

Algorytmy i struktury danych

Lista zadań 2

Zadanie 1

Ile trzeba porównań, by znaleźć element x w nieuporządkowanej tablicy \mathbf{t} o rozmiarze n . Oblicz wartość średnią i wariancję zakładając, że element x może znajdować się z jednakowym prawdopodobieństwem, pod dowolnym indeksem tablicy.

$$\begin{aligned} E(X) &= \sum_{i=1}^n x_i p_i = \sum_{i=1}^n i \cdot \frac{1}{n} = \frac{\left(\frac{1}{n} + \frac{n}{n}\right) n}{2} = \frac{n+1}{2} \\ \text{Var}(X) &= E(X^2) - E(X)^2 = \sum_{i=1}^n i^2 \frac{1}{n} - \left(\frac{n+1}{2}\right)^2 = \frac{2n^2 + 3n + 1}{6} - \frac{n^2 + 2n + 1}{4} \\ &= \frac{4n^2 + 6n + 2}{12} - \frac{3n^2 + 6n + 3}{12} = \frac{n^2 - 1}{12} \end{aligned}$$

Zadanie 2

Bisekcja. Ile trzeba porównań, by znaleźć element x w posortowanej tablicy \mathbf{t} o rozmiarze n . Podaj minimalną wartość gwarantującą sukces i strategię, jak to zrobić. Postaraj się podać wzór ogólny, który pozwoli wyliczyć dokładną wartość dla dowolnego n . Sprawdź go dla $n = 1, \dots, 20$.

1. Oblicz środek przedziału.
2. Jeżeli wartość w środku przedziału jest większa od x , to środek staje się lewym końcem przedziału.
3. W przeciwnym wypadku środek staje się prawym końcem przedziału.

$$n = 1 \implies 1$$

$$n = 2 \implies 2$$

$$n = 4 \implies 3$$

$$n = 8 \implies 4$$

$$n = 16 \implies 5$$

$$n = 20 \implies 6$$

$$\lceil \log_2(n) \rceil + 1$$

Zadanie 3

Rozważ trzy wersje znajdowania maksimum w tablicy `int maks(int t[], int n)`. Ile porównań między elementami tablicy n -elementowej wykonuje każda z wersji? Ile pamięci wymaga każda z tych wersji? Uwzględnij fakt, że głębokość rekurencji ma wpływ na zużycie pamięci, ponieważ powstaje wiele kopii zmiennych lokalnych. Która wersja jest więc najlepsza?

(a) iteracyjna: `{int x = a[--n]; while(n-->0) if(t[n] > x) x = t[n]; return x;}`

$n - 1$ porównań i 3 zmienne lokalne

(b) rekurencyjnie oblicza maksimum $n - 1$ elementów i porównuje z ostatnim elementem

$n - 1$ porównań i $2n$ zmiennych lokalnych

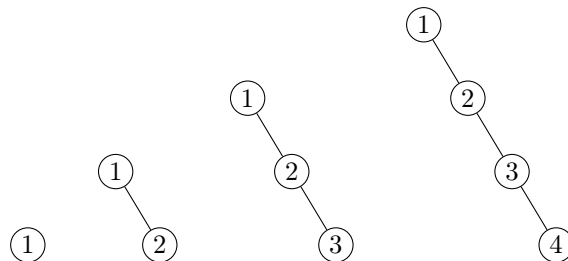
(c) dzieli tablicę na dwie części, rekurencyjnie znajduje ich maksima i wybiera większe z nich.

$2(n - 1) + 1 = n - 1$ porównań i $2(n - 1) + 2 = 2n$ zmiennych lokalnych

Zadanie 4

Jakie drzewo powstanie po wstawieniu do pustego drzewa BST liczb od 1 do n w kolejności rosnącej? Jaka potem będzie głębokość drzewa? Ile porównań kluczy wykonano w trakcie tworzenia tego drzewa? Jaka jest złożoność w tego procesu w notacji O ?

Uwaga: Element wstawiamy na pierwsze napotkane puste miejsce zaczynając od korzenia. Jeśli miejsce jest zajęte, to gdy element jest mniejszy od klucza w węźle, idziemy do lewego poddrzewa, a gdy większy lub równy – do prawego poddrzewa.



Głębokość drzewa: n

$$\text{Ilość porównań: } \sum_{i=1}^n i - 1 = \frac{n(n-1)}{2} = \frac{n^2 - n}{2}$$

$$\text{Złożoność: } \frac{n^2 - n}{2} = O(n^2)$$

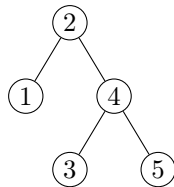
Zadanie 5

Implementacja usuwania węzła X z drzewa binarnego działa wg następującego schematu:

- (a) jeśli X nie ma dzieci, to go usuwamy a wskaźnik na X zmieniamy na NULL .
- (b) jeśli X ma jedno dziecko Y , to usuwamy X , a wskaźnik na X zastępujemy wskaźnikiem na Y .
- (c) jeśli X ma dwoje dzieci, to znajdujemy najmniejszy element Y w jego prawym poddrzewie, dane i klucz z węzła Y kopiujemy do X i usuwamy Y .

Uzasadnij, dlaczego postępowanie wg punktu (c) nie psuje prawidłowego rosnącego porządku kluczy wypisywanych w porządku *inorder* i dlaczego Y ma co najwyżej jedno dziecko, więc do jego usunięcia można zastosować punkt (a) lub (b).

Zastąpienie węzła X mającego dwoje dzieci polegające na znalezieniu najmniejszego elementu w prawym poddrzewie X nie psuje porządku *inorder*, ponieważ najmniejszy element prawego poddrzewa jest idealnym kandydatem na jego miejsce, dzięki temu że jest większy od wszystkich elementów w lewym poddrzewie X , a mniejszy od wszystkich elementów w prawym poddrzewie X .



Do usunięcia węzła Y możemy zastosować punkt (a) lub (b), ponieważ Y ma co najwyżej jedno dziecko, ponieważ jeśli Y ma dwoje dzieci, to jego lewe dziecko było by mniejsze od Y , co oznacza że Y nie jest najmniejszym elementem.

Zadanie 6

Uzasadnij, że w każdym drzewie BST zawsze ponad połowa wskaźników (pól *left* i *right*) jest równa NULL .

Na każdy węzeł drzewa BST przypadają dwa wskaźniki, *left* i *right*, które wskazują na lewe i prawe poddrzewo. Drzewo składające się z samego korzenia ma 2 wskaźniki równe NULL . Każde dodanie węzła zwiększy łączną liczbę węzłów o 2 i zmniejszy liczbę węzłów równych NULL o 1.

Liczba węzłów: n

Liczba wskaźników: $2n$

Liczba wskaźników równych NULL : $n + 1$

$$n + 1 > \frac{2n}{2}$$

$$n + 1 > n$$

Zadanie 7

Ile maksymalnie węzłów może mieć drzewo BST o głębokości h ? Wylicz dokładną wartość, przyjmując, że głębokość oznacza ilość poziomów, na których występują węzły (sam korzeń: $h = 1$, korzeń i dzieci: $h = 2 \dots$). Skorzystaj z wzoru na sumę ciągu geometrycznego. Wynioskuj, jaka jest najmniejsza, a jaka największa głębokość drzewa binarnego o n węzłach?

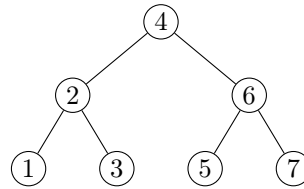
$$\text{Maksymalna ilość węzłów: } \frac{a_1(1 - q^n)}{1 - q} = \frac{1(1 - 2^h)}{1 - 2} = 2^h - 1$$

$$\text{Najmniejsza głębokość: } 1 + \lfloor \log_2(n) \rfloor$$

$$\text{Największa głębokość: } n$$

Zadanie 8

Przeanalizuj operacje `find`, `insert`, `remove` zawarte w pliku `tree-2023-recursive.cc`. Jak ich pesymistyczna złożoność czasowa $T(h)$ zależy od głębokości drzewa h ?



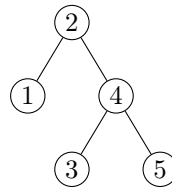
$$\text{find: } T(h) = \Theta(h)$$

$$\text{insert: } T(h) = \Theta(h)$$

$$\text{remove: } T(h) = \Theta(h)$$

Zadanie 9

W pliku `tree-2023-recursive.cc` znajdziesz funkcję `int height(node *t)`, która wyliczy głębokość (ilość poziomów na jakich występują węzły) drzewa BST. Jak zależy czas wykonania tej funkcji od ilości n węzłów drzewa i/lub jego głębokości h ? To samo zadanie wykonaj też dla funkcji `int count(node *t)`.



height

$$T(n) =$$

$$T(h) =$$

count

$$T(n) =$$

$$T(h) =$$