

# 第 13 章 -- 排序与搜索算法

## 本章目录 (Catalog)

---

- 13.1 排序算法
  - 13.1.1 冒泡排序 (Bubble Sort)
  - 13.1.2 选择排序 (Selection Sort)
  - xx.x.x 堆排序 (Heap Sort)
  - 13.1.3 插入排序 (Insertion Sort)
  - xx.x.x 希尔排序 (Shell Sort)
  - 13.1.4 归并排序 (Merge Sort)
  - 13.1.5 快速排序 (Quick Sort)
  - 13.1.6 计数排序 (Counting Sort)
  - 13.1.7 桶排序 (Bucket Sort)
  - 13.1.8 基数排序 (Radix Sort)
- 13.2 搜索算法
  - 13.2.1 顺序搜索
  - 13.2.2 二分搜索
  - 13.2.3 内插搜索
- 13.3 随机算法
  - Fisher-Yates 随机
- 13.4 小结

## 生词 (New Words)

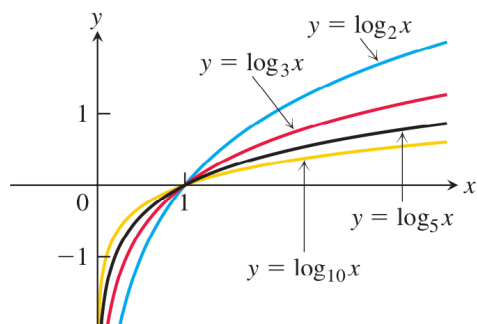
---

- **insertion** [ɪn'sɜːʃ(ə)n] --n.插入; 插入物
  - The insertion of a line or two into the script.  
在书稿中插入一两行.
  - Sometimes the insertion of one word can change the meaning of a whole sentence. 有时插入一个字可以改变全句的意义.
- **pivot** ['pɪvət] --n.枢纽, 中心点
  - pivot point: 枢轴点, 旋转点, 支点
- **partition** [pɑː'tɪʃ(ə)n] --n.分开, 分割 --vt.分开, 分割
- **logarithmic** [ˌlɒɡə'riðmɪk] --adj.对数的
  - Logarithmic functions 对数函数
- **computational** [ˌkəmputə'teɪʃənəl] --adj.计算的
  - computational errors. 计算错误
  - He turns to computational aids for help. 他运用计算工具.

- **complexity** [kəm'pleksəti] --n.复杂, 复杂性
  - complexity analysis 复杂度分析
  - There was lots of complexity built into his being. 有很多复杂因素构成了他这个人。
  - the complexities of family life. 家庭生活中的复杂因素。
- **binary** ['baɪnəri] --adj.二进制的, 二元的。
  - It is stored as a binary file. 它以二进制格式文件存储。
  - a data file in binary format. 二进制格式的数据文件。
- **shuffle** ['ʃʌf(ə)l] --v.拖拽, 洗(牌)。 --n. 洗牌
  - You can take some cards and shuffle. 你可以拿一些牌然后洗一下。

## 补充内容 (From the Internet)

### 4 种常见对数图



**FIGURE 1.23** Graphs of four logarithmic functions.

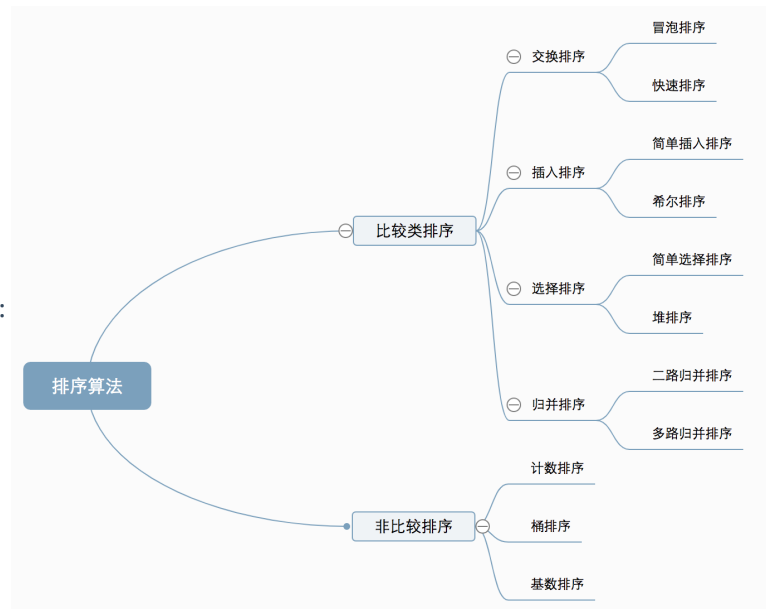
- Note: 截图来自 "托马斯大学微积分"

### 算法概述

#### 文章来源

- 01 算法分类:
  - 10 种常见排序算法可以分为 2 大类:
    - (1) 比较类排序: 通过比较来决定元素间的相对次序, 由于其时间复杂度不能突破  $O(n \log_2 n)$  (简写:  $O(n \log n)$ . Tip:  $\log_{10} n$  简写为  $\lg n$ ), 因为也称为非线性时间比较类排序.
    - (2) 非比较类(线性时间)排序: 不通过比较来决定元素间的相对次序, 它可以突破基于比较排序的时间下界, 以线性时间运行, 因此也称为线性时间非比较类排序.

■ 线性时间:



• 02 算法复杂度:

| 排序法         | (平均)时间复杂度       | (最坏)时间复杂度       | (最好)时间复杂度       | 空间复杂度           | 稳定性 |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|
| 比较类排序       | ...             | ...             | ...             | ...             | ... |
| 13.1.1 冒泡排序 | $O(n^2)$        | $O(n^2)$        | $O(n)$          | $O(n)$          | 稳定  |
| 13.1.2 选择排序 | $O(n^2)$        | $O(n^2)$        | $O(n^2)$        | $O(1)$          | 稳定  |
| xx.x.x 堆排序  | $O(n \log_2 n)$ | $O(n \log_2 n)$ | $O(n \log_2 n)$ | $O(1)$          | 不稳定 |
| 13.1.3 插入排序 | $O(n^2)$        | $O(n^2)$        | $O(n)$          | $O(1)$          | 稳定  |
| xx.x.x 希尔排序 | $O(n^{1.3})$    | $O(n^2)$        | $O(n)$          | $O(1)$          | 不稳定 |
| 13.1.4 归并排序 | $O(n \log_2 n)$ | $O(n \log_2 n)$ | $O(n \log_2 n)$ | $O(n)$          | 稳定  |
| 13.1.5 快速排序 | $O(n \log_2 n)$ | $O(n^2)$        | $O(n \log_2 n)$ | $O(n \log_2 n)$ | 不稳定 |
| 非比较排序       | ...             | ...             | ...             | ...             | ... |
| 13.1.6 计数排序 | $O(n + k)$      | $O(n + k)$      | $O(n + k)$      | $O(n + k)$      | 稳定  |
| 13.1.7 桶排序  | $O(n + k)$      | $O(n^2)$        | $O(n)$          | $O(n + k)$      | 稳定  |
| 13.1.8 基数排序 | $O(n * k)$      | $O(n * k)$      | $O(n * k)$      | $O(n + k)$      | 稳定  |

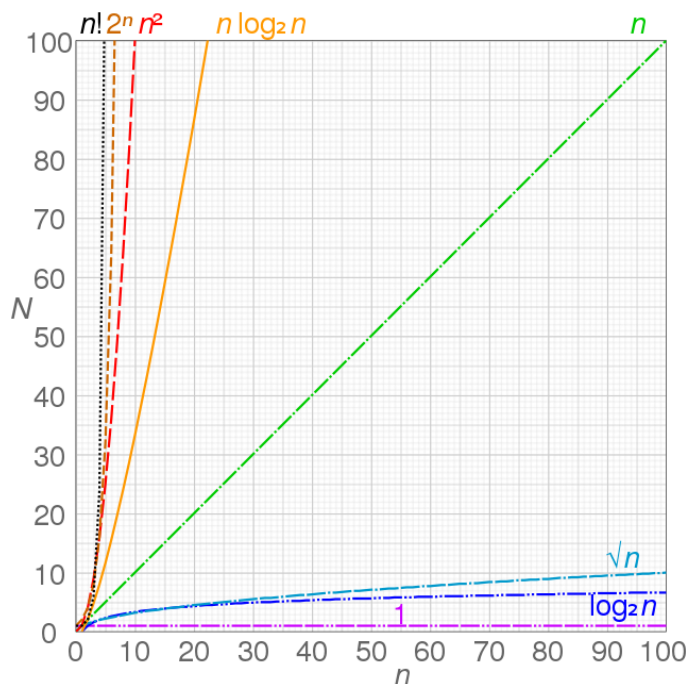
### • 03 时间复杂度:

- 在计算机科学中, 算法的时间复杂度 (Time Complexity) 是一个函数, 它定性描述该算法的运行时间. 这是一个代表算法输入值的字符串的长度的函数. 时间复杂度常用 **大 O 符号** 表述, 不包含这个函数的低阶项和首相系数. 使用这种方式时, 时间复杂度可被称为是渐近的, 亦即考察输入值大小趋近无穷时的情况. 例如, 如果一个算法对于任何大小为 **n** (必须比  $n_0$ ) 大的输入, 它至多需要  $5n^3 + 3n$  的时间运行完毕, 那么它的渐进时间复杂度是  $O(n^3)$ .

为了计算时间复杂度, 我们通常会估计算法的操作单元数量, 每个单元运行的时间都是相同的. 因此, 总运行时间和算法的操作单元数量最多相差一个常量系数.

相同大小的不同输入值仍可能造成算法的运行时间不同, 因此我们通常使用算法的最坏情况复杂度(Worst-case complexity) 记为 **T(n)**, 定义为任何大小的输入 **n** 所需的最大运行时间.

常见函数的时间复杂度(Time complexity)表:



- 04 相关概念:

- **稳定**: 如果 a 原本在 b 前面, 而  $a = b$ , 排序之后 a 仍然在 b 的前面。
- **不稳定**: 如果 a 原本在 b 的前面, 而  $a = b$ , 排序之后 a 可能会出现在 b 的后面。
- **时间复杂度**: 对排序数据的总的操作次数。反映当 n 变化时, 操作次数呈现什么规律。
- **空间复杂度**: 是指算法在计算机内执行时所需存储空间的度量, 它也是数据规模 n 的函数。

## 本章内容 (Content)

---

### 13.1 排序算法

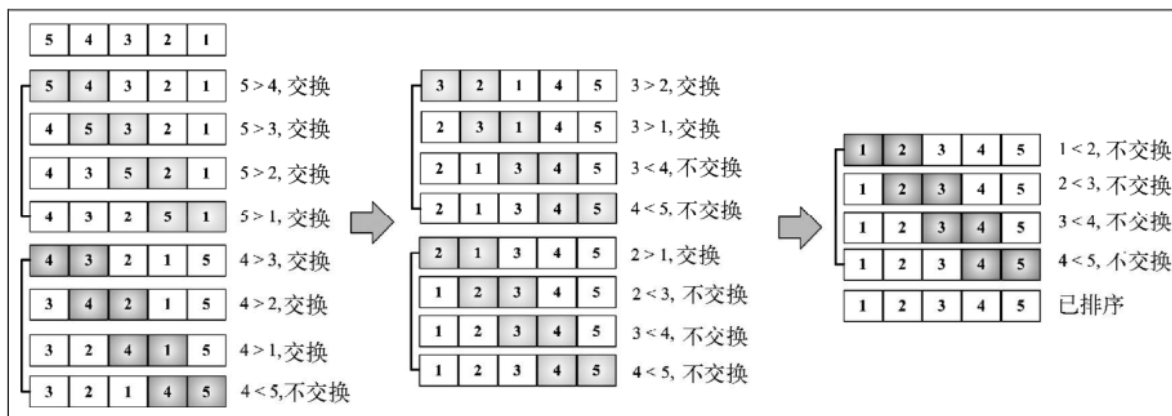
#### 13.1.1 冒泡排序 (Bubble Sort)

- 冒泡排序是排序算法中最简单的, 然而, 从运行时间的角度来看, 冒泡排序是最差的一个。

冒泡排序比较所有相邻的 2 个项, 如果第 2 个比第 1 个大, 则交换它们。元素向上移动至正确的顺序, 就好像气泡升至表面一样, 冒泡排序因此得名。

冒泡排序的源码: [./01\\_bubble-sort.html](#)

下图展示了冒泡排序的工作过程:



冒泡排序源码: [./01\\_bubble-sort.html](#)

我们使用下面这段代码来测试冒泡排序算法, 看看结果是否和示意图所示一致.

```
let array = [5, 4, 3, 2, 1];
// - join(): 只接受一个参数, 即用作分隔符的字符串, 然后返回包含所有数组项的字符串.
console.log(array.join()); // 5, 4, 3, 2, 1
let arr = bubbleSort(array);
console.log("arr: ", arr); // arr: [1, 2, 3, 4, 5]
```

注意当算法执行外循环(for)的第二轮时, 数字 4 和 5 都已经是正确排序的了. 尽管如此, 在后续比较中, 它们还是在一直进行着比较, 即使这是不必要的. 因此, 我们可以稍微改进一下冒泡排序算法.

### 改进后的冒泡排序

- 如果从内循环减去外循环中已跑过的轮数, 就可以避免内循环中所有不必要的比较(行{1}).

```
const Compare = {
  LESS_THAN: -1,
  BIGGER_THAN: 1,
  EQUALS: 0
};

function defaultCompare(a, b) {
  if (a === b) {
    return Compare.EQUALS;
  }
  return a < b ? Compare.LESS_THAN : Compare.BIGGER_THAN;
}

function swap(array, a, b) {
  const temp = array[a];
  array[a] = array[b];
  array[b] = temp;
  // - ES6 的方式
  // [array[a], array[b]] = [array[b], array[a]]
}

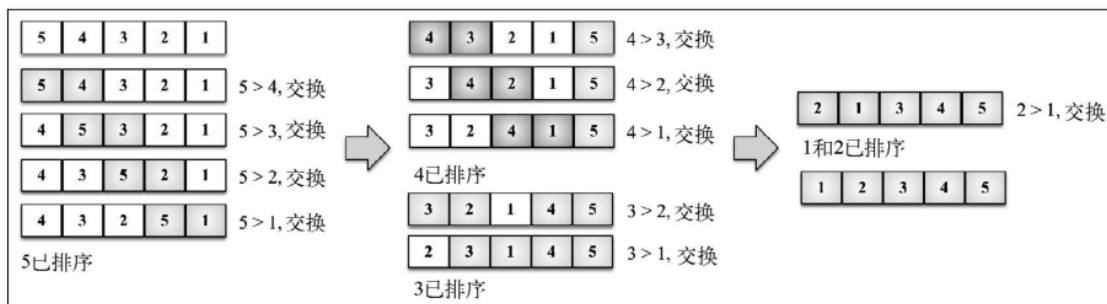
function modifiedBubbleSort(array, compareFn = defaultCompare) {
  const {length} = array;
  for (let i = 0; i < length; i++) {
    for (let j = 0; j < length - 1 - i; j++) { // {1}
      if (compareFn(array[j], array[j + 1])
        === Compare.BIGGER_THAN) {
        swap(array, j, j + 1);
      }
    }
  }
}
```

```

        swap(array, j, j+1);
    }
}
return array;
}

```

下面这个示意图展示了改进后的冒泡排序算法是如何执行的:



注意, 已经在正确位置上的数字没有被比较. 即便我们做了这个小改变来改进冒泡排序算法, 但还是不推荐该算法, 它的复杂度为  $O(n^2)$ .

我们将在第 15 章详细介绍大  $O$  表示法, 对算法做更多的讨论.

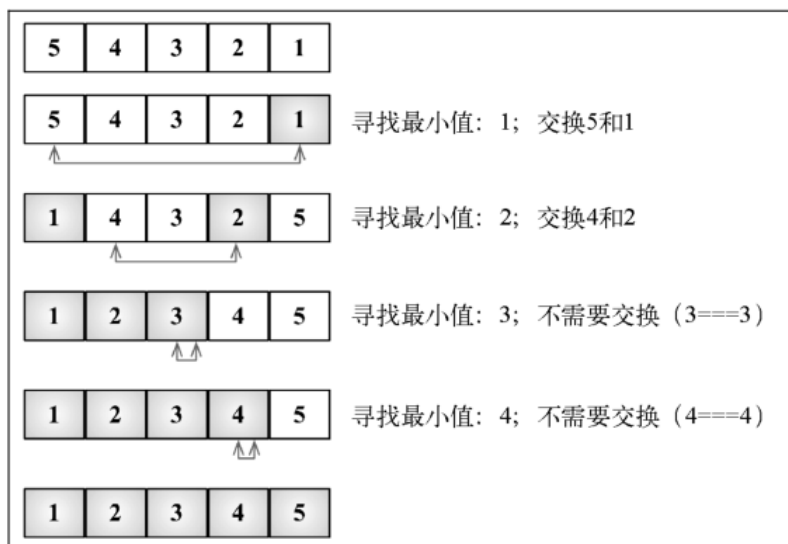
### 13.1.2 选择排序 (Selection Sort)

- 选择排序算法是一种 **原址比较** 排序算法. 选择排序大致的思路是: 找到数据结构中的最小值并将其放置在第一位, 接着找到第二小的值并将其放在第二位, 以此类推.

选择排序算法的源码: [./02\\_selection-sort.html](#)

测试代码同上.

下面的示意图展示了选择排序算法, 此例基于之前代码中所用的数组, 也就是 [5, 4, 3, 2, 1].



数组底部的箭头指示出当前迭代轮寻找最小值的数组范围 (内循环——{4}), 示意图中的每一步则表示外循环({2}). (Tip: 执行语句为中间 4 行, 因为外 for 循环语句  $\text{length} - 1 = 4$ .)

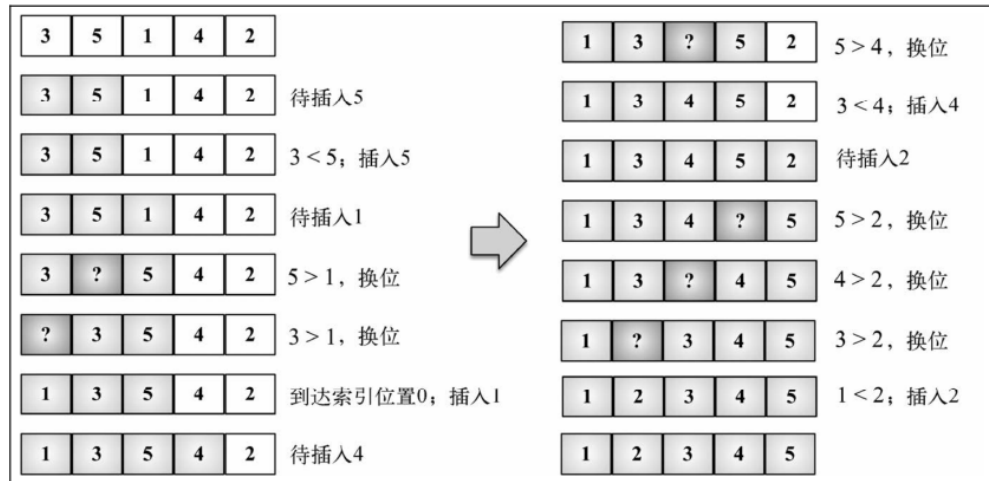
选择排序同样也是一个复杂度为  $O(n^2)$  的算法. 和冒泡排序一样, 它包含有嵌套的两个循环, 这导致了二次方的复杂度. 然而, 接下来要学的插入排序比选择排序性能要好。

### 13.1.3 插入排序 (Insertion Sort)

- 插入排序: 每次排一个数组项, 以此方式构建最后的排序数组. 假定第一项已经排序了. 接着, 它和第 2 项进行比较 -- 第 2 项是应该待在原位还是插到第 1 项之前? 这样, 头两项就已正确排序, 接着和第三项比较 (它是该插入到 第一, 第二 还是第三 的位置呢), 以此类推.

下面这段代码表示插入排序算法: [./03\\_insertion-sort.html](#)

- 下面的示意图展示了一个插入排序的实例.



- 举个例子, 假定待排序数组是 [3, 5, 1, 4, 2]。这些值将被插入排序算法按照下面的步骤进行排序。
  - (1) 3 已被排序, 所以我们从数组第二个值 5 开始。3 比 5 小, 所以 5 待在原位 (数组的第二位)。3 和 5 排序完毕。
  - (2) 下一个待排序和插到正确位置上的值是 1 (目前在数组的第三位)。5 比 1 大, 所以 5 被移至第三位去了。我们得分析 1 是否应该被插入到第二位——1 比 3 大吗? 不, 所以 3 被移到第二位去了。接着, 我们得证明 1 应该插入到数组的第一位上。因为 0 是第一个位置且没有负数位, 所以 1 必须被插入第一位。1、3、5 三个数字已经排序。
  - (3) 然后看下一个值: 4。4 应该在当前位置 (索引 3) 还是要移动到索引较低的位置上呢? 4 比 5 小, 所以 5 移动到索引 3 位置上去。那么应该把 4 插到索引 2 的位置上去吗? 4 比 3 大, 所以把 4 插入数组的位置 3 上。
  - (4) 下一个待插入的数字是 2 (数组的位置 4)。5 比 2 大, 所以 5 移动至索引 4。4 比 2 大, 所以 4 也得移动 (位置 3)。3 也比 2 大, 所以 3 还得移动。1 比 2 小, 所以 2 插入到数组的第二位置上。至此, 数组已排序完成。
- 排序小型数组时, 此算法比选择排序和冒泡排序性能要好。

### 13.1.4 归并排序 (Merge Sort)

- 归并排序是第一个可以实际使用的排序算法. 你在本书学到的前三个排序算法性能不好, 但归并排序性能不错, 其算法复杂度为  $O(n \log(n))$ .

**Note:** JavaScript 的 Array 类定义了一个 `sort` 函数 (`Array.prototype.sort`) 用以排序 JavaScript 数组 (我们不必自己实现这个算法). ECMAScript 没有定义用哪个排序算法, 所以浏览器厂商可以自行去实现算法. 例如, Mozilla Firefox 使用了归并排序作为 `Array.prototype.sort` 的实现, 而 Chrome (V8 引擎) 使用了一个快速排序的变体 (下面我们会学习).

- Tip01: 从上面的 02 算法复杂度 的表格可以看出, 归并排序和下一节 (13.1.5) 要讲的 快速排序 在复杂度上只有 "(最坏)时间复杂度" 和 "空间复杂度" 的不同, 归并排序的最坏时间复杂度是  $O(n \log n)$  而 快速排序的时间复杂度可能达到  $O(n^2)$ ,  $n^2$  这个指数级的时间就很恐怖了; 对



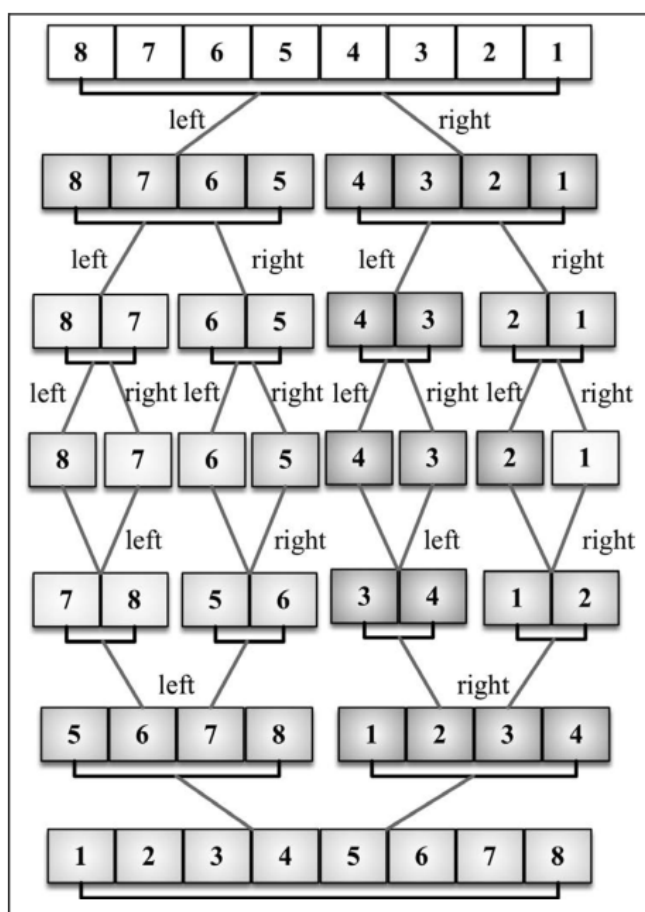
比一下空间复杂度, 归并排序是  $O(n)$ , 虽然比快速排序的  $O(n \log n)$  是差一些, 但是这点差距和在最坏时间复杂度的差距比起来, 性能就要好太多了, 书上说 Chrome V8 用了快速排序的变体, 到底是如何实现的, 还需要后续查资料才知道, 待解答?!

- Tip02: Array.prototype.sort 的使用示例见: 仓库 [JS-book-learning\《Javascript设计模式与编程实践》\第一部分--基础知识\第3章-闭包和高阶函数\第3章--闭包和高阶函数.md](#)

归并排序是一种分而治之算法. 其思想是将原始数组切分成较小的数组, 直到每个小数组只有一个位置, 接着将小数组归并成较大的数组, 直到最后只有一个排序完毕的大数组.

由于是分治法, 归并排序也是递归(recursive, [chapter09-递归](#))的. 我们要将算法分为 2 个函数: 第 1 个 ([mergeSort](#)) 负责将一个数组分为多个小数组并调用用来排序的辅助函数([merge](#)). 我们来看看在这里声明的主要函数: [./04\\_merge-sort.html](#)

如果执行 mergeSort 函数, 下图是具体的执行过程.



可以看到, 算法首先将原始数组分割直至只有一个元素的子数组, 然后开始归并. 归并过程也会完成排序, 直至原始数组完全合并并完成排序.

- Added: 归并排序算法分析 -- 归并排序是一种稳定的排序方法. 和选择排序一样, 归并排序的性能不受输入数据的影响, 但表现比选择排序好的多, 因为始终都是  $O(n \log n)$  的时间复杂度. 代价是需要额外的内存空间.

### 13.1.5 快速排序 (Quick Sort)

- 快速排序的实现稍微复杂, 详细笔记见同目录的: [./详解JS实现快速排序算法.md](#)

### 13.1.6 计数排序 (Counting Sort)

- 计数排序是我们在本书中学习的第一个分布式排序。分布式排序使用已组织好的辅助数据结构（称为 **桶**），然后进行合并，得到排好序的数组。计数排序使用一个用来存储每个元素在原始数组中出现次数的临时数组。在所有元素都计数完成后，临时数组已排好序并可迭代以构建排序后的结果数组。

它是用来排序整数的优秀算法(它是一个**整数排序算法**)，时间复杂度为  $O(n + k)$ ，其中  $k$  是临时计数数组的大小；但是，它确实需要更多的内存来存放临时数组。

计数排序源码见: [./06\\_counting-sort.html](#)

### 13.1.7 桶排序 (Bucket Sort)

### 13.1.8 基数排序 (Radix Sort)

## 13.2 搜索算法 (7 大查找算法)

### 13.2.1 顺序搜索

### 13.2.2 二分搜索

- 二分搜索算法的原理和猜数字游戏类似，就是那个有人说“我正想着一个 1~100 的数”的游戏。我们每回应一个数，那个人就会说这个数是高了、低了还是对了。

这个算法要求被搜索的数据结构已排序。以下是该算法遵循的步骤。

- (1) 选择数组的中间值。
- (2) 如果选中值是待搜索值，那么算法执行完毕（值找到了）。
- (3) 如果待搜索值比选中值要小，则返回步骤 1 并在选中值左边的子数组中寻找（较小）。
- (4) 如果待搜索值比选中值要大，则返回步骤 1 并在选中值右边的子数组中寻找（较大）。

源码实现: [./13.2.2\\_binary-search.html](#)

### 13.2.3 内插搜索

- 内插搜索是改良版的二分搜索。二分搜索总是检查 **mid** 位置上的值，而内插搜索可能会根据要搜索的值检查数组中的不同地方。

这个算法要求被搜索的数据结构已排序。以下是该算法遵循的步骤：

- (1) 使用 position 公式选中一个值；
- (2) 如果这个值是待搜索值，那么算法执行完毕（值找到了）；
- (3) 如果待搜索值比选中值要小，则返回步骤 1 并在选中值左边的子数组中寻找（较小）；
- (4) 如果待搜索值比选中值要大，则返回步骤 1 并在选中值右边的子数组中寻找（较大）。

源码实现: [./13.2.3\\_interpolation-search.html](#)

## (4) 斐波那契查找

- **详见**

## (5) 树表查找

- (5.1) 最简单的树表查找算法 -- 二叉树查找算法
- (5.2) 平衡查找树之 -- 2-3 查找树 (2-3 Tree)
- (5.3) 平衡查找树之 -- 红黑树 (Red-black Tree)

- (5.4) B 树 和 B+ 树 (B Tree / B+ Tree)

(6) 分块查找 -- 分块查找又称 "索引顺序查找", 它是顺序查找的一种改进方法.

(7) 哈希查找

## 13.3 随机算法

- 有一种场景是需要将一个数组中的值进行随机排列. 现实中的一个常见场景是洗扑克牌. 下面我们学习随机数组的一种最有名的算法

### 13.3.1 Fisher-Yates(费舍尔·耶茨) 随机

- 这个算法由 Fisher 和 Yates 创造, 并由高德纳 (Donald E.Knuth) 在 《计算机程序设计艺术》系列图书中推广.

它的含义是迭代(iteration)数组, 从最后一位开始并将当前位置和一个随机位置进行交换. 这个随机位置比当前位置小. 这样, 这个算法可以保证随机过的位置不会再被随机一次(洗扑克牌的次数越多, 随机效果越差).

下面的代码展示了 Fisher-Yates 随机算法

```
function swap(array, a, b) {
  const temp = array[a];
  array[a] = array[b];
  array[b] = temp;
  // - ES6 的写法
  // [array[a], array[b]] = [array[b], array[a]];
}

function shuffle(array) {
  for (let i = array.length; i > 0; i--) {
    const randomIndex = Math.floor(Math.random() * (i + 1));
    swap(array, i, randomIndex);
  }
  return array;
}
```

## 13.4 小结