波兰数学家Pawlak提出了Rough set理论
- 用数学工具规范了一类机器学习
- Reduct, Core, 正区域等概念，已成为数据描述的有力工具
- 已找到计算这些概念的对样本数量为线性的算法



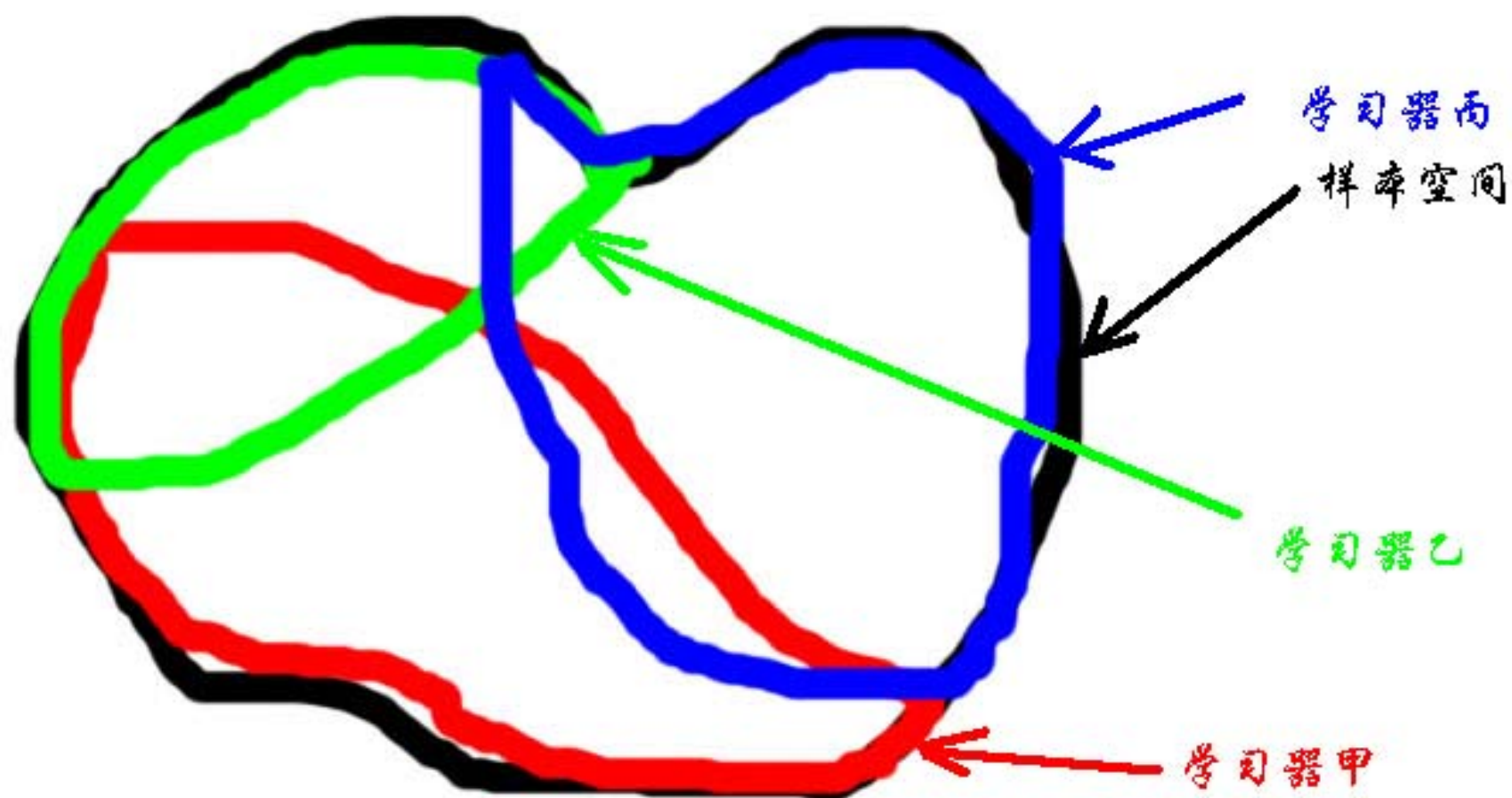
# 重要事件---流形学习

- 自2000年在著名的科学杂志《Science》被首次提出流形学习 (Manifold Learning)以来，已成为机器学习领域的研究热点
- 假设数据是均匀采样于一个高维欧氏空间中的低维流形，流形学习就是从高维采样数据中恢复低维流形结构，即找到高维空间中的低维流形，并求出相应的嵌入映射，以实现维数约简或者数据可视化
- 从观测到的现象中去寻找事物的本质，找到产生数据的内在规律

- 流形学习方法分为线性流形学习算法和非线性流形学习算法
- 非线性流形学习算法包括等距映射 ( Isomap )、拉普拉斯特征映射 ( Laplacian eigenmaps , LE )、局部线性嵌入 (Locally-linear embedding , LLE)等
- 线性方法则是对非线性方法的线性扩展，如主成分分析 ( Principal component analysis , PCA ) ，多维尺度变换 ( Multidimensional scaling , MDS ) 等

# 重要事件---集成机器学习

- 在机器学习中，直接建立一个高性能的分类器是很困难的
- 如果能找到一系列性能较差的分类器，并把它们集成起来的话，也许就能得到更好的分类器
- 集成学习，就是一种把输入送入多个学习器，再通过某种办法把学习的结果集成起来，每一个学习器也就被称为“弱学习器”
- **为什么ensemble会有效？** Dietterich, T. G. (2000)在ensemble learning in machine learning中从统计、计算、表示三个方面解释

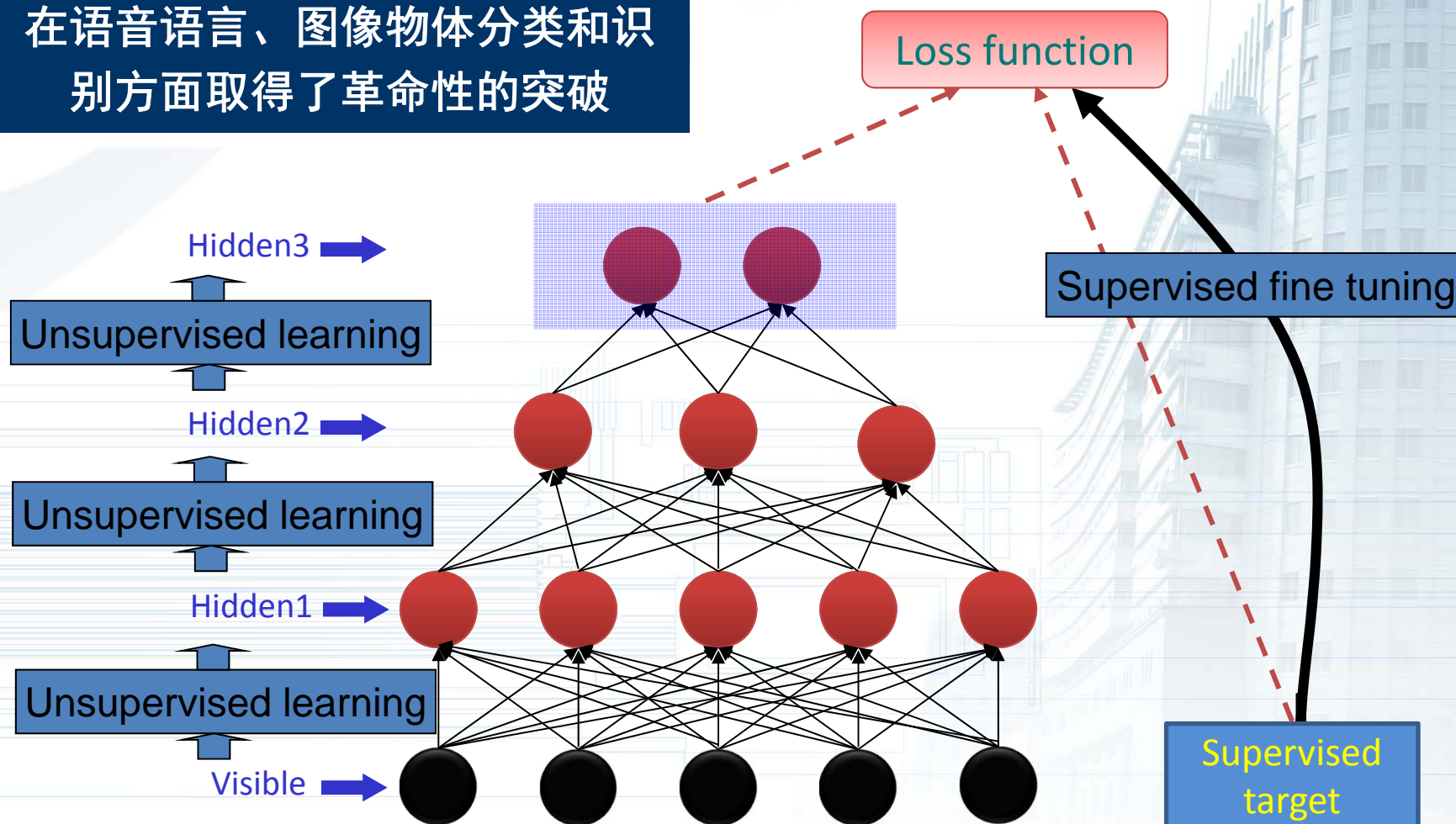




# 重要事件---Deep learning

- 深度学习的概念由Hinton等人于2006年提出。基于深信度网 (DBN) 提出非监督贪心逐层训练算法，为解决深层结构相关的优化难题带来希望，随后提出多层自动编码器深层结构
- Lecun等人提出的卷积神经网络是第一个真正多层结构学习算法，它利用空间相对关系减少参数数目以提高训练性能
- 深度学习的概念源于人工神经网络的研究，含多隐层的多层感知器就是一种深度学习结构。深度学习通过组合低层特征形成更加抽象的高层表示属性类别或特征，以发现数据的分布式特征表示

在语音语言、图像物体分类和识别方面取得了革命性的突破





# 深度学习

consistent  
of the nonlinear optical properties of metallic

ations. The  
sured SHG  
nce in Fig.  
, we find  
e the noise  
nal closely  
ent power  
Emission  
angle with  
tions from  
SRRs (see  
ll detuning  
vavelength  
; the SHG  
6. For ex-  
th vertical  
nd a small  
excitation  
al incident  
significant  
again po-

## Reducing the Dimensionality of Data with Neural Networks

G. E. Hinton\* and R. R. Salakhutdinov

High-dimensional data can be converted to low-dimensional codes by training a multilayer neural network with a small central layer to reconstruct high-dimensional input vectors. Gradient descent can be used for fine-tuning the weights in such "autoencoder" networks, but this works well only if the initial weights are close to a good solution. We describe an effective way of initializing the weights that allows deep autoencoder networks to learn low-dimensional codes that work much better than principal components analysis as a tool to reduce the dimensionality of data.

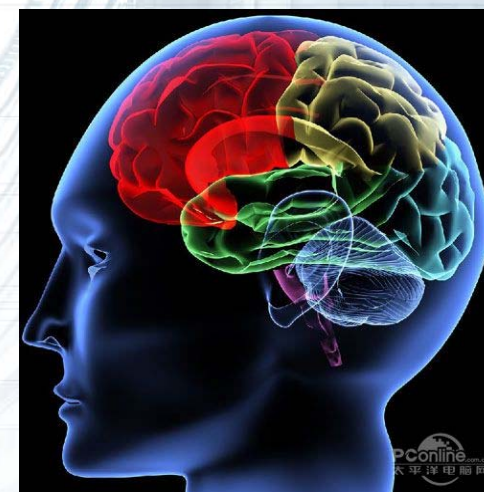
Dimensionality reduction facilitates the classification, visualization, communication, and storage of high-dimensional data. A simple and widely used method is principal components analysis (PCA), which finds the directions of greatest variance in the data set and represents each data point by its coordinates along each of these directions. We describe a nonlinear generalization of PCA that uses an adaptive, multilayer "encoder" network

28 JULY 2006 VOL 313 SCIENCE www.sciencemag.org

1、深度学习可以学得更好的特征

2、只有深层结构才能发挥作用

3、大型计算平台满足要求



# 重要事件---概率图模型

基于平均的研究已经过去20余年，2009年，Koller出版巨著(近1200页)，概率图模型。

↓

结构(全局) + 平均(局部)

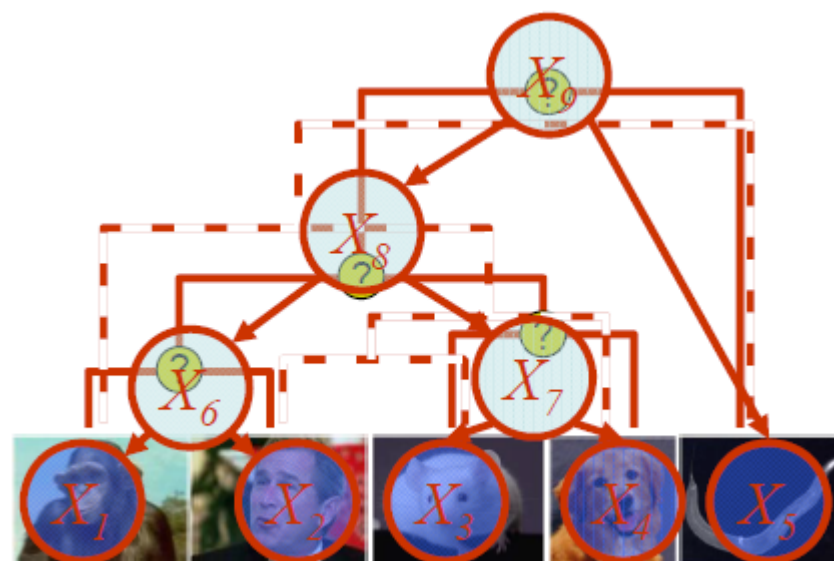
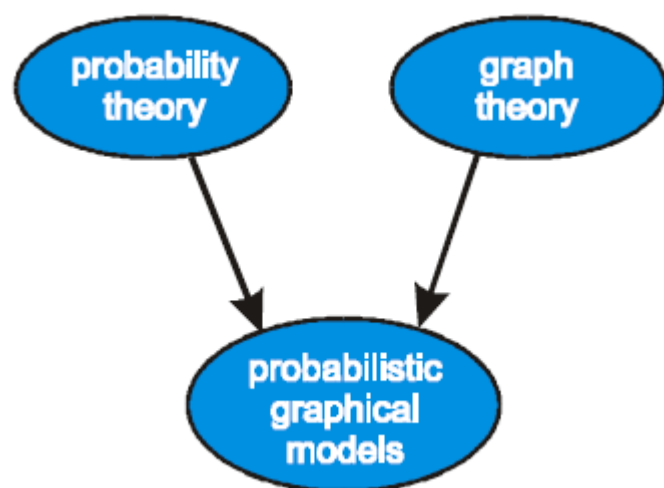
↓

将平均放在局部，避免了维数灾问题，同时保证了泛化和模型的可解释性，关键是结构，将局部的平均构造起来。

将问题考虑为求解Bayes问题

# 概率图模型

- 概率图模型是用图结构表达概率相关关系的一类模型的总称，是图论与概率论的有机结合。
- 它为简洁地表示、有效地推理和学习各种类型的概率模型提供了可能。



# 内容简介

- 人工智能的产生
- 重要里程碑事件
- 人工智能基础
- 人工智能应用

- 知识表示
- 推理方法
- 启发式搜索



# 知识表示

- 在理论上
  - 表示：一类特定的数学基函数
  - 知识表示：在特定数学基函数下的模型
- 在技术上
  - 表示：一种数据结构
  - 知识表示：在特定数据结构下的模型



# 推理方法

- 给定逻辑公理，在这公理意义下的演绎过程
- 对AI，这个公理不仅有数学意义，而且更为重要的是这个公理必须反映实际世界的现象
- 这是与纯数学研究的本质差别

# 搜索空间

- 搜索是计算的基础之一
- 如果搜索的空间是NP的，并且这个空间比较大，这就是不可解的
- 解决这样问题的方法，有两个：
  - 难度方法(hardness)
  - 启发式方法，这已成为计算机科学普遍使用的方法

# 启发式搜索

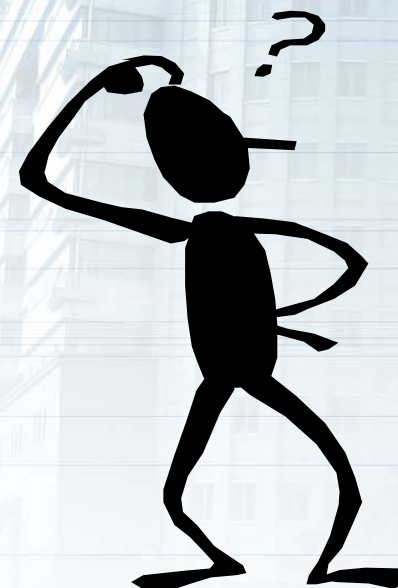
- 启发式知识是经验的
- 无需考虑对某个问题的完备性，这意味着，获得的解可能对给定目标不是最优的
- 但是，一定是次优的、可接受的

# 内容简介

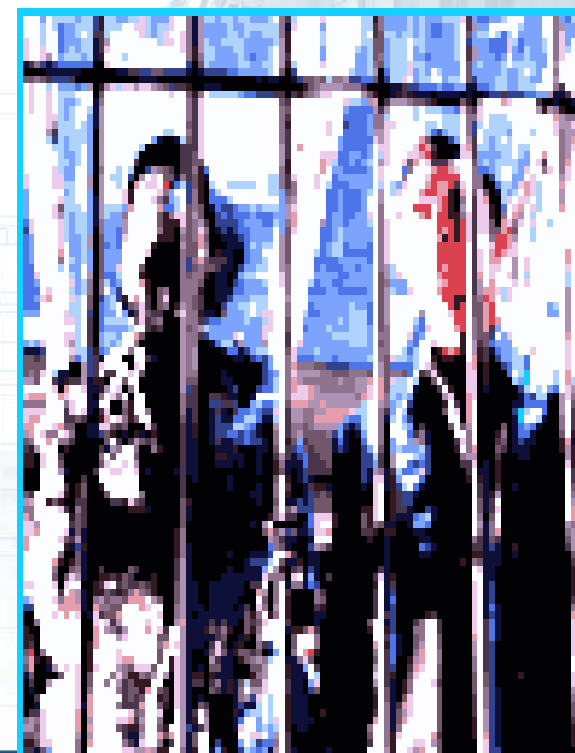
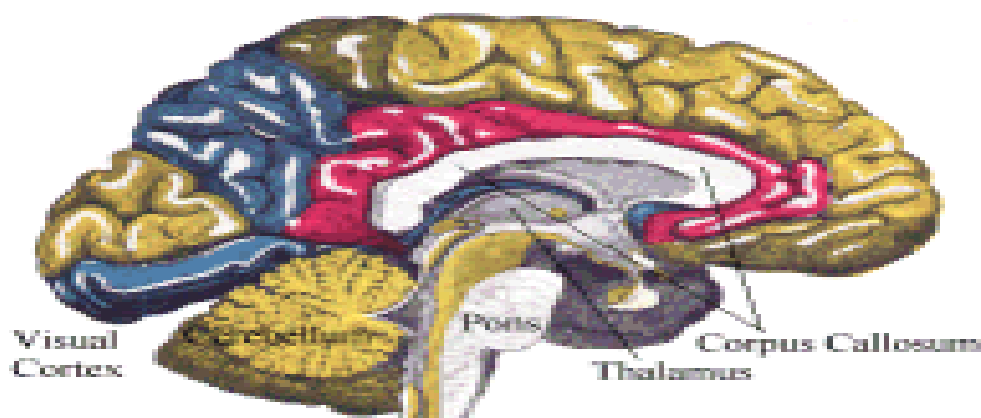
- 人工智能的产生
- 重要里程碑事件
- 人工智能基础
- 人工智能未来

## 对人工智能发展历程的反思

- 1965年发明的消解法(归结原理)曾给人们带来了希望
- 人们很快就发现了消解法的能力也有限，证明“连续函数之和仍连续”是微积分中的简单事实，可是用消解法(归结法)来证明时，推了十万步（归结出几十万个子句）尚无结果



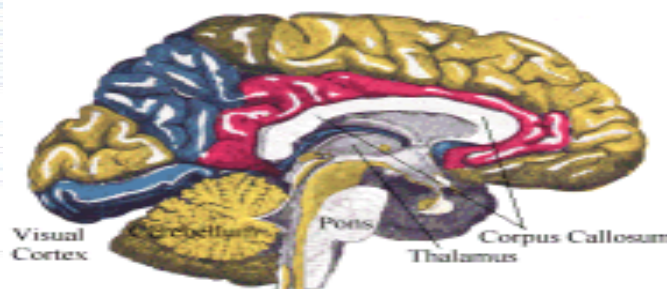
- 从神经生理学角度研究AI的人发现他们遇到了几乎是不可逾越的困难：以电子线路模拟神经元及人脑都并没有成功。





## • 人脑的复杂

- 60年代中期至70年代初期AI受到了各种责难，人的脑  
子有 $10^{10}$ （百亿）以上的神经元，生理学家认为，每个  
神经元可能不只是一个信息存储转送单位，而是一台  
完整的自动机，当时的计算技术要把 $10^{10}$ （百亿）台机  
器组成一个联合运行的网络是不可能的。

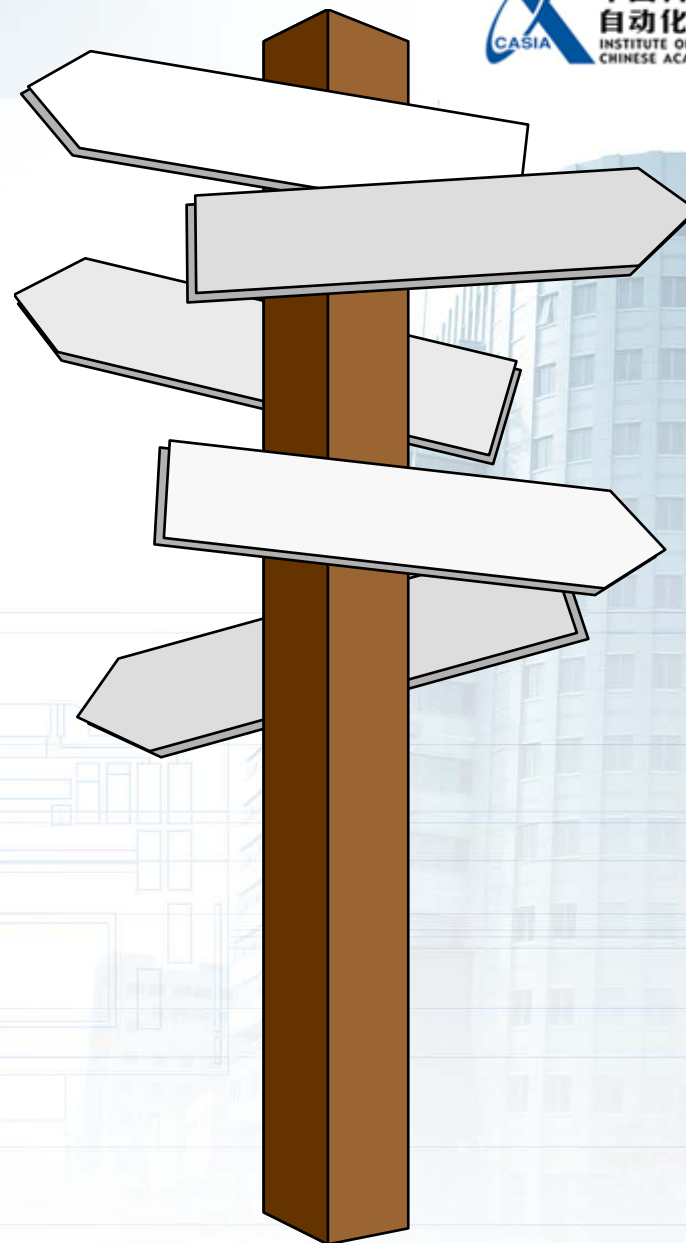


- 问题求解中的组合爆炸问题，例如国际象棋走第一步有 $10^{120}$ 种可能，用原有的计算机速度要 $10^{90}$ 年，而宇宙的年龄是 $10^{10}$ 年，所以有人讲，计算机下棋走第一步要走到“世界的末日”
- 由此可见：不能光靠把所有可能性存入计算机，而要研究人的思维方法



## 敢问路在何方？

- 充分估计困难
- 有抓到本质



- 研究和总结人类思维的普遍规律并用计算机模拟它的实现, 创建一个万能的逻辑推理体系
- 而年轻一代(以斯坦福大学的年轻教授Feigenbaum为代表)认为, 万能的逻辑推理体系根本就不可能存在, 它最大的弱点是缺乏知识, 它的主要技术(状态空间搜索技术)的主要困难是“组合爆炸”。要摆脱困境, 只有大量使用知识
- THERE IS POWER IN THE KNOWLEDGE



知识

# 网络化、智能化

- 90年代，计算机发展趋势为小型化、并行化、网络化、智能化。
- 人工智能技术逐渐与数据库、多媒体等主流技术相结合，并融合在主流技术之中，旨在使计算机更聪明、更有效、与人更接近。



# 人工智能学科的未来

- 社会信息化已经进入智能化的新阶段
- 脑科学、认知科学、复杂性科学和逻辑学迅速发展
- 机器智能和智能机器的需求日益强烈
- 对智能本质和机制的认识日益深入全面



**感谢同学们听课**  
**欢迎讨论与交流**