МИНОБРНАУКИ РОССИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)
Кафедра МО ЭВМ

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Алгоритмы и структуры данных»

Тема: Вар 9: Работа со случайными бинарными деревьями поиска - вставка.

Студент гр. 9382 _____ Герасев Г.

Преподаватель _____ Фирсов М.А.

Санкт-Петербург

2020

ЗАДАНИЕ

НА КУРСОВУЮ РАБОТУ (КУРСОВОЙ ПРОЕКТ)

Студент Герасев Г

Группа 9382

Тема работы: Случайные БДП – вставка и исключение. Вставка в корень БДП. Текущий контроль.

Исходные данные: количество элементов в дереве для дальнейшего создания случайного дерева поиска пользователями, верхняя граница, в которой будут генерироваться элементы дерева (на пример если передать 10, то будут генерироваться элементы от 1 до 10).

Содержание пояснительной записки: «Содержание», «Введение», «Основные теоретические сведения», «Описание алгоритмов», «Описание структур данных и используемых функций», «Текущий контроль», «Тестирование», «Заключение», «Исходный код программы»

Предполагаемый объем пояснительной записки:
Не менее 20 страниц.

Дата выдачи задания: 31.10.2020

Дата сдачи реферата: 26.12.2020

Дата защиты реферата: 28.12.2020

Студент _____ Герасев Г.

Преподаватель _____ Фирсов М.А.

АННОТАЦИЯ

В данной курсовой работе была реализована программа, которая выполняет создание случайного БДП, удаление элемента из него и вывод дерева в удобном для прочтения виде. Текущий контроль включает в себя вывод заданий по созданию дерева и удалению элемента из него. Реализованную программу можно использовать в обучении для проверки знаний студентов.

SUMMARY

In this course work, a program was implemented that creates a random BDP, deletes an element from it and displays a tree in an easy-to-read form. Current control includes the output of tasks for creating a tree and deleting an element from it. The implemented program can be used in teaching to test the knowledge of students.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

В данной курсовой работе были реализованы создание случайного БДП и удаления элемента из него и реализация текущего контроля по данным темам.

Цель:

Целью данной работы является реализация работы создания случайного БДП и удаления элемента из него и реализация текущего контроля по данным темам.

Для реализации данной цели нужно решить следующие задачи:

- Собрать теоретические сведения по изучаемым алгоритмам, структуре данных и анализируемых функций
- На основе теоретических данных написать программу на языке C++, реализующую заданную структуру данных и необходимые алгоритмы
- Реализовать текущий контроль студентов, для определения их понимания данной темы.

Основные теоретические положения

Бинарное дерево поиска, это бинарное дерево, значения в котором лежат так, что для любого узла верно, что все значения в левом поддереве будут меньше корневого узла, а все значения в правом – больше.

Такое дерево будет называться сбалансированным, если высота каждого из поддеревьев, имеющих общий корень, отличается не более чем на некоторую константу. Чем ближе разница высот к нулю, тем сбалансированнее дерево. Чем сбалансированней дерево, тем быстрее будет проходить по нему поиск.

Случайное бинарное дерево поиска, это такое дерево поиска, что при его создания во время последовательного добавления в него элементов, элемент имеет шанс стать корневым или «листовым» (т.е. лежащем в поддереве) обратно пропорционален количеству элементов в дереве. Таким образом можно создавать сбалансированные деревья поиска, с поиском ~ln(2n), что крайне хороший результат, учитывая то, что алгоритм не требует обработки вводимых значений (на пример сортировки).

Вставка элемента в дерево – добавление элемента в дерево таким образом, что его свойства не нарушаются. На пример в БДП вставка элемента не меняет свойство дерева быть деревом поиска.

Вставка в корень – такая вставка в дерево, что значение в корне меняется на переданное, и все дерево изменяется так, чтобы остаться деревом поиска и добавить замененное значение в само дерево. Благодаря алгоритму, описанному в соответствующем разделе, это делается достаточно эффективно.

Описание алгоритмов

Для реализации случайной вставки элемента в дерево нам потребуются также:

Поворот дерева – локальное преобразование дерева, поднимающее один из корней выше, и опускающее другое. На пример вот один из поворотов дерева – (A, (B, C)) -> ((A, B), C)) – A, где A, B и C – поддеревья, которые остаются неизменными. Как можно заметить данное преобразование не изменяет свойства дерева поиска.

Алгоритм вставки элемента в корень дерева –
Для этого выбирается поддерево, в котором должен оказаться данный элемент, путем сравнения его с корневым, после чего алгоритм вызывается рекурсивно для этого поддерева. Далее производится поворот дерева, левый или правый в зависимости от поддерева, в котором оказалось значение, чтобы поднять данное значение на 1 уровень выше.
Если поддерево оказалось пустым, то туда записывается значение. Таким образом вставка в корень достигается log(n) поворотами дерева, что является локальным преобразованием, и в результате данный алгоритм работает эффективно.

Алгоритм случайной вставки элемента в бинарное дерево –
Рассматривается количество элементов в дереве (обычно это значение, которое хранит узел). После чего с шансом 1/(n+1), где n – количество элементов в дереве, производится вставка в узел, иначе алгоритм рекурсивно вызывается у соответствующего поддерева. Если поддерево пустое, то просто создается узел с данным элементом. Таким образом каждый элемент из ввода имеет равный шанс оказаться корневым, что приводит к созданию довольно сбалансированных деревьев.

Алгоритм объединения поддеревьев бинарного дерева –
Данный алгоритм потребуется для удаления элемента из бинарного дерева. Его работа крайне проста – из левого и правого поддерева пропорционально количеству элементов в них выбирается узел который станет корневым, а второе дерево рекурсивно передается в качестве одного из аргументов с соответствующим поддеревом выбранного дерева. Таким образом два дерева объединяются в одно дерево, которое тоже будет сбалансировано также, как и остальное дерево методом случайной вставки.

Алгоритм удаления значения из дерева –
Дерево не гарантирует отсутствия одинаковых элементов, по этому удаляется первый найденный. Производится простой поиск по бинарному дереву, и если найден узел с требуемым значением, то его поддеревья объединяются и полученный корень объявляется новым корневым узлом, а старый корневой узел удаляется.

Описание структур данных и используемых функций

Для реализации случайных БДП был создан класс BinarySearchTree. В нем определены следующие поля и методы:

- int data // Данные, хранящиеся в узле
- Pointers pointers // Структура с указателями на левый и правый узел
- unsigned int quantityOfNodes // Количество узлов в дереве
- BinarySearchTree(int data = 0); // Конструктор
- BinarySearchTree(const BinarySearchTree & binarySearchTree); // Оператор копирования
- ~BinarySearchTree(); // Деструктор
- void draw(string buffer = "", bool isLast = true); // Метод рисующий дерево в стандартный поток вывода
- void drawInString(string* res, string buffer = "", bool isLast = true); // Метод рисующий дерево в строку
- int getQuantityOfNodes(); // Возвращает количество элементов в дереве
- void updateQuantityOfNodes(); // Обновляет значения поля количества элементов в дереве, путем рекурсивного прохода
- BinarySearchTree* rotateLeft();
- BinarySearchTree* rotateRight(); // Левый и правый поворот узла
- BinarySearchTree* insertInRoot(int data); // Вставка в узел дерева
- BinarySearchTree* insert(int data); // Случайная вставка в узел дерева
- BinarySearchTree* deleteFirst(int data); // Удаление первого элемента с переданным значением

Далее перечислены функции

- BinarySearchTree* join(BinarySearchTree* smallerTree, BinarySearchTree* biggerTree) // Объединение поддеревьев. Функция принимает два поддерева и возвращает новый корневой узел
- int* giveRandMasWithLength(unsigned int n, unsigned int upperBoundary) // Создание массива случайных чисел с данной длинной и верхней границе. Функция принимает количество элементов и верхнюю границу и дает

массив случайных значений в интервале [1, upperBoundary] без повторений.

- BinarySearchTree* giveTreeWithLength(int* mas, unsigned int n) // Создание дерева по полученному массиву. Принимается массив чисел, его длина, и возвращается созданное дерево.
- void makeTest(unsigned int n, unsigned int upBound) // Создание теста по переданным длине и верхней границе (в файл). Принимается количество элементов в дереве и верхняя граница.

Описание интерфейса пользователя

В начале работы программа узнает у пользователя, количество элементов в дереве, а также верхнюю границу, в которой будут создаваться элементы дерева (т. е. Если указать 10, то случайные элементы будут генерироваться от 1 до 10. Понятно, что если указать нижнюю границу такую, что невозможно будет сгенерировать требуемое число случайных чисел, то программа не будет обрабатывать такие значения и сообщит об этом.). После чего создает тест, состоящий из двух вопросов – создание дерева по данным значениям (случайно сгенерированных), а также удаление из получившегося дерева требуемого элемента из дерева.

Тест записывается в файл RandomTreeTest.txt с примерами ответов, т. к. на данные вопросы можно дать много верных ответов.

Это можно понять учитывая тот факт, что в сгенерированном дереве каждый элемент имеет одинаковый шанс стать корневым. Т.е. если ученик во время выполнения задания в качестве корневого элемента выдерет другой элемент, то у него получится другое, но вероятно все еще верное дерево.

То же самое относится и к удалению элемента из дерева.

ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ

В текущем контроле задаются заранее подготовленные вопросы, которые относятся к переданным программе ограничениям на деревья. В программе проверяется корректность ограничений, и при неправильно переданных значениях программа не выдает тест.

Тест состоит из двух заданий – создание дерева по переданным данным, и удаление из полученного дерева случайно выбранной программой значения.

Обратим еще раз внимание на то, что ввиду того, что по одним и тем же данным можно создать много случайных бинарных деревьев поиска, то ответ, предоставленный программой нельзя считать единственным верным – на то же задание можно дать много правильных ответов в том числе на второе задание про удаление элемента из дерева.

Тестирование

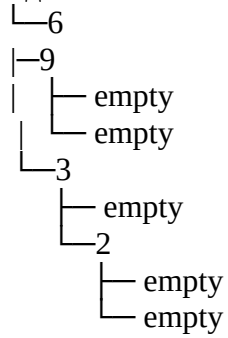
Примеры работы программы:
Переданные значения 5 и 10.

Задание №1:
Создайте случайное дерево поиска из следующих чисел:
6 3 8 2 9
Один из возможных ответов на задание №1:

```
└─6
├─8
│├─9
│├ empty
│└ empty
└ empty
└─3
  ├ empty
  └─2
    ├ empty
    └ empty
```

Задание №2:
Удалите из получившегося дерева элемент 8

Один из возможных ответов на задание №2:



Заключение

Были изучены алгоритмы случайной вставки элемента в дерево и удаление элемента из него. Была разработана программа для построения бинарных деревьев на языке C++. Был представлен текущий контроль.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ИСХОДНЫЙ КОД ПРОГРАММЫ

TestGenerator.h:

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string.h>
#include <cstdlib>

using namespace std;

class BinarySearchTree
{
    struct Pointers
    {
        BinarySearchTree* left = nullptr;
        BinarySearchTree* right = nullptr;
    };

public:
    int data; // in our case the node data == node key, but it's easy to change
    Pointers pointers;
    unsigned int quantityOfNodes; // For random bin search tree only

    BinarySearchTree(int data = 0);
    BinarySearchTree(const BinarySearchTree & binarySearchTree); // Copy operator
    ~BinarySearchTree();

    void draw(string buffer = "", bool isLast = true);
    void drawInString(string* res, string buffer = "", bool isLast = true);

    int getQuantityOfNodes();
    void updateQuantityOfNodes();

    BinarySearchTree* rotateLeft();
    BinarySearchTree* rotateRight();

    BinarySearchTree* insertInRoot(int data); // Return root pointer
    BinarySearchTree* insert(int data);

    BinarySearchTree* deleteFirst(int data);
```

TestGenerator.cpp:

```
#include "TestGenerator.h"

BinarySearchTree::BinarySearchTree(int inputData)
{
    data = inputData;
    quantityOfNodes = 1;
    pointers.left = nullptr;
    pointers.right = nullptr;
}

BinarySearchTree::BinarySearchTree(const BinarySearchTree & binarySearchTree) //
Copy operator
{
    data = binarySearchTree.data;

    if (binarySearchTree.pointers.left != nullptr)
        pointers.left = new BinarySearchTree(*binarySearchTree.pointers.left);
```

```
    if (binarySearchTree.pointers.right != nullptr)
        pointers.right = new BinarySearchTree(*binarySearchTree.pointers.right);
}

BinarySearchTree::~BinarySearchTree()
{
    if (pointers.left != nullptr)
        delete pointers.left;
    if (pointers.right != nullptr)
        delete pointers.right;
}

int BinarySearchTree::getQuantityOfNodes()
{
    return quantityOfNodes;
}

void BinarySearchTree::updateQuantityOfNodes()
{
    unsigned int quantityOfNodesLeft = 0;
    unsigned int quantityOfNodesRight = 0;
    if (pointers.left != nullptr)
        quantityOfNodesLeft = pointers.left->getQuantityOfNodes();

    if (pointers.right != nullptr)
        quantityOfNodesRight = pointers.right->getQuantityOfNodes();

    quantityOfNodes = 1 + quantityOfNodesLeft + quantityOfNodesRight;
}

BinarySearchTree* BinarySearchTree::rotateLeft() // (A, (B, C)) -> ((A, B), C))
{
    BinarySearchTree* right = pointers.right;
    if (right == nullptr)
        return this;
    pointers.right = right->pointers.left;
    right->pointers.left = this;

    right->quantityOfNodes = quantityOfNodes;
    updateQuantityOfNodes();
    return right;
}

BinarySearchTree* BinarySearchTree::rotateRight() //((A, B), C)) -> (A, (B, C))
{
    BinarySearchTree* left = pointers.left;
    if (left == nullptr)
        return this;
    pointers.left = left->pointers.right;
    left->pointers.right = this;

    left->quantityOfNodes = quantityOfNodes;
    updateQuantityOfNodes();
    return left;
}

BinarySearchTree* BinarySearchTree::insertInRoot(int inputData)
{
    if (inputData < data)
    {
        if (pointers.left == nullptr)
        {
            pointers.left = new BinarySearchTree(inputData);
            return this;
```

```
        }
        else
        {
            pointers.left = pointers.left->insertInRoot(inputData);
            return rotateRight();
        }
    }

    if (pointers.right == nullptr)
    {
        pointers.right = new BinarySearchTree(inputData);
        return this;
    }
    else
    {
        pointers.right = pointers.right->insertInRoot(inputData);
        return rotateLeft();
    }
}

BinarySearchTree* BinarySearchTree::insert(int inputData)
{
    int randNumber = rand();
    srand(randNumber);

    bool stopHere = false;
    if (randNumber%(quantityOfNodes + 1) == 0)
        stopHere = true;

    if (stopHere)
    {
        BinarySearchTree* res = insertInRoot(inputData);
        updateQuantityOfNodes();
        return res;
    }

    if (inputData < data)
    {
        if (pointers.left == nullptr)
            pointers.left = new BinarySearchTree(inputData);
        else
            pointers.left = pointers.left->insert(inputData);
    }
    else
    {
        if (pointers.right == nullptr)
            pointers.right = new BinarySearchTree(inputData);
        else
            pointers.right = pointers.right->insert(inputData);
    }

    updateQuantityOfNodes();
    return this;
}

BinarySearchTree* join(BinarySearchTree* smallerTree, BinarySearchTree* biggerTree)
{
    if (smallerTree == nullptr)
        return biggerTree;
    if (biggerTree == nullptr)
        return smallerTree;

    int randNumber = rand();
    srand(randNumber);
    bool  goSmaller = false;
```

```
    if (randNumber%(smallerTree->getQuantityOfNodes() + biggerTree-
>getQuantityOfNodes()) < smallerTree->getQuantityOfNodes())
         goSmaller = true;

    if (goSmaller) {
        smallerTree->pointers.right = join(smallerTree->pointers.right, biggerTree);
        smallerTree->updateQuantityOfNodes();
        return smallerTree;
    } else {
        biggerTree->pointers.left = join(smallerTree, biggerTree->pointers.left);
        biggerTree->updateQuantityOfNodes();
        return biggerTree;
    }
}

BinarySearchTree* BinarySearchTree::deleteFirst(int inputData)
{
    if (inputData == data)
    {
        BinarySearchTree* res = join(pointers.left, pointers.right);
        return res;
    }

    if (inputData < data)
    {
        if (pointers.left != nullptr)
            pointers.left = pointers.left->deleteFirst(inputData);
    }

    else
    {
        if (pointers.right != nullptr)
            pointers.right = pointers.right->deleteFirst(inputData);
    }

    return this;
}

void BinarySearchTree::draw(string buffer, bool isLast)
{
    string branch = "├";
    string pipe = "|";
    string end = "└";
    string dash = "—";

    if (isLast)
    {
        cout << buffer << end << dash << data << '\n';
        buffer += "   ";
    }

    else
    {
        cout << buffer << pipe << dash << data << '\n';
        buffer += pipe + "  ";
    }

    if (pointers.right != nullptr)
        pointers.right->draw(buffer, false);
    else
        cout << buffer << branch << dash << " empty\n";


    if (pointers.left != nullptr)
        pointers.left->draw(buffer, true);
```

```
    else
        cout << buffer << end << dash << " empty\n";
}

void BinarySearchTree::drawInString(string* res, string buffer, bool isLast)
{
    string branch = "├";
    string pipe = "│";
    string end = "└";
    string dash = "─";

    if (isLast)
    {
        *res += buffer + end + dash + to_string(data) + '\n';
        buffer += "  ";
    }

    else
    {
        *res += buffer + pipe + dash + to_string(data) + '\n';
        buffer += pipe + " ";
    }

    if (pointers.right != nullptr)
        pointers.right->drawInString(res, buffer, false);
    else
        *res += buffer + branch + dash + " empty\n";


    if (pointers.left != nullptr)
        pointers.left->drawInString(res, buffer, true);
    else
        *res += buffer + end + dash + " empty\n";
}

bool isInMasLength(unsigned int n, int x, int* mas)
{
    for (int i=0; i<n; i++)
    {
        if (mas[i] == x)
        {
            return true;
        }
    }
    return false;
}

int* giveRandMasWithLength(unsigned int n, unsigned int upperBoundary)
{
    auto res = new int[n];
    int r;
    for (int i=0; i<n; i++)
    {
        do
        {
            r = rand();
            srand(r);
        } while(isInMasLength(i+1, r%upperBoundary, res));
        res[i] = r%upperBoundary;
    }
    return res;
}

BinarySearchTree* giveTreeWithLength(int* mas, unsigned int n)
{
```

```
    auto result = new BinarySearchTree(mas[0]);
    if (n == 0 || n == 1)
        return result;

    for (int i=1; i<n; i++)
        result->insert(mas[i]);

    return result;
}

void makeTest(unsigned int n, unsigned int upBound)
{
    string path = "./RandomTreeTest.txt";
    ofstream fout;
    fout.open(path);
    int* theMas = giveRandMasWithLength(n, upBound);
    fout << "\nЗадание №1:\nСоздайте случайное дерево поиска из следующих чисел:\n";
    for (int i=0; i<n; i++)
        fout << theMas[i] << ' ';

    fout << "\nОдин из возможных ответов на задание №1:\n";

    auto res = giveTreeWithLength(theMas, n);
    string treeString;
    res->drawInString(&treeString);
    fout << treeString;
    treeString = "";


    int r = rand()%n;
    fout << "\n\n\n\nЗадание №2:\nУдалите из получившегося дерева элемент " <<
theMas[r] << "\n\n\n\n";
    fout << "\nОдин из возможных ответов на задание №2:\n";
    res->deleteFirst(theMas[r]);
    res->drawInString(&treeString);
    fout << treeString;
}

int main(int argc, char *argv[])
{
    srand(time(0));
    cout << "Please input the length of tree and upper boundary for test ";
    unsigned int len;
    unsigned int upBound;
    cin >> len;
    cin >> upBound;
    cout << "\nThe length is " << len << '\n';
    cout << "\nThe upper boundary " << upBound << '\n';

    if (0 < len <= upBound)
    {
        makeTest(len, upBound);
        cout << "\nThe test has been made\n";
    }
    else
    {
        cout << "Wrong input\n";
    }
    return 0;
}
```