



第 I 部分 计算智能简介

第1章 计算智能简介

卜晨阳

邮箱: chenyangbu@hfut.edu.cn

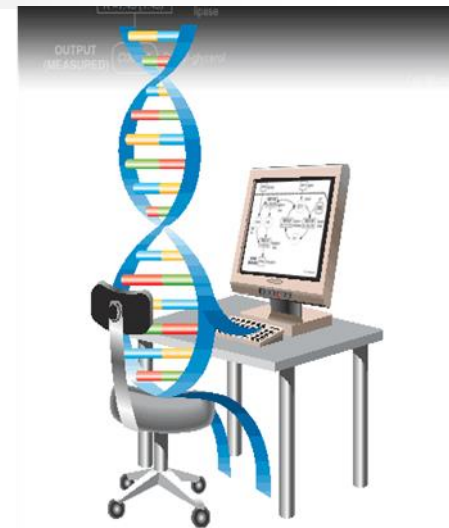
计算机科学与技术学院

合肥工业大学



目录:

- 与人工智能的区别和联系
- 计算智能简介
- 典型方法
 - 人工神经网络
 - 进化计算
 - 群体智能
 - 模糊计算



课程简介

■ 课程目的和基本要求

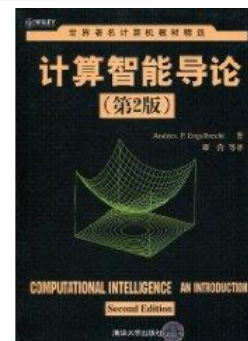
1. 掌握进化计算、神经计算、模糊计算的基本原理、方法和应用技术，了解计算智能的最新发展动向。
2. 按时完成作业，体会有关模型的性能与用法，加深对课程内容的理解。

■ 课程特点

- 内容多，交叉性强。

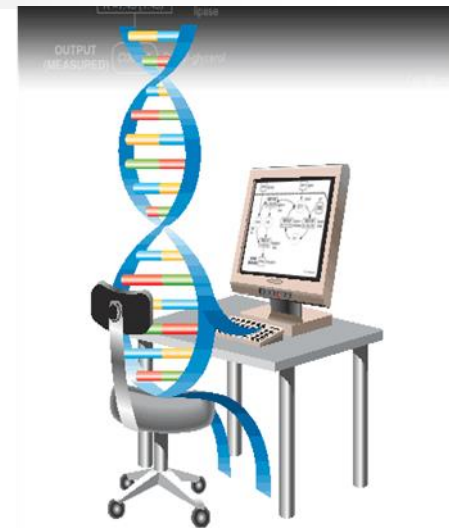
计算智能部分推荐参考书

- Andries P. Engelbrecht. [Computational Intelligence: An Introduction](#) (2 Edition). Wiley Publishing, Inc, 2009.
 - 谭营等译。计算智能导论（第2版）。清华大学出版社，2010年。
- 注：仅推荐学有余力的同学课下阅读



目录:

- 与人工智能的区别和联系
- 计算智能简介
- 典型方法
 - 人工神经网络
 - 进化计算
 - 群体智能
 - 模糊计算





计算智能与人工智能的区别和联系

- 回顾：什么是人工智能？

回顾：人工智能的含义

- 有不同的定义：

- **Wikipedia**: a system's ability to correctly interpret external data, to learn from such data, and to **use those learnings** to achieve specific goals and tasks through flexible adaptation
- **斯坦福大学尼尔逊教授**：“人工智能是关于**知识**的学科——怎样表示知识以及怎样获得知识并使用知识的科学”
- **百度百科**：模拟、延伸和扩展**人的智能**的理论、方法、技术及应用系统
- **百度百科**：模拟人的某些思维过程和智能行为（如学习、推理、思考、规划等）的学科

- ...

计算智能(computational intelligence, CI)的含义

- 目前没有统一的定义，维基百科的定义为：
 - CI is a set of **nature-inspired** computational methodologies and approaches to address complex real-world problems to which mathematical or traditional modelling can be **useless** for a few reasons: the processes might be too **complex for mathematical reasoning**, it might contain some **uncertainties** during the process, or the process might simply be **stochastic** in nature. Indeed, many real-life problems cannot be translated into binary language (unique values of 0 and 1) for computers to process it. Computational Intelligence therefore provides solutions for such problems.
- 百度：借鉴仿生学的思想,基于人们对生物体智能机理的认识,采用数值计算的方法去模拟和实现人类的智能。
- 百度百科：是人工智能的一个分支——以生物进化的观点认识和模拟智能。

计算智能各分支简介

- fuzzy logic: enables the computer to understand natural language,
- artificial neural networks: permits the system to learn experiential data by operating like the biological one
- evolutionary computing: based on the process of natural selection

（以上内容后续课程会详细介绍）



■ 问题：

人工智能与计算智能的区别？

计算智能 (*Computational Intelligence, CI*)

- 92年，美国学者James C. Bezdek首次提出：**计算智能** (CI)是依靠生产者提供的数字、数据材料进行加工处理，而不是依赖于知识；**人工智能** (Artificial Intelligence, AI) 则是须用知识进行处理。
- 94年，James在Florida, Orlando, IEEE WCCI会议上又阐述他的观点，智能有三个层次：
 - ❖ **生物智能** (**Biological Intelligence, BI**)由人脑的物理化学过程反映出来的，人脑是有机物，它是智能的基础。

❖ 人工智能 (**Artificial Intelligence, AI**)

是非生物的，人造的，常用符号来表示，AI的来源是人类知识的精华。

❖ 计算智能 (**Computational Intelligence, CI**)

是由数学方法和计算机实现的，CI的来源数值计算的传感器。

❖ 关系:

从复杂性来看: **BI > AI > CI** ;

从所属关系来看:

AI是CI到BI的过渡，因为AI中除计算算法之外，还包括符号表示及数值信息处理。模糊集合和模糊逻辑是AI到CI的过渡。

关于A, B, C 智能

- James C. Bezdek提出一种表示ABC与神经网络(NN)、模式识别(PR)和智能(I)之间的关系，见下页图示：

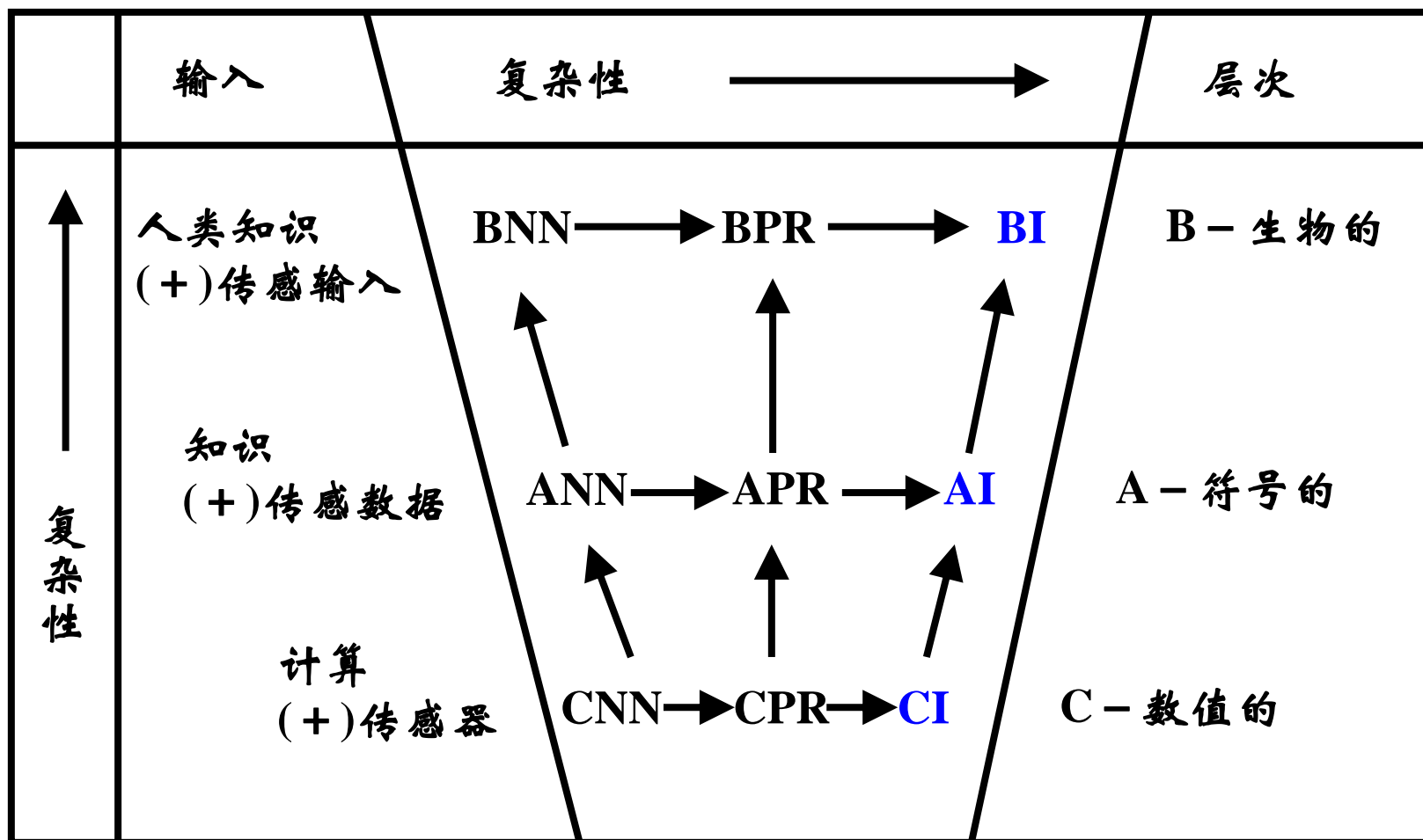
A—Artificial，表示人工的、
符号的(非生物的)

B—Biological，表示生物的

C—Computational，表示计算的

- 计算智能是一种智力方式的低层认知，它与人工智能的区别只是认知层次从中层下降至低层而已。中层系统含有知识，低层系统则没有。

计算智能与人工智能的区别和关系



计算智能系统与人工智能系统

- 当一个系统只涉及数值(低层)数据, 含有模式识别部分, 不应用人工智能意义上的知识, 而且能够呈现出:

- (1) 计算适应性;
- (2) 计算容错性;
- (3) 接近人的计算速度;
- (4) 计算误差率与人相近。

则该系统就是计算智能系统。

- 当一个智能计算系统以非数值方式加上知识, 即成为人工智能系统。

计算智能方法

计算智能算法是人工智能的重要分支，是联结主义的典型代表，又称为仿生学。

人工智能

逻辑主义

又称为符号主义 (Symbolicism)、心理学派 (Psychologism) 或计算机学派 (Computerism)，其原理主要为物理符号系统假设和有限理性原理。

行为主义

又称为控制论学派 (Cybernetics)，其原理为控制论及学习理论。他们对人工智能发展历史具有不同的看法，这一学派认为人工智能源于控制论。

联结主义

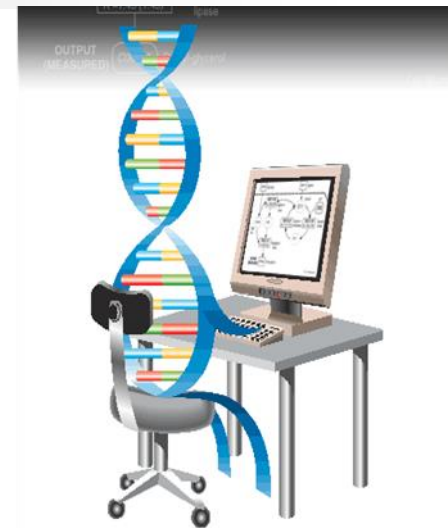
又称为仿生学派 (Bionicsism) 或生理学派 (Physiologism)，其原理主要为神经网络及神经网络间的连接机制与学习算法，包括进化计算等计算智能算法。

计算智能

- 
- 也有些人认为CI不属于AI，仅有部分重合。
 - AI: 符号主义，知识、规则、推理。 左脑
 - CI: 连接主义，数据、学习、记忆。 右脑

目录:

- 与人工智能的区别和联系
- 计算智能简介
- 典型方法
 - 人工神经网络
 - 进化计算
 - 群体智能
 - 模糊计算



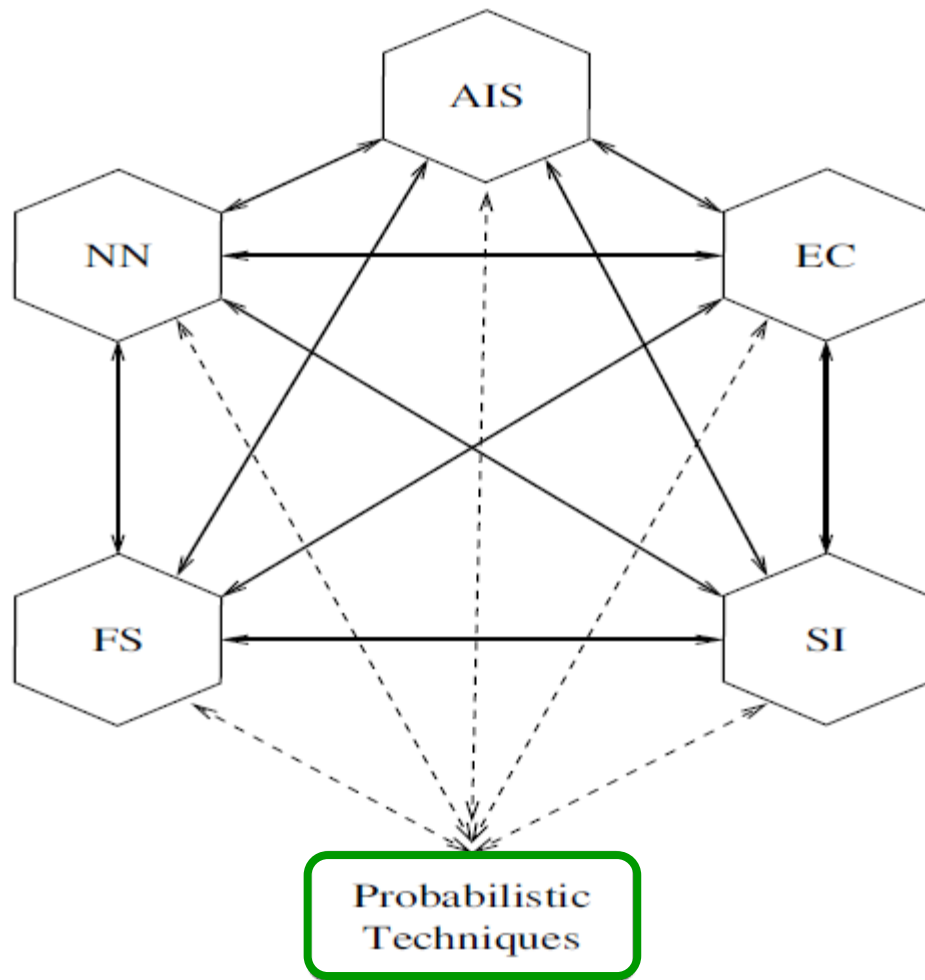
计算智能所包含的领域

❖ 1994年，关于进化计算（EA）、神经网络（NN）、模糊系统（FS）的三个IEEE国际学术会议在美国佛罗里达奥兰多市联合举行了首届“计算智能世界大会(WCCI'94)”，进行了题为“计算智能模仿生命”的主题讨论会，首次提出了“**计算智能（CI）**”这一名词，并取得了关于计算智能的共识：


- 人工神经网络（Artificial Neural Network, ANN）
- 进化计算（Evolution Computing, EC）
- 模糊系统（Fuzzy System, FS）

计算智能的典型方法

- 人工神经网络
- 进化计算
- 群体智能
- 模糊系统
-



计算智能方法



计算智能

随着技术的进步、工程实践问题变得越来越复杂，传统的计算方法面临着计算复杂度高、计算时间长等问题

计算智能方法采用启发式的随机搜索策略，在问题的全局空间中进行搜索寻优，能在可接受的时间内找到全局最优解或者可接受解

计算智能算法在处理优化问题的时候，对求解问题不需要严格的数学推导，而且有很好的全局搜索能力，具有普遍的适应性和求解的鲁棒性

计算智能方法



计算智能

计算智能是人工智能的重要领域，也是近几十年来研究的热点问题。计算智能的兴起和快速发展，为人工智能提供了新的出路

计算智能技术在国内得到了广泛的重视。由于这个领域的研究涉及到的硬件要求不高，国内的研究已经达到国际认可的水平

计算智能技术的进一步发展和完善，以及应用的进一步拓展，都将对计算机技术和各个相关的应用领域带来深刻的变革

计算智能的分类与理论

神经计算：人工神经网络算法

模糊计算：模糊逻辑

计算智能

进化计算

遗传算法（进化策略，进化规划）

蚁群优化算法

粒子群优化算法

免疫算法

分布估计算法

Memetic算法

.....

单点搜索

模拟退火算法

禁忌搜索算法

.....

计算智能的分类与理论

计算智能主要研究方向及其特点

研究领域	主要特点
人工神经网络	模仿人脑的生理构造和信息处理的过程，模拟人类的智慧
模糊逻辑（模糊系统）	模仿人类语言和思维中的模糊性概念，模拟人类的智慧
进化计算	模仿生物进化过程和群体智能过程，模拟大自然的智慧

计算智能的分类与理论

计算智能有关理论基础

数学基础

- 马尔可夫过程
- 统计学习过程
- 随机过程
- 模式定理
- 稳定性
- 收敛性
-

生物学基础

- 优胜劣汰
- 适者生存
- 自然选择
- 生物进化
- 遗传规律
- 人脑模拟
- 生物觅食
-

群体智能

- 个体认识
- 群体智慧
- 个体竞争
- 群体协作
-

计算智能的研究与发展

起步阶段

20世纪
50-60年代

遗传算法(GA)
Genetic Algorithm

1950s
美国学者Holland

进化策略(ES)
Evolution Strategy

1960s
德国人Rechenberg
Schwefel

进化规划(EP)
Evolutionary Programming

1960s
美国学者Fogel

神经网络(NN)
(感知器)

1950s
Rosenblatt等人

模糊逻辑理论(FL)
Fuzzy Logic

1960s
美国学者Zadeh

计算智能的研究与发展

发展阶段

**20世纪
70-80年代**

遗传算法、进化策略、进化规划
的理论基础不断完善（模式定理）
算法之间的区别越来越不明显

禁忌搜索算法（1986年）
模拟退火算法（1983年）
的提出提供了新的优化手段

Hopfield前馈型神经网络结构（1982年）
Rumelhart后向传播学习算法（1986年）
的提出将神经网络的研究推向一个新的高潮

计算智能的研究与发展

蚁群算法

1992年，Derigo等人提出了蚁群算法（ACO），为解决离散组合优化问题提供了重要的工具。

粒子群优化算法

1995年，由Eberhart和Kennedy提出的粒子群优化算法（PSO）在连续优化问题上得到了广泛的应用。

遗传算法

遗传算法（GA）、进化策略（ES）和进化规划（EP）算法也在不断地发展和完善。

继续发展

20世纪
90年代至今

进化计算
Evolutionary Computation

计算智能领域相关期刊和会议

■ 相关期刊:

- **IEEE Transactions on Evolutionary Computation**
- **IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems**
- **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**
- **IEEE Transactions on Cybernetics**
- **IEEE Computational Intelligence Magazine**
- **Evolutionary Computation**

■ 相关会议:

- **International Conference on Parallel Problem Solving from Nature (PPSN)**
- **Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO)**
- **IEEE World Congress on Computational Intelligence (IEEE WCCI)**
 - **IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)**
 - **International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)**
 - **IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)**

计算智能的特征与应用

主要特征

具体特点

智能性	包括算法的自适应性，自组织性，算法不依赖于问题本身的特点，具有通用性
并行性	算法基本上是群体协作的方式对问题进行优化求解，非常适合大规模并行处理
鲁棒性	算法具有很好的容错性，同时对初始条件不敏感，能在不同条件下寻找最优解

计算智能的特征与应用

计算智能的应用

国防

- 雷达天线设计
- 卫星轨道参数优化
- 战场模拟
- 军事物流优化
- 干扰抑制
-

科技

- 机器学习
- 数据挖掘
- 图像处理
- 模式识别
- 蛋白质结构预测
- 多目标优化
- 多播路由
-

经济

- 金融数据分析
- 证券投资组合
- 企业现金流管理
- 企业财务分析与预警
-

工业

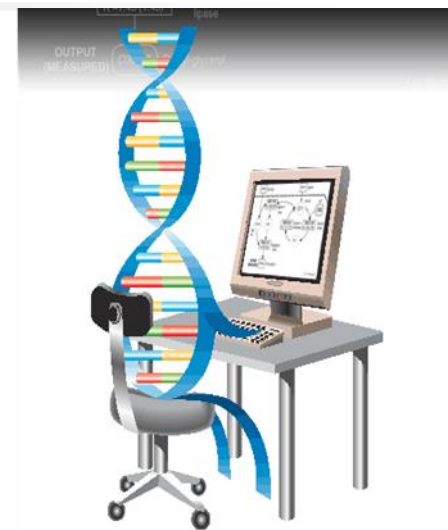
- 功率电子电路优化
- 电磁过滤
- 输电网规划
- workflow 调度管理
- 车辆路由
- 交通控制
-

农业

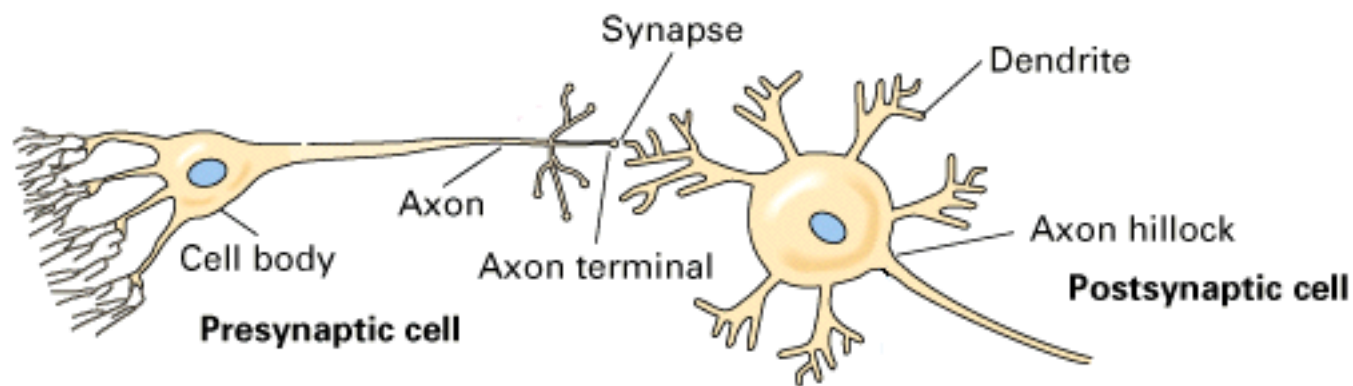
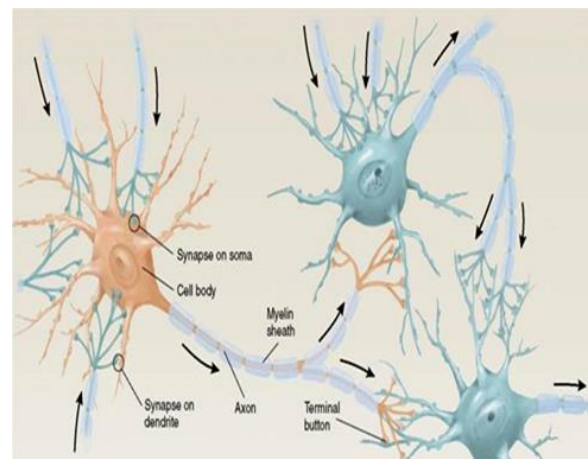
- 排灌工程
- 水利水电工程
- 农业用地结构优化
- 温室控制
- 水库防洪
- 农业工程
-

目录:

- 与人工智能的区别和联系
- 计算智能简介
- 典型方法
 - 人工神经网络
 - 进化计算
 - 群体智能
 - 模糊计算



人工神经网络



Cell Body: 细胞体

Dendrite: 树突

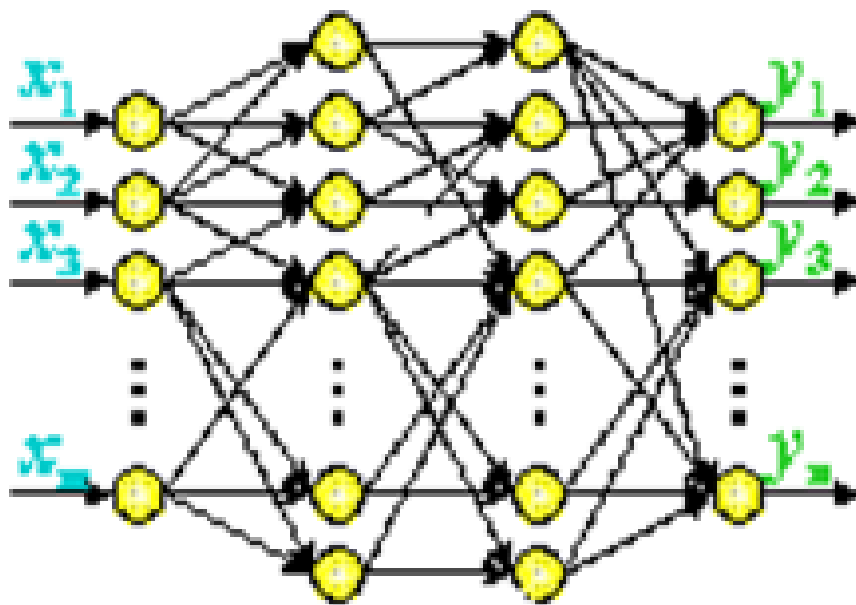
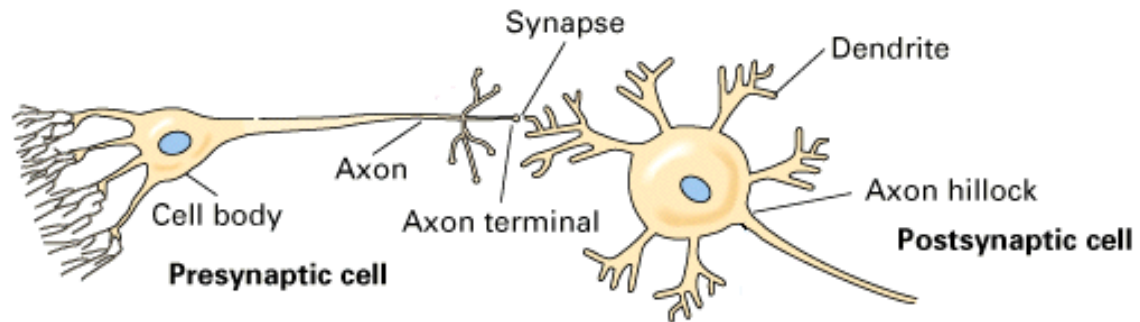
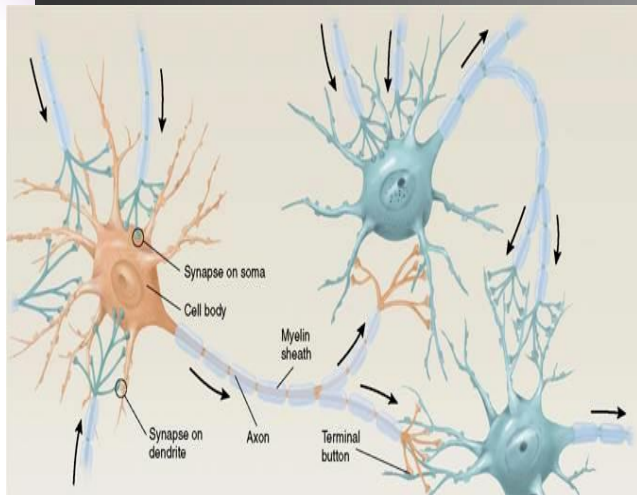
Axon: 轴突

Synapse: 突触

Axon terminal: 轴突终端

Axon hillock: 轴丘

人工神经网络



人工神经网络

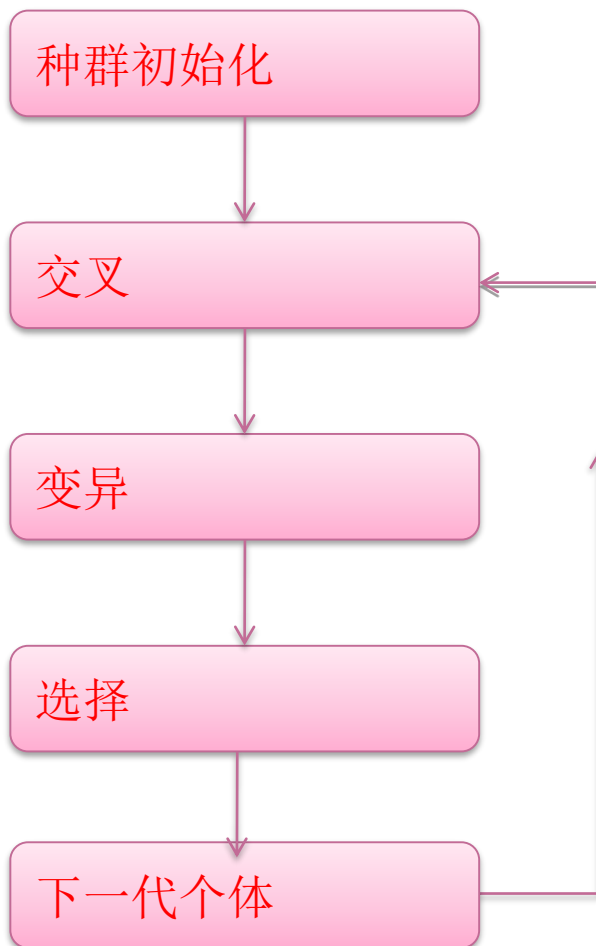
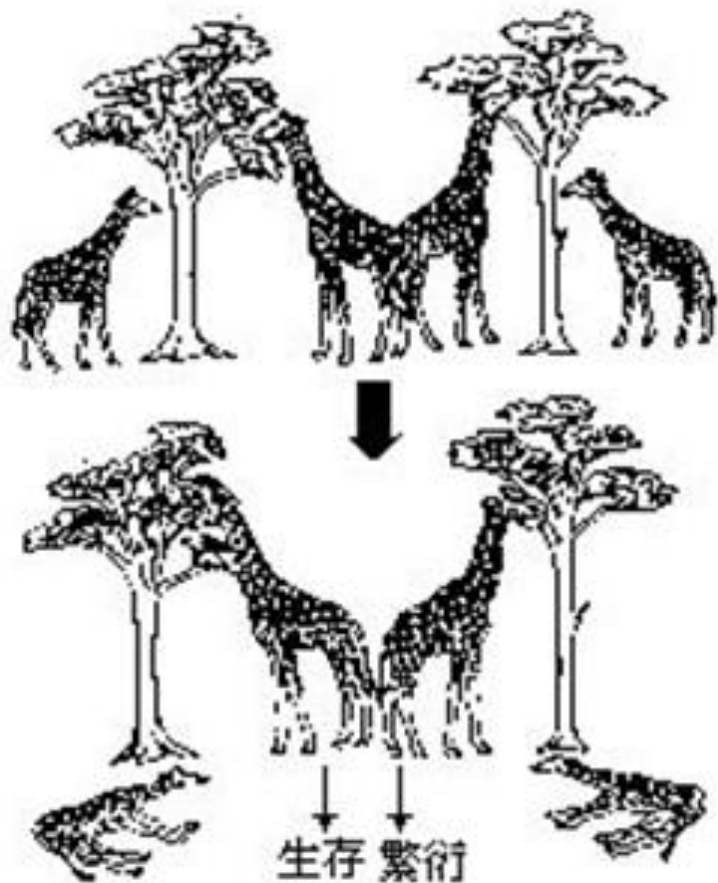
- **1956~1969年：**大量研究对生物神经元进行建模。
 - 最著名的工作：Rosenblatt的感知器，Widrow和Hoff的自适应线性神经网络。
- **1969年：**Minsky和Papert的言论使人们对人工神经网络的研究遭到了重大挫折。
 - 在《感知器》一书中，他们断言，根据他们的“直觉判断”，由单个感知器扩充到多个感知器“是毫无结果的”。
 - 此后，神经网络的研究处于停滞状态，但极少数人仍然坚持相关研究工作。
- **20世纪80年代的早期和中期：**神经网络研究开始复苏，80年代后期则经历了爆炸式发展，现在已成为计算机科学中最大的研究领域之一。

人工神经网络

20世纪80年代早期和中期的一些重要工作

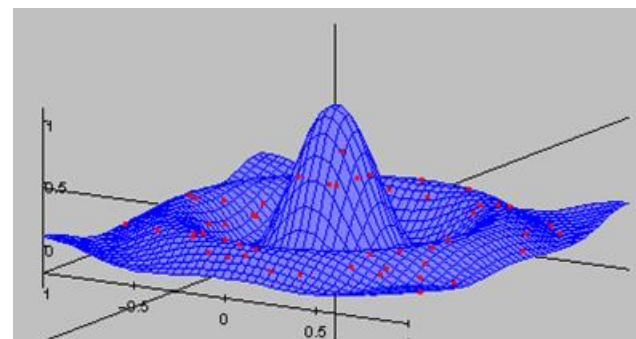
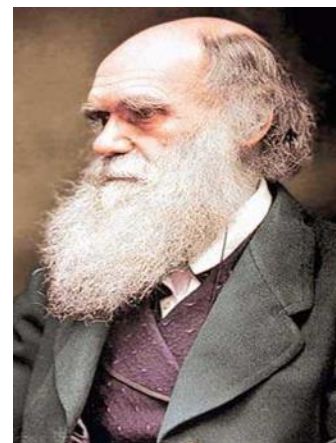
- John Hopfield, 1982
 - 提出了Hopfield网络。1984年, Hopfield设计了实现Hopfield网络的电路, 成功用Hopfield网络解决了TSP问题(重要进展)
- Teuvo Kohonen, 1982
 - 提出了Self Organizing Maps (SOM),
- David H. Ackley, Geoffrey E. Hinton, Terrence J. Sejnowski, 1985
 - 提出了基于模拟退火的Boltzmann Machine 模型
- D. Rumelhart, Hinton and Williams, 1986
 - 提出了著名的 反向传播算法(Back Propagation algorithm), 解决了多层感知机学习方法, 回答了Minsky的质疑

进化计算



进化计算

- 进化算法是模拟优胜劣汰，适者生存的生物进化过程的计算模型。
- 进化算法是一种新的全局优化搜索算法。GA搜索不依赖梯度信息，简单通用、鲁棒性强，适合并行分布处理，应用范围广，尤其适用于解决传统方法难以解决的复杂和非线性问题。

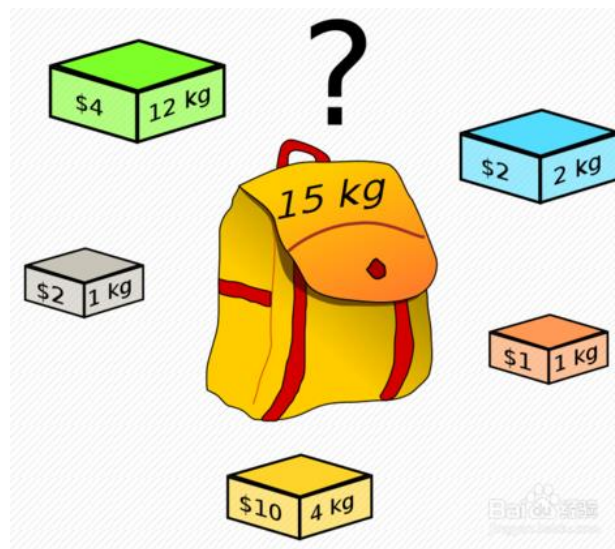
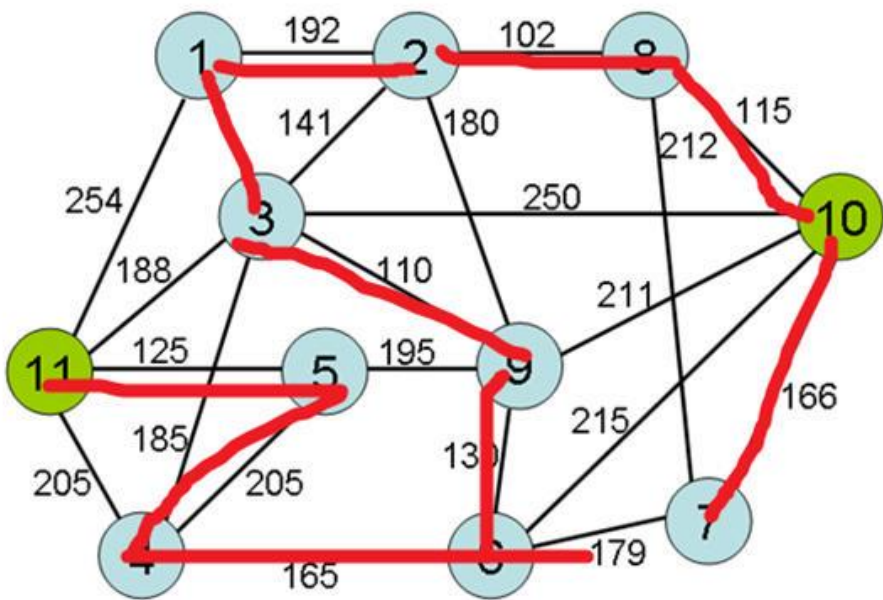
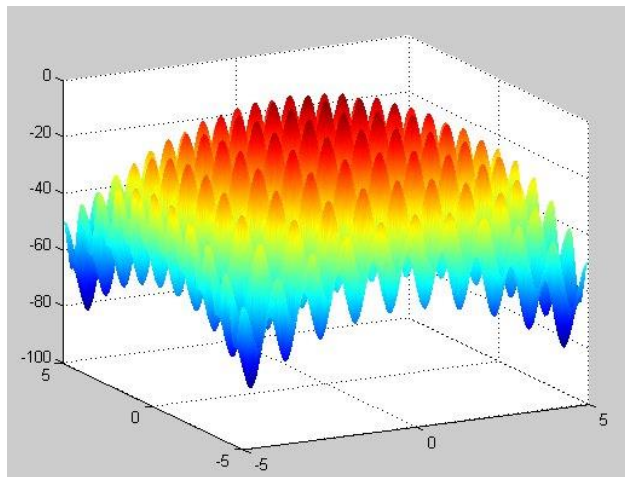


进化计算

- 进化规划 (EP: Evolutionary Programming)
 - L.J. Fogel, A.J. Owens, M.J. Walsh (美国, 1966)
 - 完善工作: D.B. Fogel (1991)
- 进化策略 (ESs: Evolution Strategies)
 - I. Rechenberg, H.-P. Schwefel (德国, 1965)
- 遗传算法 (GAs: Genetic Algorithms)
 - J. Holland (美国, 1975)
 - 完善工作: K. De Jong (1975), J. Grefenstette (1986), D. Goldberg (1989)
- 差分进化 (DE: Differential Evolution)
 - R. Stone, K. Price (德国、美国, 1995)
- 遗传编程, 文化进化, 协同进化, 交互式进化算法等

进化计算

- 全局优化
- 约束优化
- 多目标优化
- 动态优化





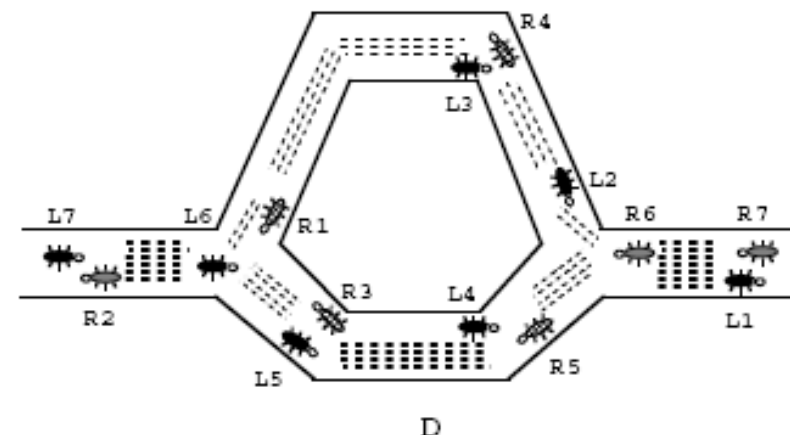
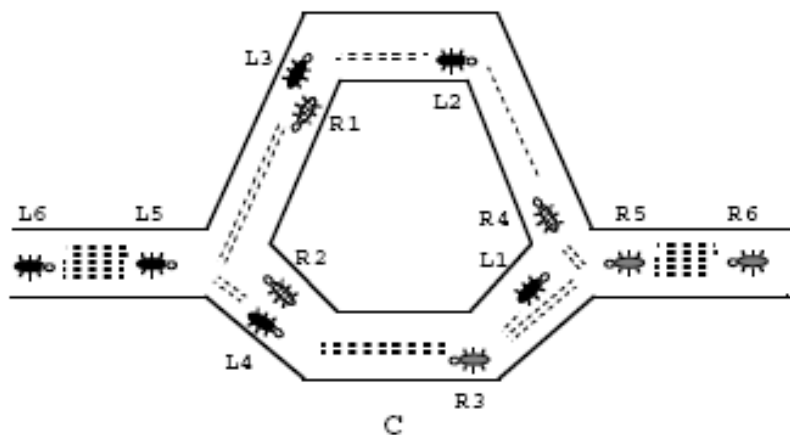
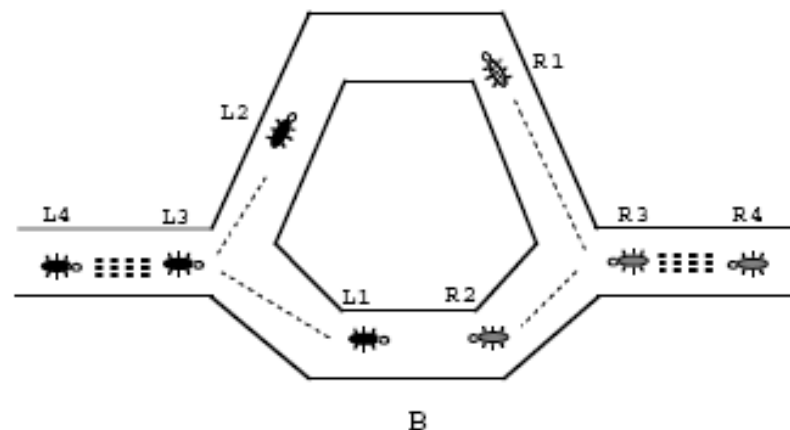
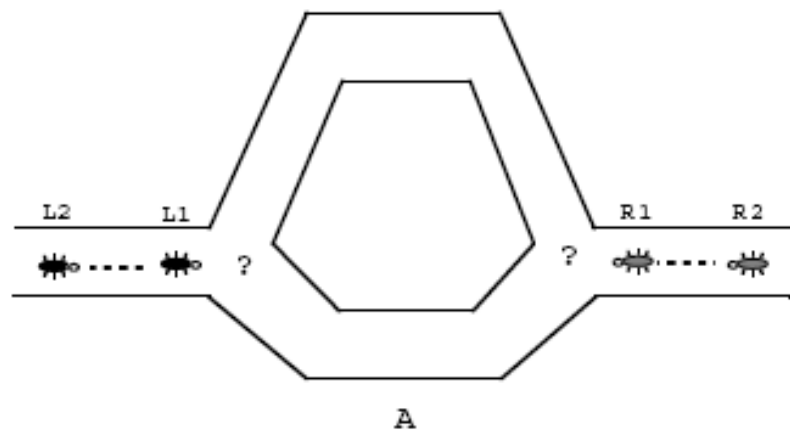
群体智能

- 群体智能（Swarm intelligence）源于对成群社会生物体的研究。



群体智能

■ 蚁群算法



群体智能典型算法

- 粒子群优化（PSO: Particle Swarm Optimization）
 - J. Kennedy, R.C. Eberhart（美国，1995）
 - 源于对一个简化社会模型的模拟，主要用于连续空间上的问题优化
- 蚁群算法（ACO: Ant Colony Optimization）
 - M. Dorigo（意大利，1992）
 - 用来在图中寻找优化路径的机率型技术

模糊系统

- 人的思维或推理有**精确**的一面，更有**不确定**的一面。
- 人类习惯于用自然语言进行思维，思维的结果往往是可能如何、大概如何的定性结论。



中青年



若衣服**较多**，则**多放**些洗衣粉

模糊系统

- 传统集合论：元素属于集合或者不属于集合。
- 二值逻辑：参数的值是0或1，其推理结果也是0或1。
- 人的推理往往不是这样精确的。
 - 例如，“某些计算机专业的学生能够用多种语言编程”
 - 又如，“小明是身高比较高”。
 - 如何描述这些事实？如何进行推理？
- 模糊集合和模糊逻辑允许进行近似推理。

模糊系统

- 在模糊集中，一个元素以一定程度属于与一个集合。
- 模糊逻辑允许用这些不确定事实进行推理以推出新的事实，并给每个事实赋予一定程度。
- 模糊系统中的不确定性称作“非统计不确定性”，不应与“统计不确定性”相混淆。
 - 统计不确定性是基于概率论的，而非统计不确定性却是基于含糊的、不精确的和不明确的。

■ 发展历程

- 亚里士多德：二值逻辑
- Lukasiewicz：1920年首次发表三值逻辑，后来推广到任意值逻辑。
- Max Black：首次引入伪模糊集，集合的隶属度被指派到各个元素。
- Lotfi Zadeh：模糊集之父。
- Zdzisław I. Pawlak：1991年提出了粗糙集理论。



部分开源框架:

- geatyp (Python): <http://geatpy.com/>
- EvoloPy: <https://github.com/7ossam81/EvoloPy>
- Pyeasyga: <https://pypi.org/project/pyeasyga/>
- Opytimizer: <https://github.com/gugarosa/opytimizer>
- ...

相关主页（开源了部分代码）：

- <http://www.ntu.edu.sg/home/EPNSugan/>
- <http://www.egr.msu.edu/~kdeb/index.shtml>
- <https://www.cs.bham.ac.uk/~xin/>
- <http://www.tech.dmu.ac.uk/~syang/>
- <http://www.soft-computing.de/>
- <https://cs.adelaide.edu.au/~zbyszek/papers.html>
- <https://titan.csit.rmit.edu.au/~e46507/>
- http://www.adaptivebox.net/CILib/code/psocodes_link.html
- http://www.mat.univie.ac.at/~neum/glopt/software_g.html
- <http://delta.cs.cinvestav.mx/~ccoello/EMOO/EMOOsoftware.html>
- <http://www.escience.cn/people/yongwang1>
- ...

计算智能领域部分社区

- IEEE动态优化社区主页：
http://www.tech.dmu.ac.uk/~syang/IEEE_ECiDUE.html
- IEEE计算智能社区：<https://cis.ieee.org/about>
- IEEE差分进化社区主页：<http://labraj.feri.um.si/tf-cis-de/>
- IEEE多目标优化社区主页：
http://www.is.ovgu.de/is_media/Research/IEEE_CIS_EMO_TF-p-1126.html
- ...

小结：人工智能与计算智能

- 人工智能包括：逻辑，演绎推理，专家系统，基于案例的推理，符号机器学习系统，以及计算智能。
- 计算智能（Computational Intelligence: CI）是人工智能的一个分支——以生物进化的观点认识和模拟智能。
- Computational Intelligence
 - Nature Inspired Computation
 - Natural Computation
 - Soft Computing
 - Bio-inspired Computation

小结

- 介绍了计算智能的典型方法，以及发展简史。
- **计算智能是信息科学与生命科学相互交叉的前沿领域，是现代科学技术发展的一个重要体现。**
- 计算智能涉及神经网络、模糊逻辑、进化计算等领域，它的研究和发展正反映了当代科学技术**多学科交叉与集成**的重要发展趋势

谢谢大家