

Алгоритмы и структуры данных

Сергей Григорян

23 октября 2024 г.

Содержание

1	Лекция 5	3
1.1	Биномиальная куча	3
1.2	Амортизационный анализ	4
1.2.1	Динамический массив (std::vector)	5
2	Лекция 6	5
2.1	Связные списки	6
2.2	Куча Фиббоначи	7
2.2.1	Consolidate (Операция причёсывания кучи)	8
2.2.2	Анализ времени работы	8
3	Лекция 7	9
3.1	Стеки и очереди	9

1 Лекция 5

1.1 Биномиальная куча

Хотим следующие операции:

- $\text{getMin}()$
- $\text{extractMin}()$
- $\text{insert}(x)$
- $\text{decreaseKey}(\text{ptr}, \Delta)$
- $\text{merge}(\text{heap1}, \text{heap2})$ - объединение куч.

Определение 1.1. Биномиальное дерево ранга k :

$k = 0$) T_0 - одна вершина

$k = 1$) T_1 - вершина с одним ребёнком

$k = 2$) T_2 - Дерево T_1 , к корню кот. ещё подвешено T_1

$k = n$) T_n - Дерево T_{n-1} , к корню кот. ещё подвешено T_{n-1}

Кроме того, в вершинах дерева, есть числа, удовл. усл. обыкновенной кучи (значение в родителе \leq значения в сыновьях)

Определение 1.2. Биномиальная куча - это набор биномиальных деревьев, попарно различных рангов.

Пример.

T_0, T_1, T_5 - OK

T_3, T_5, T_5 - NOT OK

Замечание. 1) Если в куче всего n - эл-ов, то в ней не более $\log_2 n$ - деревьев, т. к. в T_k ровно 2^k вершин.

Пример. $n = 11 = 1011_2 \Rightarrow T_0 + T_1 + T_3$

2) Дерево ранга k имеет глубину k

$$k \leq \log_2 n$$

Реализация:

- $\text{getMin}()$:
Храним указатель на корень с наим. значением. $\Rightarrow O(1)$
- $\text{merge}(H_1, H_2)$:
 - 1) Если в H_1 и H_2 не содержатся деревья одинаковых рангов, то просто объединяем.
 - 2) Иначе пусть есть дерево L_k, R_k - два дерева одинакового ранга. Сделаем из них T_{k+1} . Повторяем процедуру, пока у нас есть деревья равных рангов. ($O(\log_2 n)$)
- $\text{insert}(x)$:
Заводим биномиальную кучу из одной вершины с значением x , затем merge новой и старой кучи $\Rightarrow O(\log_2 n)$
- $\text{extractMin}()$:
Пусть \min вершина в H_2 . На самом деле дерево H_2 - тоже корректная куча. Оставшуюся кучу обозначим за H_1 . Удалим из H_2 \min , из оставшихся деревьев составим новую кучу H'_2 и смёрджим его с H_1
- $\text{decreaseKey}(\text{ptr}, \Delta)$:
Как в бинарной. ($O(\log_2 n)$) + Проверить, не изменился ли \min корень

1.2 Амортизационный анализ

Определение 1.3. Пусть S - какая-то СД, способная обрабатывать m типов запросов. Тогда ф-ции $a_1(n), a_2(n), \dots, a_m(n)$ наз-ся учётными (амортизационными) асимптотиками ответов на запросы, если $\forall n \forall$ п-ть из n запросов с типами i_1, i_2, \dots, i_n суммарное время их обработки = $O(\sum_{i=1}^n a_{i_j}(n))$

Пример. В бинарной куче:

- insert : $O(\log n)$
- extractMin : $O^*(\log n)$

- $getMin(): O^*(\log n)$
- $erase$: аморт. $O(\log n)$

Сл-но, любые n запросов работают за $O(n \log n)$

Замечание. Можно даже считать так:

- $insert: O^*(\log n)$
- $extractMin: O^*(1) \leq k$
- $getMin: O^*(1)$
- $erase: O^*(1) \leq k$

На n запросов.

Из них k - $insert$. Тогда реальное время работы: $O(k \log k + n - k)$

1.2.1 Динамический массив (std::vector)

Хранит массив: a_0, a_1, \dots, a_{n-1}

Отвечает на запросы:

- $[]$: по i вернуть a_i - $O(1)$
- push-back x : добавить x в конец массива.
- pop-back: удалить последний эл-т.

2 Лекция 6

Утверждение 2.1 (Метод бух. учёта). Пусть к структуре поступает n запросов, t_i - реальное время выполнения i -ого запроса.

Пусть d_i - число монет, положенных на счёт; w_i число снятых монет. Тогда, если баланс на счёте всегда ≥ 0 , то:

$$a_i = t_i + d_i - w_i$$

учётная стоимость i -ого запроса.

Доказательство. $\{a_i\}$ - явл-ся уч. стоимостями, если реальное время = $O(\sum_{i=1}^n a_i)$

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^n a_i &= \sum_{i=1}^n t_i + d_i - w_i = \sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n (d_i - w_i), (d_i - w_i \geq 0) \\ &\Rightarrow \sum_{i=1}^n a_i \geq \sum_{i=1}^n t_i\end{aligned}$$

□

Рассм. динам. массив:

- Лёгкий push-back/pop-back:

- $t_i = O(1)$
- $d_i \leq 20$
- $w_i = 0$
- $a_i = O(1)$

- Тяжёлый push-back/pop-back:

- $t_i \leq 4C$
- $w_i = t_i$
- $d_i = 0$
- $a_i = 0$

$O^*(1)$ - учётное время работы всех операций

2.1 Связные списки

- 1) За линейное от размера списка время можно просмотреть все его эл-ты
- 2) В списке можно выполнять удаление по указателю за $O(1)$

Замечание. Для удобства реализации, в начало и конец списка можно положить некий фиктивный эл-т.

2.2 Куча Фиббоначи

Умеет:

- 1) `getMin` - $O(1)$
- 2) `insert` - $O(1)$
- 3) `merge` - $O(1)$
- 4) `extractMin` - $O^*(\log n)$
- 5) `decreaseKey` - $O^*(1)$

Куча - **связный список** деревьев, каждое из кот. удовл. требованиям кучи.

Что храним в вершине?

- 1) Указатель на левого и правого брата.
- 2) `element` $x \in X$
- 3) **Связный список** детей (А именно, указатель на самого левого сына)
- 4) Степень вершины (Кол-во детей) (`int degree`)
- 5) `bool mark`: вырезался ли 1 из сыновей.
- 6) Указатель на родителя.

Разбираем операции:

- `getMin`: Вместе со списком корней будем хранить указатель на минимальный корень.
- `Merge`: склеиваем два списка корней и пересчитываем `min-root`
- `insert x`: Создаём кучу из одного эл-та + `merge`.
- `extractMin`: Удалим вершину `min-root`, а всех детей `merge`-ым со старой кучей.
- `decreaseKey ptr Δ` : у корней можно удалять произв. кол-во сыновей., а у всех остальных не больше одного.

2.2.1 Consolidate (Операция причёсывания кучи)

Будем проходиться по всем корням и объединять деревья одного ранга. (ранг = degree). Объединение:

Из двух деревьев одного ранга (H_1, H_2) , пусть H_1 - с меньшим числом в корне. Тогда подвесим H_2 к H_1 . Теперь ранг H_1 увеличился на 1.

Пусть $D(n)$ - max возможный ранг вершины в куче из n эл-ов. (Позже покажем, что $D(n) = O(\log n)$). Тогда реальное время работы:

$$D(n) + \#(\text{Объединений деревьев})$$

2.2.2 Анализ времени работы

Метод бух. учёта:

На каждом корне лежит по 1 монетке, на каждой вершине с `mark = true` лежит по 2 монетки. Тогда:

- 1) `decreaseKey` работает за $O(1)$
- 2) `extractMin` работает за $O^*(D(n))$

Осталось показать, что $D(n) = O(\log n)$

Пусть $S(k)$ - min кол-во вершин в дереве, ранг кот. равен k
 $S(0) = 1, S(1) = 2, S(k) = ?$

$$S(k) \geq 1 + 1 + S(0) + \dots + S(k-2)$$

Отсюда следует, что $S(k) \geq F_{k+2}$, где F_k - k -ое число Фибоначчи.

$$S(k) = \Omega(\phi^{k+2})$$

Утверждение 2.2.

$$2 + F_2 + F_3 + \dots + F_k = F_{k+2}$$

Доказательство.

$$k = 2: 2 + F_2 = 3 = F_3$$

$$k = k: 2 + F_2 + \dots + F_{k+1} = F_{k+3}$$

□

$$F_n = \Theta(\phi^n) \Rightarrow S(k) = \Omega(\phi^k)$$

3 Лекция 7

3.1 Стеки и очереди

- push x - добавить x в начало
- pop x - удалить первый эл-т из начала
- top x - вывести первый эл-т из начала.

Реализация на основе связного списка.

ПСССССССССССП

ОБРАТНАЯ ПОЛЬСКАЯ ЗАПИИИИИИИИИИИСЬ

Спарсы