

计算机：过去、现在和未来

陈恩红 教授



目 录

1

过去：计算机发展简史

2

现在：当代计算机科学概述

3

未来：挑战和机遇

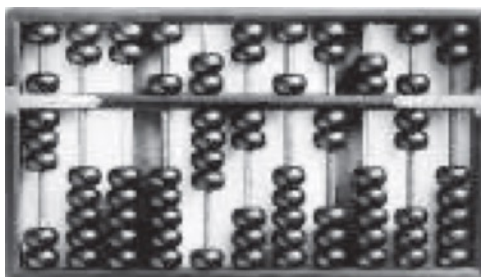


过去：计算机发展简史

- 计算工具由来已久
 - 结绳计数
 - 算筹、计算尺和算盘
 - 机械计算器



计算尺



算盘



Pascalene 机械加法器
(Blaise Pascal, 1642-1643)

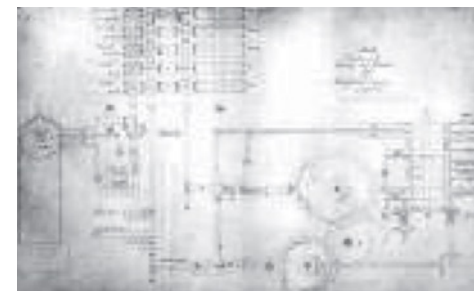


过去：计算机发展简史

- 通用计算机的雏形
 - 过去的计算工具只能完成特定计算任务（如加法）
 - 如何完成任意指定的计算任务？

- Babbage分析机
 - 第一台真正的**通用计算机**
 - 通过打孔指定计算任务（**程序**）
 - 受限于当时条件未能制造

- 世界上第一位程序员：Ada



1834-1835：Babbage分析机设计图纸



Ada Lovelace (1815-1852)



第一台通用电子计算机

- 诞生前夕
 - 电子管的发明和应用：电子计算机成为可能
 - 二战时弹道计算的迫切需求：战争的推动
- 第一台通用电子计算机
 - **ENIAC**: Electronic Numerical And Calculator
 - 1946年2月14日在宾夕法尼亚大学





第一代计算机（1945 - 1955）

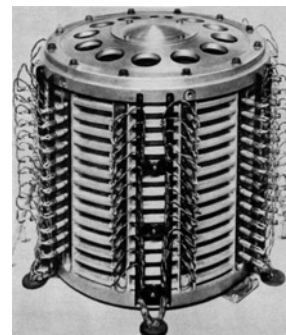
- 冯·诺伊曼提出“存储程序”思想
 - EDVAC
 - 确立的**冯·诺伊曼体系结构**适用至今
- 第一代计算机
 - 电子管为主体
 - 从插板连线到穿孔卡片
 - 磁鼓/磁芯存储器



电子管



插板连线
(IBM 402 输入设备)



磁鼓存储器



第二代计算机（1955 - 1965）

- 第二代（晶体管）计算机
 - 背景：晶体管的发明
 - 构成：印刷电路板+晶体管+磁芯存储器（体积大幅减小）
 - 操作方式：打孔卡、磁带上的成批作业（批处理）



晶体管



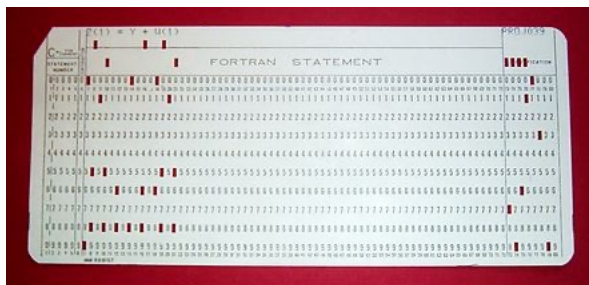
Property of Museum of History & Industry, Seattle

IBM 1620



第二代计算机 (1955 - 1965)

- 现存最古老的编程语言
 - FORTRAN (1957)
 - ◆ 用于代替机器语言
 - ◆ 广泛应用于数值计算领域
 - LISP (1958)
 - ◆ 最早作为计算机程序的数学表示出现
 - ◆ 广泛应用于人工智能领域



一段FORTRAN程序 (写在穿孔卡片上)

```
; LISP  
(DEFUN HELLO-WORLD ()  
  (PRINT (LIST 'HELLO 'WORLD)))
```

一段LISP程序



第三代计算机（1965 - 1980）

- 第三代（集成电路）计算机
 - 集成电路：规模减小和性价比提高
 - 小型机的崛起



IBM System/360



DEC PDP-1



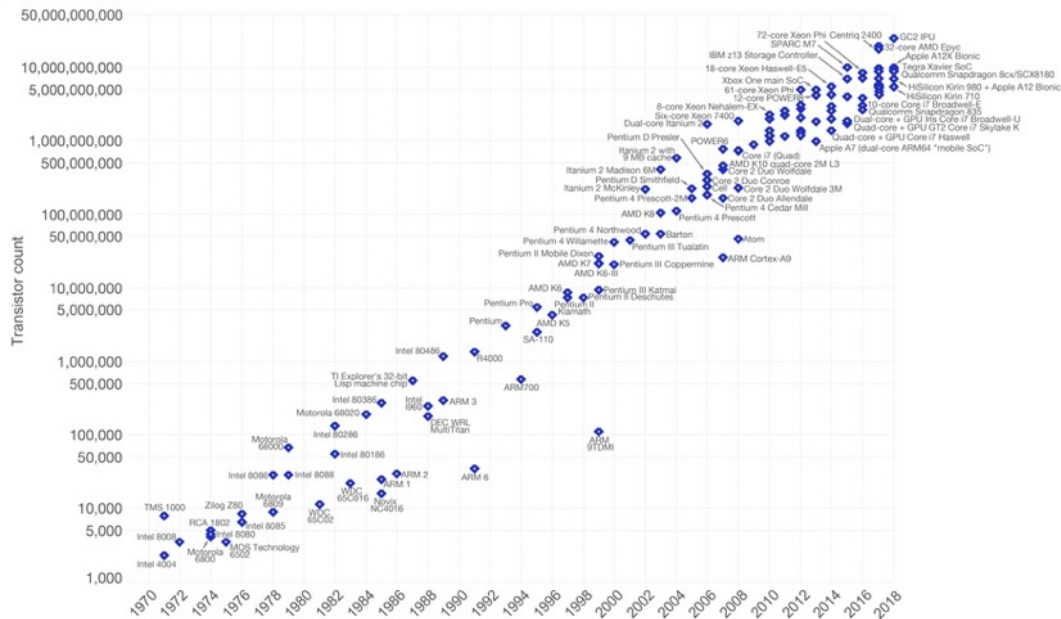
第三代计算机（1965 - 1980）

■ 摩尔定律

- Intel 创始人之一 Gordon Moore 提出
- **价格不变时，约每隔18-24个月，集成电路性能将提升一倍**
- 是一种观测/推测，而非真实的定律

Moore's Law – The number of transistors on integrated circuit chips (1971-2018)

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important as other aspects of technological progress – such as processing speed or the price of electronic products – are linked to Moore's law.



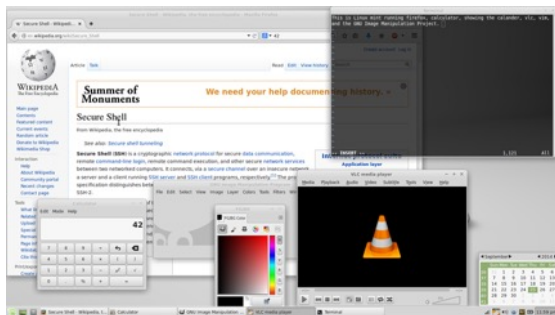
Data source: Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count)
The data visualization is available at [OurWorldInData.org](https://ourworldindata.org). There you find more visualizations and research on this topic.

Licensed under CC-BY-SA by the author Max Roser.

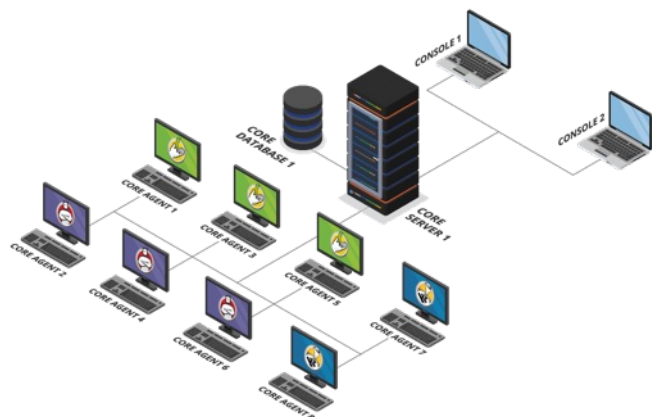


第三代计算机（1965 - 1980）

- 操作系统的出现和发展
 - 多任务的需求：多道程序
 - 多用户的需求：分时操作系统
 - **UNIX** 的诞生（1970）



多任务：同时运行多个程序



多用户：同时供多个用户使用



UNIX 操作系统的主要开发者
Ken Thompson 和 Dennis Ritchie



第四代计算机（1980 至今）

- 第四代（大规模集成电路）计算机
 - 核心：包含大规模集成电路的微处理器
 - 计算、存储能力的大幅提升，体积大幅减小
 - 个人计算机（PC）的产生和普及



一种大规模集成电路
Intel 8086 (1978-1990)



IBM PC model 5150



一款早期的苹果个人电脑
Apple IIc



第四代计算机（1980 至今）

■ 编程语言的发展

- 1985 年 C++ 问世：提供比 C 更高层的抽象（面向对象）
- 1990 年 Python 问世：解释型语言，更加简单
- 1995 年 Java 问世：完全面向对象，虚拟机，垃圾回收





第四代计算机（1980 至今）

■ 操作系统的发展

- 1981 年：PC DOS 1.0 系统随 IBM PC 一同发布
- 1985 年：Windows 1.0 发布
- 从 UNIX 到 Linux
 - ◆ UNIX 的商业化与 Minix
 - ◆ 1991年：Linus 在邮件组中发布 Linux 0.02



Bill Gates, DOS 和 Windows

Linus Torvalds 和 Linux



第四代计算机（1980 至今）

■ 网络的产生与发展

- 1969年互联网的原型 **ARPANet** 诞生，首先用于军事连接
 - ◆ 起初只有4个结点，分布在UCLA等四所大学的4台大型计算机
 - ◆ 较好地解决了异种机互联的问题，并推动了 **TCP/IP** 协议的诞生（1983）





第四代计算机（1980 至今）

■ 网络的产生与发展

□ 1989年 World Wide Web 诞生

- ◆ 欧洲离子物理研究所（CERN）的 Tim Berners Lee（万维网之父）等人首次提出的一个分类互联网信息的协议
 - 在1990年，他写出了第一个网页：<http://info.cern.ch>
 - 他定义了**URL**、**HTML**、**HTTP**等的规范
 - 他创立了万维网联盟（W3C）并担任主席





互联网时代

- 互联网的普及
 - 无线网
 - ◆ IEEE 802.11: 1997年为无线局域网制定的第一个标准
 - ◆ 到 2009 年, Wi-Fi 芯片年产量达 **5.8 亿**
 - 移动设备
 - ◆ iPhone 等智能手机逐渐普及
 - ◆ 2008 年谷歌的智能手机操作系统 Android 商用



无线局域网 (Wi-Fi)



苹果公司早期 iPhone



谷歌公司的 Android 操作系统



互联网时代

■ 互联网巨头企业

- 新兴互联网应用起家：搜索、社交网络
- 迅速发展为拥有改变世界力量的企业



1995年 Yahoo 公司成立



1998年 Google 公司成立



2004年 Facebook 公司成立



目 录

1

过去：计算机发展简史

2

现在：当代计算机科学概述

3

未来：挑战和机遇



现在：当代计算机科学概述

1

从程序设计到算法

2

现代计算机是怎样运行的

3

复杂的计算机系统

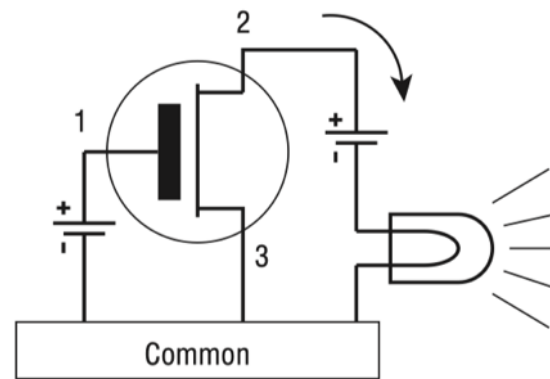
4

应用计算机科学



从程序设计到算法

- 二进制
 - 电子器件中的 0 和 1
- 信息的表示
 - **数据**的表示
 - ◆ 整数
 - ◆ 小数 (浮点数)
 - ◆ 字符
 - ◆
 - **操作**的表示：指令



Transistor Switch

晶体管开关，高电平表示 1，低电平表示 0

程序 = 数据结构 + 算法 (Niklaus Wirth, 1976)

数据 **对数据的操作**



从程序设计到算法

■ 指令：机器语言

操作符：ADD

左操作数：%eax

右操作数：0

二进制：

0000	0001	0000	0101	0000	0000	0000	0000	0000	0000
0	1	0	5	0	0	0	0	0	0

十六进制：

■ 指令序列和汇编语言

1 00000000 <sum>:

	<i>Offset</i>	<i>Bytes</i>	<i>Equivalent assembly language</i>
2	0:	55	push %ebp
3	1:	89 e5	mov %esp,%ebp
4	3:	8b 45 0c	mov 0xc(%ebp),%eax
5	6:	03 45 08	add 0x8(%ebp),%eax
6	9:	01 05 00 00 00 00	add %eax,0x0
7	f:	5d	pop %ebp
8	10:	c3	ret

指令序列（机器语言程序）

对应汇编语言程序



从程序设计到算法

■ 各种各样的程序设计语言

Rank	Language	Type	Score
1	Python		100.0
2	Java		96.3
3	C		94.4
4	C++		87.5
5	R		81.5
6	JavaScript		79.4
7	C#		74.5
8	Matlab		70.6
9	Swift		69.1
10	Go		68.0

Web



Enterprise



Mobile



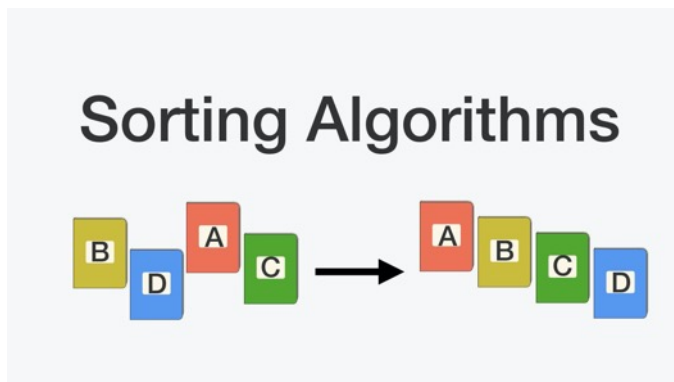
Embedded



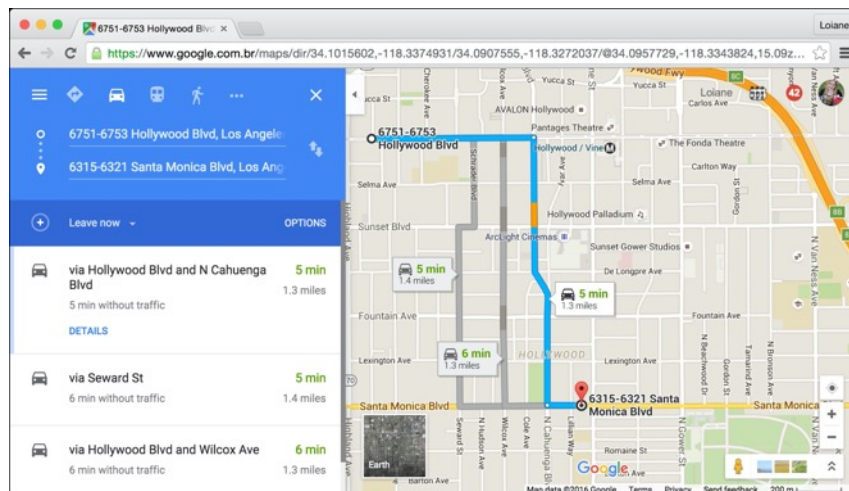


从程序设计到算法

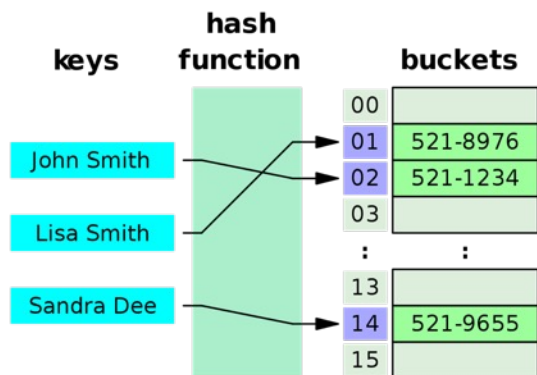
■ 解决问题：算法



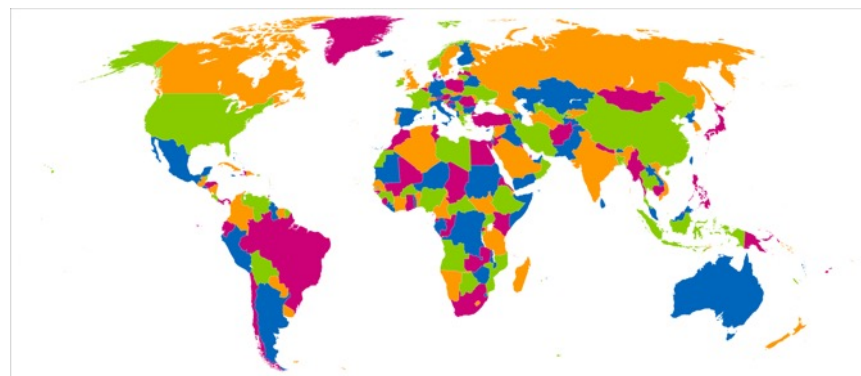
排序算法



地图软件的最短路算法



基于哈希表的查找算法



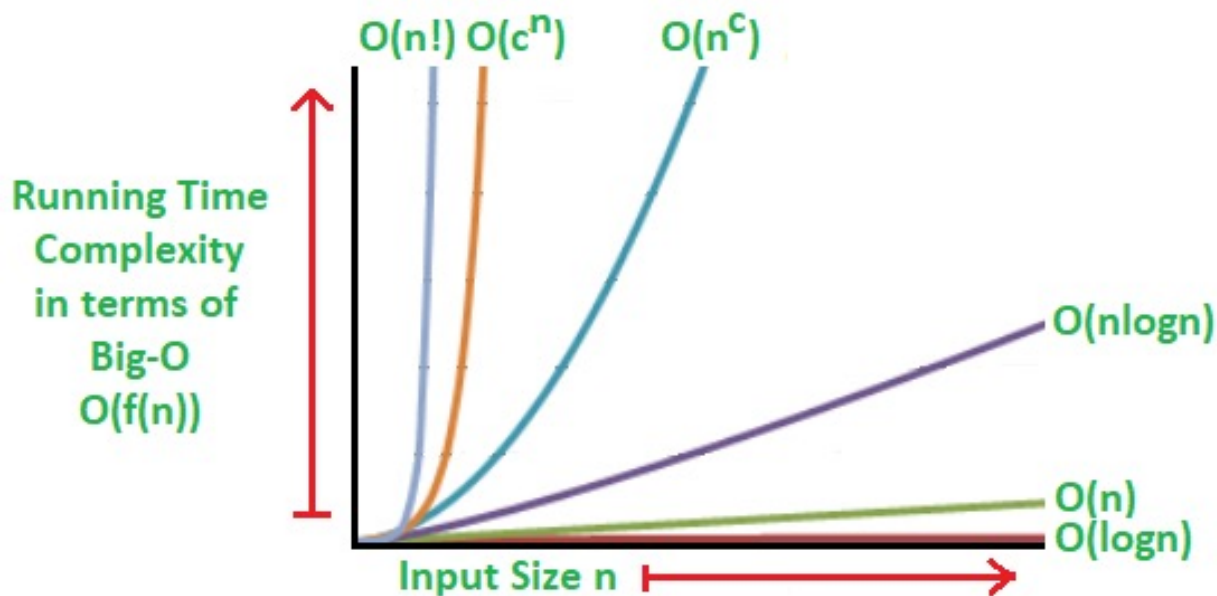
四色定理的机器证明



从程序设计到算法

■ 效率与算法分析

- 机器计算速度提升是有限的，**算法效率提升**才是本质的
- **时间复杂度**：运行时间随输入规模增加的速度





从程序设计到算法

- 存在不可解决的问题吗？
 - **停机问题**：给定一段程序和输入，判断程序是否可以停止

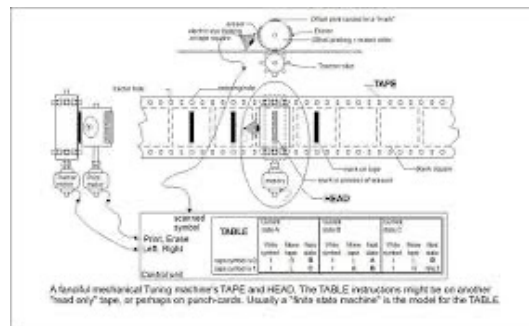


Alan designed the perfect computer

- 解决：可计算性与理论计算机科学



阿兰·图灵

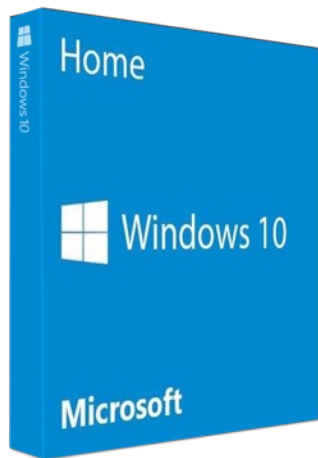


计算机理论模型：图灵机



从程序设计到算法

- 复杂的程序：**软件**
 - 越来越复杂的软件
 - 软件的灾难



Windows 10 估计包含超过5000万行代码



1962 年“水手号”火箭因公式录入错误失事

- 解决：软件工程



现在：当代计算机科学概述

1

从程序设计到算法

2

现代计算机是怎样运行的

3

复杂的计算机系统

4

应用计算机科学



现代计算机是怎样运行的

■ 各种各样的计算机



神威·太湖之光超级计算机



笔记本电脑



移动电话



信用卡大小的树莓派计算机

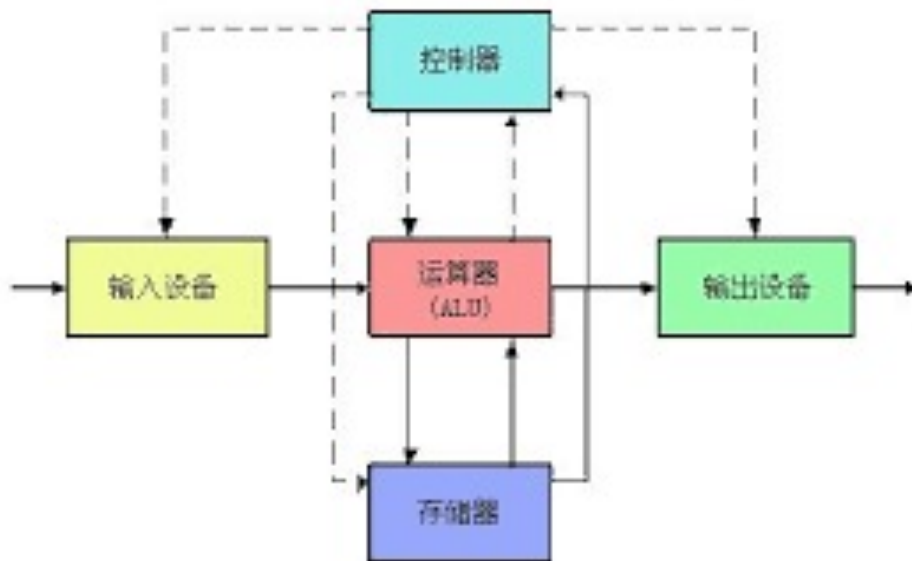


现代计算机是怎样运行的

- 计算机的组成：冯·诺依曼体系结构
 - 冯·诺依曼于1945年提出
 - 基本思想沿用至今



冯·诺依曼



冯·诺依曼体系结构示意图

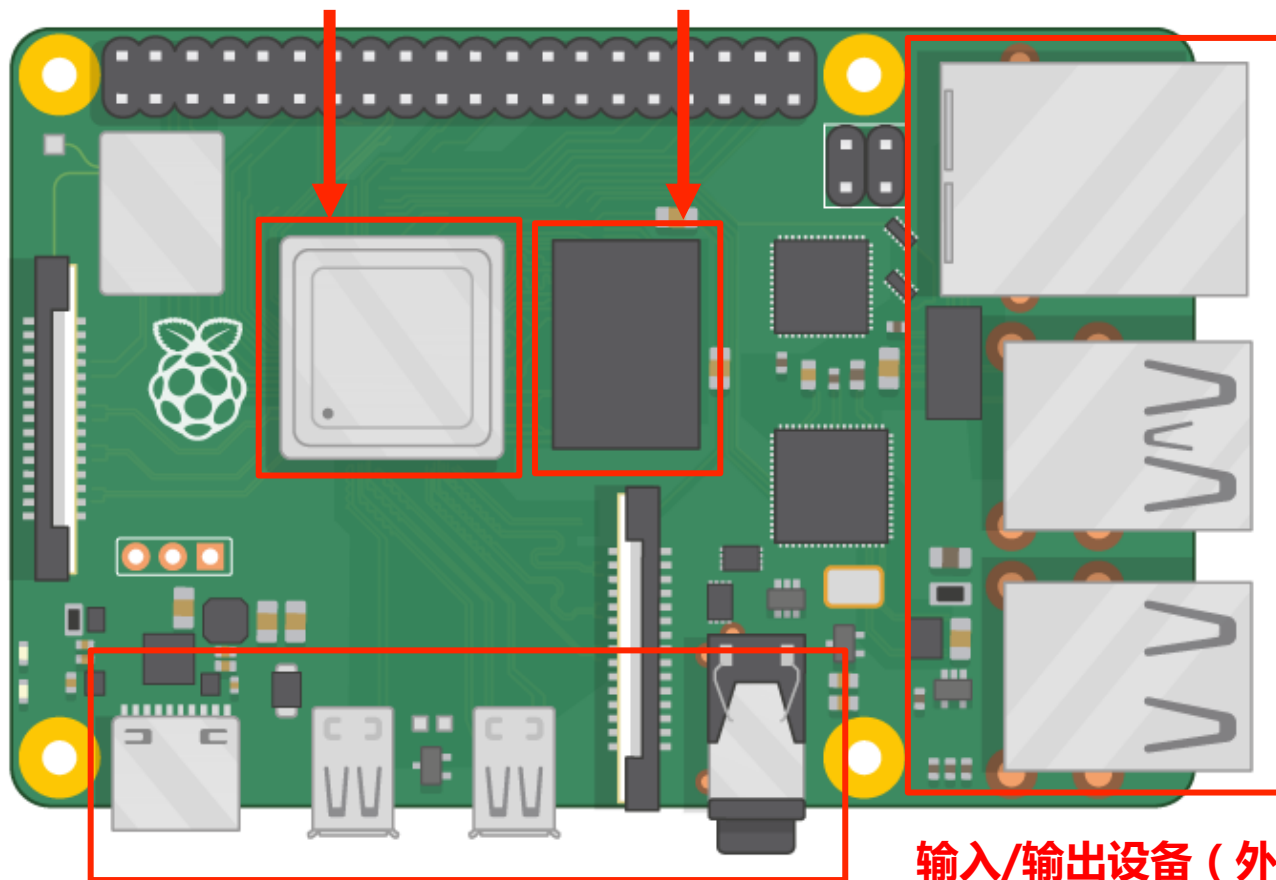


现代计算机是怎样运行的

■ 实例：树莓派

运算器和控制器 (CPU)

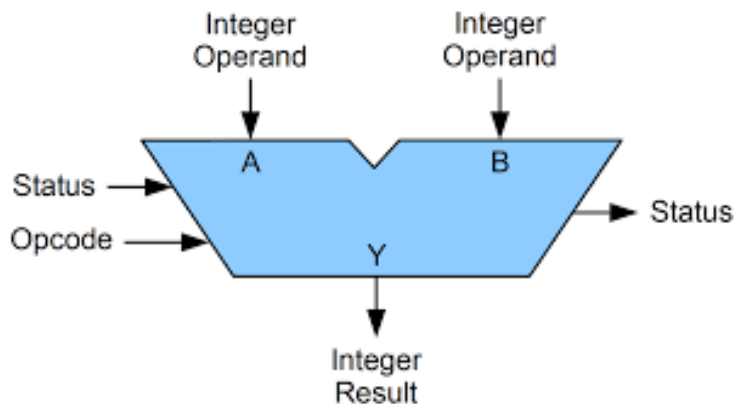
存储器 (内存)



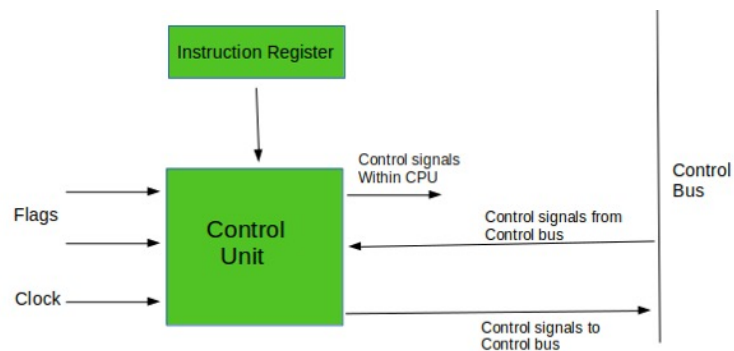


现代计算机是怎样运行的

- 中央处理器 (CPU)
 - 作用：运算器和控制器
 - 运算器：执行计算
 - 控制器：执行指令



运算器部分 (ALU)



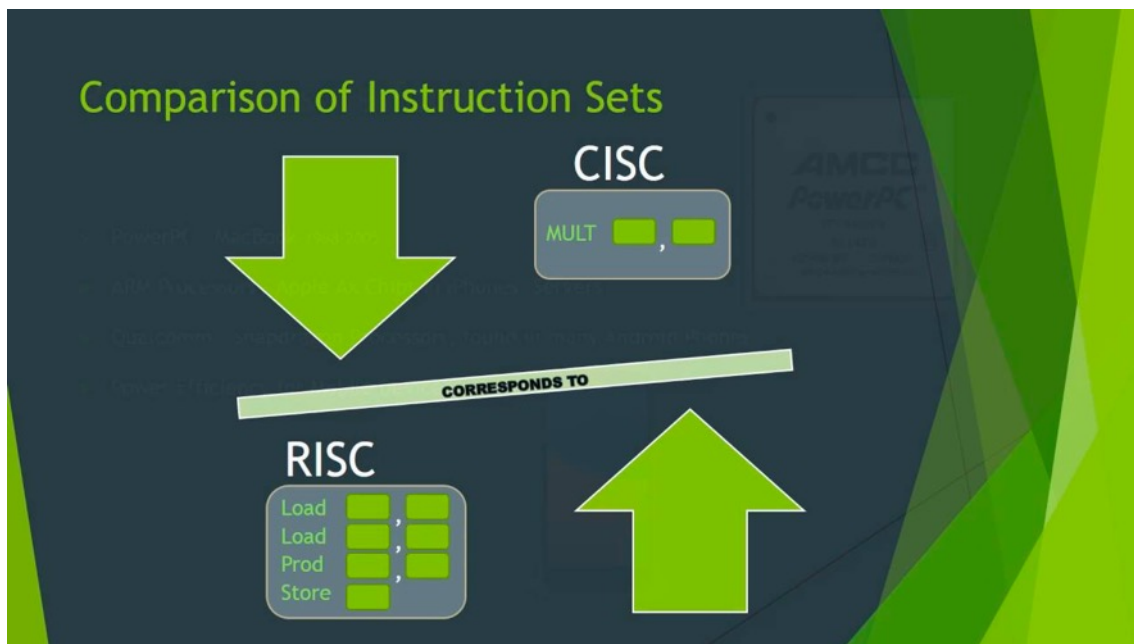
Block Diagram of the Control Unit

控制器部分 (Control Unit)



现代计算机是怎样运行的

- 指令集体系结构 (ISA)
 - 指令集规定了 CPU 的所有指令及其编码方式
 - 种类
 - ◆ 复杂指令集 (**CISC** , 如 x86, amd64 等)
 - ◆ 精简指令集 (**RISC** , 如 ARM , MIPS 等)

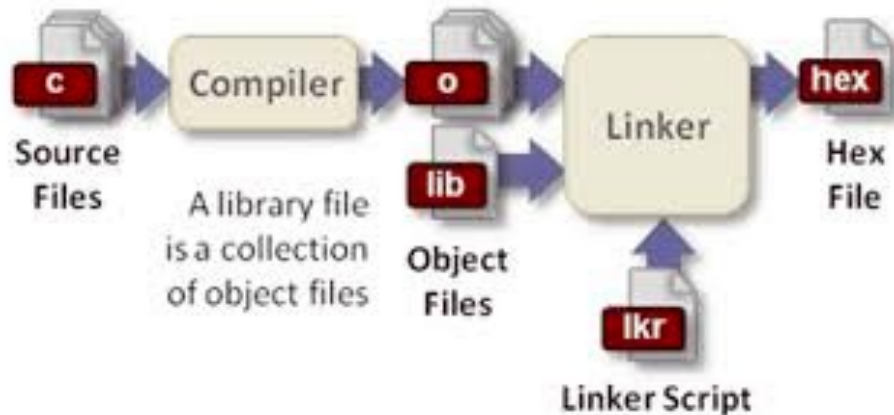




现代计算机是怎样运行的

■ 程序的编译

- 编译器：将**高级语言**转换为**机器可执行的指令**的工具
- 编译原理：编译器如何实现



编译器（将程序转换为指令）和连接器
（将指令合并为可执行程序）



现代计算机是怎样运行的

- 外围设备：存储器
 - 内存储器
 - 外存储器：磁盘、固态硬盘
- 存储的形式
 - 数据块
 - 文件



各种存储器



不同的数据以文件形式存储



现代计算机是怎样运行的

- 外围设备：输入/输出设备
 - 输入设备：键盘、鼠标等
 - 输出设备：显示器、打印机等
 - 其他 I/O 设备：传感器、传动控制等



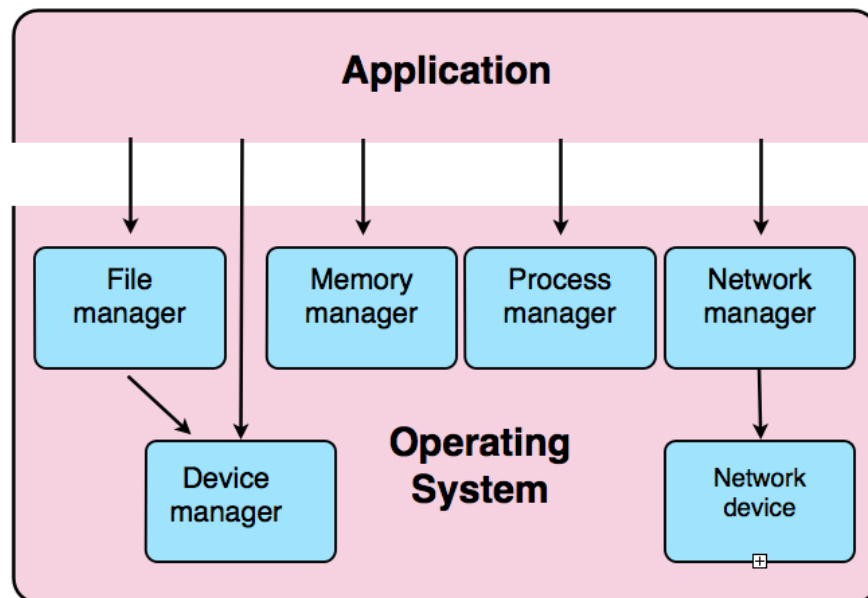
各种 I/O 设备（包括一个上菜机器人）



现代计算机是怎样运行的

■ 大管家：操作系统

- 控制程序的执行：进程管理
- 存储和管理文件：文件系统
- 管理复杂的设备：设备驱动

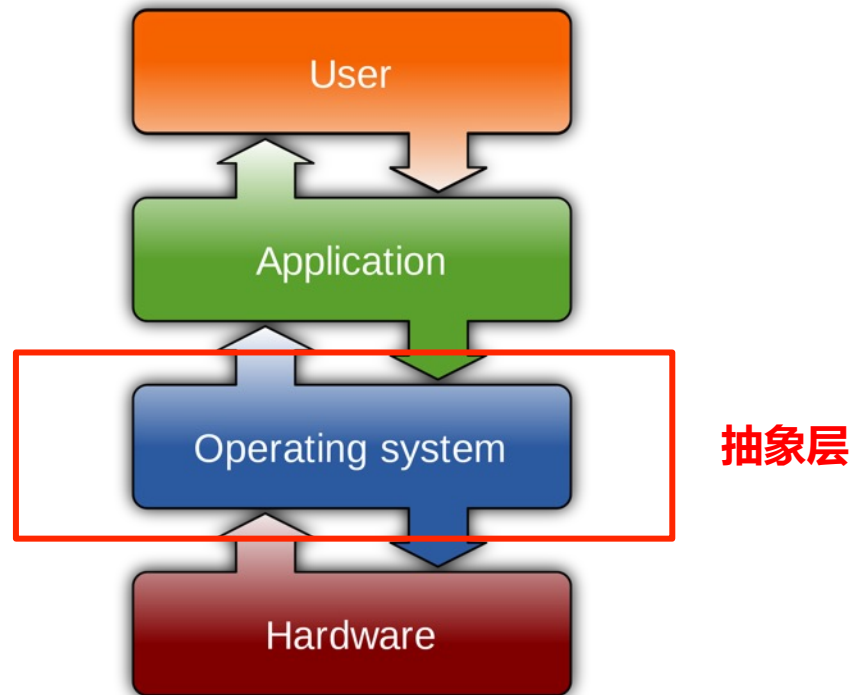




现代计算机是怎样运行的

■ 操作系统作为**机器抽象**

- 操作系统为复杂的硬件提供了统一、简化的抽象
 - ◆ 进程模型
 - ◆ 线性内存模型
 - ◆





现代计算机是怎样运行的

- 操作系统作为**资源管理器**
 - 控制和管理输入/输出设备
 - 资源的调度

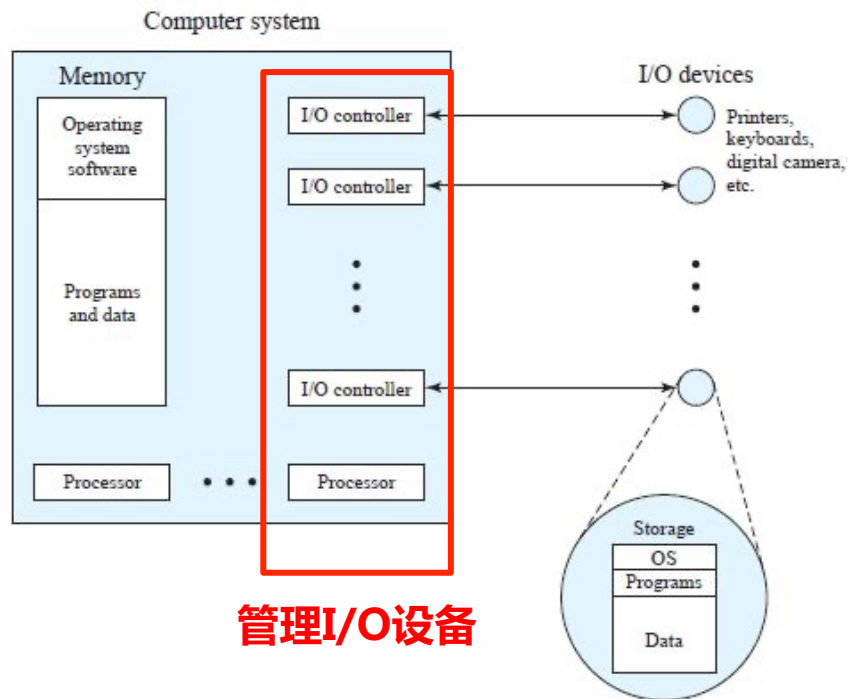


Figure 2.2 The Operating System as Resource Manager



现在：当代计算机科学概述

1

从程序设计到算法

2

现代计算机是怎样运行的

3

复杂的计算机系统

4

应用计算机科学



复杂的计算机系统

■ 并行、分布式和云计算

□ 并行计算

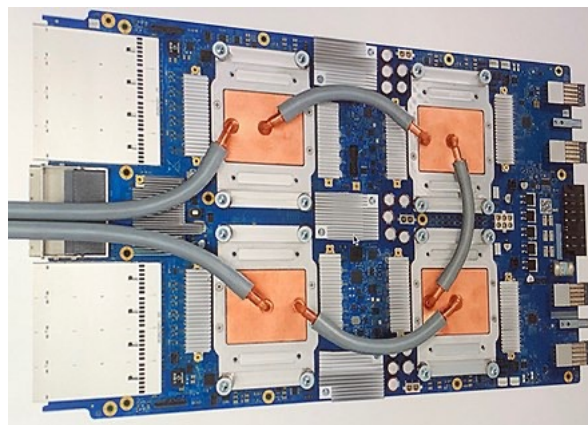
- ◆ 单核性能难于提升 → 多核并行 → 集群
- ◆ 外部计算核心：GPU、TPU 等
 - 虽然GPU在游戏中以3D渲染而闻名，但它们对深度学习和机器学习算法尤其有用



超算集群 (IBM Blue Gene/L)



图形处理器 (GPU)



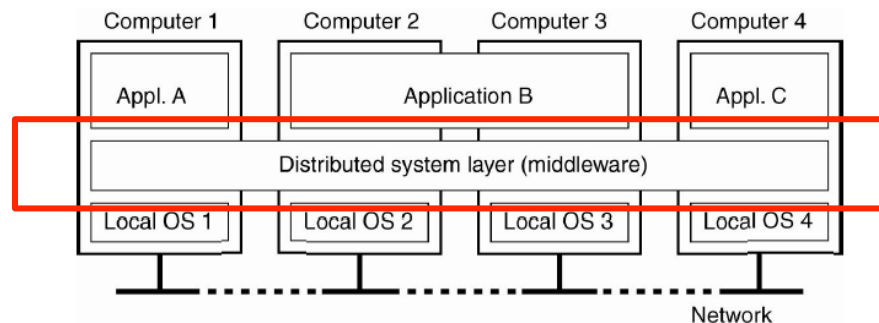
向量处理器 (TPU)



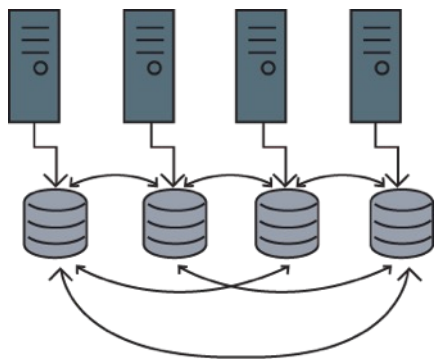
复杂的计算机系统

■ 并行、分布式和云计算

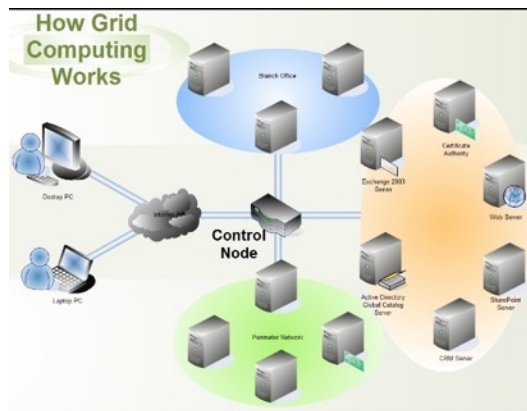
- 分布式系统
- 分布式存储
- 网格计算
 - ◆ 将分散的资源**集中利用**
- 云计算
 - ◆ 将集中的资源通过互联网**共享**



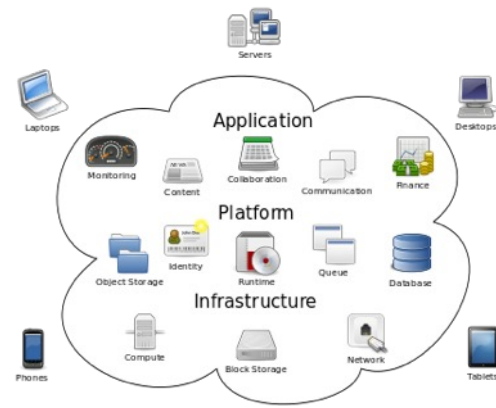
分布式系统为多台机器提供单一的抽象层



分布式存储



网格计算



Cloud computing
云计算



复杂的计算机系统

- 从数据库到数据仓库
 - 数据库
 - ◆ 数据的结构化存储
 - ◆ 高效增/删/改/查
 - ◆ 广泛应用于各类实际业务



```
UPDATE clause {UPDATE country  
                SET clause {SET population =  $\overbrace{\text{population} + 1}^{\text{expression}}$   
                WHERE clause {WHERE  $\underbrace{\text{name} = \text{'USA'}}_{\text{predicate}}$  ;  
                                }  
                                }  
                                } statement
```

结构化查询语言 (SQL)

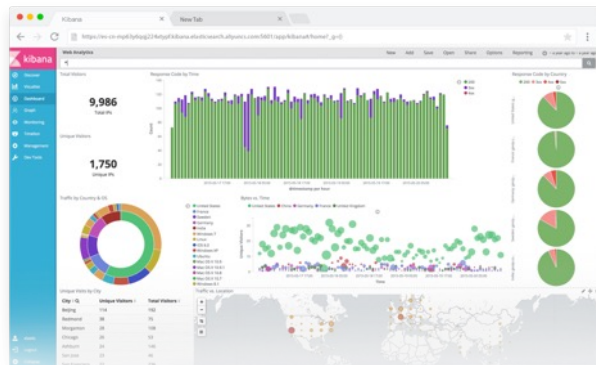


复杂的计算机系统

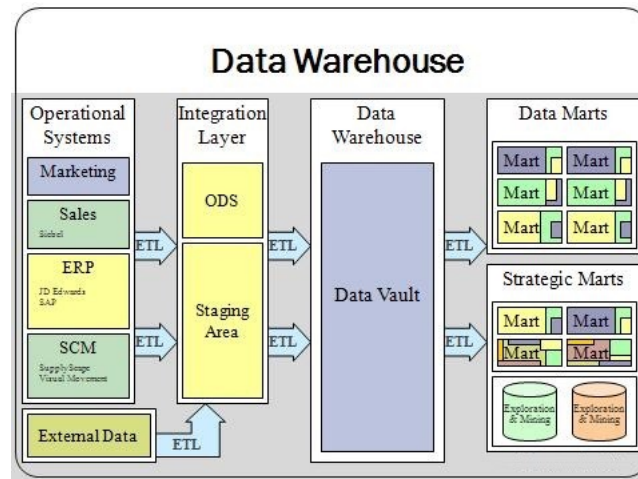
- 从数据库到数据仓库
 - 数据量激增
 - 更加复杂的分析需求
 - 实时性要求提高
 - **数据仓库**：数据采集、存储、加工、管理的完整解决方案



每分钟产生大量数据



数据的实时分析



数据仓库



复杂的计算机系统

■ 网络和安全

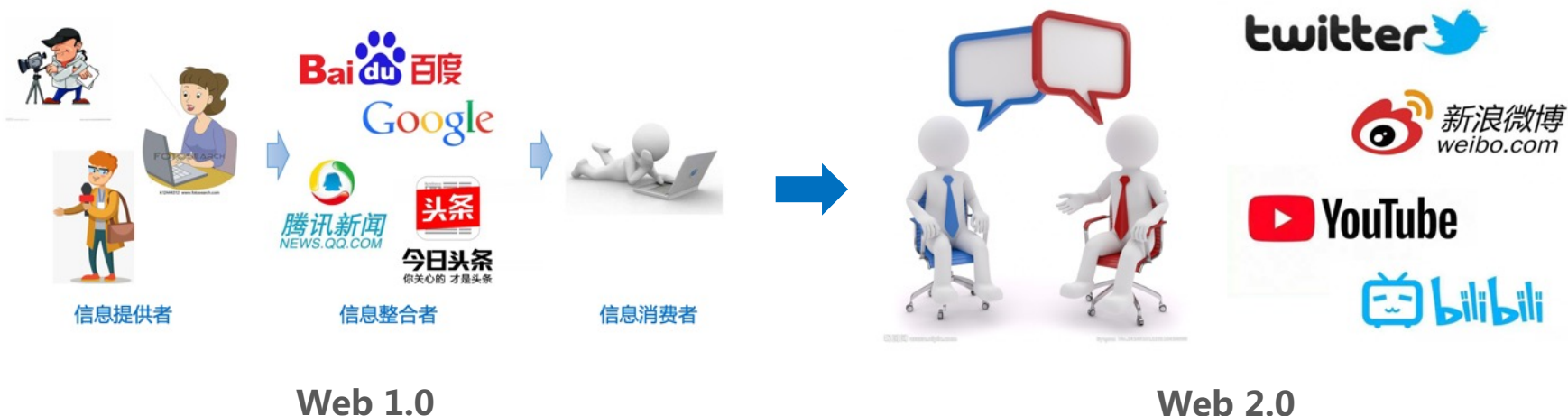
□ 庞大的互联网

◆ 2020 年预计接入互联网的设备达 **500 亿**

□ 丰富的网络应用：从 Web 1.0 到 Web 2.0

◆ Web 1.0: 信息从生产者向消费者单向流动

◆ Web 2.0: 人人都是信息的生产者，也是消费者





复杂的计算机系统

■ 网络和安全

□ 网络安全

◆ 网络安全事件：WannaCry (2017)

- 恶意加密用户文件，以勒索比特币
- 透过教育网传播，影响国内十几家高校

◆ 安全 (security) 保护：阻止数据的未授权访问

□ 隐私与隐私保护



WannaCry 勒索界面



数据伴随着隐私，如何保护



现在：当代计算机科学概述

1

从程序设计到算法

2

现代计算机是怎样运行的

3

复杂的计算机系统

4

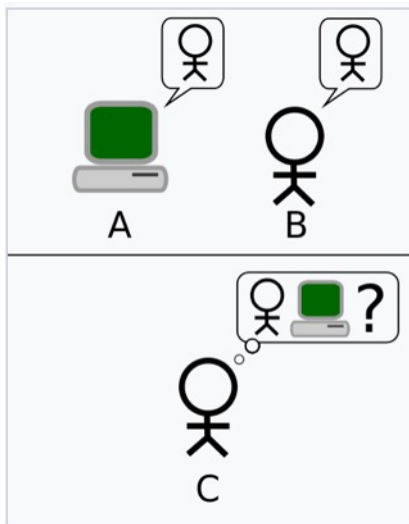
应用计算机科学



应用计算机科学

■ 人工智能

- 图灵测试：图灵于 1950 年提出的一个关于判断机器是否能够思考的著名思想实验
- 目标：机器像人类一样思考，甚至超越人类的思考



图灵测试一个标准的模式：C使用问题来判断A或B是人类还是机械



IBM's Deep Blue

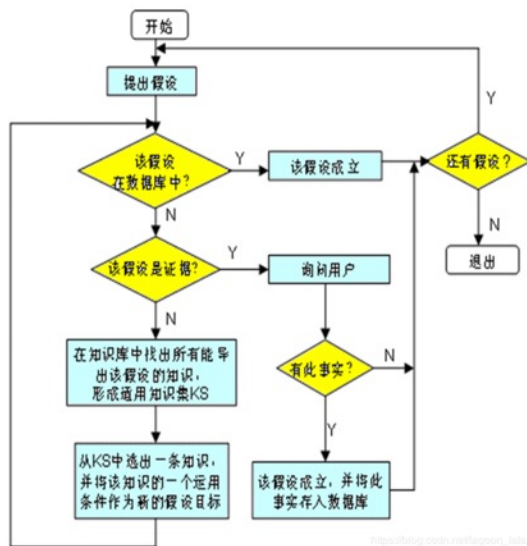
World Champion Garry Kasparov

“深蓝”击败国际象棋世界冠军

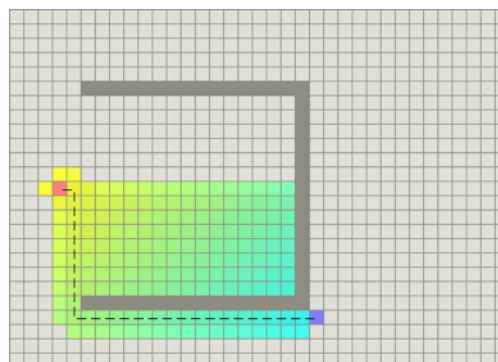


应用计算机科学

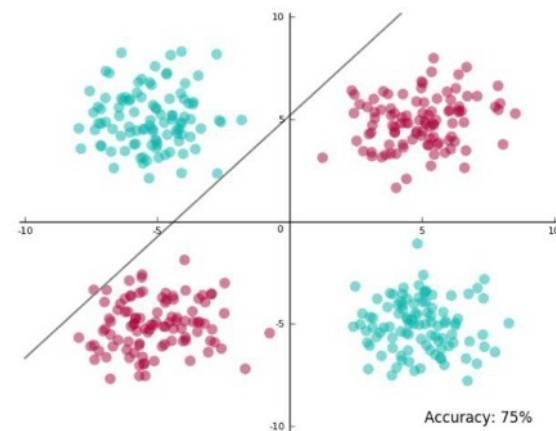
- 实现人工智能
 - 逻辑规则
 - 人工智能算法
 - 机器学习
 -



基于逻辑规则的专家系统



A* 寻路算法

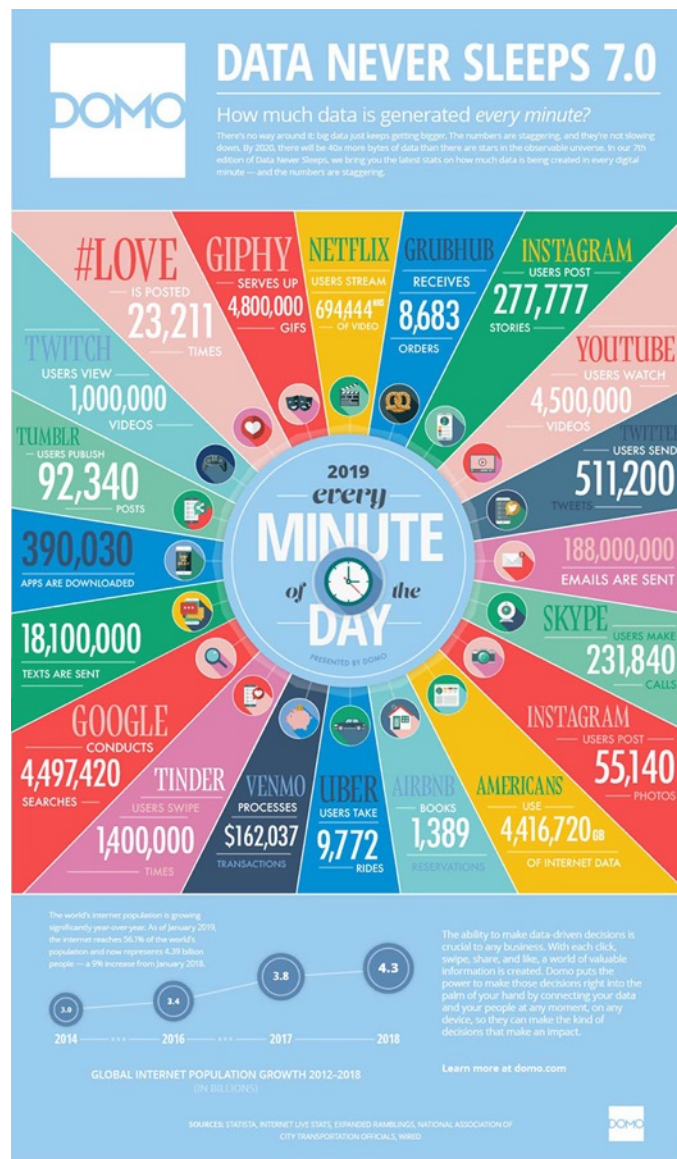


机器学习：分类



应用计算机科学

- 数据与数据科学：数据的力量
 - 信息技术革命与经济社会发展的交融，带来了数据爆炸增长的时代
 - ◆ 2010年，全球产生数据 1.2×10^9 TB
 - ◆ 预计2020年，这一数字将升至 4.4×10^{10} TB
 - 大数据“岂止于大”：高维、实时
 - ◆ 现实世界的碎片化重组与再现
 - ◆ 更精准、全面、及时的主体画像

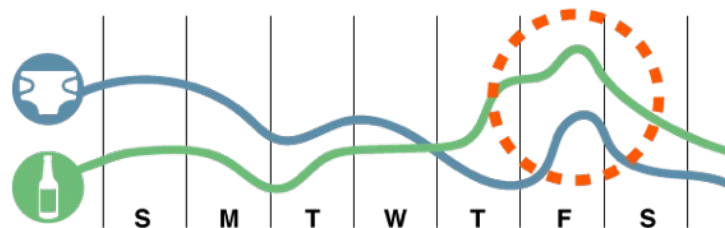
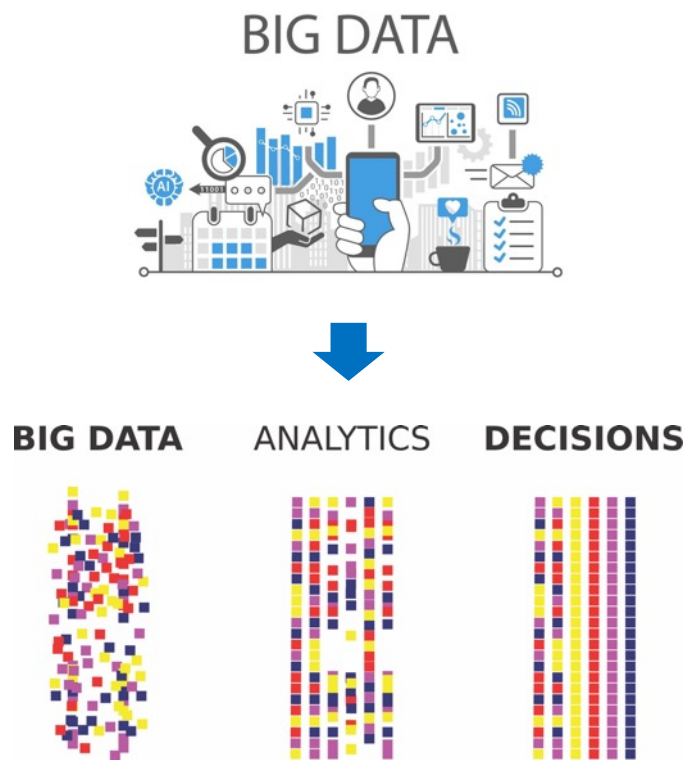




应用计算机科学

■ 数据挖掘

- 从数据中提取信息、发现知识、辅助决策





目 录

1

过去：计算机发展简史

2

现在：当代计算机科学概述

3

未来：挑战和机遇

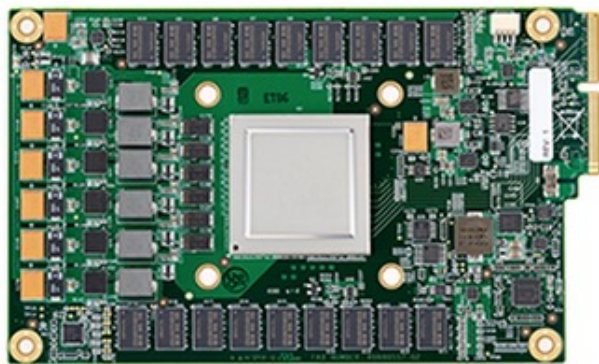
4

总结



后摩尔时代的计算机

- “后摩尔时代” 的挑战
 - 半导体器件接近物理极限，摩尔定律受到挑战
- 应对：多样化、专门化，发挥特长
 - 例子：TPU (Tensor Processing Unit)
 - ◆ 基于专用集成电路 (ASIC)
 - ◆ 专攻向量/张量计算，服务于深度学习

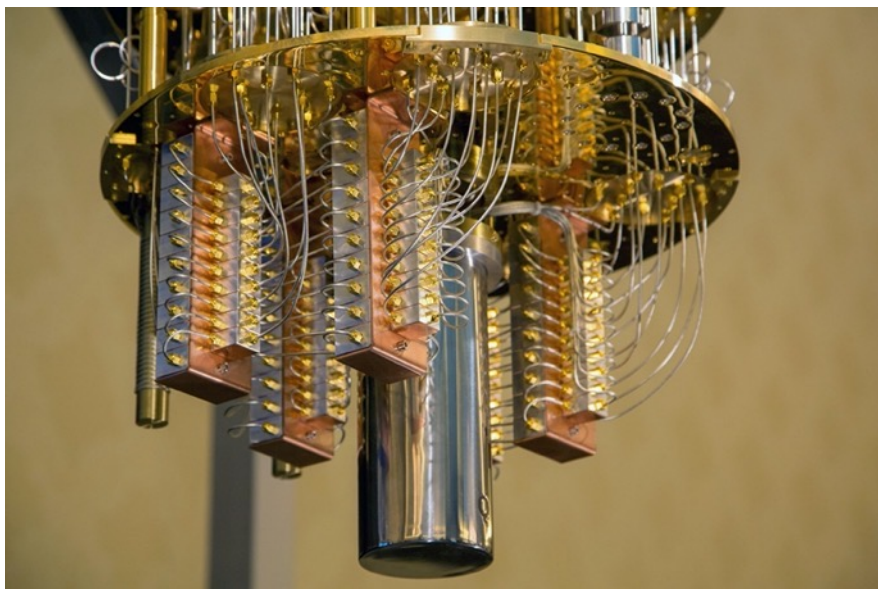


谷歌生产的 TPU 和 TPU 集群

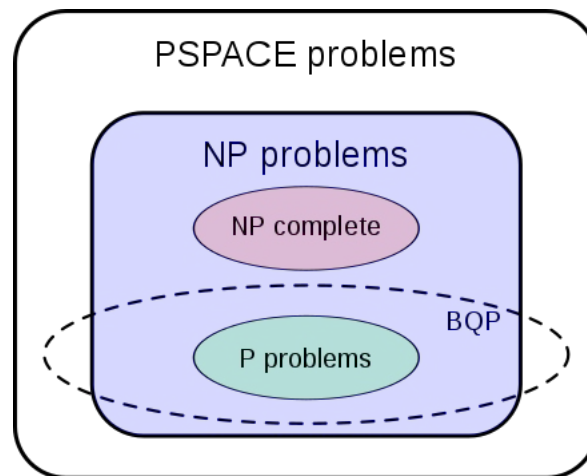


后摩尔时代的计算机

- 量子计算：可能的未来
 - 基于量子比特 (qubit)、量子逻辑
 - 不同的计算原理：量子算法研究



50-qubit 量子计算机

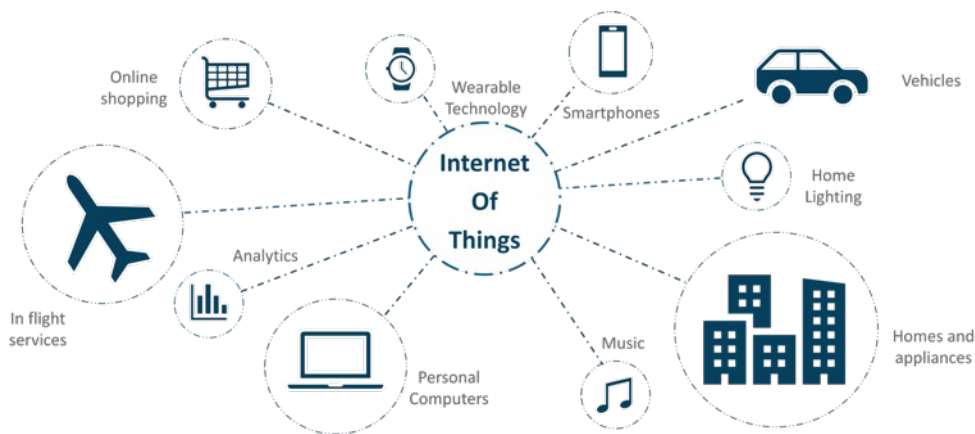


量子计算机可解决问题集合 (图中BQP)



物联网和云计算

- 各种设备互联：物联网
 - 越来越多的电子设备接入网络
 - 物联网应用越来越广
 - ◆ 智能家居
 - ◆ 物流



各种设备通过物联网相连接



物联网实例：智慧家庭



物联网和云计算

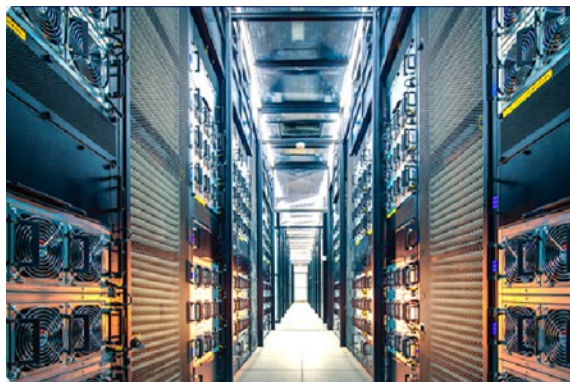
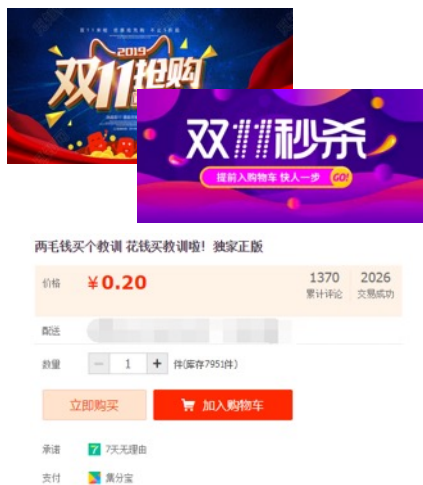
■ 云计算与云服务

□ 强大的计算能力共享

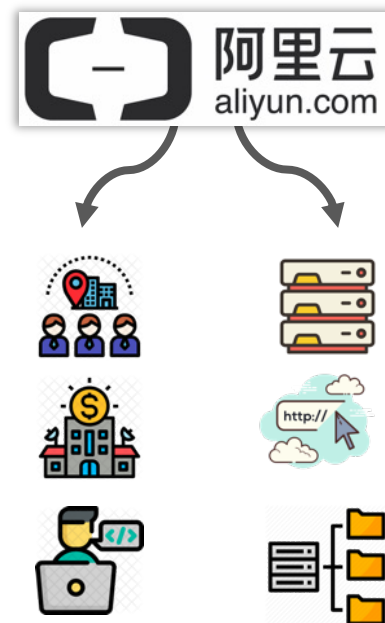
- ◆ 应对“黑五”、“双11”形成了庞大的计算集群
- ◆ 计算能力共享：AWS、阿里云

□ 支持逐渐复杂的业务逻辑和分析需求

□ 已从基本的云端托管发展为庞大的**云生态系统**



阿里云数据中心



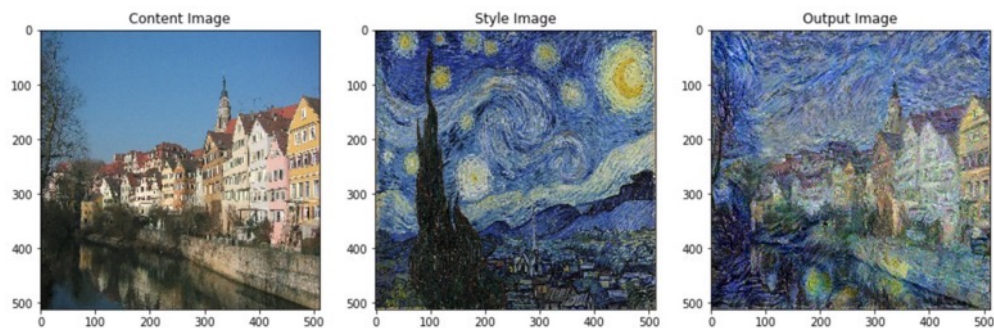


弱人工智能到强人工智能

- 迅速发展的人工智能
 - 机器在某些任务上已超越人类智能
 - 像人类一样作画、写诗、制作音乐



AlphaGo 战胜世界围棋冠军柯杰



通过风格迁移“作画”



弱人工智能到强人工智能

- 人工智能技术广泛应用于实际
 - 智慧教育
 - 智慧交通
 - 智慧医疗
 -

大数据



人工智能



智慧教育



智慧交通

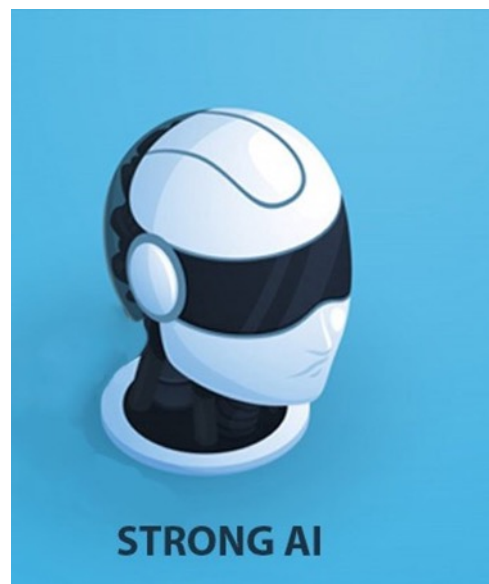


智慧医疗



弱人工智能到强人工智能

- 强人工智能的展望
 - 弱人工智能：只处理特定的问题
 - 强人工智能：真正能推理和解决问题的智能机器
 - ◆ 通用人工智能





目 录

1

过去：计算机发展简史

2

现在：当代计算机科学概述

3

未来：挑战和机遇



谢谢！