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

ОТЧЕТ

по лабораторной работе 1

по дисциплине «Алгоритмы и структуры данных»

Тема: Ассоциативный массив

Студент гр. 0302 _____ Касаткин А.А.

Преподаватель _____ Тутуева А.В.

Санкт-Петербург

2022

Задача: Реализовать шаблонный ассоциативный массив (map) на основе красно-черного дерева.

Описание методов:
insert(ключ, значение) // добавление элемента с ключом и значением
Если в дереве есть элементы, то двигаемся до null(элемент дерева которые имеет ключ 0 и значение 0 и является висящими вершинами). Если ключ больше, то вправо, иначе - влево. Вместо null ставит новый элемент с ключем, значением и красным цветом. И все его дети становятся null.
Потом происходит восстановление дерева.
1. Выполняем следующие действия, пока родитель p узла newNode
красный
2. Если p является левым потомком grandParent для newNode,
то выполняем действия в соответствии с 3 разными случаями
1 случай:
a) Если цвет правого потомка grandParent узла newNode красный, перекрашиваем обоих потомков grandParent в
черный, а цвет grandParent меняем на красный
b) Обозначаем за newNode узел grandParent
Случай-II: проверяем условие из п.1. Если условие НЕ выполняется, то переходим к п. 4.
в) если newNode является правым потомком p. Если да, то назначаем p в качестве newNode
г) выполняем левый поворот для newNode
Случай-III: проверяем условие из п.1. Если условие НЕ выполняется, топереходим к п. 4.
д) устанавливаем цвет p как черный, а grandParent перекрашиваем в красный
e) выполняем правый поворот для grandParent
3. Иначе (если p является правым потомком grandParent для newNode) выполняем следующее:
a) Если цвет левого потомка grandParent узла newNode - красный, то устанавливаем цвет обоих
потомков grandParent как черный, а цвет grandParent - как красный (симметрично случаю I). Назначаем grandParent в
качестве newNode
b) Иначе, если newNode является левым потомком p, то назначаем p в качестве newNode и выполняем правый поворот для newNode
c) Перекрашиваем p в черный, а grandParent в красный
d) Выполняем левый поворот grandParent
4. Этот шаг выполняется после выхода из цикла п. 1-3 устанавливаем цвет корня дерева как черный
remove(ключ) // удаление элемента по ключу
Если в дереве есть элементы, то двигаемся до нужного элемента. Если ключ больше, то вправо,
иначе - влево.
1. Пусть узел nodeToBeDeleted будет удаляться из дерева
2. Сохраняем цвет nodeToBeDeleted в origrinalColor
3. Если левый потомок nodeToBeDeleted равен NULL
а) Обозначаем правый потомок nodeToBeDeleted за x
б) Перемещаем x на место nodeToBeDeleted
4. Иначе если правый потомок nodeToBeDeleted равен NULL (левый потомок nodeToBeDeleted
не равен NULL, а правый равен NULL):
а) Обозначаем за x левого потомка nodeToBeDeleted

б) Перемещаем x на место nodeToBeDeleted
5. Иначе (оба потомка nodeToBeDeleted не равны NULL)
а) Обозначаем за y минимальное значение из правого поддерева nodeToBeDeleted (самый левый элемент в правом поддереве)
б) Сохраняем цвет y в origrinalColor
в) Обозначаем за x правого потомка y
г) если y это ребенок nodeToBeDeleted, тогда устанавливаем y родителем x
д) иначе (y не ребенок nodeToBeDeleted) перемещаем правого потомка y на место y
е) перемещаем y на место nodeToBeDeleted
ж) устанавливаем для y цвет origrinalColor
6. Если цвет origrinalColor черный, то вызываем алгоритм восстановления свойств после удаления
1. Выполняем следующие действия, пока x не станет корнем дерева, а цвет x станет черным
2. Если x - левый потомок, то
a) Обозначаем за w брата x
b) Если w красный
Случай-I:
- Перекрашиваем w в черный
- Перекрашиваем родителя x в красный
-Выполняем левый поворот для родителя x
-Обозначаем rightChild родителя x за w
c) Если цвет правого и левого потомка w черный
Случай-II:
- Перекрашиваем w в красный
- Назначаем в качестве x родителя x
d) Иначе, если цвет rightChild узла w черный
Случай-III:
- Перекрашиваем leftChild узла w в черный
- Перекрашиваем w в красный
-Выполняем правый поворот для w
-Обозначаем rightChild родителя x за w
e) Если из вышеперечисленных случаев не происходит ни один
случай, то выполняем
Случай-IV:
- Перекрашиваем w в цвет родителя x
- Перекрашиваем родителя x в черный
- Перекрашиваем правого потомка w в черный
- Выполняем левый поворот для родителя x
- Обозначаем за x корень дерева
3. Иначе к п.2. (x - правый потомок) выполняем все те же действия (начиная со слайда 35), что
и в предыдущих пунктах, только изменяем направление вращений левое на правое и наоборот
4. Перекрашиваем x в черный
find(ключ) // поиск элемента по ключу
Если в дереве есть элементы, то двигаемся до нужного элемента. Если ключ больше, то вправо,
иначе - влево.
Если искомый элемент null, то ошибка, иначе возвращает значение искомого элемента.
clear // очищение ассоциативного массива
Пока голова есть и не равна null, то удаляем ключ головы.

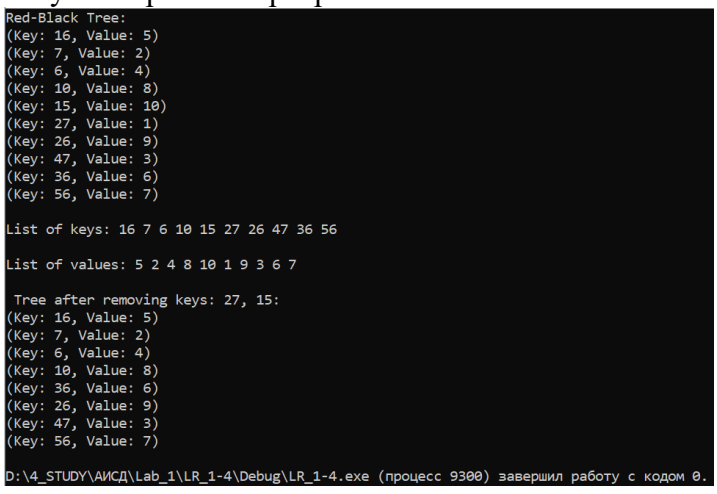
get_keys // возвращает список ключей
Производит метод обхода в глубину и каждый раз, когда указатель спускается его ключ добавляется в список
get_values // возвращает список значений
Производит метод обхода в глубину и каждый раз, когда указатель спускается его значение
добавляется в список
print // вывод в консоль
Выводит в консоль ключ и значение.

Оценка временной сложности:

insert(ключ, значение)	добавление элемента с ключом и значением	O(log n)
remove(ключ)	удаление элемента по ключу	O(log n)
find(ключ)	поиск элемента по ключу	O(log n)
clear	очищение ассоциативного массива	O(n)
get_keys	возвращает список ключей	O(n^2)
get_values	возвращает список значений	O(n^2)
print	вывод в консоль	O(n^2)

Описание unit-тестов:
Test_insert
Просто добавляет элемент.
Пытается добавить уже существующий.
Проверяет все элементы с помощью метода find.
Test_remove
Просто удаляет.
И пытается удалить элемент с пустого дерева.
Test_find
Находит существующий элемент.
И пытается найти несуществующий.
Test_getvalues
Создает дерево с одинаковыми ключом и значением.
И смотрит есть ли они в списке.

Результат работы программы:



Листинг:

Main.cpp

```
#include <iostream>
#include "RBTree.h"

using namespace std;

int main() {
	RedBlackTree<int, int> tree;

	tree.insert(27, 1);
	tree.insert(7, 2);
	tree.insert(47, 3);
	tree.insert(6, 4);
	tree.insert(16, 5);
	tree.insert(36, 6);
	tree.insert(56, 7);
	tree.insert(10, 8);
	tree.insert(26, 9);
	tree.insert(15, 10);

	cout << "Red-Black Tree:\n";
	tree.printTree();

	cout << "\nList of keys: ";
	Element_List<int>* temp = tree.getKeys()->head;
	while (temp != NULL) {
		cout << temp->data << " ";
		temp = temp->next;
	}
	cout << endl;

	cout << "\nList of values: ";
	temp = tree.getValues()->head;
	while (temp != NULL) {
		cout << temp->data << " ";
		temp = temp->next;
	}
	cout << endl;

	cout << "\n Tree after removing keys: 27, 15:\n";
	tree.remove(27);
	tree.remove(15);
	tree.printTree();

	tree.clear();
}
```

List.h

```
#pragma once
#include <iostream>
using namespace std;

template<class T>
class Element_List {
public:
	T data;
	Element_List* prev;
	Element_List* next;

	Element_List() {
		this->data = 0;
		this->prev = nullptr;
		this->next = nullptr;
	}
};

template<class T>
class List {
public:
	Element_List<T>* head;
	Element_List<T>* tail;

	List() {
		this->head = nullptr;
		this->tail = nullptr;
```

```
        }

        bool isEmpty();
        void pushback(T data);
        void pushfront(T data);
        void popback();
        void popfront();
        void clear();
};

template<class T>
inline bool List<T>::isEmpty()
{
        if (head == nullptr && tail == nullptr)
                return true;
        else if (head != nullptr && tail != nullptr)
                return false;
        else
                throw logic_error("Error");
}

template<class T>
inline void List<T>::pushback(T data)
{
        if (isEmpty()) {
                Element_List<T>* Node = new Element_List<T>();
                Node->data = data;
                head = Node;
                tail = Node;
        }
        else {
                Element_List<T>* Node = new Element_List<T>();
                Node->data = data;
                tail->next = Node;
                Node->prev = tail;
                tail = Node;
        }
}

template<class T>
inline void List<T>::pushfront(T data)
{
        if (isEmpty()) {
                Element_List<T>* Node = new Element_List<T>();
                Node->data = data;
                head = Node;
                tail = Node;
        }
        else {
                Element_List<T>* Node = new Element_List<T>();
                Node->data = data;
                head->prev = Node;
                Node->next = head;
                head = Node;
        }
}

template<class T>
inline void List<T>::popback()
{
        if (isEmpty())
                throw logic_error("List is empty.");
        else {
                if (tail->prev != nullptr) {
                        tail = tail->prev;
                        delete tail->next;
                        tail->next = nullptr;
                }
                else {
                        delete tail;
                        head = nullptr;
                        tail = nullptr;
                }
        }
}

template<class T>
```

```
inline void List<T>::popfront()
{
	if (isEmpty())
		throw logic_error("List is empty.");
	else {
		if (head->next != nullptr) {
			head = head->next;
			delete head->prev;
			head->prev = nullptr;
		}
		else {
			delete head;
			head = nullptr;
			tail = nullptr;
		}
	}
}

template<class T>
inline void List<T>::clear()
{
	Element_List<T>* Node = head;
	while (Node != nullptr) {
		Node = Node->next;
		delete head;
		head = Node;
	}
}
```

RBTree.h

```
#pragma once
#include<iostream>
#include "List.h"
#include "Stack.h"

using namespace std;

enum class RBColor {
	RED,
	BLACK
};
template<class T1, class T2>
class Element_RBtree {
public:
	RBColor color;
	T1 key;
	T2 value;
	Element_RBtree* parent;
	Element_RBtree* left;
	Element_RBtree* right;

	Element_RBtree() {
		this->color = RBColor::RED;
		this->key = 0;
		this->value = 0;
		this->parent = nullptr;
		this->left = nullptr;
		this->right = nullptr;
	}
};

template<class T1, class T2>
class RedBlackTree {
public:
	Element_RBtree<T1, T2>* root;
	Element_RBtree<T1, T2>* nil;

	RedBlackTree() {
		nil = new Element_RBtree<T1, T2>();
		nil->color = RBColor::BLACK;
		root = nil;
		root->left = nil;
		root->right = nil;
	}

	void leftTurn(Element_RBtree<T1, T2>* xNode);
	void rightTurn(Element_RBtree<T1, T2>* yNode);
```

```
        void insert(T1 key, T2 value);
        void rebalancingTreeAfterInsertion(Element_RBtree<T1, T2>* Node);
        Element_RBtree<T1, T2>* find(T1 key);
        void remove(T1 key);
        void rebalancingTreeAfterRemove(Element_RBtree<T1, T2>* Node);
        List<Element_RBtree<T1, T2>*>* allNodesToList();
        void printTree();
        List<T1>* getKeys();
        List<T2>* getValues();
        void clear();
};

template<class T1, class T2>
inline void RedBlackTree<T1, T2>::leftTurn(Element_RBtree<T1, T2>* xNode)
{
        Element_RBtree<T1, T2>* yNode = xNode->right;
        Element_RBtree<T1, T2>* bNode = yNode->left;
        xNode->right = bNode;
        if (bNode != nil)
                bNode->parent = xNode;
        Element_RBtree<T1, T2>* pNode = xNode->parent;
        yNode->parent = pNode;
        if (pNode == nullptr)
                root = yNode;
        else {
                if (pNode->left == xNode)
                        pNode->left = yNode;
                else if (pNode->right == xNode)
                        pNode->right = yNode;
        }
        yNode->left = xNode;
        xNode->parent = yNode;
}

template<class T1, class T2>
inline void RedBlackTree<T1, T2>::rightTurn(Element_RBtree<T1, T2>* yNode)
{
        Element_RBtree<T1, T2>* xNode = yNode->left;
        Element_RBtree<T1, T2>* bNode = xNode->right;
        yNode->left = bNode;
        if (bNode != nil)
                bNode->parent = yNode;
        Element_RBtree<T1, T2>* pNode = yNode->parent;
        xNode->parent = pNode;
        if (pNode == nullptr)
                root = xNode;
        else {
                if (pNode->left == yNode)
                        pNode->left = xNode;
                else if (pNode->right == yNode)
                        pNode->right = xNode;
        }
        xNode->right = yNode;
        yNode->parent = xNode;
}

template<class T1, class T2>
inline void RedBlackTree<T1, T2>::insert(T1 key, T2 value)
{
        if (root == nil) {
                Element_RBtree<T1, T2>* Node = new Element_RBtree<T1, T2>;
                Node->key = key;
                Node->value = value;
                Node->color = RBColor::BLACK;
                Node->left = nil;
                Node->right = nil;
                root = Node;
        }
        else {
                Element_RBtree<T1, T2>* Node = root;
                while (Node->left != nil || Node->right != nil) {
                        if (key == Node->key)
                                throw logic_error("This key is exist.");
                        else if (key < Node->key) {
                                if (Node->left != nil)
                                        Node = Node->left;
```

```
                                else break;
                        }
                        else {
                                if (Node->right != nil)
                                        Node = Node->right;
                                else break;
                        }
                }
                Element_RBtree<T1, T2>* newNode = new Element_RBtree<T1, T2>;
                newNode->key = key;
                newNode->value = value;
                newNode->left = nil;
                newNode->right = nil;
                newNode->parent = Node;
                if (newNode->key > Node->key)
                        Node->right = newNode;
                else
                        Node->left = newNode;
                newNode->color = RBColor::RED;
                rebalancingTreeAfterInsertion(newNode);
        }
}

template<class T1, class T2>
inline void RedBlackTree<T1, T2>::rebalancingTreeAfterInsertion(Element_RBtree<T1, T2>* Node)
{
        while (Node->parent->color == RBColor::RED) {
                Element_RBtree<T1, T2>* Parent = Node->parent;
                Element_RBtree<T1, T2>* grandParent = Parent->parent;
                if (grandParent->left == Parent) {
                        if (grandParent->right->color == RBColor::RED) {
                                grandParent->left->color = RBColor::BLACK;
                                grandParent->right->color = RBColor::BLACK;
                                grandParent->color = RBColor::RED;
                                Node = grandParent;
                        }
                        else {
                                if (Parent->right == Node) {
                                        Node = Parent;
                                        leftTurn(Node);
                                        Parent = Node->parent;
                                        grandParent = Parent->parent;
                                }
                                Parent->color = RBColor::BLACK;
                                grandParent->color = RBColor::RED;
                                rightTurn(grandParent);
                        }
                }
                else if (grandParent->right == Parent) {
                        if (grandParent->left->color == RBColor::RED) {
                                grandParent->left->color = RBColor::BLACK;
                                grandParent->right->color = RBColor::BLACK;
                                grandParent->color = RBColor::RED;
                                Node = grandParent;
                        }
                        else {
                                if (Parent->left == Node) {
                                        Node = Parent;
                                        rightTurn(Node);
                                        Parent = Node->parent;
                                        grandParent = Parent->parent;
                                }
                                Parent->color = RBColor::BLACK;
                                grandParent->color = RBColor::RED;
                                leftTurn(grandParent);
                        }
                }
                if (Node == root)
                        break;
        }
        root->color = RBColor::BLACK;
}

template<class T1, class T2>
inline Element_RBtree<T1, T2>* RedBlackTree<T1, T2>::find(T1 key)
{
        if (root == nil) {
```

```
                throw logic_error("Tree is empty.");
        }
        else {
                Element_RBtree<T1, T2>* Node = root;
                bool check = 0;
                while (Node != nil) {
                        if (key == Node->key) {
                                check = 1;
                                break;
                        }
                        else if (key < Node->key)
                                Node = Node->left;
                        else
                                Node = Node->right;
                }
                if (check == 0)
                        throw invalid_argument("Key doen't exist in the tree.");
                else
                        return Node;
        }
}

template<class T1, class T2>
inline void RedBlackTree<T1, T2>::remove(T1 key)
{
        if (root == nil)
                throw logic_error("Tree is empty.");
        else {
                Element_RBtree<T1, T2>* Node = find(key);
                Element_RBtree<T1, T2>* xNode;
                RBColor originalColor = Node->color;
                if (Node->left == nil) {
                        delete Node->left;
                        xNode = Node->right;
                        if (Node->parent->left == Node) {
                                Node->parent->left = xNode;
                        }
                        else if (Node->parent->right == Node) {
                                Node->parent->right = xNode;
                        }
                        xNode->parent = Node->parent;
                }
                else if (Node->right == nil) {
                        delete Node->right;
                        xNode = Node->left;
                        if (Node->parent->left == Node) {
                                Node->parent->left = xNode;
                        }
                        else if (Node->parent->right == Node) {
                                Node->parent->right = xNode;
                        }
                        xNode->parent = Node->parent;
                }
                else {
                        Element_RBtree<T1, T2>* yNode = Node->right;
                        while (yNode->left != nil) {
                                yNode = yNode->left;
                        }
                        if (yNode == Node->right) {
                                originalColor = Node->color;
                        }
                        else {
                                originalColor = yNode->color;
                        }
                        xNode = yNode->right;
                        if (yNode->parent == Node) {
                                xNode->parent = yNode;
                                yNode->left = Node->left;
                                yNode->right = xNode;
                        }
                        else {
                                if (yNode->parent->right == yNode) {
                                        yNode->parent->right = xNode;
                                }
                                else if (yNode->parent->left == yNode) {
                                        yNode->parent->left = xNode;
                                }
```

```
                                yNode->left = Node->left;
                                yNode->right = Node->right;
                        }
                        if (Node->parent->right == Node) {
                                Node->parent->right = yNode;
                        }
                        else if (Node->parent->left == Node) {
                                Node->parent->left = yNode;
                        }
                        yNode->parent = Node->parent;
                        yNode->color = originalColor;
                }
                if (originalColor == RBColor::BLACK) {
                        rebalancingTreeAfterRemove(xNode);
                }
                delete Node;
        }
}

template<class T1, class T2>
inline void RedBlackTree<T1, T2>::rebalancingTreeAfterRemove(Element_RBtree<T1, T2>* Node)
{
        Element_RBtree<T1, T2>* wNode;
        while (Node != root && Node->color != RBColor::BLACK) {
                if (Node->parent->left = Node) {
                        wNode = Node->parent->right;
                        if (wNode->color == RBColor::RED) {
                                wNode->color = RBColor::BLACK;
                                Node->parent->color = RBColor::RED;
                                leftTurn(Node->parent);
                                wNode = Node->parent->right;
                        }
                        else if (wNode->left->color == RBColor::BLACK && wNode->right->color ==
RBColor::BLACK) {
                                wNode->color = RBColor::RED;
                                Node = Node->parent;
                        }
                        else if (wNode->right->color == RBColor::BLACK) {
                                wNode->left->color = RBColor::BLACK;
                                wNode->color = RBColor::RED;
                                rightTurn(wNode);
                                wNode = Node->parent->right;
                        }
                        else {
                                wNode->color = Node->parent->color;
                                Node->parent->color = RBColor::BLACK;
                                wNode->right->color = RBColor::BLACK;
                                leftTurn(Node->parent);
                                Node = root;
                        }
                }
                else if (Node->parent->right = Node) {
                        wNode = Node->parent->left;
                        if (wNode->color == RBColor::RED) {
                                wNode->color = RBColor::BLACK;
                                Node->parent->color = RBColor::RED;
                                rightTurn(Node->parent);
                                wNode = Node->parent->left;
                        }
                        else if (wNode->left->color == RBColor::BLACK && wNode->right->color ==
RBColor::BLACK) {
                                wNode->color = RBColor::RED;
                                Node = Node->parent;
                        }
                        else if (wNode->left->color == RBColor::BLACK) {
                                wNode->right->color = RBColor::BLACK;
                                wNode->color = RBColor::RED;
                                leftTurn(wNode);
                                wNode = Node->parent->left;
                        }
                        else {
                                wNode->color = Node->parent->color;
                                Node->parent->color = RBColor::BLACK;
                                wNode->left->color = RBColor::BLACK;
                                rightTurn(Node->parent);
                                Node = root;
                        }
```

```
                }
                Node->color = RBColor::BLACK;
        }
}

template<class T1, class T2>
inline List<Element_RBtree<T1, T2>*>* RedBlackTree<T1, T2>::allNodesToList()
{
        List<Element_RBtree<T1, T2>*>* list = new List<Element_RBtree<T1, T2>*>;
        Stack<Element_RBtree<T1, T2>*>* stack = new Stack<Element_RBtree<T1, T2>*>;
        Element_RBtree<T1, T2>* temp = root;
        while (temp != nil) {
                list->pushback(temp);
                if (temp->right != nil)
                        stack->push(temp->right);
                if (temp->left != nil)
                        temp = temp->left;
                else {
                        if (!stack->isEmpty())
                                temp = stack->pop();
                        else
                                temp = nil;
                }
        }
        return list;
}

template<class T1, class T2>
inline void RedBlackTree<T1, T2>::printTree()
{
        if (root == nil)
                cout << "Tree is empty.";
        else {
                List<Element_RBtree<T1, T2>*>* listNode = allNodesToList();
                while (listNode->head != nullptr) {
                        cout << "(Key: " << listNode->head->data->key << ", Value: " << listNode->head-
>data->value << ")\n";
                        listNode->popfront();
                }
        }
}

template<class T1, class T2>
inline List<T1>* RedBlackTree<T1, T2>::getKeys()
{
        List<T1>* listKey = new List<T1>;
        List<Element_RBtree<T1, T2>*>* listNode = allNodesToList();
        Element_List<Element_RBtree<T1, T2>*>* temp = listNode->head;
        while (temp != nullptr) {
                listKey->pushback(temp->data->key);
                temp = temp->next;
        }
        return listKey;
}

template<class T1, class T2>
inline List<T2>* RedBlackTree<T1, T2>::getValues()
{
        List<T2>* listValue = new List<T2>;
        List<Element_RBtree<T1, T2>*>* listNode = allNodesToList();
        Element_List<Element_RBtree<T1, T2>*>* temp = listNode->head;
        while (temp != nullptr) {
                listValue->pushback(temp->data->value);
                temp = temp->next;
        }
        return listValue;
}

template<class T1, class T2>
inline void RedBlackTree<T1, T2>::clear()
{
        if (root == nil)
                throw logic_error("The tree is already empty.");
        else {
                Element_RBtree<T1, T2>* current = root;
                Stack<Element_RBtree<T1, T2>*>* stack = new Stack<Element_RBtree<T1, T2>*>;
                while (current != nil) {
```

```
                        if (current->right != nil)
                                stack->push(current->right);
                        if (current->left != nil) {
                                Element_RBtree<T1, T2>* temp = current->left;
                                delete current;
                                current = temp;
                        }
                        else if (!stack->isEmpty()) {
                                delete current;
                                current = stack->pop();
                        }
                        else {
                                delete current;
                                current = nil;
                        }
                }
                root = current;
        }
}
```

Stack.h

```
#pragma once
using namespace std;

template<class T>
class Stack {
private:
        class Element_Stack {
        public:
                T data;
                Element_Stack* next;
        };

        Element_Stack* top;
        size_t size;

public:
        Stack() {
                top = nullptr;
                size = 0;
        }

        ~Stack() = default;

        void push(T x);
        T pop();
        bool isEmpty();
        size_t getsize();
};

template<class T>
inline void Stack<T>::push(T x)
{
        if (isEmpty()) {
                Element_Stack* Node = new Element_Stack;
                Node->data = x;
                Node->next = nullptr;
                top = Node;
        }
        else {
                Element_Stack* Node = new Element_Stack;
                Node->data = x;
                Node->next = top;
                top = Node;
        }
        size++;
}

template<class T>
inline T Stack<T>::pop()
{
        if (isEmpty())
                throw runtime_error("Stack is empty.");
        else {
                Element_Stack* temp = top;
                if (top->next == nullptr)
                        top = nullptr;
```

```
                else
                        top = temp->next;
                T result = temp->data;
                delete temp;
                size--;
                return result;
        }
}

template<class T>
inline bool Stack<T>::isEmpty()
{
        if (top == nullptr)
                return true;
        else
                return false;
}

template<class T>
inline size_t Stack<T>::getsize()
{
        return size;
}
```