

# 计算思维

Computational Thinking

主 讲：郭斌 副教授

单 位：西北工业大学计算机学院 陕西省嵌入式系统技术重点实验室

电 话：18729229010

办 公 室：计算机学院512B房间

电子邮箱：[guobin.keio@gmail.com](mailto:guobin.keio@gmail.com)

个人主页：<http://www.ayu.ics.keio.ac.jp/~bingo/>

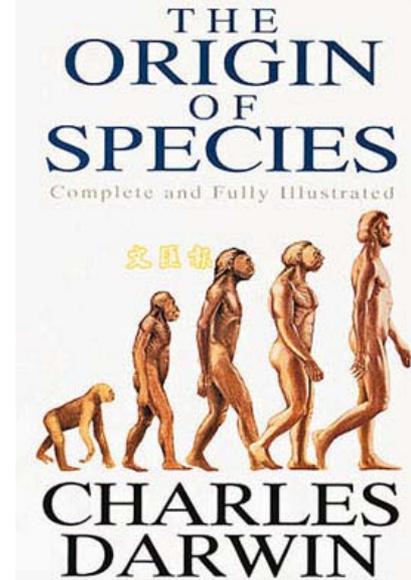
课程主页：<http://www.ayu.ics.keio.ac.jp/~bingo/course.html>

# 本章学习要点

- 科学与科学思维
- 什么是计算思维
- 计算思维案例
- 计算的跨学科应用

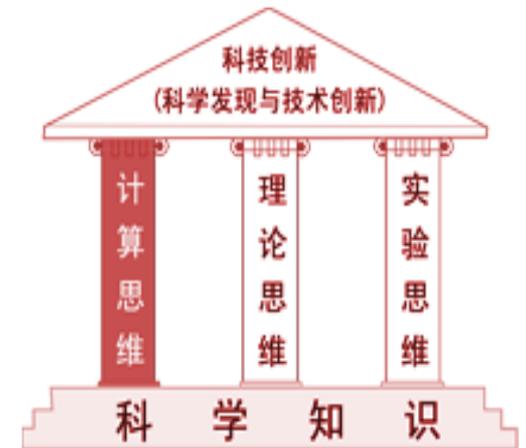
# 科学与科学思维

- 达尔文：“科学就是整理**事实**，从中发现**规律**，做出**结论**。”
- 科学包括自然科学、社会科学和思维科学
- 思维是跟大脑有关的
  - 思维是高级的心理活动，是认识的高级形式；
  - 人脑对信息的处理包括分析、抽象、综合、概括等。



# 科学与科学思维

国科发财〔2008〕197号文《关于创新方法工作的若干意见》认为“科学思维不仅是一切科学研究和技术发展的起点，而且始终贯穿于科学研究和技术发展的全过程，是创新的灵魂”。



## • 科学思维

- **理论思维**（公理、规则、结论）→推理：数学
- **实验思维**（重现、自洽、预见）→实验：物理
- **计算思维**（设计、模拟、仿真、挖掘）→使自动：计算机

大数据：当前环境下，理论与实验手段在面临大规模数据的情况下，不可避免地要用计算手段来辅助进行。

# 科学与科学思维

- (1) 理论思维**：理论源于数学，理论思维支撑着所有的学科领域。正如数学一样，**定义**是理论思维的灵魂，**定理和证明**是它的精髓。公理化方法是最重要的理论思维方法。
- (2) 实验思维**：实验思维的先驱是意大利科学家伽利略，被人们誉为“近代科学之父”。与理论思维不同，实验思维往往需要借助于某些特定的**设备**，并用它们来获取数据以供以后的分析。
- (3) 计算思维**：计算思维是运用计算机科学的基础概念进行**问题求解**、**系统设计**以及人类行为理解的涵盖了计算机科学之广度的一系列思维活动。

# 本章学习要点

- 科学与科学思维
- 什么是计算思维
- 计算思维案例
- 计算的跨学科应用

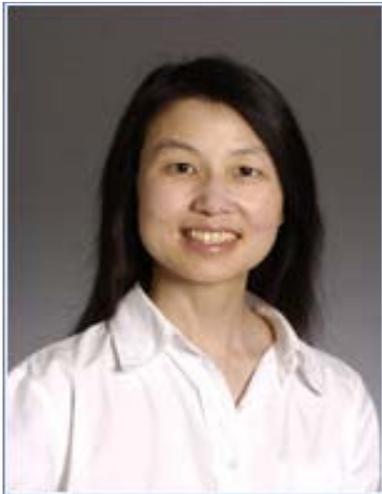
# 计算思维的提出

- Edsger\_Dijkstra

- 我们所使用的工具影响着我们的思维方式 and 思维习惯,从而也将深刻的影响着我们的思维能力.



人工智能四大先驱之一  
现代编程语言的主要贡献者之一  
第七位图灵奖获得者



Jeannette M. Wing  
周以真  
卡内基-梅隆大学教授

- Computational thinking will be a fundamental skill used by everyone in the world by the middle of the 21st Century.

Computational  
Thinking

# 计算思维的提出

## Computational Thinking

It represents a universally applicable attitude and skill set everyone, not just computer scientists, would be eager to learn and use.



**C**omputational thinking builds on the power and limits of computing processes, whether they are executed by a human or by a machine. Computational methods and models give us the courage to solve prob-

cisely. Stating the difficulty of a problem accounts for the underlying power of the machine—the computing device that will run the solution. We must consider the machine’s instruction set, its resource constraints, and its operating environment.

In solving a problem efficiently, we might further ask whether an approximate solution is good enough, whether we can use randomization to our

◆ **计算思维 (Computational Thinking)**：2006年3月，周以真 (Jeannette M. Wing) 教授在国际权威期刊《Communications of the ACM》杂志上给出。

# 计算思维概念

◆计算思维是运用计算机科学的基础概念去**求解问题、设计系统和理解人类行为**

◆其本质是**抽象和自动化**

- ✓计算思维包括数学思维和工程思维，其中抽象能力必不可少（如抽象算法、模型、语言、协议等）；
- ✓自动化是计算机的灵魂（如系统、程序、编译等）；
- ✓如同所有人都具备“读、写、算”（简称3R）能力一样，都必须具备的思维能力。

## 中国2050年信息科技发展路线图

由李国杰院士任组长的中国科学院信息领域战略研究组撰写的《中国至2050年信息科技发展路线图》中对“计算思维”给予了足够的重视；**计算思维的培育是克服“狭义工具论”的有效途径，是解决其他信息科技难题的基础。**

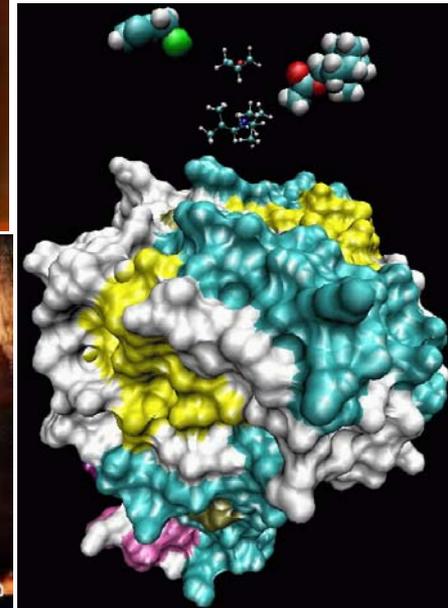
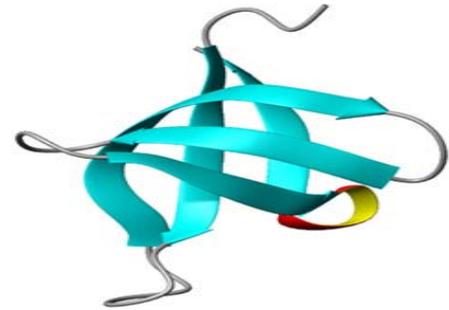
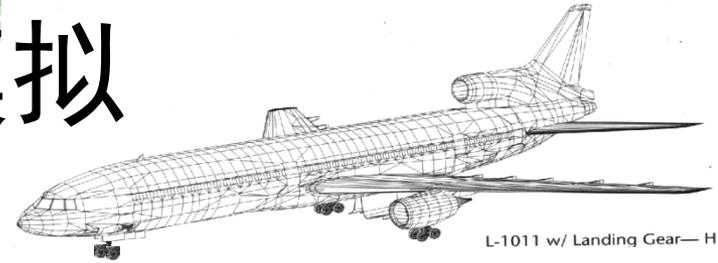
# 计算思维——抽象与模拟

- 与数学和物理科学相比，计算思维中的抽象显得更为丰富，也更为复杂；
- 数学抽象的最大特点是抛开现实事物的物理、化学和生物学等特性，而仅保留其量的关系和空间的形式，而计算思维中的抽象却不仅仅如此；
- 计算思维采用一种系统方法，融合工程思维和数学思维，保留并模拟不同学科的参数和特性。

# 计算思维——抽象与模拟

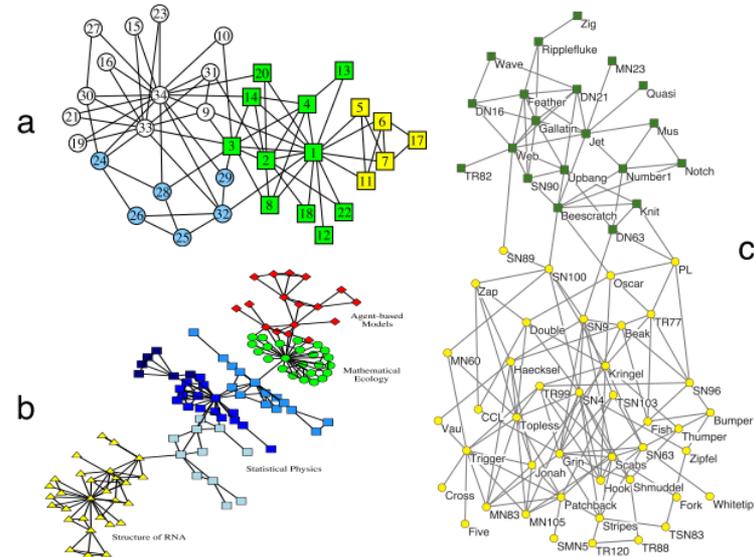
## ● 实验和理论思维无法解决的问题

- 大量复杂问题求解、宏大系统建立、大型工程组织都可通过计算模拟（融合工程思维）
- 核爆炸、蛋白质生成、大型飞机、舰艇设计...

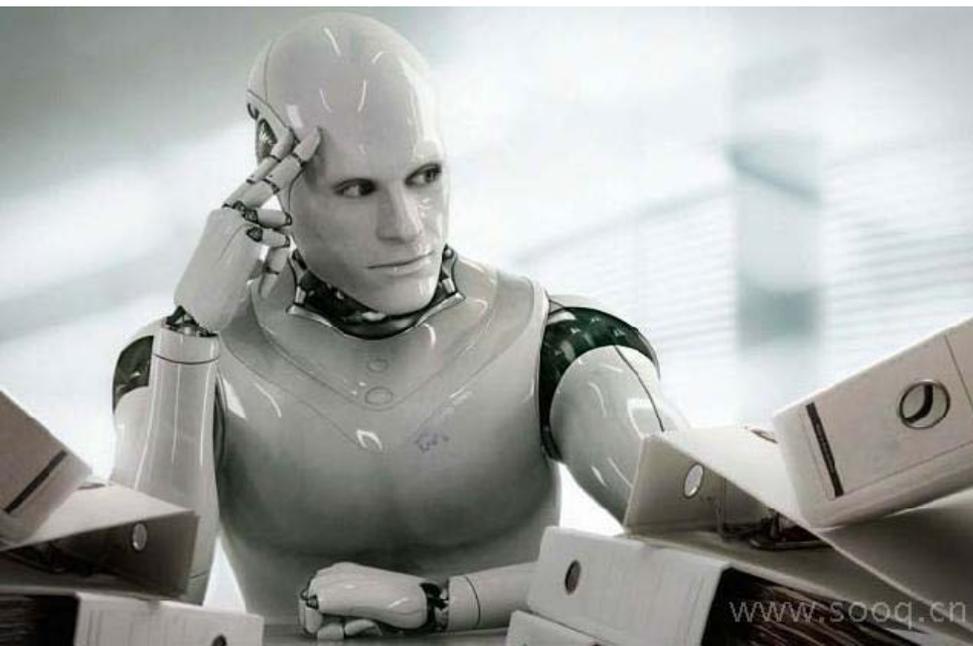
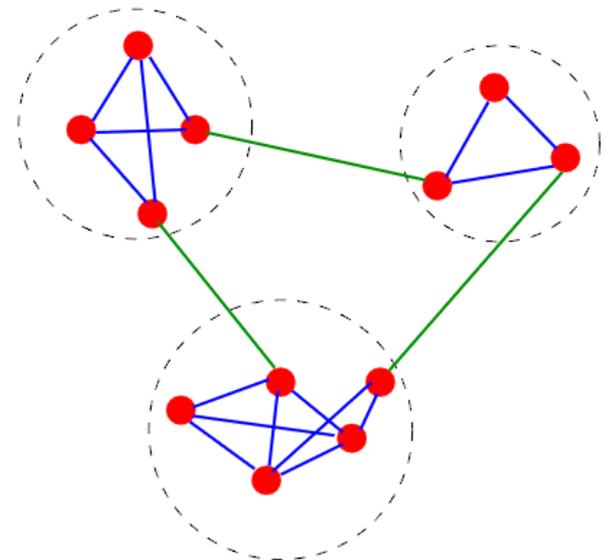


# 计算思维——自动化

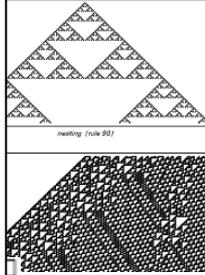
- 用四个字来概括：
  - 抽象、算法
- 用八个字来概括：
  - 合理抽象、高效算法



社群划分算法



- 美科学家 **Stephen Wolfram** 科学巨著: **A New Kind of Science**
  - 传统的科学建立在数学基础上
  - 新的科学建立在计算机程序上



细胞自动机模型的基本思想是：自然界里许多复杂结构和过程，归根到底只是由大量基本组成单元的简单相互作用所引起。因此，利用各种细胞自动机有可能模拟任何复杂事物的演化过程——由冯·诺依曼在1950年代为模拟生物细胞的自我复制而提出。

数学只能表达相对简单的科学规律，不能描述复杂现象  
生物世界/湍流/社会/思维/经济/股票...

### 《一种新科学》的要点

宇宙的一切规律都可以由简单的程序经过反复计算而得到！



# 计算思维在生活中的例子

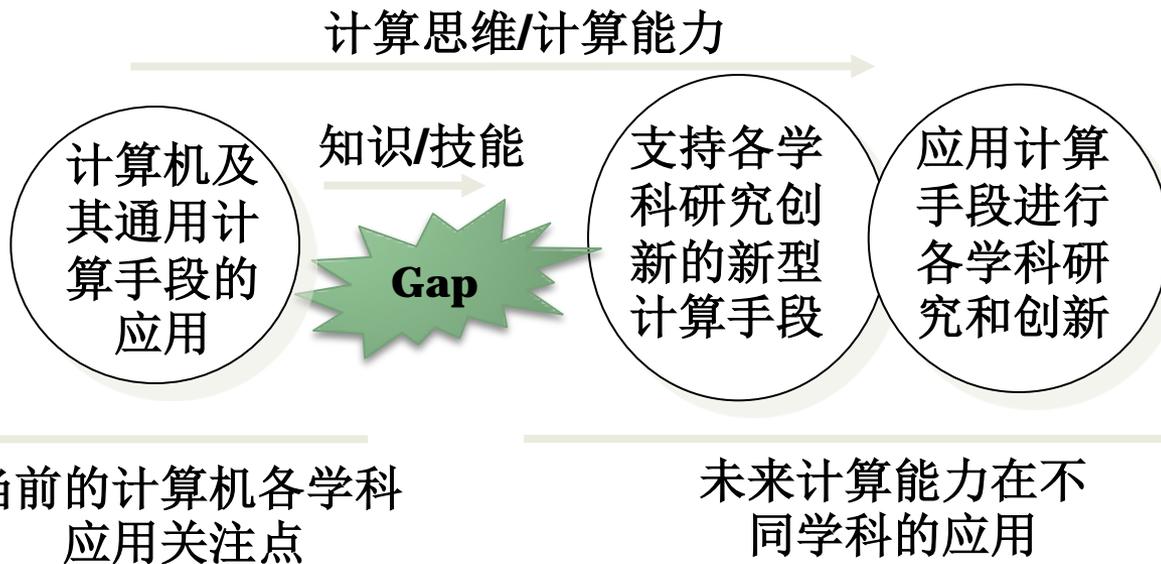
- 考虑这些日常中的事例：
  - 当你去上学校时，会把需要的东西放进背包--这就是**预置和缓存**。
  - 在超市结账时你应当去排哪个队呢？这就是**多服务器系统的性能模型**。
  - 为什么停电时你的电话仍然可用？这就是系统的**容错性**和设计的**冗余性**。

# 计算思维能力

- 建立起利用计算机技术解决问题的思路，并理解问题的可求解性。
  - **问题抽象**
  - **模型建立**
  - **算法设计**
  - **实现验证**

# 计算思维——多学科交叉

◆ 计算思维对各个学科的人才培养都有重要意义



• 1998年的诺贝尔化学奖被授予一个化学领域研究工具

**Gaussian**的开发者：**波普 (John Pople)**

• 作为把计算机应用于化学研究的主要科学家，其建立了可用于化学各个分支的一整套量子化学方法，把量子化学发展成一种工具，并已为一般化学家所使用，以便在计算机里模拟分子赋予它们异种特性的方法，研究分子间如何相互发生作用并如何随环境而改变，从而使化学迈向用实验和理论共同探索分子体系各种性质的新时代

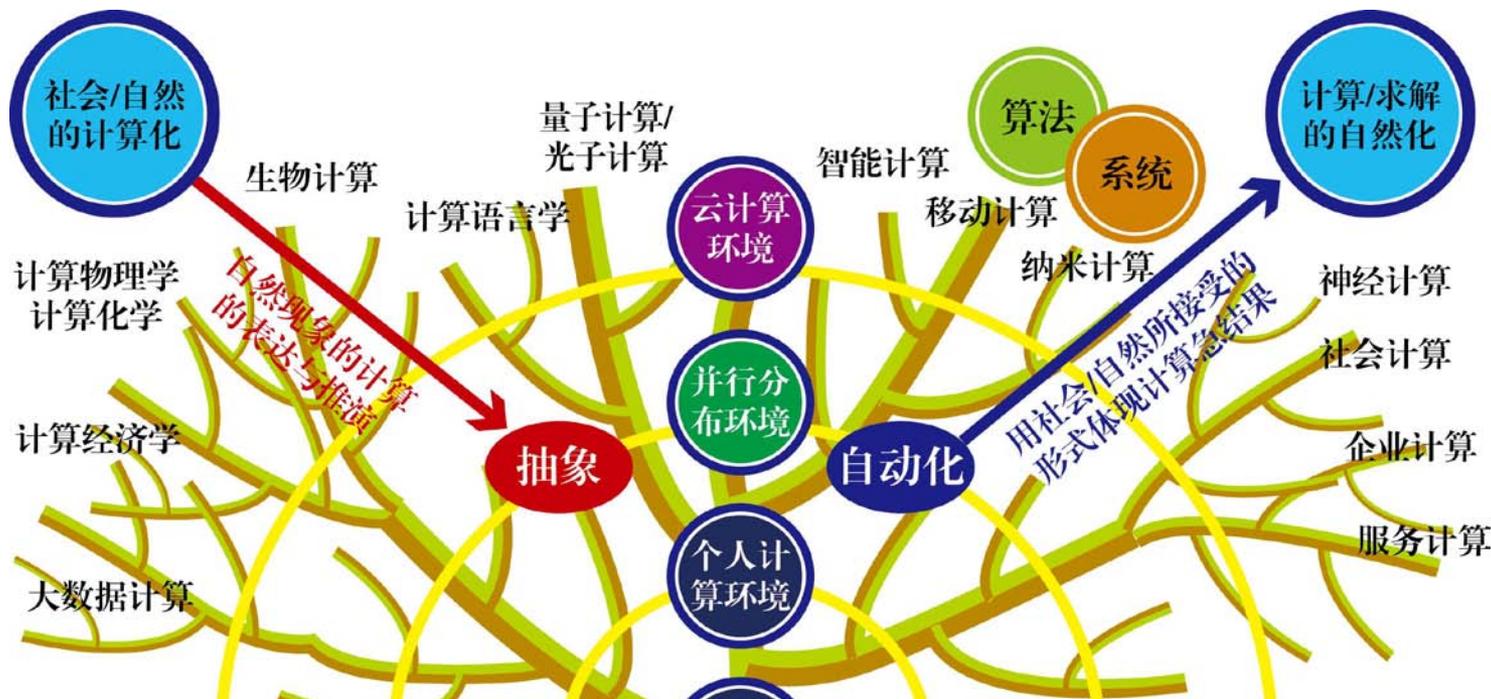
层次3：知识/技能背后的计算思维

层次2：贯通知识/技能

层次1：知识/技能

# 计算思维——多学科交叉

## “计算之树”



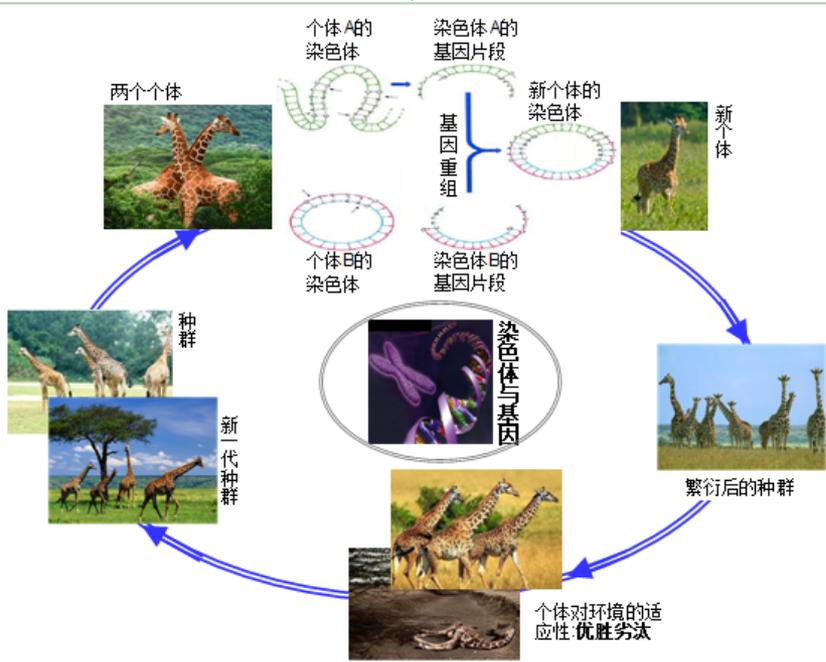
“多学科交叉融合是创新的源泉，推动了科学研究的重大突破与高新技术的产生。”

# 本章学习要点

- 科学与科学思维
- 什么是计算思维
- **计算思维案例**
- 计算的跨学科应用

# 计算思维案例

## 生物学中的遗传与优胜劣汰



由生物学的遗传与优胜劣汰到计算中的遗传算法：小规模问题求解示例

现实问题示例：会议室租用问题、测试用例选择问题、航班机组成员调度问题、课程-教室安排问题

会议室	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1
费用	10	20	30	40	50	60

$$\min f(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

$$s.t. \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} = 1, \text{ for every } i, i=1, \dots, 8$$

$$s.t. \sum_{i=1}^m a_{ij} x_{ij} \leq 2, \text{ for every } j, j=1, \dots, 6$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}; i=1, \dots, 8; j=1, \dots, 6$$

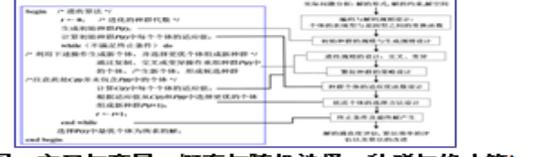
问题抽象与数学表达：一维集覆盖到二维集覆盖问题

$$\min z(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j, \dots$$

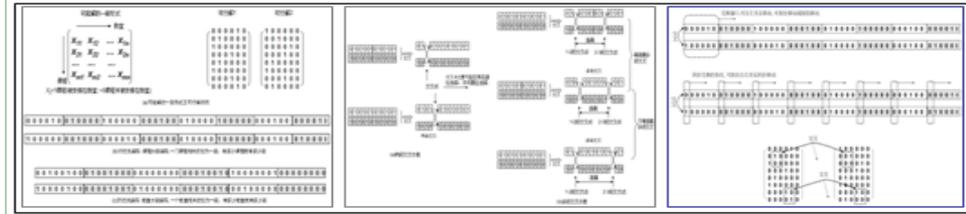
$$s.t. \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq 1, i=1, 2, \dots, m$$

$$x_j \in \{0, 1\}, j=1, 2, \dots, n$$

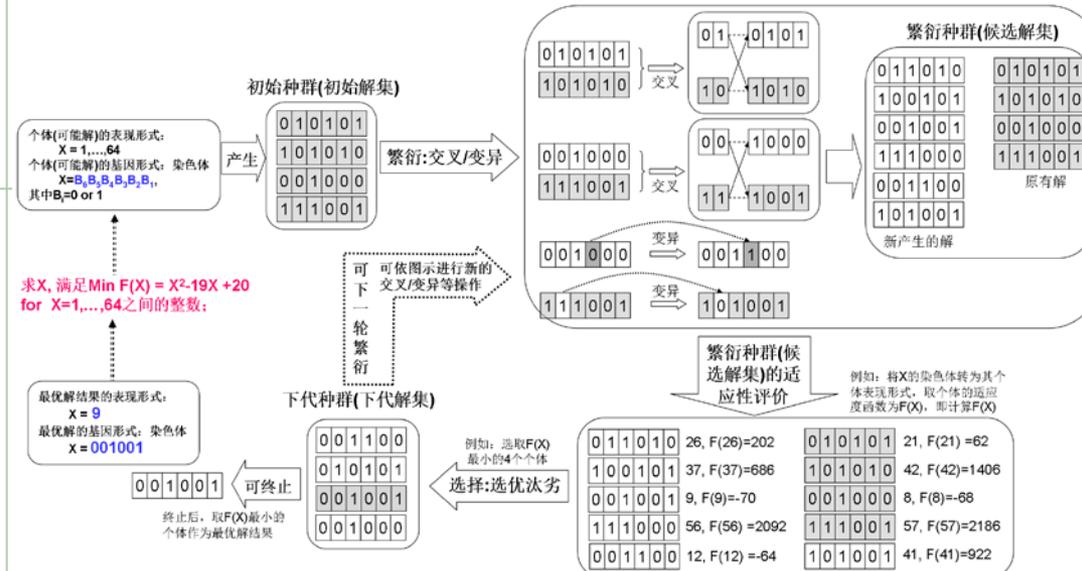
遗传算法设计框架及其设计关键点



遗传算法设计与讨论(可能解的编解码, 交叉与变异, 概率与随机选择, 种群与终止等)



遗传算法的更深入问题思考：收敛速度与解的质量；参数选择；遗传基因？



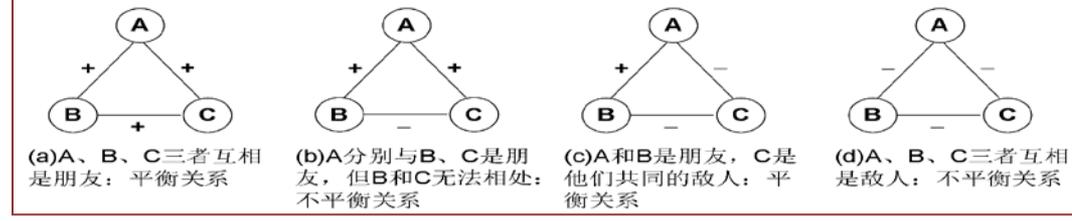
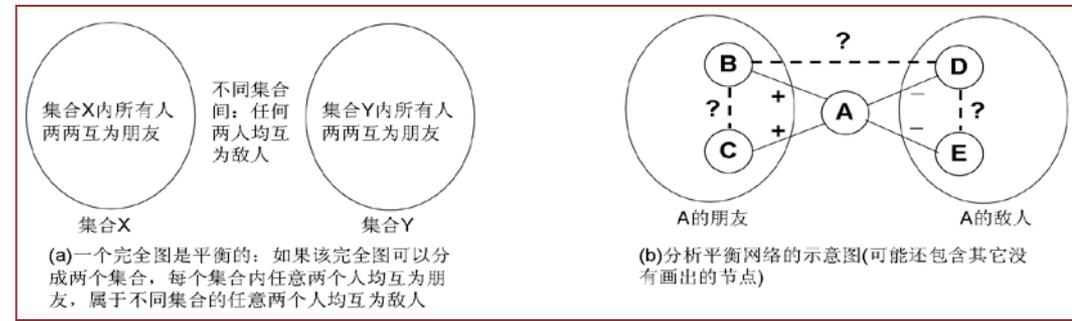
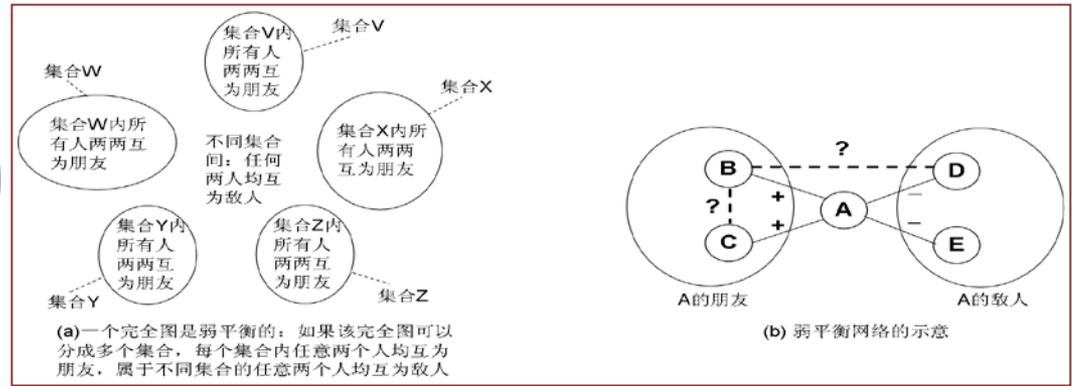
# 计算思维案例——计算思维与科学研究素养

未来互联网与网络化社会

群体互动网络与社会网络

信息网络

机器网络



网络计算

由网络到社会

由小规模网络推广到大规模

由网络到数学

小规模网络特性分析

网络问题抽象

# 计算思维案例——计算思维与科学研究素养

数学的语义：特征方程

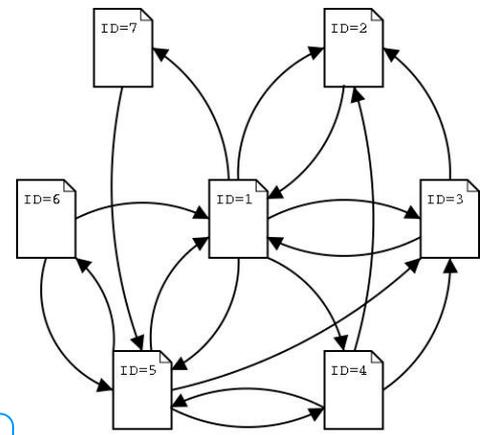
求解思想：求稳定性

表达成数学：0,1矩阵  
权值矩阵—转移概率矩阵

从问题语义挖掘求解思想：  
反向链接数越多越重要  
反向链接有权值  
反向链接的权值确定—网  
页重要度按其正向链接的  
个数进行分配

网页链接：正向链接与反向链接

网页排序：网页  
重要度计算



## 网页重要度计算：PageRank

网页  $i$  的重要度为  $R_i$ ，各网页重要度的向量  $R$ ，记为：  

$$R=(R_1, R_2 \dots R_n)^T$$
 需要迭代计算，第  $j$  次迭代计算得到的  $R$  的结果记为  $R^{(j)}$ 。  
 $R$  的初始可设置为任意的值，记为： $R^{(0)}=(R_1^{(0)}, R_2^{(0)} \dots R_n^{(0)})^T$

$$R^{(1)} = cMR^{(0)}$$

$$R^{(2)} = cMR^{(1)}$$
 ...  

$$R^{(n)} = cMR^{(n-1)}$$

$$R=R^{(n)}=R^{(n-1)}$$
——收敛状态暨稳定状态

$M =$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1/2 & 0 & 1/4 & 1/2 & 0 \\ 1/5 & 0 & 1/2 & 1/3 & 0 & 0 & 0 \\ 1/5 & 0 & 0 & 1/3 & 1/4 & 0 & 0 \\ 1/5 & 0 & 0 & 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 1/5 & 0 & 0 & 1/3 & 0 & 1/2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 1/5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$,$	$\text{PageRank} =$	0.303514
	0.166134			
	0.140575			
	0.105431			
	0.178914			
	0.044728			
	0.060703			

$A =$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$,$	$A^T =$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
-------	---	-----	---------	---

# 本章学习要点

- 科学与科学思维
- 什么是计算思维
- 计算思维案例
- 计算的跨学科应用

# 计算的跨学科应用

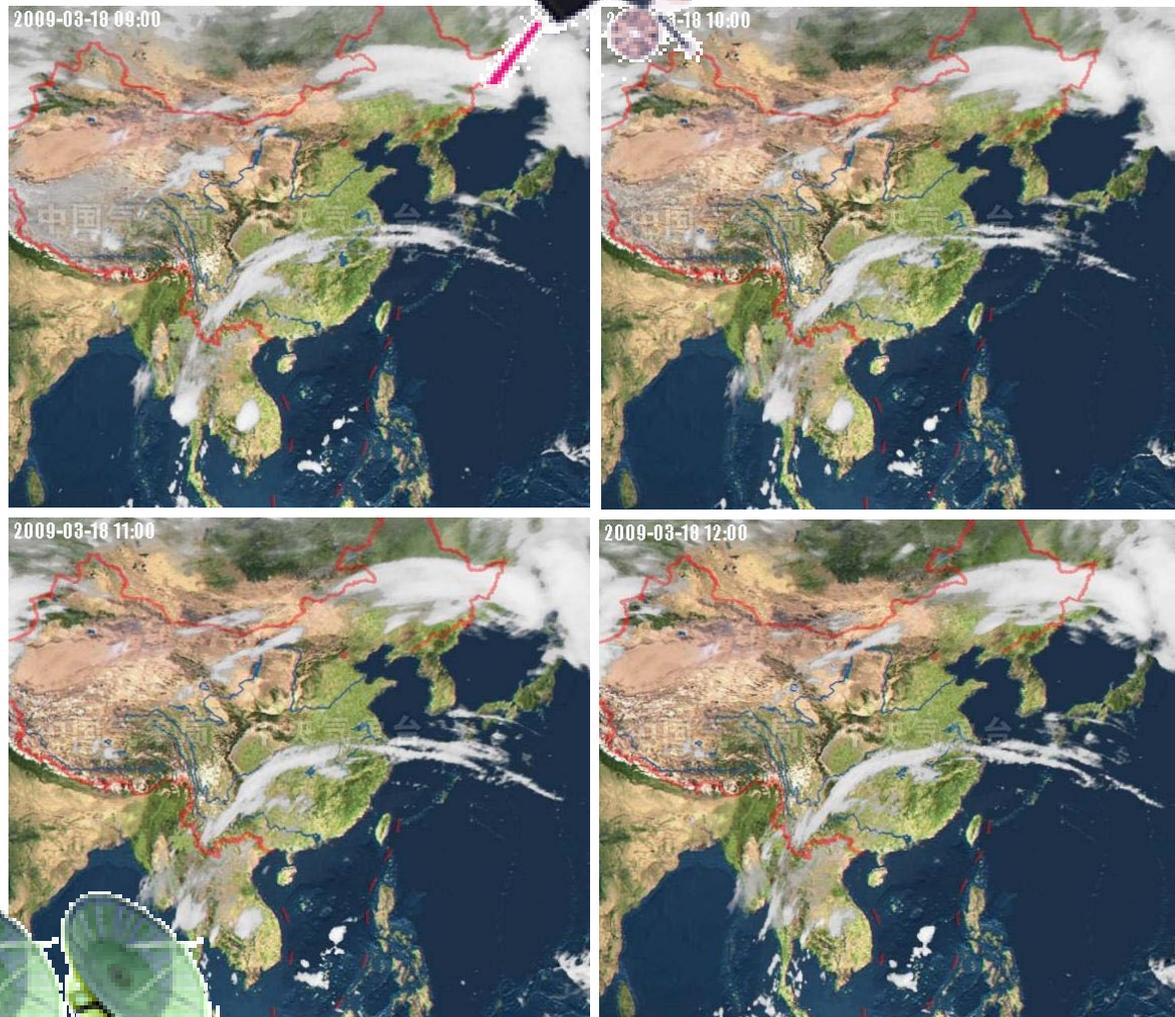
- 科学计算
- CAx应用
- 企业信息管理
- 人工智能
- 嵌入式系统
- 生物计算
- 普适计算
- 健康计算
- 社群智能

# 计算的跨学科应用

## 科学计算

科学计算也称为数值计算，对科学研究和工程技术中提出的数学模型进行求解计算。

**数学模型**：几十阶微分方程组、几百个线性联立方程组、大型矩阵等



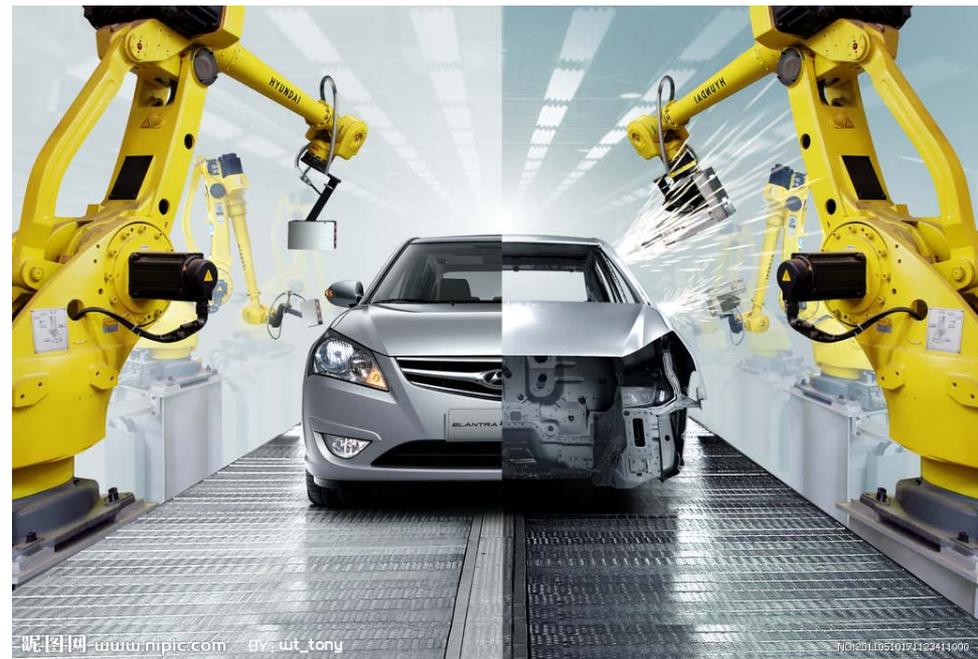
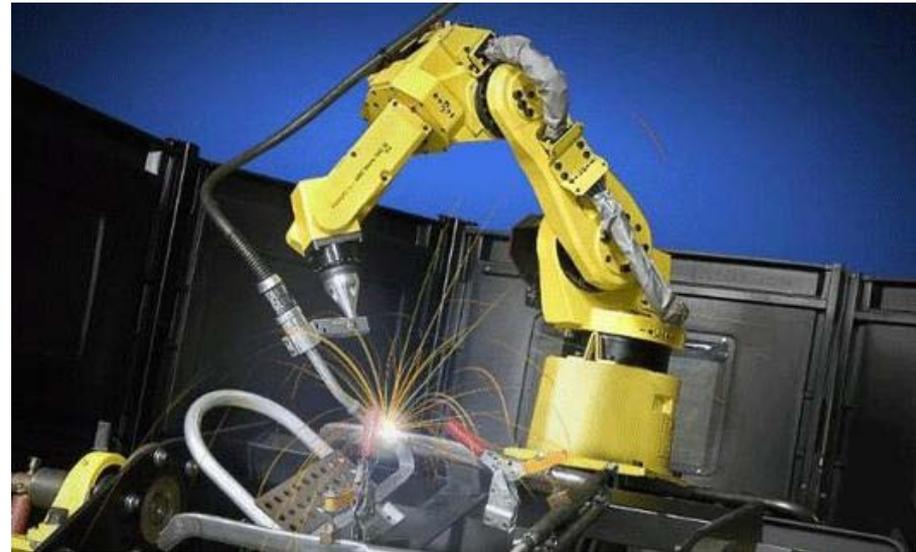
依据卫星云图进行气象预报

# 计算的跨学科应用

## CAM计算辅助制造

通常将数控、物料流控制及储存、机器人、柔性制造、生产过程仿真等计算机相关的控制技术统称为CAM：Computer Aided Manufacturing。目的是使计算机及相关设备能替代人做更多事情！

- 过程控制
- 数字控制
- 机器人



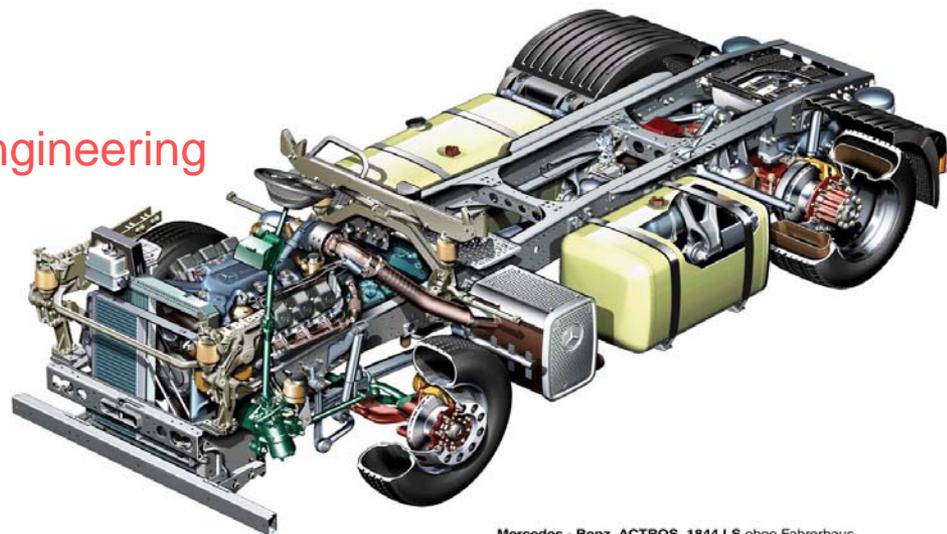
# 计算的跨学科应用

CAD/CAE: Computer Aided Design/Engineering

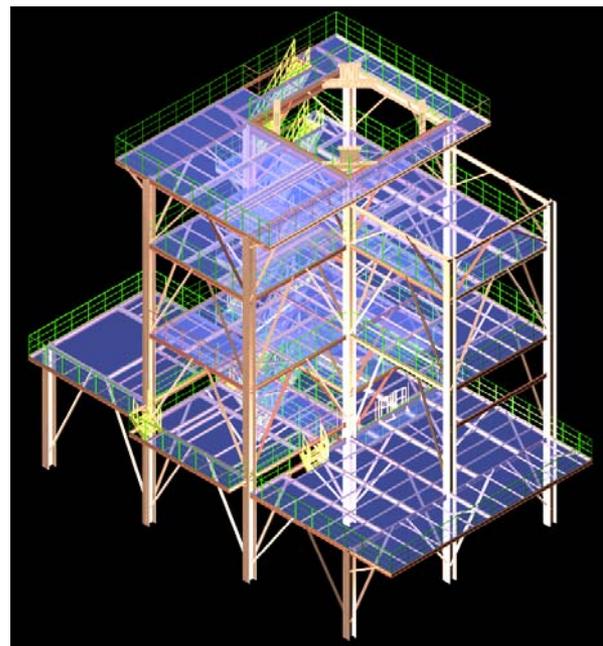
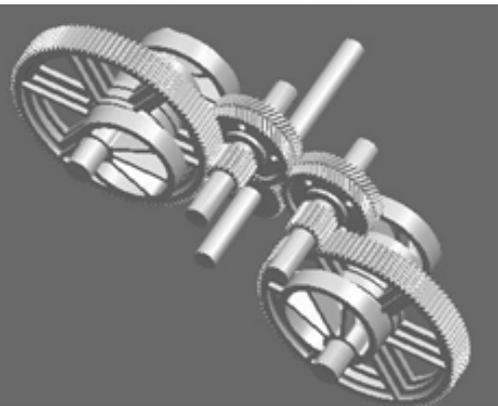
利用计算机的强大功能来支持人们进行产品开发与设计活动。

基本内容包括：

- 建立几何模型
- 工程分析与计算
- 动态模拟仿真
- 自动绘制工程图纸等



Mercedes-Benz ACTROS 1844 LS ohne Fahrerhaus



# 计算的跨学科应用

## CAD/CAE

利用计算机的强大功能来支持人们进行产品开发与设计活动。

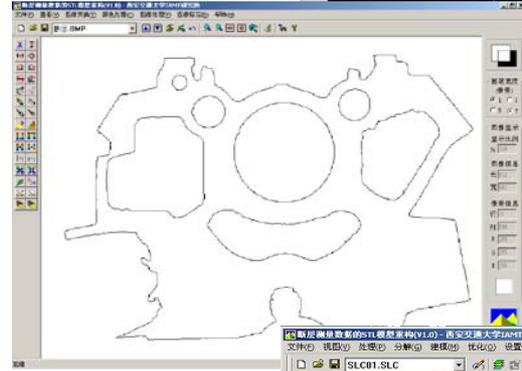
基本内容包括：

- 建立几何模型
- 工程分析与计算
- 动态模拟仿真
- 自动绘制工程图纸等

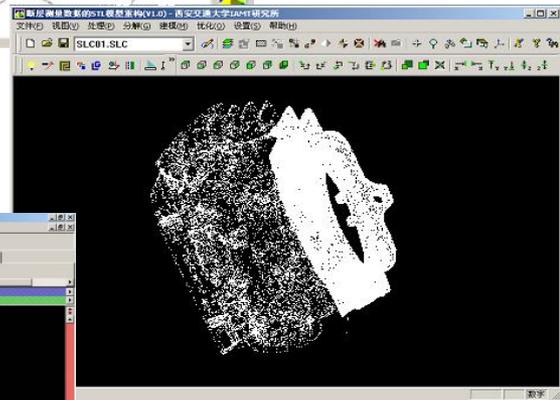
断层图像序列输入



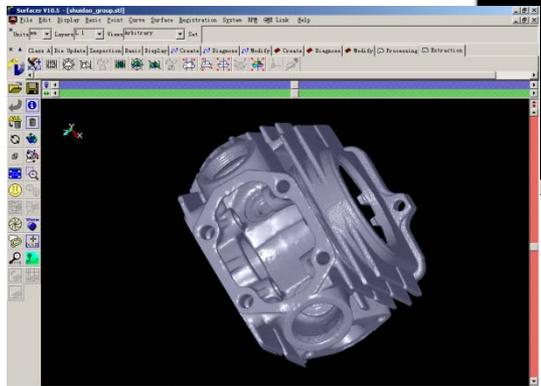
轮廓提取



轮廓数据重构



轮廓数据后处理



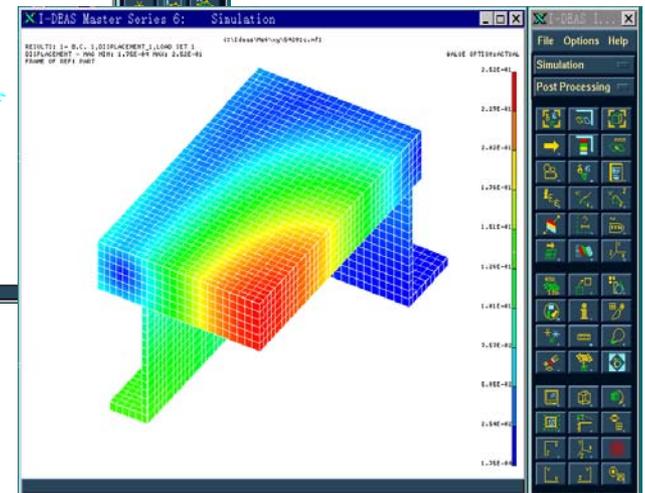
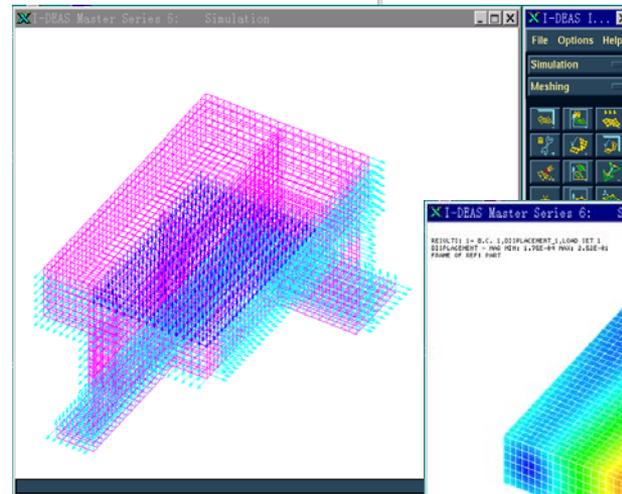
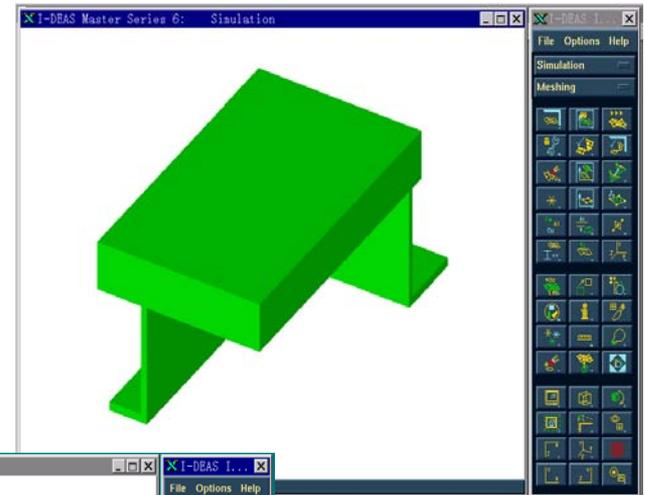
# 计算的跨学科应用

## CAD/CAE

利用计算机的强大功能来支持人们进行产品开发与设计活动。

基本内容包括：

- 建立几何模型
- 工程分析与计算
- 动态模拟仿真
- 自动绘制工程图纸等



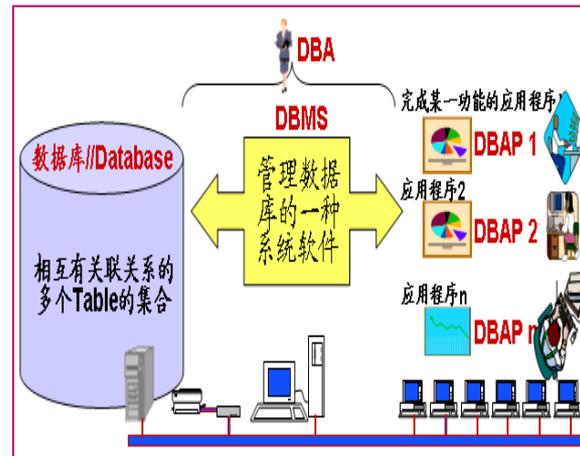
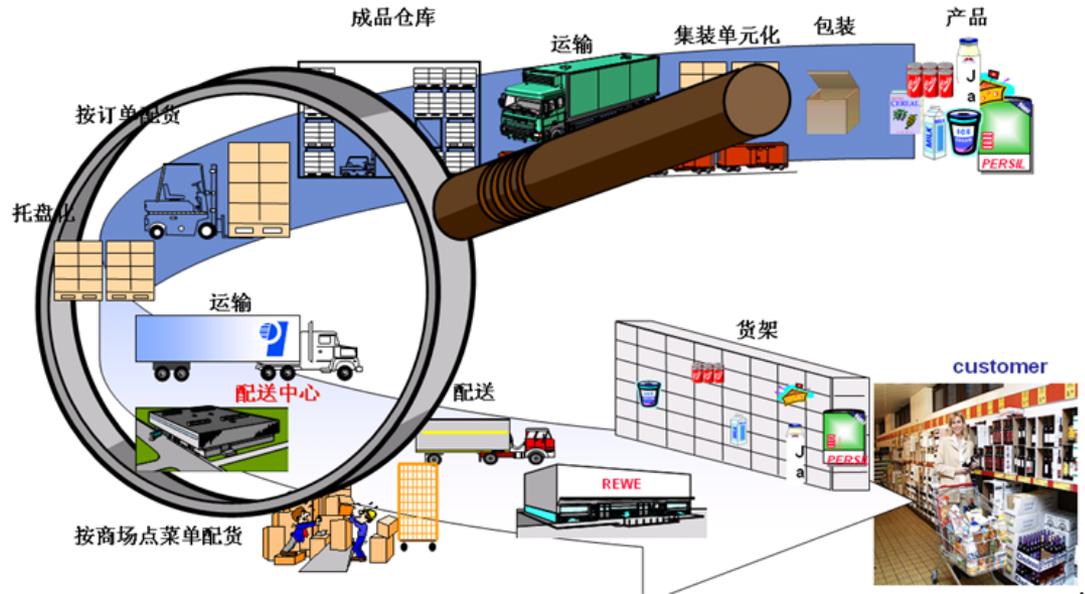
# 计算的跨学科应用

## 企业信息管理

利用计算机技术解决企业内部、企业之间的业务管理与协同问题，包括**计划**；**协同**；**统计**；**调度**；**控制**；**成本**；...

基本内容包括：

- 企业资源规划 (ERP)
- 供应链管理 (SCM)
- 物流管理 (Logistics)
- ...



# 计算的跨学科应用

## 智能计算

使计算机具有**类似人的智能**

基本内容包括：

- 搜索技术 (Search Techniques)
- 非经典逻辑和非经典推理
- 机器学习
- 自然语言理解和口语理解
- 知识工程
- 计算机视觉
- 数据挖掘与知识发现
- 机器人



97年卡斯帕罗夫在与超级电脑“深蓝”对弈



### IBM BI 商务智能解决方案 沃森的胜利意味着什么？

二十一世纪最受瞩目的人机对战，沃森 (Watson) 顺利在美国最流行的智力竞赛 Jeopardy! 中夺冠。从此，一个深度分析与专业系统的新时代即将开启！



2011年IBM沃森参加与人进行自然语言对话的智力节目

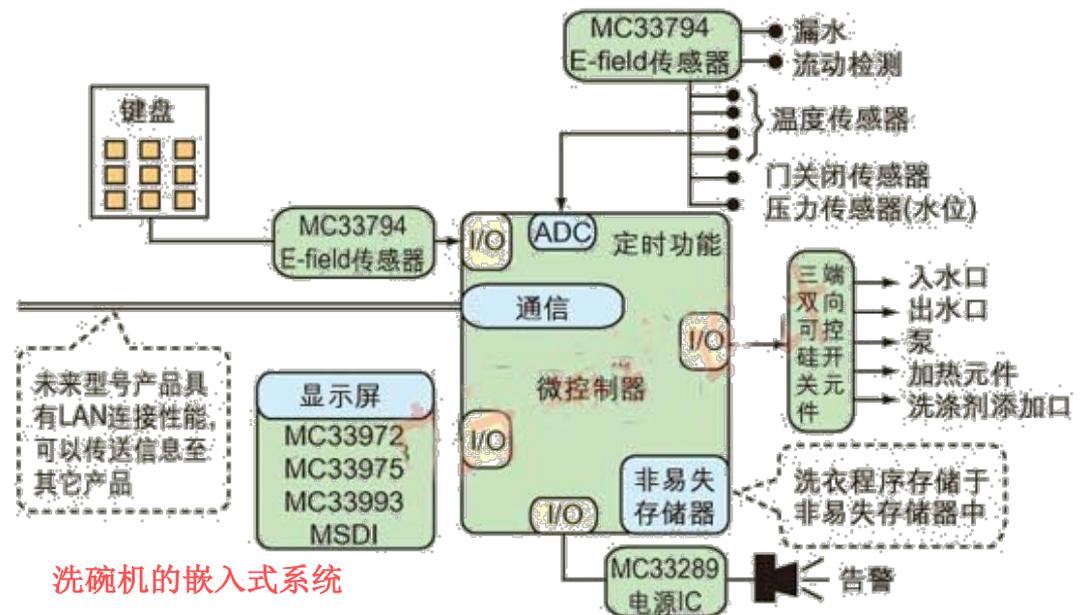
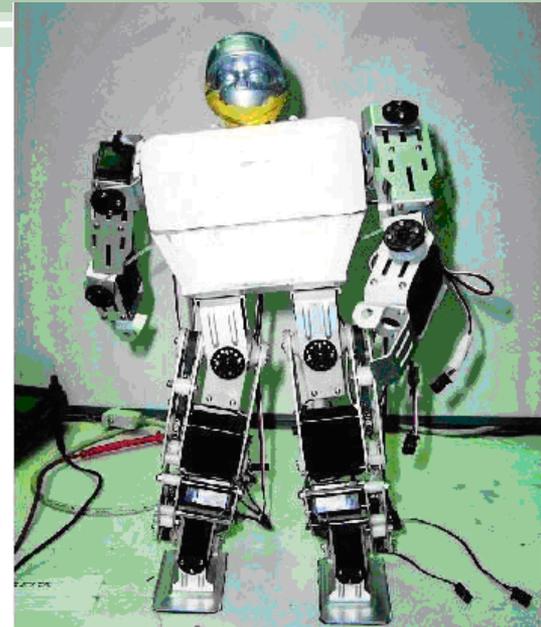
# 计算的跨学科应用

## 嵌入式系统

使各种电器内嵌入计算机芯片接受自动化控制与处理

基本内容包括：

- 智能交通
- 机器人
- 智能家电
- 传感器网络
- 嵌入式芯片



洗碗机的嵌入式系统

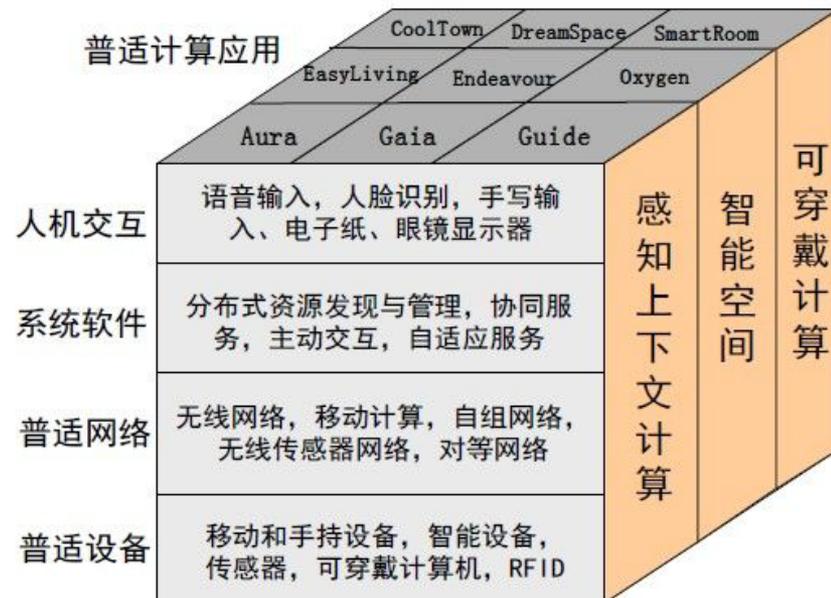
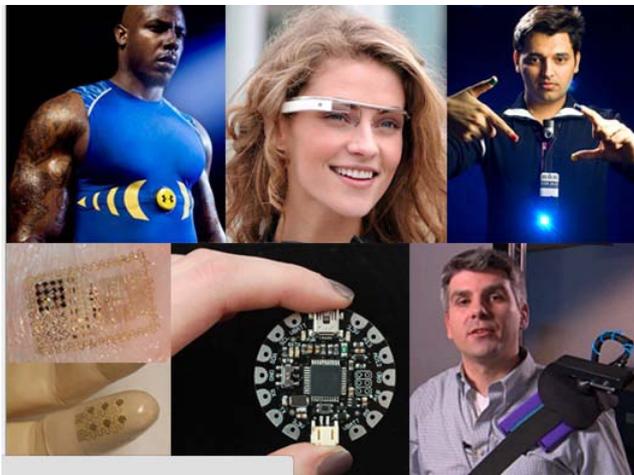
# 计算的跨学科应用

## 普适计算

在任何时间、任何地点都可以计算。也称无处不在的计算(Ubiquitous Computing)

基本内容包括：

- 可穿戴设备
- 智能空间
- 情境感知
- 行为识别
- 定位导航
- 人机交互

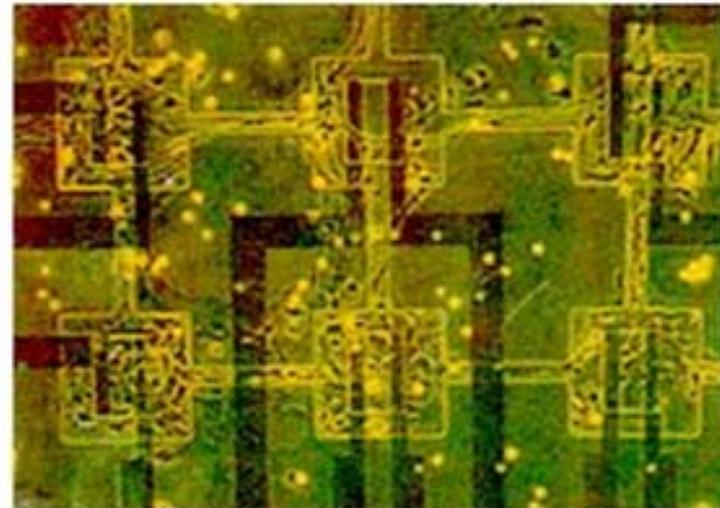
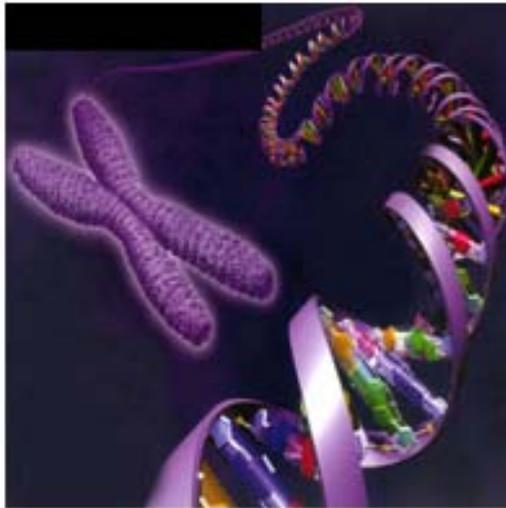


# 计算的跨学科应用

## 生物计算

利用计算机技术研究生命体的特性和利用生命体的特性研究计算机的结构、算法与芯片等技术的统称。

- 基因组序列分析
- 基因组注释
- 生物多样性的度量
- 蛋白质结构预测
- 蛋白质表达分析
- 比较基因组学
- 基因表达分析
- 生物系统模拟



从“蛋白质结构”到“生物芯片”

# 计算的跨学科应用

## 健康计算

利用计算机技术、设备等促进人类身心健康，改善生活方式。

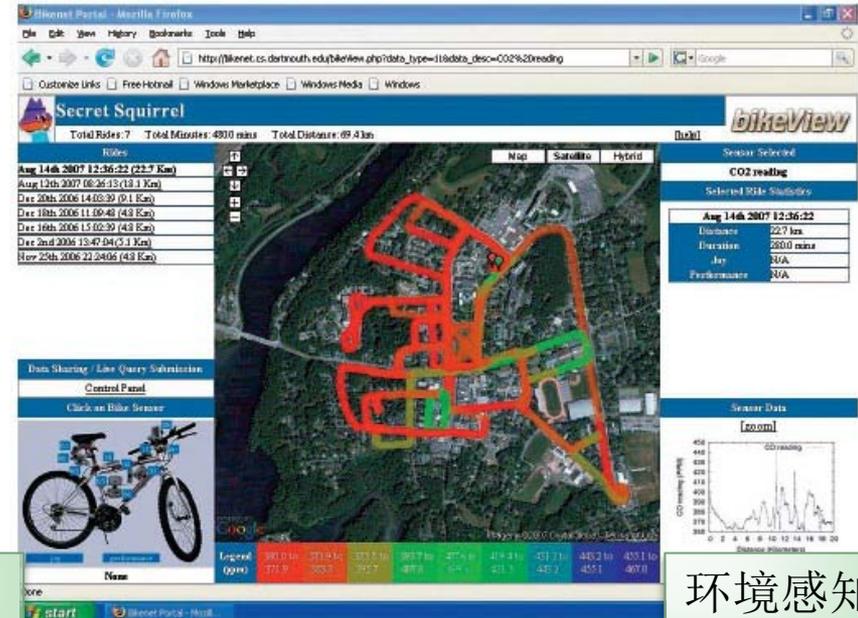
- 健康感知设备
- 个人运动感知
- 生理参数感知
- 健康测量与评估
- 周围环境感知



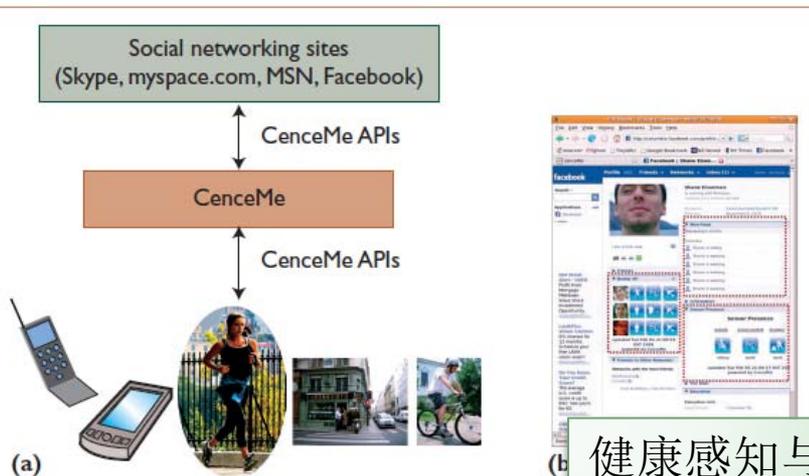
健康手环



西工大老年人健康辅助实验室



环境感知



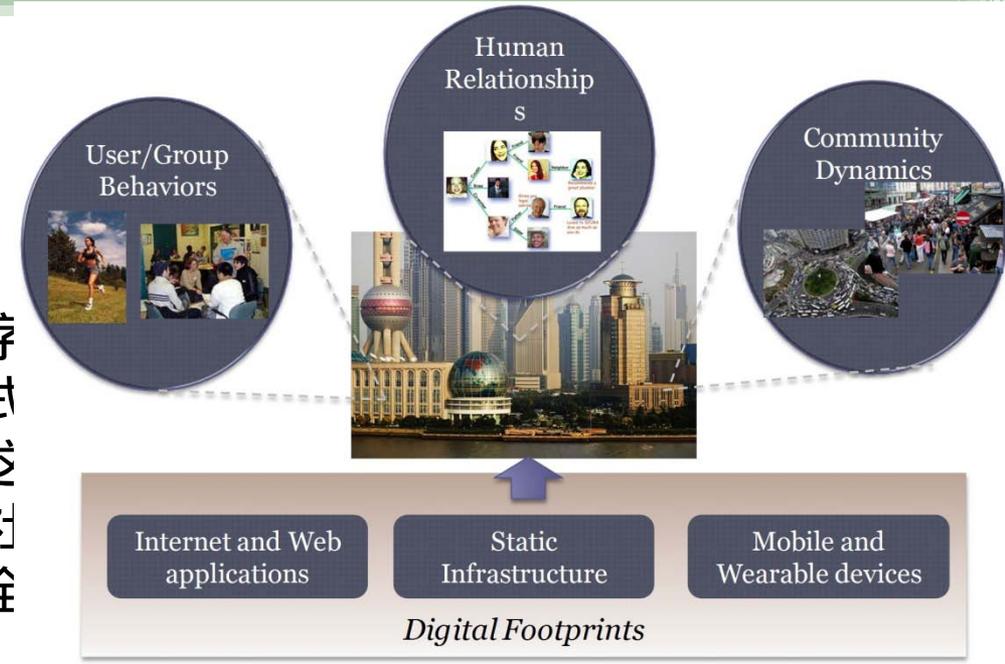
健康感知与共享

# 计算的跨学科应用

## 社群智能

社群智能的研究目的在于从大量的数字脚印中挖掘和理解个人和群体活动模式大规模人类活动和城市动态规律，把这些信息用于各种创新性的服务，包括社会关系管理、人类健康改善、公共安全维护、城市资源管理等。

- 社会网络分析
- 群体活动感知
- 群智感知计算
- 朋友及地点推荐
- 城市感知
- 智能交通
- 智慧社区



社群智能

智慧校园

# 本章小结

- **计算思维概念**

- 运用计算机科学的基础概念进行问题求解、系统设计、以及人类行为理解的涵盖了计算机科学之广度的一系列思维活动。

- **计算思维本质**

- 抽象、自动化（程序、算法）

- **计算思维能力**

- 建立起利用计算机技术解决问题的思路，并理解问题的可求解性
- 问题抽象、模型建立、算法设计、实现
- 多学科知识融合



## End of Chapter 2

Contact: [guob@nwpu.edu.cn](mailto:guob@nwpu.edu.cn)  
<http://www.ayu.ics.keio.ac.jp/~bingo/>

