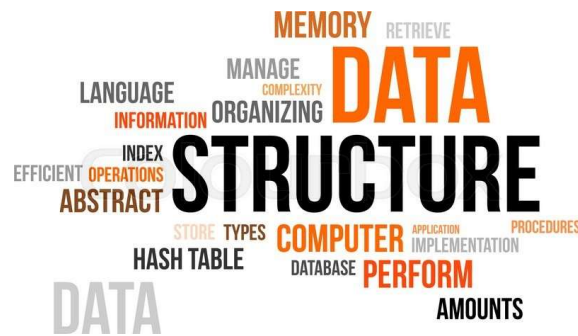


数据结构2019



hwdong

hw-dong

为什么Why

信息社会、数据为王

- 数据是一切信息技术：数据分析、人工智能、商业应用、科学研究、政治经济决策的基础。 “巧妇难为无米之炊”
- 谁拥有了数据，谁就拥有了未来。人工智能不在于算法而在于数据。

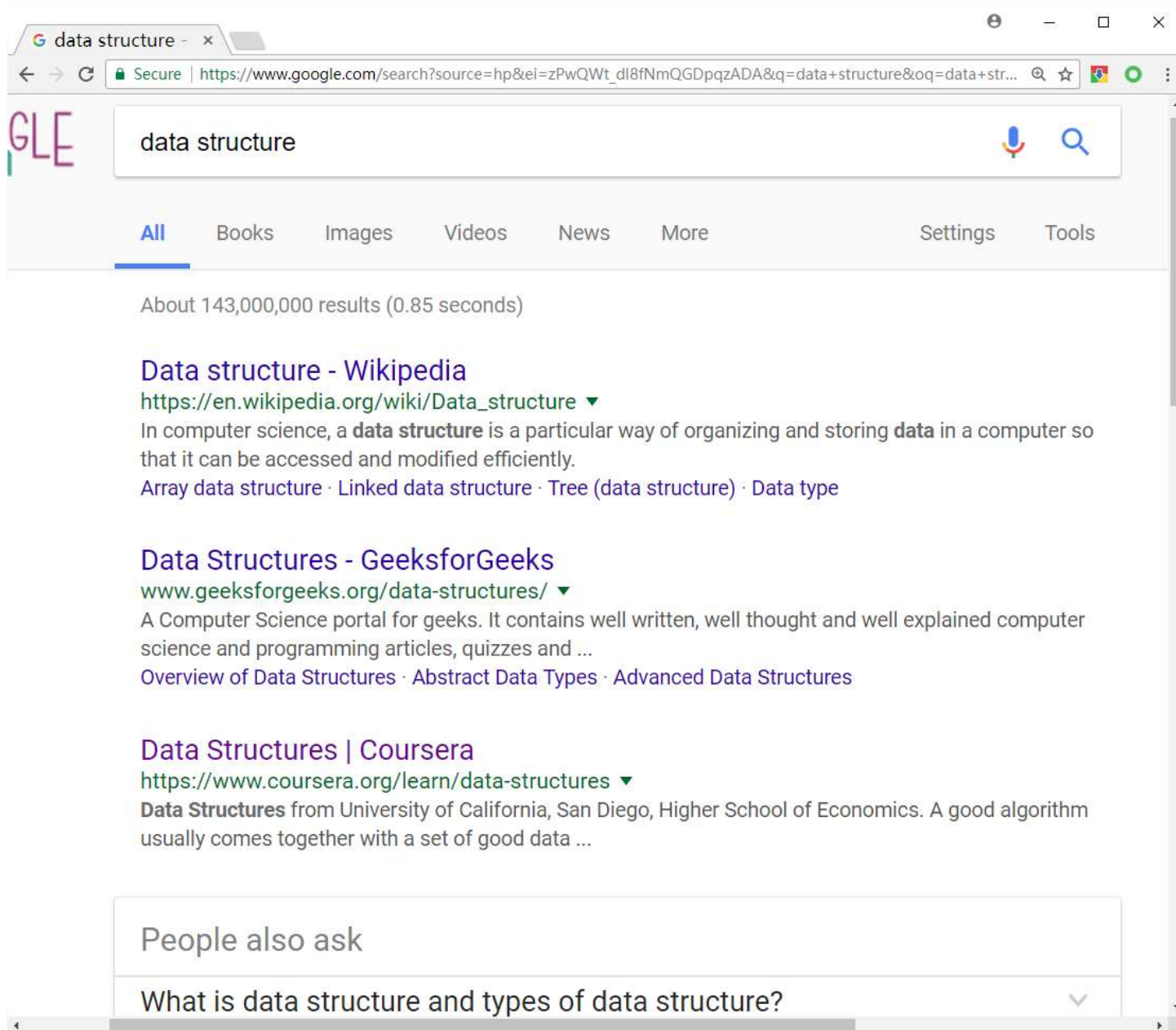
程序=数据结构+算法

- 数据结构研究如何合理组织、存储和处理数据。
- 良好的数据结构规定了数据处理的效率，高效的算法才能高效地处理数据。

数据结构决定了数据处理效率

- 一伙人去买东西，不能乱哄哄的，可以排成一队。
- 衣橱里的衣服、书柜里的书，不能杂乱无章，应该有条理的摆放，才能方便你寻找。





搜索引擎如何时刻面对每秒几亿次点击，从大量数据中快速找到您要搜索的信息并排序？

← → ↕ ↑

📁 > "新加卷 (D:)"中的搜索结果

data

快速访问

桌面

下载

文档

图片

ds2019_C

oCam

videos

videos

OneDrive

此电脑

3D 对象

视频

138 个项目



flipcode - The Half-Edge Data Structure.files

修改日期: 2019/3/17 16:14



Microsoft.VisualStudio.PackageGroup.TestTools.DataCollectors,version=15.0.26208.0

修改日期: 2018/12/25 15:09



data

修改日期: 2018/6/8 17:34



02_data-data-where-art-thou-data

修改日期: 2017/7/31 18:40



05_handling-data

修改日期: 2017/7/30 13:08



3DGP2017_DataSet

修改日期: 2017/6/15 21:54



data

修改日期: 2016/9/2 14:19



dataServiceMapSchema.vsd

修改日期: 2018/12/25 15:05





筛选条件: 操作系统 像素 核心数 运行内存RAM 相关分类

您是不是想找: iphone 7 iphone6 iphonexs 华为 iphonexr 手机 iphonese iphone6s iphone官网 iphone se vivo oppo 三星 iphone5

综合排序

销量

信用

价格

¥

- ¥



发货地



1/100



☐ 包邮 ☐ 赠送退货运费险 ☐ 货到付款 ☐ 公益宝贝 ☐ 二手 ☐ 天猫 ☐ 正品保障 ☐ 7+天内退货 ☐ 海外商品

更多

苏宁易购



64G下单限时立减500元

128G下单限时立减600元

¥5688.00 包邮

72011人付款

【限时下单最高减600】Apple/苹果 iPhone

苏宁易购



¥3899.00 包邮

16437人付款

【到手价低至3799元】Apple/苹果 iPhone

苏宁易购



限时限量疯抢

下单限时立减300元

¥6288.00 包邮

26732人付款

【限时低至5988元】Apple/苹果 iPhone X

iPhone 7
限时直降
当天发货

购机即享多重好礼
欲购从速先拍先发

本店支持花呗分期 二皇冠苹果老店

¥1650.00 包邮

6233人付款

分期免息Apple/苹果 iPhone 7 苹果7plus美

数据结构：计算机学科的王者

- 数据结构就是研究以何种方式存储、组织数据，以便高效率地处理这些数据。处理数据的步骤（过程）-算法。
- 熟悉精通数据结构才能设计和开发高效率的软件系统，是软件工程师的基本内功。所有软件系统都离不开数据结构。不懂数据结构的称为“码农”，懂数据结构的才是程序员、计算专家。如同普通泥瓦工和建筑设计师。
- 硅谷、国内BAT等企业面试软件编程人员的面试题基本都是数据结构方面的题目。 **刷题**

只要学会一门编程语言和数据结构就足够了，其他的操作系统、计算机网络网上看一下大致知道一下基本原理就行了。比如操作系统就是进程、内存、设备的管理，计算机网络就是通信协议TCP/IP了解一下。软件工程没啥用途，编译原理基本用不上。

@有个梨UGlee 🍌

学计算机的捷径是有的，就是传统上说的计算机专业的几门课，算法和数据结构结合实际语言看个简单的就行，操作系统和计算机网络都看Tannenbaum的。编译原理实战用不上，但龙书前半本是需要找时间看的，不然永远无法真正理解什么是计算机语言（当然也不是看了这本就懂了，但起码比没看提高很多。图形学和软件工程看自己兴趣吧。这些看完了就是前面的帖子说的如何通过Linux全面学习计算机系统了。

具体学一门编程语言，其实是最不重要的。很多写了十年Java和C++的，碰到流和并发还写不对，他要是读过一些内核代码可能早就迈过这个坎了。几乎没人会在编程里第一个遇到某种问题。所以找到别人之前怎么解决的比自己悟天悟地悟空气重要得多。

研究什么What

数据结构研究什么？

- 数据元素之间的关系、存储表示、处理算法。

数据结构研究什么?

- 各种信息管理系统、数据库，数据以表（员工表、货物表、学生名单、股票行情、聊天记录）的形式表示。

股票代码	股票名称	行业	市值(亿元)	市盈率	市净率	净资产收益率	总资产收益率	营业收入(亿元)	净利润(亿元)	每股收益(元)	每股净资产(元)	股息率	换手率	成交量(万股)	成交额(亿元)	涨跌幅
000001	平安银行	银行	100000	15.2	1.5	15.2%	10.5%	100000	15000	1.5	1.5	0.05	0.5	100000	15000	0.01
000002	万科A	房地产	50000	12.5	1.2	12.5%	8.0%	50000	6000	1.2	1.2	0.03	0.3	50000	6000	0.02
000003	招商银行	银行	80000	18.0	1.8	18.0%	12.0%	80000	14000	1.8	1.8	0.06	0.6	80000	14000	0.03
000004	比亚迪	汽车	30000	25.0	2.5	25.0%	15.0%	30000	7000	2.5	2.5	0.08	0.8	30000	7000	0.05
000005	格力电器	家电	20000	20.0	2.0	20.0%	12.0%	20000	4000	2.0	2.0	0.07	0.7	20000	4000	0.04
000006	美的集团	家电	15000	18.0	1.8	18.0%	10.0%	15000	3000	1.8	1.8	0.06	0.6	15000	3000	0.03
000007	海尔智家	家电	12000	16.0	1.6	16.0%	9.0%	12000	2400	1.6	1.6	0.05	0.5	12000	2400	0.02
000008	五粮液	食品饮料	10000	22.0	2.2	22.0%	13.0%	10000	2200	2.2	2.2	0.09	0.9	10000	2200	0.06
000009	贵州茅台	食品饮料	80000	30.0	3.0	30.0%	18.0%	80000	24000	3.0	3.0	0.10	1.0	80000	24000	0.08
000010	泸州老窖	食品饮料	5000	20.0	2.0	20.0%	12.0%	5000	1000	2.0	2.0	0.08	0.8	5000	1000	0.05
000011	山西汾酒	食品饮料	4000	18.0	1.8	18.0%	10.0%	4000	720	1.8	1.8	0.07	0.7	4000	720	0.04
000012	洋河股份	食品饮料	3000	16.0	1.6	16.0%	9.0%	3000	480	1.6	1.6	0.06	0.6	3000	480	0.03
000013	古井贡酒	食品饮料	2000	14.0	1.4	14.0%	8.0%	2000	280	1.4	1.4	0.05	0.5	2000	280	0.02
000014	口子窖	食品饮料	1500	12.0	1.2	12.0%	7.0%	1500	180	1.2	1.2	0.04	0.4	1500	180	0.01
000015	迎驾贡酒	食品饮料	1000	10.0	1.0	10.0%	6.0%	1000	100	1.0	1.0	0.03	0.3	1000	100	0.00
000016	今世缘	食品饮料	800	8.0	0.8	8.0%	5.0%	800	64	0.8	0.8	0.02	0.2	800	64	0.00
000017	双沟酒业	食品饮料	600	6.0	0.6	6.0%	4.0%	600	36	0.6	0.6	0.01	0.1	600	36	0.00
000018	景芝酒业	食品饮料	400	4.0	0.4	4.0%	3.0%	400	16	0.4	0.4	0.00	0.0	400	16	0.00
000019	同德股份	食品饮料	300	3.0	0.3	3.0%	2.0%	300	9	0.3	0.3	0.00	0.0	300	9	0.00
000020	金种子酒	食品饮料	200	2.0	0.2	2.0%	1.0%	200	4	0.2	0.2	0.00	0.0	200	4	0.00
000021	皖酒股份	食品饮料	150	1.5	0.15	1.5%	0.8%	150	2.25	0.15	0.15	0.00	0.0	150	2.25	0.00
000022	迎驾贡酒	食品饮料	100	1.0	0.1	1.0%	0.6%	100	1.4	0.1	0.1	0.00	0.0	100	1.4	0.00
000023	今世缘	食品饮料	80	0.8	0.08	0.8%	0.5%	80	0.64	0.08	0.08	0.00	0.0	80	0.64	0.00
000024	口子窖	食品饮料	60	0.6	0.06	0.6%	0.4%	60	0.36	0.06	0.06	0.00	0.0	60	0.36	0.00

数据结构研究什么？

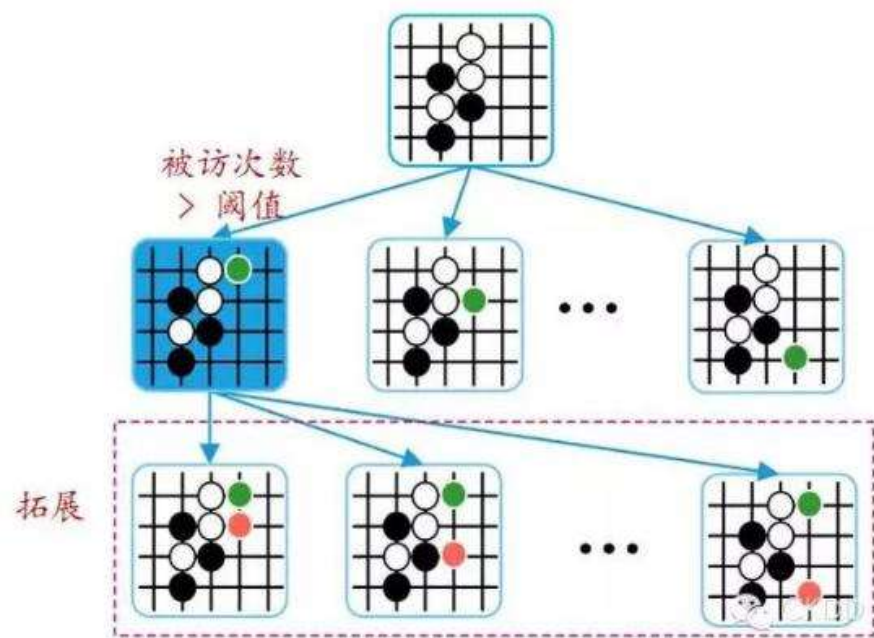
- 各种信息管理系统、数据库，数据以表（员工表、货物表、学生名单、股票行情、聊天记录）的形式表示。

学号	姓名	性别	籍贯	年龄
98131	张三	男	北京	20
98164	李斯	女	上海	21
98165	王武	男	广州	19
98182	赵柳	女	香港	22
98224	...			

线性表：数据元素之间是一一对应的关系。 (a_1, a_2, \dots, a_n)

数据结构研究什么？

- 树型结构：数据元素之间是一对多的层次结构。如组织结构、家族族谱、基因图谱、棋局(AlphaGo)。



AlphaGo如何对棋局的大量状态空间进行快速搜索？

数据结构研究什么？

- 树型结构：数据元素之间是一对多的层次结构。如组织结构、家族族谱、基因图谱、棋局(AlphaGo)。

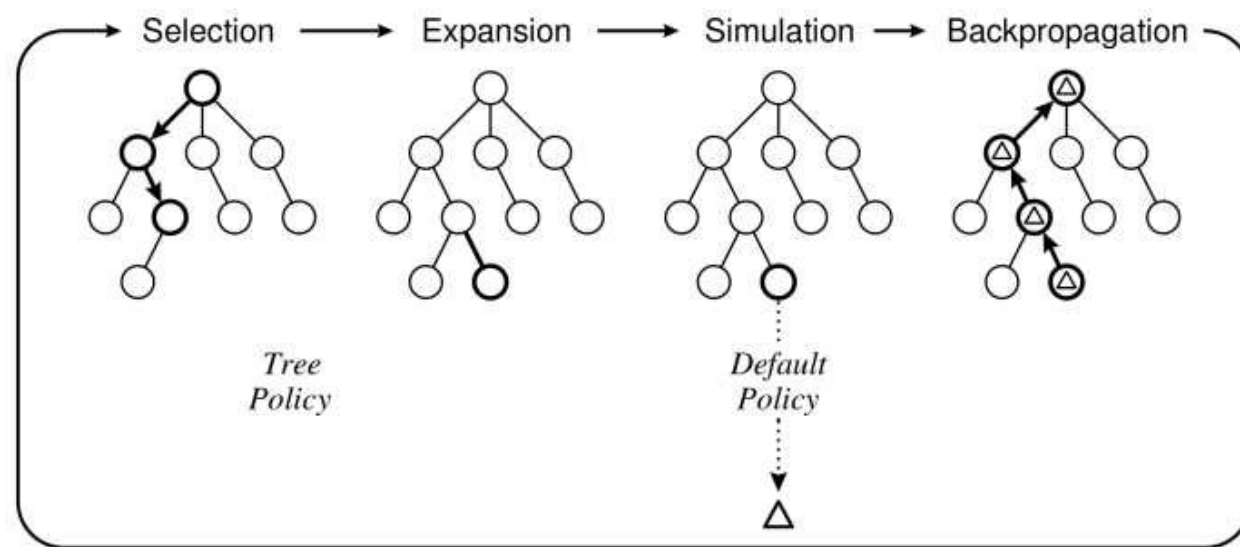
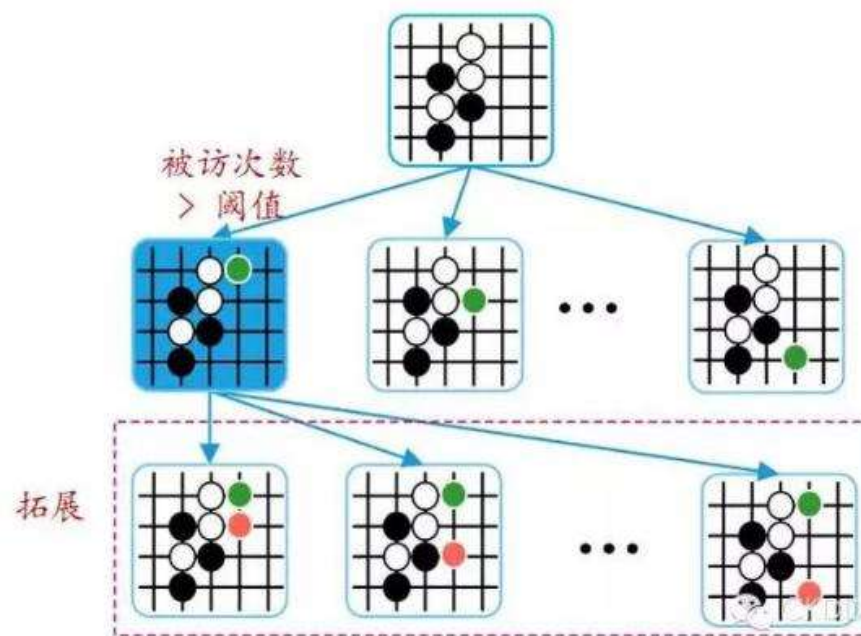
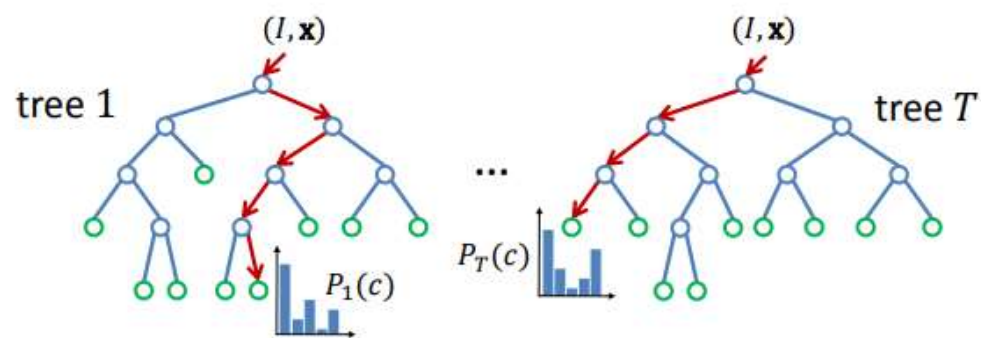
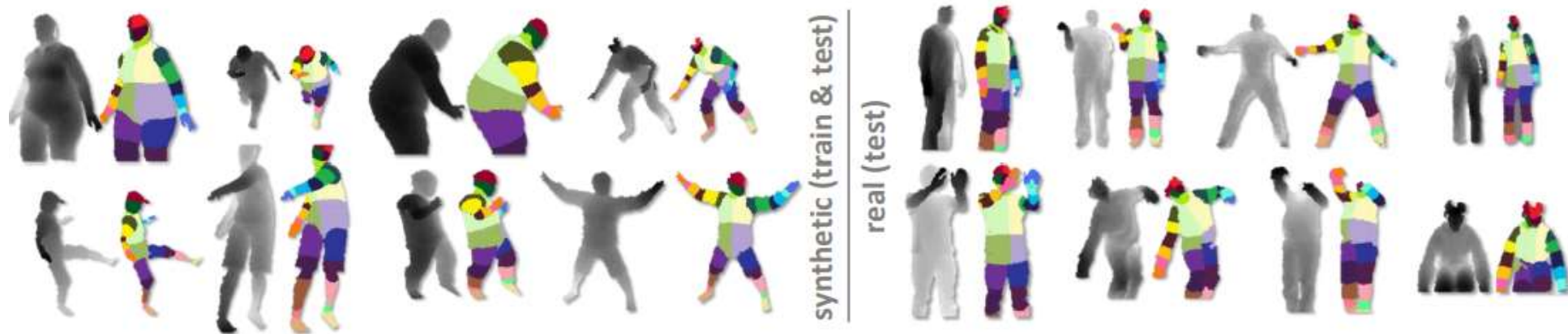


Fig. 2. One iteration of the general MCTS approach.

蒙特卡洛树搜索



随机森林： Kinect实时从深度图像中检查人体骨骼

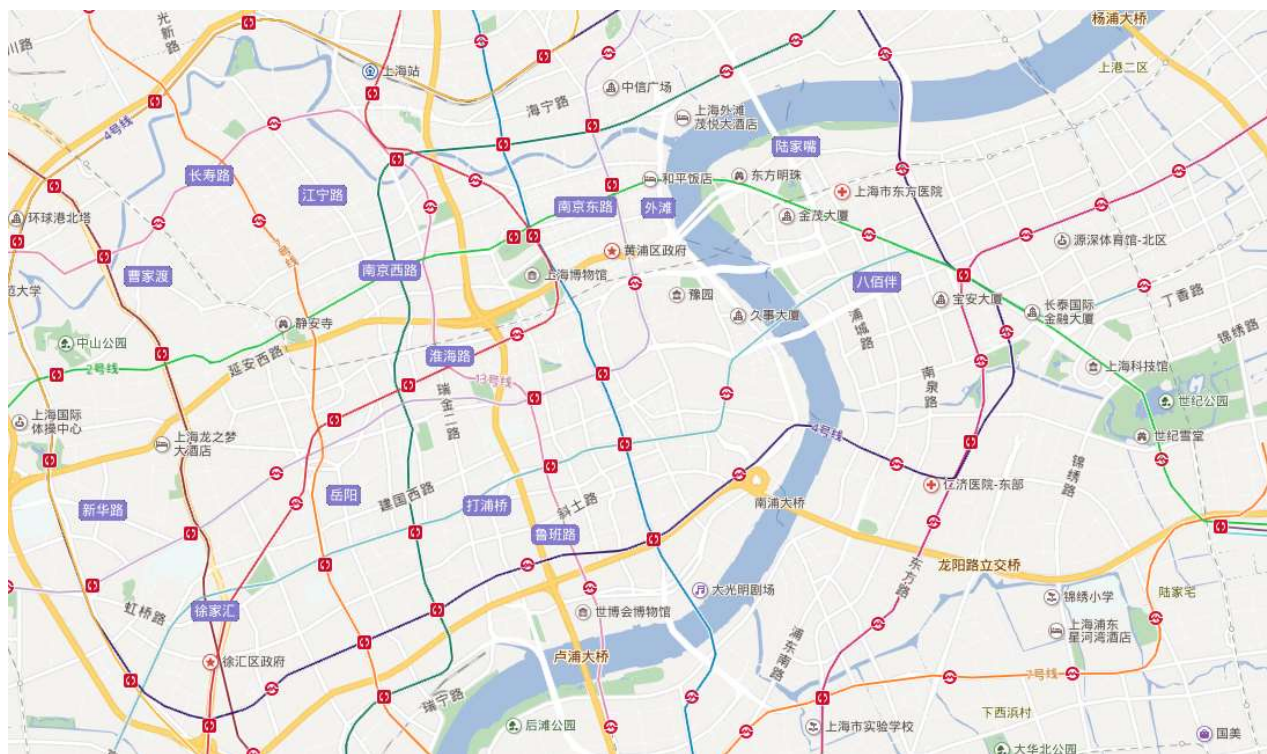
Data-driven Fluid Simulations using Regression Forests

*L'ubor Ladický^{*1}, SoHyeon Jeong^{*1}, Barbara Solenthaler¹,
Marc Pollefeys¹ and Markus Gross^{1,2} (*Joint First Author)*

¹ETH Zurich, ²Disney Research Zurich

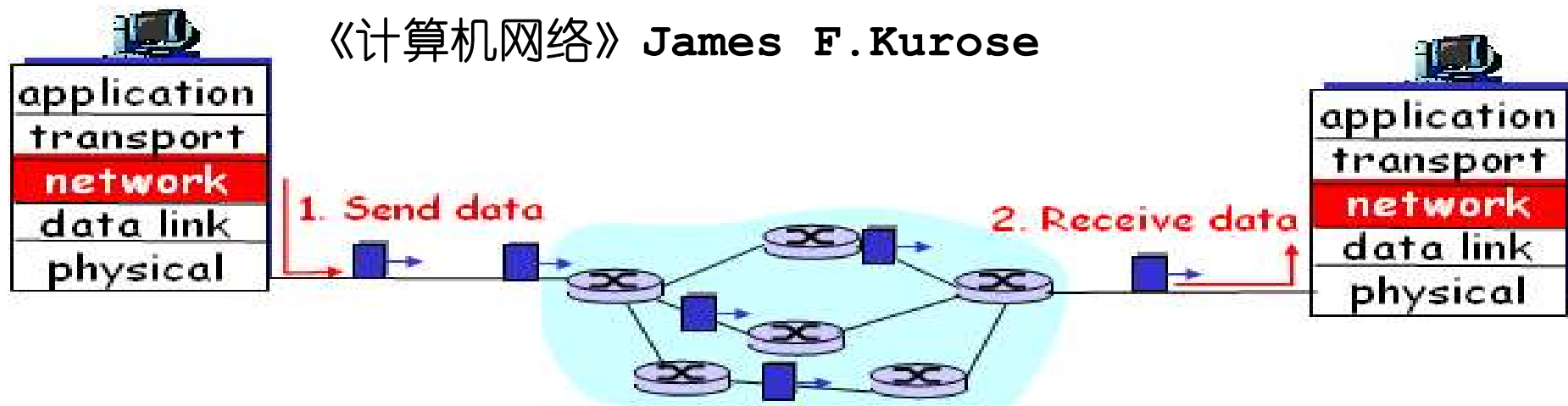
数据结构研究什么？

- 图形结构：数据元素之间是多对多的层次结构。计算机网络、社交网络、web网页、交通图、...



最短路径问题：
路由算法
导航

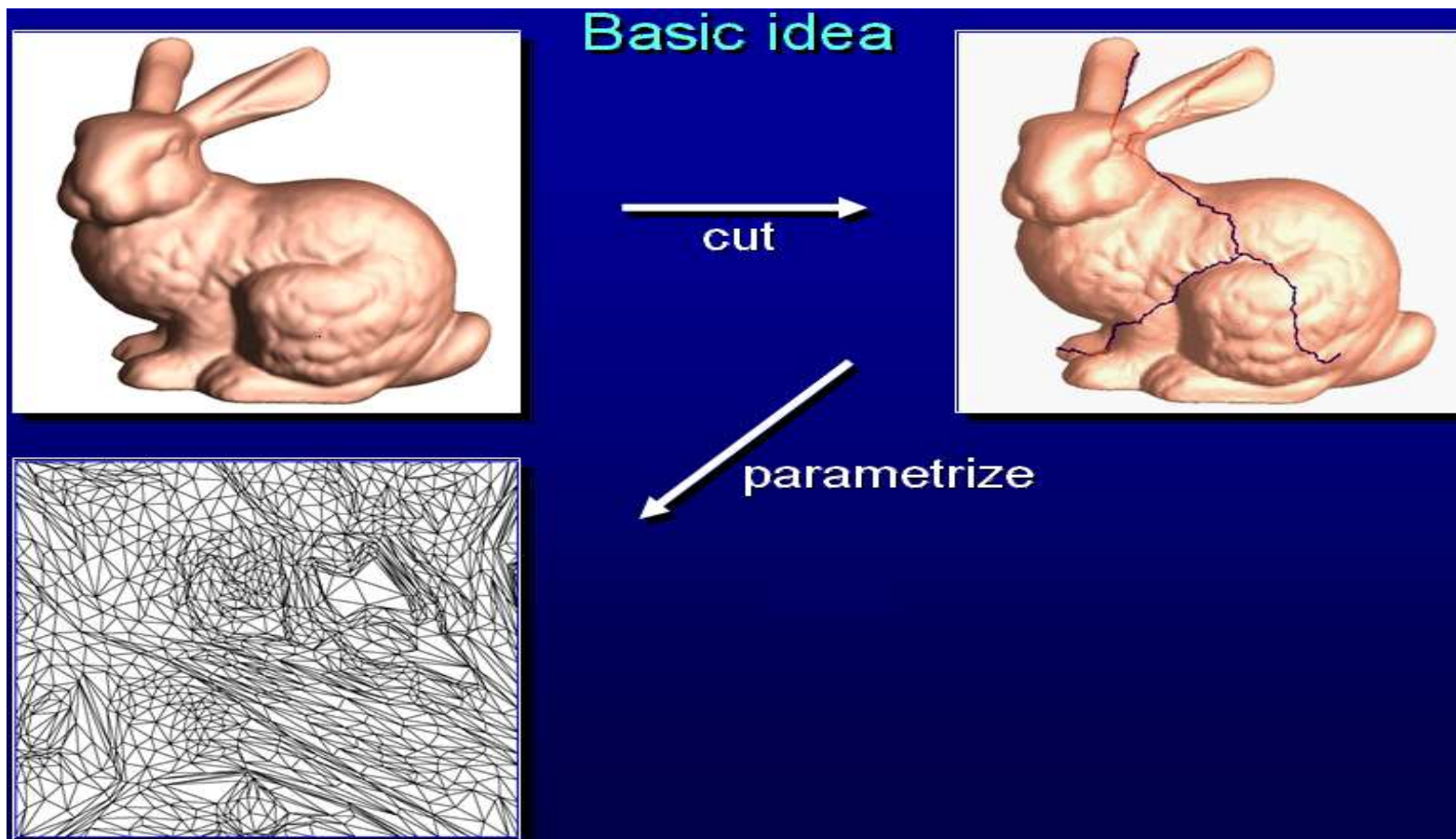
网络路由 (Routing Protocol) : 数据报从源ip地址以最低代价传送到目的ip地址?



Global:

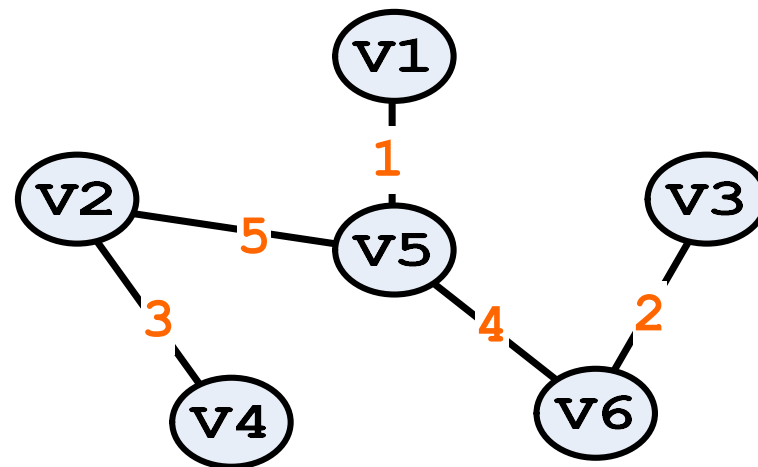
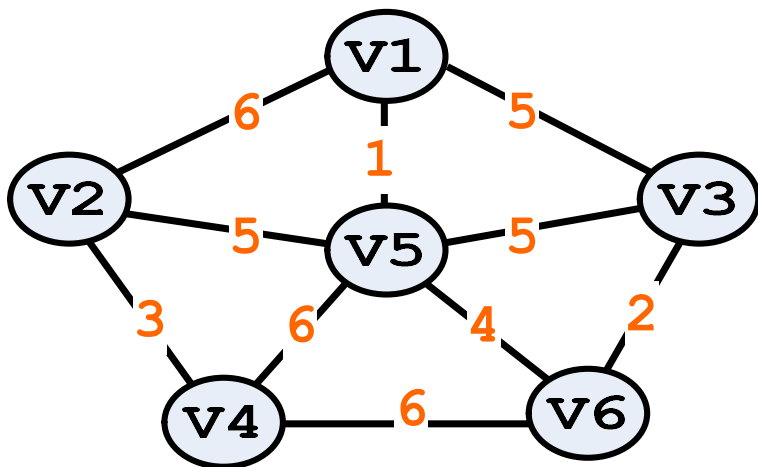
Link-State Routing Algorithm—Dijkstra Decentralized:
Distance Vector Routing Algorithm

3. 3D网格模型的测地线 - 两点间的最短距离

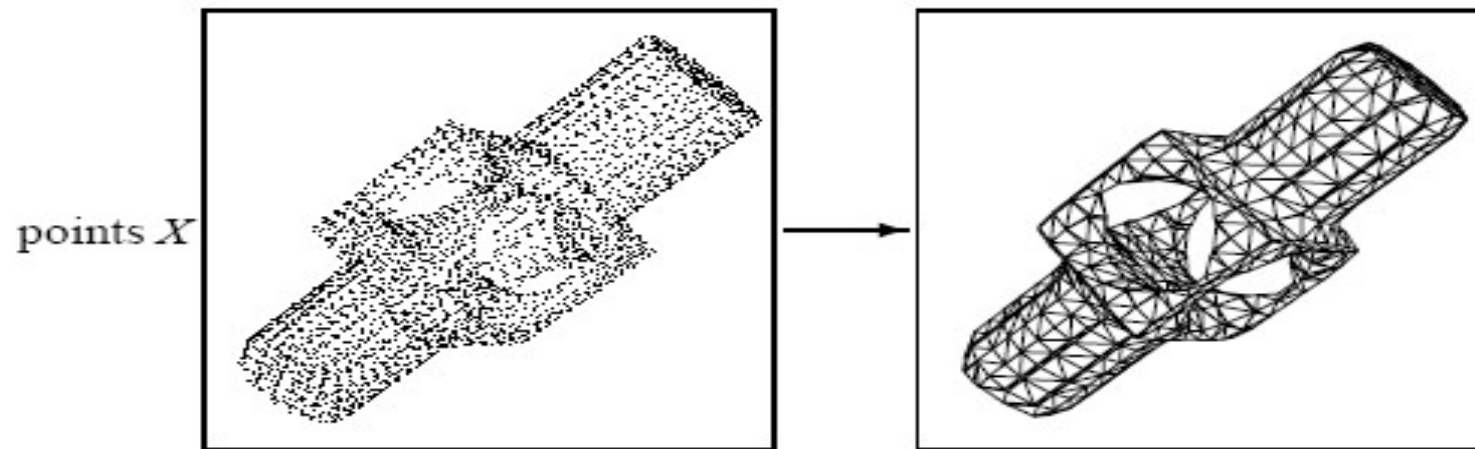


最小生成树

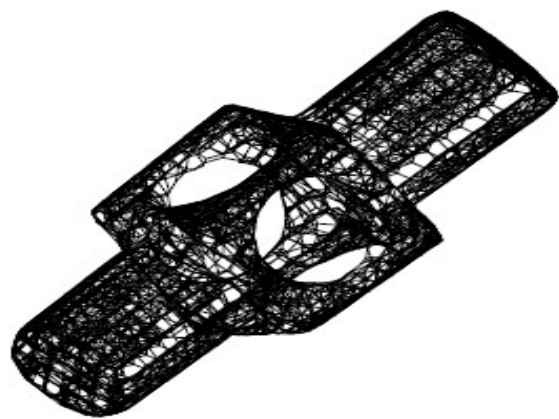
- 图形结构：数据元素之间是多对多的层次结构。计算机网络、社交网络、web网页、交通图、...



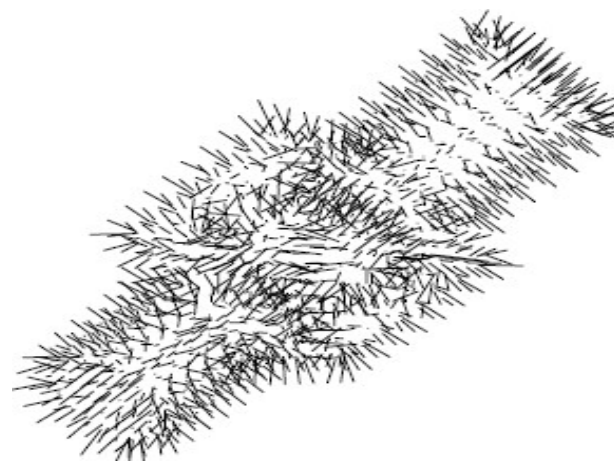
- Hooppe曲面重建算法(Surface reconstruction from unorganized points.H. [Hoppe](#), T. [DeRose](#), T. [Duchamp](#), J. [McDonald](#), W. [Stuetzle](#). *ACM SIGGRAPH 1992*, 71-78.)



- 用最小生成树一致化所有点的法矢量。然后用MarchingCube抽取等值面



Riemannian图



一致的法矢量

课程内容

- 线性表、栈和队列、串和数组、树和二叉树、优先队列和堆、图、查找、排序等

如何How

课程特点

- 化难为易：使复杂困难的算法变得简单易懂。
动画、实例说明原理，代码执行动画演示
- 内容丰富：内容全面（涵盖考研的所有数据结构内容）、介绍数据结构的应用案例、并有习题和刷题。
- 间接明快：无废话和抖机灵，都是干货。
- 原理+代码实现：大学教学中经常只讲原理，没有具体代码实现。

关注

<https://a.hwdong.com>

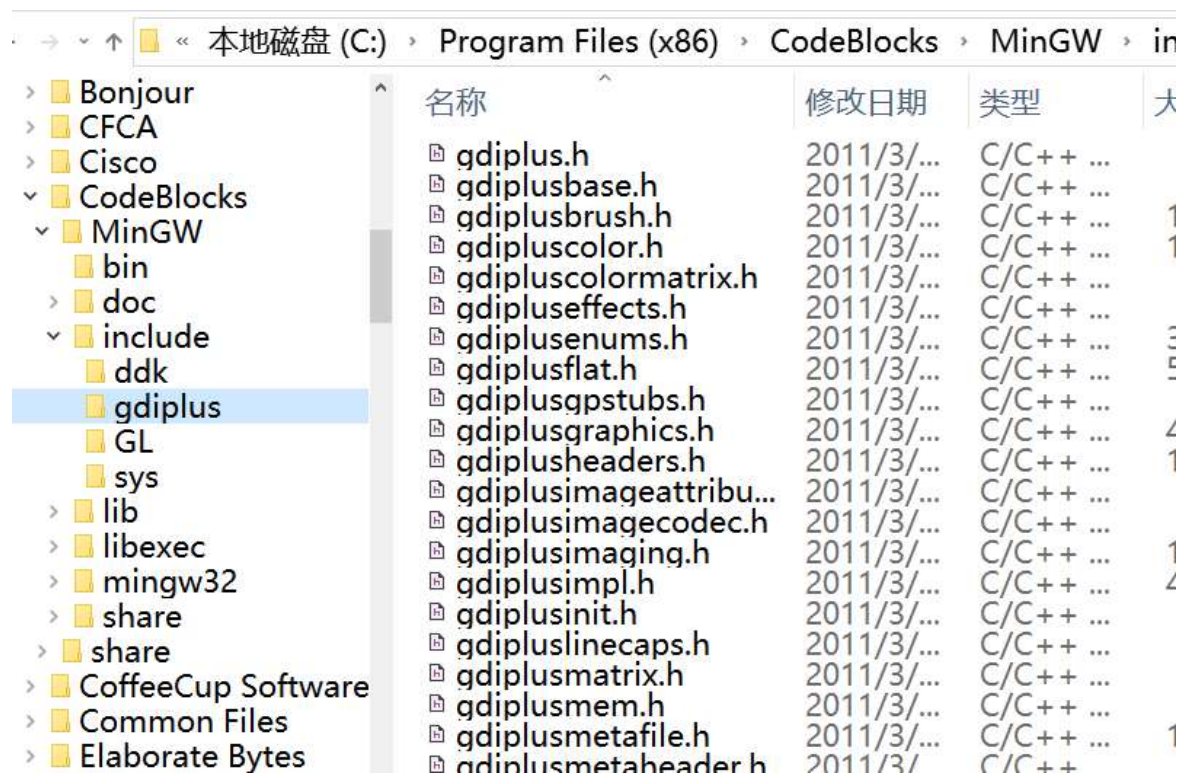
B站或微博: hw-dong

网易云课堂: hwdong

腾讯课堂: hwdong.ke.qq.com

QQ群: 101132160

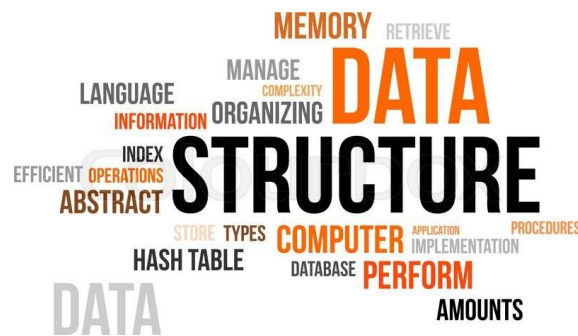
- 电脑里的文件可以放在不同文件夹，文件夹里还包含子文件夹，查找时可以按照名字或时间排序来查找。



数据结构概述

- 什么是数据结构
- 数据元素、数据项
- 逻辑结构和物理结构
- 算法性能分析

C++版数据结构



hwdong

Blog 和微博: hw-dong

什么是数据结构

- 工资单、货物清单、学生名单等放在一张表，并按照姓名或编号排序。那么查找效率就会很高。

学号	姓名	性别	籍贯	年龄
98131	张三	男	北京	20
98164	李斯	女	上海	21
98165	王武	男	广州	19
98182	赵柳	女	香港	22
98224	...			

什么是数据结构

• 电子商务购物

淘宝网 Taobao.com

宝贝 iphone 搜索

在结果中排除 请输入要排除的词 确定


筛选条件: 操作系统 像素 核心数 运行内存RAM 相关分类

您是不是想找: iphone 7 iphone6 iphonexs 华为 iphonexr 手机 iphonese iphone6s iphone官网 iphone se vivo oppo 三星 iphone5

综合排序 销量 信用 价格 ¥ - ¥ 发货地 < 1/100 >

☐ 包邮 ☐ 赠送退货运费险 ☐ 货到付款 ☐ 公益宝贝 ☐ 二手 ☐ 天猫 ☐ 正品保障 ☐ 7+天内退货 ☐ 海外商品 更多

苏宁易购




64G下单限时立减500元
128G下单限时立减600元

¥5688.00 包邮 72011人付款

【限时下单最高减600】Apple/苹果 iPhone


苏宁易购



¥3899.00 包邮 16437人付款

【到手价低至3799元】Apple/苹果 iPhone

苏宁易购




限时限量疯抢
下单限时立减300元

¥6288.00 包邮 26732人付款

【限时低至5988元】Apple/苹果 iPhone X

限时直降 当天发货



购机即享多重好礼
欲购从速先拍先发

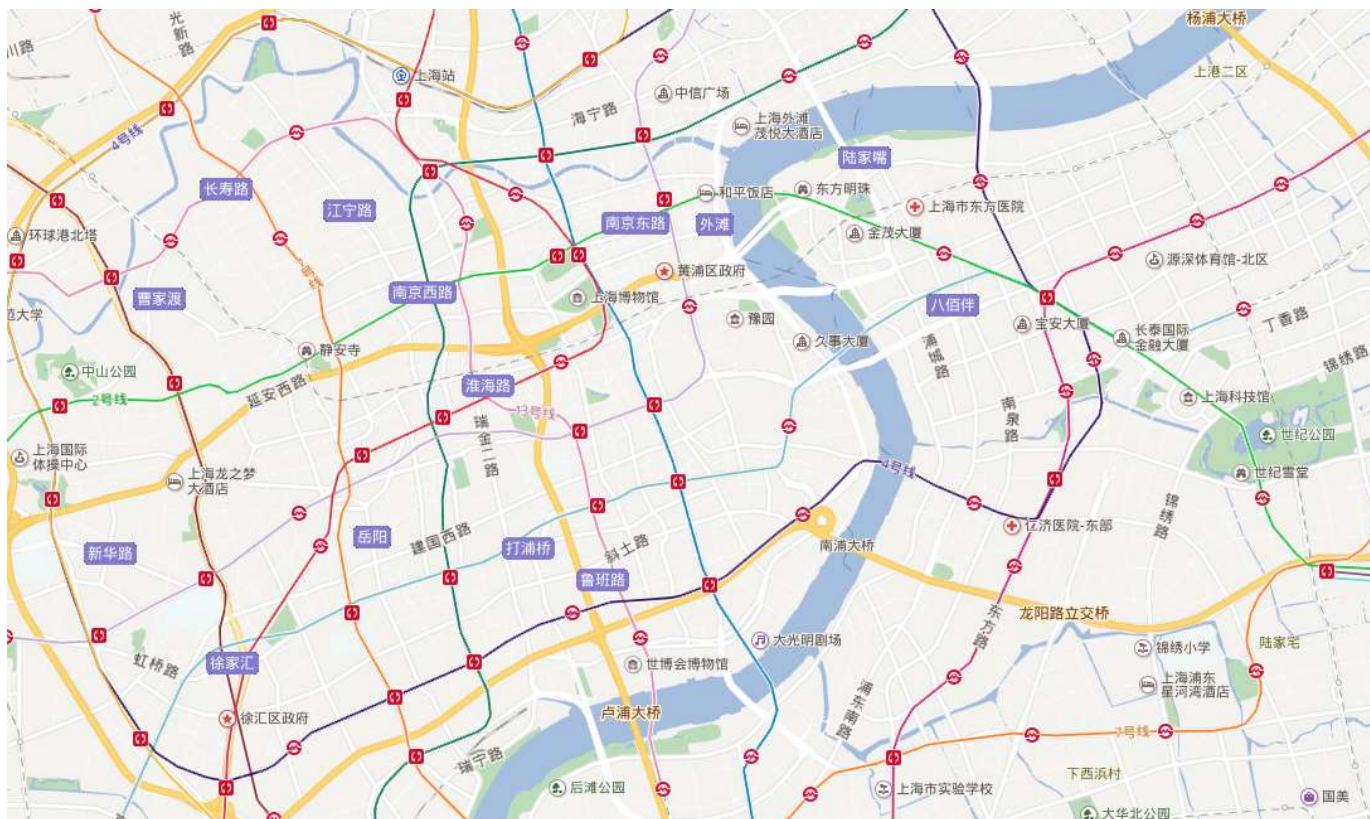
本店支持花呗分期 二皇冠苹果老店

¥1650.00 包邮 6233人付款

分期免息Apple/苹果 iPhone 7 苹果7plus美

什么是数据结构

- 地图，地点之间通过道路相连，构成一个几何图，可以用图的算法求解交通查询如最短路线等。



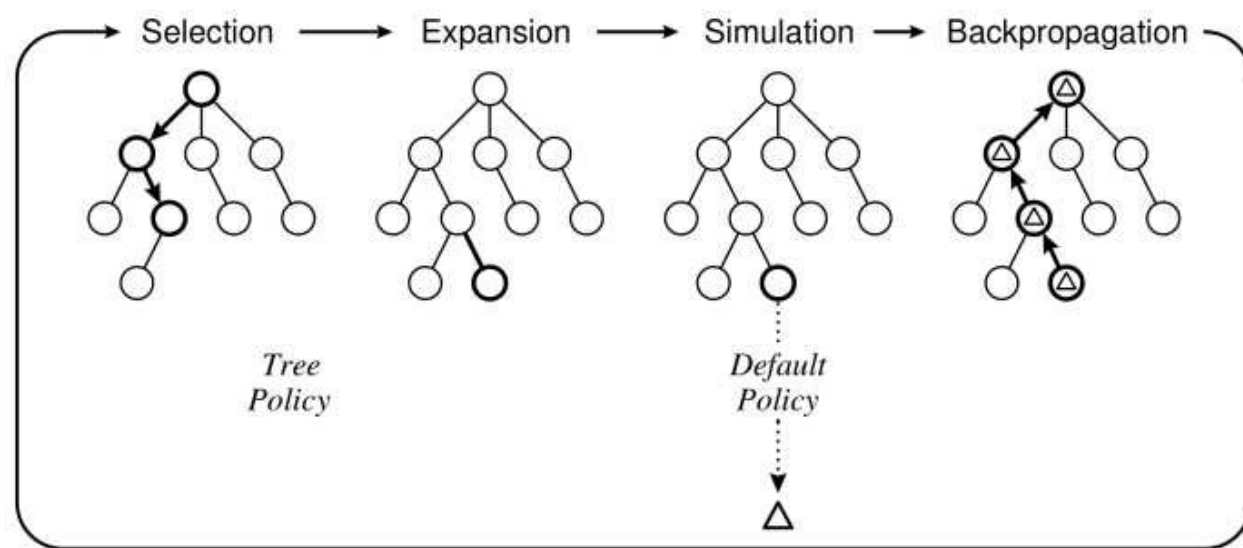
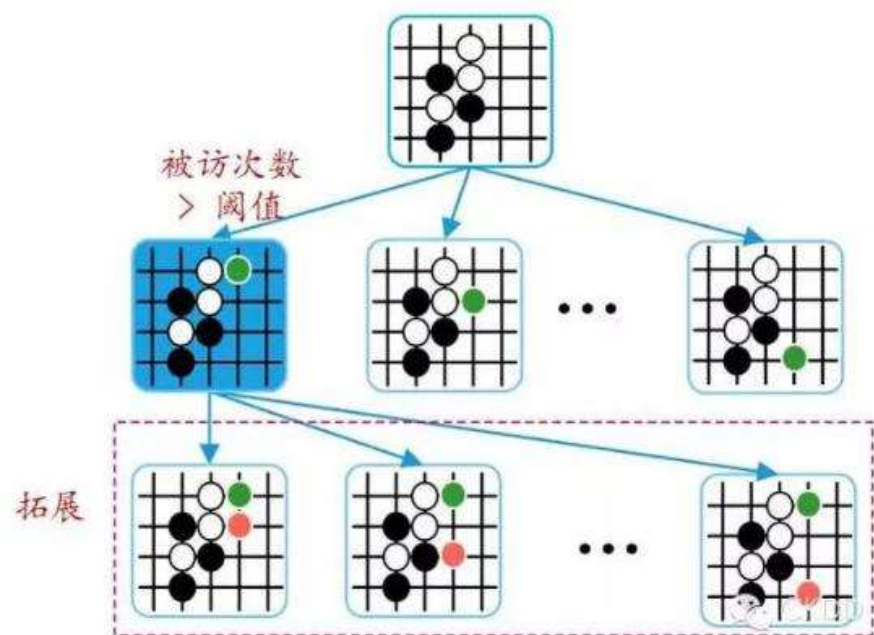
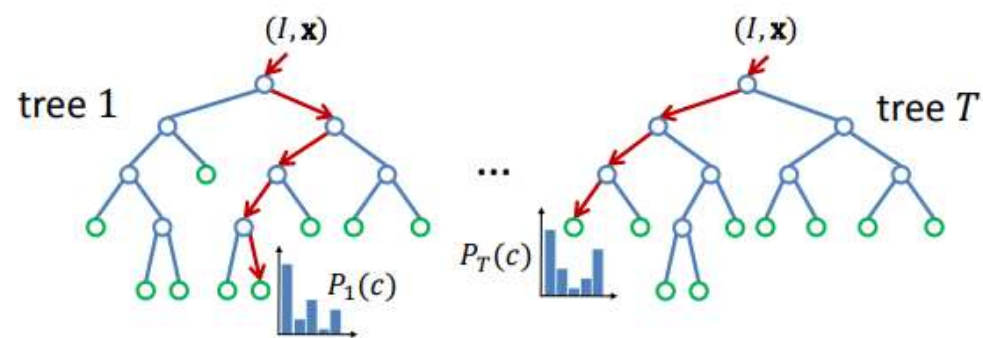
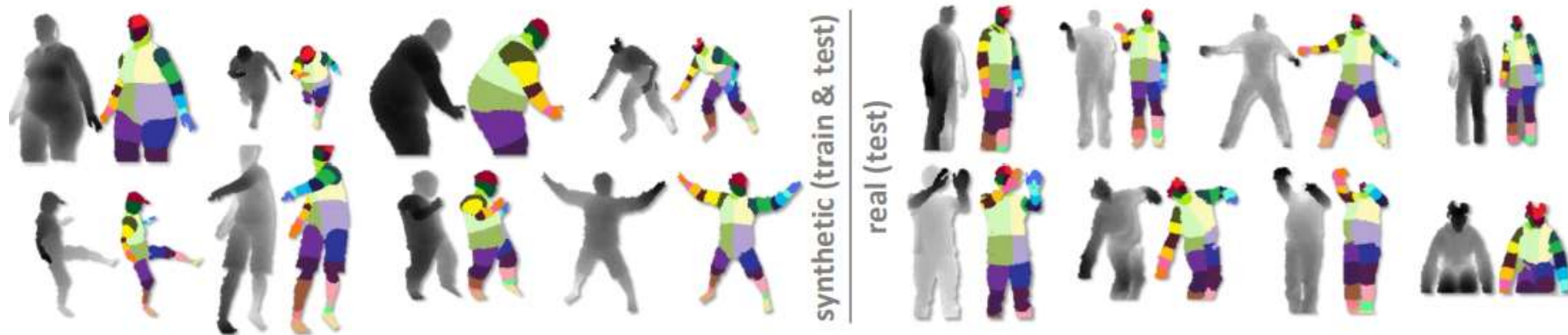


Fig. 2. One iteration of the general MCTS approach.

AlphaGo如何对棋局的大量状态空间进行快速搜索？



Kinect实时从深度图像中检查人体骨骼

什么是数据结构

- 计算机处理的数据类型各种各样，有文本、图像、视频等。
- 大数据时代数据越来越多，如果没有一个合理的结构组织这些数据，软件系统将不能有效处理这些数据。
- 数据结构研究对象：由很多同类型数据元素构成的数据集（大数据）
- 研究数据元素之间的关系及其存储表示，如何高效地对这些数据进行处理（操作）。

课程内容

- 线性表
- 栈和队列
- 字符串、多维数组
- 树和二叉树
- 图
- 查找
- 优先队列和堆
- 排序

面向面试或考研的刷题

从动画例子到原理，最后实战编程

数据元素和数据项

- 本课程主要研究同类型**数据元素**构成的数据集。**数据元素**描述一个具体对象的所有属性（属性也称为“**数据项**”），也称为“**记录**”。
- **数据元素**是数据的基本单位，在程序中常作为一个整体考虑和处理。

一个数据元素
(一条记录)



登录号	书名	借阅者编号
001	理论力学	9002
002	高等数学	9001
...

数据元素和数据项

- **数据项：** 数据的不可分割的最小单位
- 一个数据元素可由一或多个数据项构成

3个数据项



登录号	书名	借阅者编号
001	理论力学	9002
002	高等数学	9001
...

逻辑结构和物理结构

数据结构主要从2个方面研究如何有效地存储组织和处理数据。

- 逻辑结构：从抽象/高层角度来描述数据的特征和操作的抽象含义。

算法

- 物理结构：从具体实现的角度讨论数据及其逻辑操作在计算机的表示和实现。

逻辑结构

- 数据的数学/逻辑模型：从抽象角度刻画数据的特点和操作
- 比如 “整数”

1, 2, ...

不涉及是1个苹果，还是
2个人，2斤面粉，

运算: 加、减、乘、除等

逻辑结构

- 数据的数学/逻辑模型：从抽象角度刻画数据的特点和操作
- 比如抽象的看“手机”是一个什么东东？

一个电子设备，有外壳、触摸屏、开关按键、触摸屏、摄像头
操作：

开关机
拨打电话
收发短信
拍照
使用APP



手机是一个抽象概念，不涉及厂家品牌的具体手机。

逻辑结构

- 数据的数学/逻辑模型：从抽象角度刻画数据的特点和操作
- 数据元素（比如各种表格中的记录）之间在抽象/逻辑上看具有什么样的关系？

线性（一对一：一个挨着一个） 棋局（一对多）

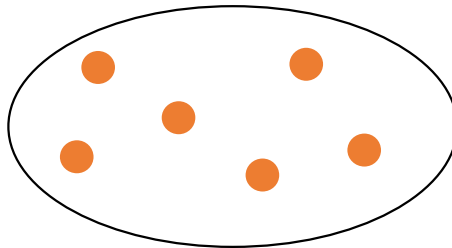
- 对数据有哪些操作： 这些操作的抽象/逻辑含义

插入 删除 读取 修改 查询

而 不关心比如删除一个人还是一条记录

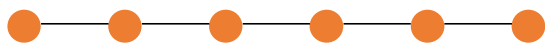
逻辑结构

- 从抽象角度刻画数据元素之间的关系和对数据进行的操作.
- 数据元素之间的关系。有4种：集合、线性、树型、图型或网状。
- 集合关系：数据元素属于一个集合，它们之间无特定关系

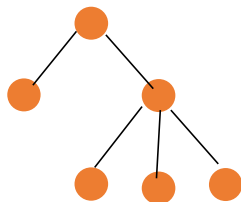


逻辑结构

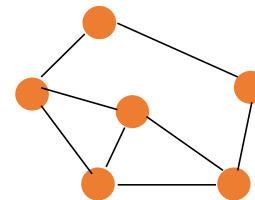
- 数据元素之间的关系。有4种：集合、线性、树型、图型或网状。
- **线性关系**： 一个接一个。比如学生花名册中的记录之间



- **树型**： 一对多。比如资源管理器中的文件夹、组织结构、家族族谱、决策树、状态树



- **图型**： 多对多。比如交通图、计算机网络、社交关系



逻辑结构

- 从抽象角度刻画数据元素之间的关系和对数据进行的操作
- 从抽象角度描述的数据结构，称为“抽象数据类型” (Abstract data type)，简称为ADT。
- 比如一个ADT叫做“线性表或列表” (List) 。

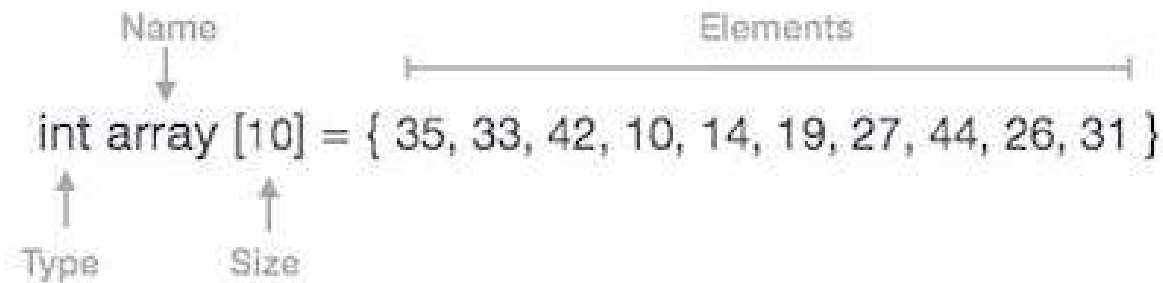
线性关系: (a_1, a_2, a_3, \dots)

- **存储(store)** 一系列数据元素
- **读(read)** 某个位置的数据元素
- **修改(modify)** 某个位置的数据元素

物理结构

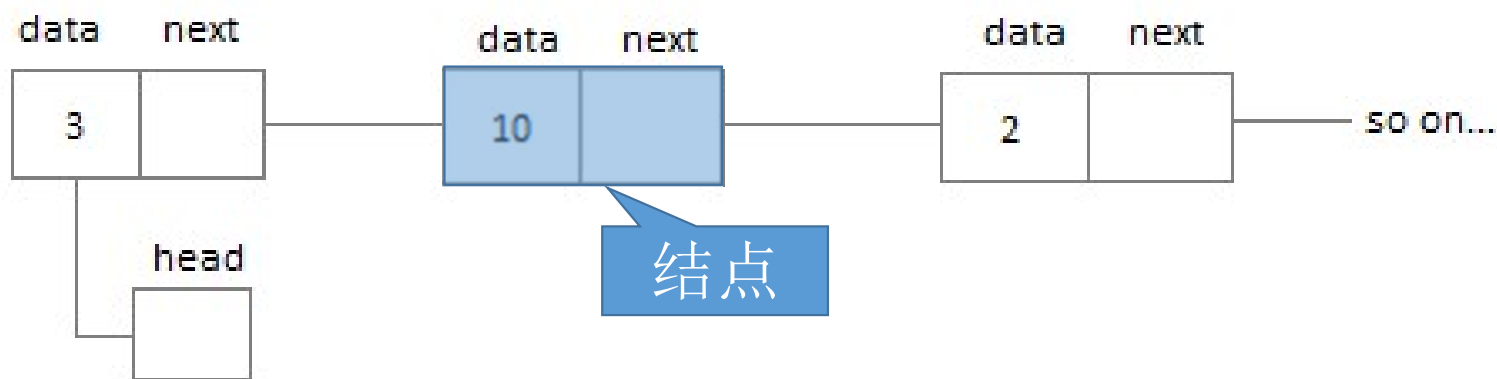
- 数据及其操作在计算机内部的表示和实现
- 如C语言的数组(array)就是ADT类型的“线性表”的具体实现

```
int array[10];  
array[2] = 30;    /*通过下标位置修改*/  
printf("%d",array[1]);
```



物理结构

- 数据及其操作在计算机内部的表示和实现
- ADT类型的“线性表”也可以用链表实现



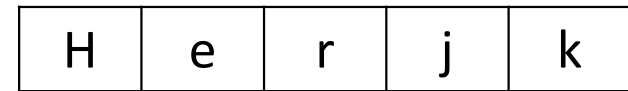
同一个ADT可以有不同的物理实现： 数组、链表

物理结构

- 存储结构

数据元素及其关系在计算机中存储

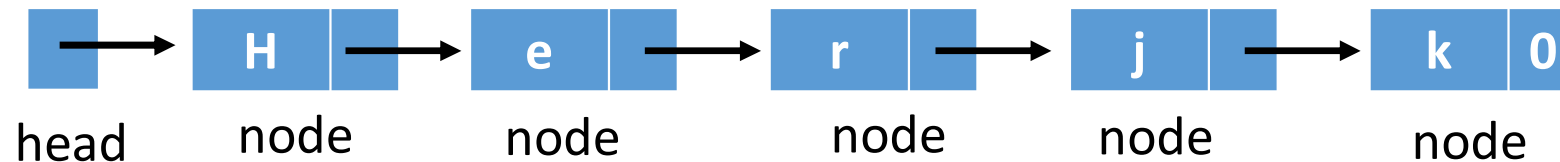
- 顺序映象（顺序存储结构），如数组



以存储地址的相邻性表示数据元素间的逻辑关系

- 非顺序映象（链式存储结构），如链表

通过指示信息表示数据元素间的逻辑关系



算法性能分析

- 算法是对数据处理过程的步骤/指令的描述, 是指令的有限序列
- 算法的特性:
 - 有穷性: 有穷步, 每步有穷时间内完成
 - 确定性: 每个步骤都有确切的含义, 相同的输入具有相同的执行路径和结果
 - 可行性: 每个步骤或指令应该是可行的
 - 输入输出: 有输入数据, 产生或输出执行结果

算法性能分析

- 好的算法应当满足：

正确性：算法应能满足具体问题的需求

可读性：算法应易于阅读和理解

健壮性：输入数据非法时，算法也能适当作出反应或进行处理

高效性：算法执行时间短，占用存储空间少

算法性能分析: 时间复杂度

- 程序：算法在计算机上的实现
- 程序的执行时间取决于如下因素：

算法本身

问题的规模

编程语言

编译程序

硬件性能

同一个算法程序在不同的语言、编译程序和硬件的条件下，执行时间是不同的。

比如：算法A在硬件A上执行时间为1秒，算法B在硬件B上执行时间为2秒，并不能因此就认为算法A的效率更高

算法性能分析: 时间复杂度

- 程序：算法在计算机上的实现
- 程序的执行时间取决于如下因素：

算法本身

问题的规模

编程语言

编译程序

硬件性能

同一个算法在不同的语言、编译程序和硬件的条件下，执行时间是不同的。

所以评价算法的性能应当排除这三者的影响
只需要考虑算法本身和问题的规模

算法性能分析: 时间复杂度

算法时间效率的量度

- 事后统计法: 测量一个算法执行所需要的时间

缺点:

需要编写测试程序

测量结果依赖于具体的软、硬件

- 事前分析估算法

算法性能分析: 时间复杂度

- 选择一个“基本操作”，分析基本操作执行的次数。

```
for(i=1; i<=n; ++i)
    for(j=1; j<=n; ++j) {
        c[i][j]=0;
        for(k=1; k<=n; ++k)
            c[i][j]+=a[i][k]*b[k][j];
    }
```

- 执行次数 $F = n^3$

算法性能分析: 时间复杂度

- 选择一个“基本操作”，分析基本操作执行的次数。
- 用该基本操作的重复次数表示算法的执行时间，一般为问题规模 n 的函数 $f(n)$ ，简称“频度”。
- 算法的时间复杂度为：和 $f(n)$ 同阶的简化无穷大量

$$T(n) = O(f(n))$$

算法性能分析: 时间复杂度

- 例1

```
for (i=2; i<=n; ++i)
    for (j=2; j<=i-1; ++j) {
        ++x;
        a[i][j] = x;
    }
```

i=2:	0次
i=3:	1次
.....	
i=n:	n-2次

$$f(n) = \frac{(n-1)(n-2)}{2} = \frac{n^2 - 3n + 2}{2}$$

$$T(n) = O(f(n)) = O(n^2)$$

算法性能分析: 时间复杂度

• 例2

```
for (i = 1; i <= n; i++) {  
    m = i;  
    for (j = i; j <= n; j++)  
    {  
        if (data[j] < data[m])  
            m = j;  
        =====  
        if (m != i)  
        {  
            temp    = data[m];  
            data[m] = data[i];  
            data[i] = temp;  
        }  
    }  
}
```

执行次数= n ,
 $T(n) = O(n)$

执行次数都是
 $n(n+1)/2$,
 $T(n) = O(n^2)$

$$T(n) = O(n^2 + n) = O(n^2)$$

矩阵运算的时间复杂度

- 两个n维向量 $a=(a_1, a_2, \dots, a_n)^T$, $b=(b_1, b_2, \dots, b_n)^T$ 的点积

$$(a_1 \ a_2 \ \dots \ a_n) \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \end{pmatrix} = a_1 b_1 + a_2 b_2 + \dots + a_n b_n$$

$$2n-1 \text{ (flops)} = n \text{ (次乘法)} + (n-1) \text{ (次加法)}$$

矩阵运算的时间复杂度

- 设A是 $m \times n$ 矩阵, x 是 n 维向量, 则 Ax 是一个 m 维向量, 每个元素由A的一行向量和 x 点乘得到

$$\begin{pmatrix} - & - & \dots & - \\ a_1 & a_2 & \dots & a_n \\ - & - & \dots & - \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix}$$

$m(2n-1)$ (flops)

矩阵运算的时间复杂度

- 设A是 $m \times n$ 矩阵, B是 $n \times p$ 矩阵, 则AB是 $m \times p$ 矩阵, 每个元素由A的一行和B的一列两个 n 维向量点乘得到

$$\begin{pmatrix} - & - & \dots & - \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{in} \\ - & - & \dots & - \end{pmatrix} \begin{pmatrix} - & \dots & b_{1j} & \dots & - \\ - & \dots & b_{2j} & \dots & - \\ \dots & & & & \\ - & \dots & b_{nj} & \dots & - \end{pmatrix}$$

mp(2n-1) (flops)

$$(AB)x ? A(Bx)$$

- 那种方式更快?

A是 $m \times n$ 矩阵, B是 $n \times p$ 矩阵, 则AB是 $m \times p$ 矩阵, x 是 $p \times 1$ 矩阵.

$$AB: \quad mp(2n-1)$$

$$(AB)x: \quad mp(2n-1) + m(2p-1)$$

$$Bx: \quad n(2p-1)$$

$$A(Bx): \quad n(2p-1) + m(2n-1)$$

```

A = randn(n,n);  B = randn(n,n);  x = randn(n,1);
t1 = cputime;    y = (A*B)*x;    t1 = cputime - t1;
t2 = cputime;    y = A*(B*x);    t2 = cputime - t2;

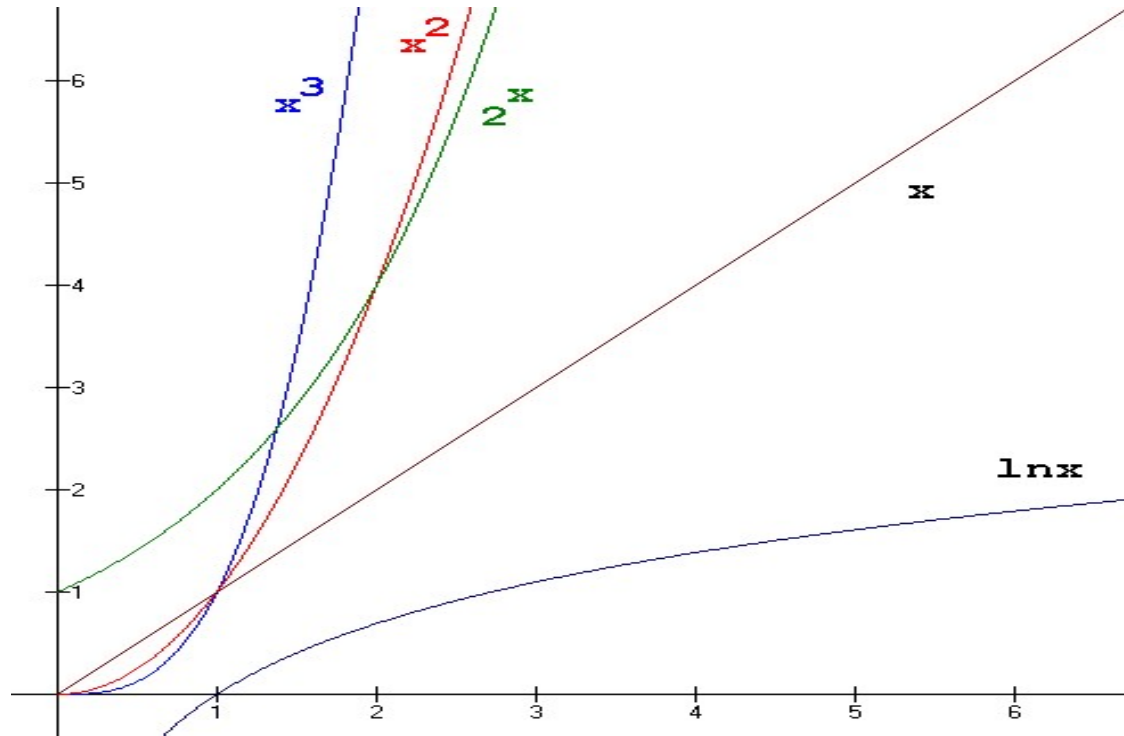
```

The table shows the results on a 2.8GHz machine for eight values of n .

n	time (sec.) method 1	time (sec.) method 2
500	0.10	0.004
1000	0.63	0.02
1500	1.99	0.06
2000	4.56	0.11
2500	8.72	0.17
3000	14.7	0.25
4000	34.2	0.46
5000	65.3	0.68

算法性能分析: 时间复杂度

- 各种常见的渐进复杂度, 如: $a^n > n^b > \log_c n$



算法性能分析: 空间复杂度

- 算法执行时所需存储空间的量度, 记作 $S(n)$, 其中 n 为问题的规模.
- 一般不考虑存放数据本身占用的空间, 只考虑执行算法所需辅助空间, 除非数据所占空间与算法本身有关.
- 排序: (a_1, a_2, \dots, a_n)

冒泡排序: 1 个数据元素的辅助空间

归并排序: n 个数据元素的辅助空间

时间复杂度

$O(n^2)$

$O(n \log n)$

算法性能分析

- 有些算法的复杂度与输入数据有关
- 如冒泡排序，当输入数据基本有序时，其时间复杂度为 $O(n)$ ，基本无序时，为 $O(n^2)$ ，平均为 $O(n^2)$
- 此时就应该分最好情况、最差情况、平均情况来讨论

C+语言

- 变量即用即定义
- 引用变量
- 指针和指针变量: `p++`, `p[i]`, `*(p+i)`
- `typedef`
- `struct`
- 内存分配与释放: `malloc`, `realloc`, `free`
- 函数指针

关注

<https://a.hwdong.com>

B站或微博: hw-dong

网易云课堂: hwdong

腾讯课堂: hwdong.ke.qq.com

QQ群: 101132160