



中国科学技术大学 计算机科学与技术系
University of Science and Technology of China
DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE AND TECHNOLOGY

算法基础

Foundation of Algorithms

主讲人 徐云

Fall 2018, USTC



Part 1 Foundation

Part 2 Sorting and Order Statistics

chap 6 Heapsort

chap 7 Quicksort

chap 8 Sorting in Linear Time

chap 9 Medians and Order Statistics

Part 3 Data Structure

Part 4 Advanced Design and Analysis Techniques

Part 5 Advanced Data Structures

Part 6 Graph Algorithms

Part 7 Selected Topics

Part 8 Supplement



第8章 线性时间的排序

8.1 排序的下界

8.2 计数排序

8.3 基数排序

8.4 桶排序

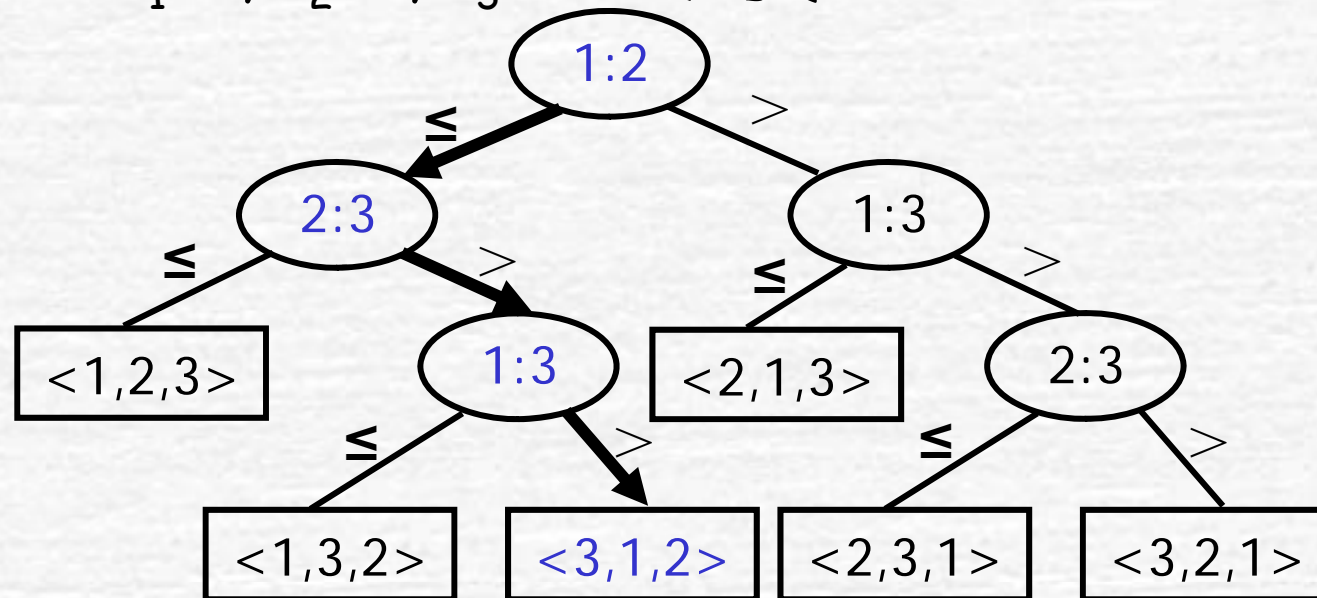


8.1 排序的下界

- 判定树模型
- 最坏情形的下界

判定树模型

- 任何 n 个元素 a_1, a_2, \dots, a_n 的基于比较的排序可以用一棵二叉排序树表示，其叶子节点代表一类输入实例的排序结果。
- 示例： $a_1=6, a_2=8, a_3=5$ 其判定树如下



该实例的比较路径由箭头所示，叶子节点代表的是排序结果。

最坏情形的下界

- 定理8.1 基于比较排序算法在最坏情形下，需要 $\Omega(n \log n)$ 。
- 证明：设 h, l 分别代表判定树的高度和叶子数
 - \because 判定树是一棵二叉树
 - $\therefore l \leq 2^h$ // 叶子数不超过 2^h
 - $\therefore n! \leq l \leq 2^h$ // $n!$ 为排序的结果数于是有， $h \geq \log n! \geq \Omega(n \log n)$ 证毕！



第8章 线性时间的排序

8.1 排序的下界

8.2 计数排序

8.3 基数排序

8.4 桶排序



8.2 计数排序

- 基本思想
- 一种特殊情形的计数排序
- 一般情形的计数排序

基本思想

- 统计小于或等于 $A[i]$ 的元素数目，将 $A[i]$ 置入相应的位置，即

$A[i] \rightarrow B[\text{小于或等于 } A[i] \text{ 的元素数目}]$

- 主要要解决的问题：
 - 计数：统计小于或等于 $A[i]$ 的元素数目
 - 值相同元素的处理

一种特殊情形的计数排序

- 问题：n个互不相同的整数 $A[1..n]$, $1 \leq A[i] \leq n$
 $i=1 \sim n$
 - 排序算法：
SpecialCountingSort(A,B)
{//B[1..n]为排序结果
 for $i \leftarrow 1$ to n do
 $B[A[i]] \leftarrow A[i]$; //如 $A[i]=5$, 就放到 $B[5]$ 中
}
- 时间： $O(n)$ ，无比较

一般情形的计数排序 (1)

- 问题: n 个可以相同的整数 $A[1..n]$, $1 \leq A[i] \leq k$, $i=1 \sim n$, 这里 k 是 $A[i]$ 的取值范围, 不一定为 n 。
- 基本思想:
 - 步骤: $A[1..n] \rightarrow$ 计数器 $C[1..k] \rightarrow B[1..n]$
 - Step 1(值相同元素的计数): 将 A 中的值为 i 的元素个数记入 $C[i]$ 中;
 - Step 2(累计计数): 对 $C[1..k]$ 进行修改, 使得 $C[i]$ 的值表示为 $\leq i$ 的元素个数;
 - Step 3(放置): 将 $A[j]$ 依据 $C[A[j]]$, 放入正确位置 $B[C[A[j]]]$ 上, 并修改 $C[A[j]] \leftarrow C[A[j]] - 1$;

一般情形的计数排序 (2)

- 算法:

CountingSort(A,B,k)

{//B[1..n]为排序结果, C[1..k]为计数数组

for i←1 to k do C[i]←0;

for j←1 to length[A] do //扫描A, 值相同元素计数

C[A[j]]++;

for i←2 to k do //C[i]修改, 累计计数

C[i]←C[i]+C[i-1];

for j←length[A] downto 1 do

{ B[C[A[j]]]←A[j];

C[A[j]]--;

}

}

时间: $T(n,k)=\theta(n+k)=\theta(n)$, 如果 $k=\theta(n)$ 时



第8章 线性时间的排序

8.1 排序的下界

8.2 计数排序

8.3 基数排序

8.4 桶排序



8.3 基数排序

- 算法
- 一些讨论

基数排序算法

- 假定 $A[1..n]$ 是非负整数，用 k 进制表示为不超过 d 位数。
- 算法：
RadixSort(A, d)
{ for $i \leftarrow 1$ to d do
 使用稳定的排序算法对 A 的第 i 位排序；//如计数排序
}
- 时间： $T(n) = \theta(d(n+k))$ // k 为基， d 为位数
 $= \theta(n)$ // 如果 $k = \theta(n)$ 且 d 是常数
- 示例：Fig. 8.3

一些讨论

- d 不为常数，基数排序算法还是线性时间吗？
设 n 个整数的取值范围是 $0 \sim n^c$ ， c 是整常数， $c \geq 1$
对于十进制整数， n^c 需要的位数 $d = \lfloor \log_{10} n^c \rfloor + 1 \approx \log_{10} n$
 $\therefore T(n) = \theta(d(n+k)) = \theta(n \log n)$ // k 为10
因此，不是线性时间排序
- 算法何时为线性时间？
 - Idea: 只要使 d 变为常数， k 变大到与 n 同阶
 - How to do:
选基 $k=n$ ，则 n^c 的位数为 $\log_n n^c = c = d$
 $\therefore d=c, k=n$
 $\therefore T(n) = \theta(n)$



第8章 线性时间的排序

8.1 排序的下界

8.2 计数排序

8.3 基数排序

8.4 桶排序



8.4 桶排序

- 基本思想
- 示例
- 算法描述

基本思想和示例

- 假定：输入是均匀分布在 $[0,1)$ 上的实数。
- 基本思想：
 - ① $[0,1)$ 划分为 $[0,1/n), [1/n, 2/n), \dots, [k/n, (k+1)/n), \dots, [(n-1)/n, 1)$ n 个大小相等的子区间，每个子区间看作一个桶；
 - ② 将 n 个元素分配到桶中；
 - ③ 对每个桶里的元素进行排序，依次连接桶；
- 示例：Fig. 8.4

桶排序算法 (1)

- 输入: $0 \leq A[1..n] < 1$
- 辅助数组: $B[0..n-1]$ 是一个指针数组, 指向每个桶(链表)
- 关键字映射:
由于 $0 \leq A[i] < 1$, 必须将 $A[i]$ 映射到 $0, 1, \dots, n-1$ 上
 $\therefore [0, 1) \rightarrow [0, n)$ // 通过函数 $nA[i]$
即 $k \leq nA[i] < k+1$ // 存在 k
 \therefore 桶号 $k = \lfloor nA[i] \rfloor$ // 映射函数

桶排序算法 (2)

- 算法描述:

BucketSort(A)

{ $n \leftarrow \text{length}[A]$;

 for $i \leftarrow 1$ to n do //扫描A

 将 $A[i]$ 插入到链表 $B[\lfloor nA[i] \rfloor]$ 中;

 for $i \leftarrow 0$ to $n-1$ do

 用插入排序将 $B[i]$ 排序;

 将 $B[0], B[1], \dots, B[n-1]$ 连接起来;

}

Time

$\theta(n)$

$\theta(n)^*$

$\theta(n)$

*注: $\because n$ 个数是均匀分布在 $[0,1)$ 中,

\therefore 每个桶中大约只有一个数, \therefore 时间为 $O(1)$

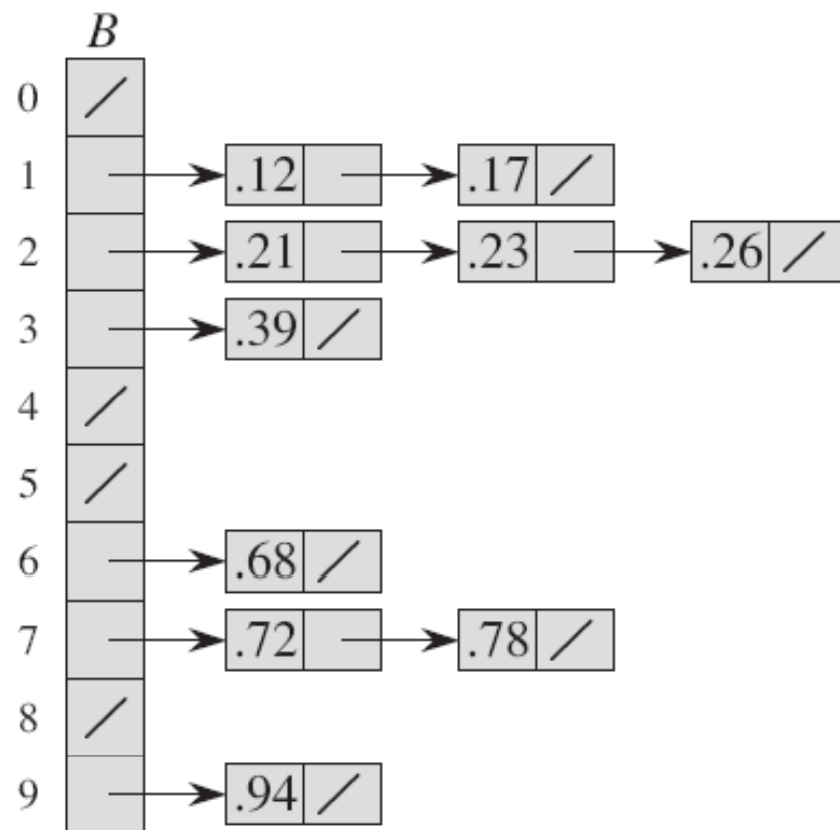
- 期望时间分析: 略

桶排序算法 (3)

- 示例：

A	
1	.78
2	.17
3	.39
4	.26
5	.72
6	.94
7	.21
8	.12
9	.23
10	.68

(a)



(b)



End of Ch8

