**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Санкт-Петербургский государственный**

**электротехнический университет**

**«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**

**Кафедра МО ЭВМ**

отчет

**по лабораторной работе №3**

**по дисциплине «Алгоритмы и структуры данных»**

Тема: Алгоритмы обработки бинарных деревьев

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студент гр. 9381 |  | Колованов Р.А. |
| Преподаватель |  | Фирсов М.А. |

Санкт-Петербург

2020

## Цель работы.

Познакомиться со структурой данных бинарного дерева, реализовать класс бинарных деревьев и методы для его обработки на языке программирования C++.

## Задание.

Вариант 2д.

Для заданного бинарного дерева *b* типа *BT* с произвольным типом элементов:

- определить максимальную глубину дерева *b*, т. е. число ветвей в самом длинном из путей от корня дерева до листьев;

- вычислить длину внутреннего пути дерева *b*, т. е. сумму по всем узлам длин путей от корня до узла.

## Уточнение задания.

В данной лабораторной работе скобочные записи бинарных деревьев *“(a (b) (c))”* и *“(a(b)(c))”* считаются эквивалентными. Символ ‘/’ используется для обозначения пустого бинарного дерева. Бинарные деревья “(a)”, “(a/)” и “(a//)” также считаются эквивалентными.

## Основные теоретические положения.

*Дерево* – конечное множество *Т*, состоящее из одного или более узлов, таких, что

а) имеется один специально обозначенный узел, называемый *корнем* данного дерева;

б) остальные узлы (исключая корень) содержатся в *m* ≥ 0 попарно не пересекающихся множествах *Т*1, *Т*2, ..., *Тm*, каждое из которых, в свою очередь, является деревом. Деревья *Т*1, *Т*2, ..., *Тm*называются *поддеревьями* данного дерева.

*Бинарное дерево* – конечное множество узлов, которое либо пусто, либо состоит из корня и двух непересекающихся бинарных деревьев, называемых правым поддеревом и левым поддеревом.

## Описание алгоритма.

1) Для поиска максимальной глубины дерева был реализован метод *getMaximumDepth*. Рассмотрим его реализацию подробнее. В начале метода объявляются две переменные:

* *size\_t rightDepth = 0* – глубина правого поддерева (по умолчанию 0);
* *size\_t leftDepth = 0* – глубина левого поддерева (по умолчанию 0).

Далее если у дерева есть правое или левое поддеревья (в случае, если они не существуют, их глубина равна 0), то для них рекурсивно вызывается метод *getMaximumDepth*, возвращаемый результат присваивается переменным *rightDepth* и *leftDepth* соответственно. При этом к возвращаемому результату метода *getMaximumDepth* прибавляется единица для учета дуги между корнем текущего бинарного дерева и корнями его поддеревьев. Далее метод сравнивает два полученных значения *rightDepth* и *leftDepth* и возвращает наибольшее из них.

2) Для поиска внутреннего пути дерева был реализован метод *getInternalPathLength*. Рассмотрим его реализацию подробнее. В начале метода объявляются две переменные:

* *size\_t rightLength = 0* – длина внутреннего пути правого поддерева (по умолчанию 0);
* *size\_t leftLength = 0* – длина внутреннего пути левого поддерева (по умолчанию 0).

Далее если у дерева есть правое или левое поддеревья (в случае, если они не существуют, длина их внутреннего пути равна 0), то для них рекурсивно вызывается метод *getInternalPathLength*, возвращаемый результат присваивается переменным *rightLength* и *leftLength* соответственно. После чего метод возвращает сумму *rightLength,* *leftLength* и глубины текущего узла (длину пути от корня до текущего узла), тем самым получая значение длины внутреннего пути текущего бинарного дерева.

## Описание структур и классов.

### Класс BinaryTree.

Класс бинарного дерева. Для реализации класса используется шаблон, который определяет тип элементов дерева. Предоставляет интерфейс для создания бинарного дерева по скобочной записи и работы с бинарным деревом. В данной лабораторной работе осуществляется поиск максимальной глубины и длины внутреннего пути дерева при помощи рекурсивных методов *getMaximumDepth* и *getInternalPathLength*. Связь элементов бинарного дерева реализована при помощи указателей. Поля и методы класса приведены в таблице 2 и 3.

Таблица 2 *-* Поля класса *BinaryTree*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Модификатор доступа | Тип и название поля | Предназначение | Значение по умолчанию |
| *private* | *T element* | Хранит значение корня дерева. | *-* |
| *private* | *BinaryTree\* right* | Хранит указатель на правое поддерево. | *nullptr* |
| *private* | *BinaryTree\* left* | Хранит указатель на левое поддерево. | *nullptr* |

Таблица 3 - Методы класса *BinaryTree*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Модификатор доступа | Возвращаемое значение | Название метода и принимаемые аргументы |
| *public* | *-* | *BinaryTree()* |
| *public* | *bool* | *createFromString(const char\*& character)* |
| *public* | *bool* | *isEmpty()* |
| *public* | *size\_t* | *getMaximumDepth(int depth = 0)* |
| *public* | *size\_t* | *getInternalPathLength(int depth = 0)* |
| *public* | *std::string* | *getString()* |
| *public* | *-* | *~ BinaryTree()* |

### Метод BinaryTree::BinaryTree.

Конструктор. Создает пустое бинарное дерево.

### Метод BinaryTree::createFromString.

Является рекурсивным методом. Принимает на вход *character* – ссылку на указатель начала строки, содержащую скобочную запись бинарного дерева. Создает бинарное дерево по заданной скобочной записи. Если бинарное дерево было успешно создано по скобочной записи, то возвращает *true*. Если скобочная запись оказалась некорректной, то возвращает *false*.

### Метод BinaryTree::isEmpty.

Ничего не принимает. Если бинарное дерево является пустым (*element == ‘\0’, left = nullptr, right == nullptr*), то возвращает *true*. Иначе возвращает *false*.

### Метод BinaryTree:: getMaximumDepth.

Является рекурсивным методом. Принимает на вход *depth* — уровень текущего узла дерева (считается, что корень дерева имеет глубину 0). Возвращает максимальную глубину дерева.

### Метод BinaryTree:: getInternalPathLength.

Является рекурсивным методом. Принимает на вход *depth* — уровень текущего узла дерева (считается, что корень дерева имеет глубину 0). Возвращает длину внутреннего пути дерева.

### Метод BinaryTree::getString.

Является рекурсивным методом. Ничего не принимает. Возвращает строку класса *std::string*, в которой содержится скобочная запись бинарного дерева.

### Метод BinaryTree::~BinaryTree.

Деструктор. Является рекурсивным методом. Очищает выделенную под элементы бинарного дерева динамическую память.

### Класс Logger.

Класс предоставляет функционал для вывода сообщений в консоль и файл из любой точки программы. Реализован с использованием паттерна *Singleton*. Поля и методы класса приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 *-* Поля класса *Logger*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Модификатор доступа | Тип и название поля | Предназначение | Значение по умолчанию |
| *private* | *int indentSize\_* | Хранит размер отступа в пробелах. | *4* |
| *private* | *bool silentMode\_* | Хранит информацию о том, включен ли тихий режим. При тихом режиме будут печататься сообщения типа COMMON, сообщения типа DEBUG будут игнорироваться. | *false* |
| *private* | *bool fileOutput\_* | Хранит информацию о том, нужно ли выводить сообщения в файл. | *false* |
| *private* | *std::string filePath\_;* | Содержит путь к файлу для записи сообщений. | *-* |
| *private* | *std::ofstream file\_* | Поток вывода данных в файл. | *-* |

Таблица 5 - Методы класса *Logger*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Модификатор доступа | Возвращаемое значение | Название метода и принимаемые аргументы |
| *private* | *Logger&* | *getInstance()* |
| *private* | *void* | *log(const std::string& message, MessageType type = COMMON, int indents = 0)* |
| *private* | *void* | *setSilentMode(bool value)* |
| *private* | *void* | *setFileOutput(const std::string& filePath)* |

### Метод Logger::getInstance.

Ничего не принимает. Создает статическую переменную объекта класса *Logger* (создается только один раз — при первом вызове данного метода). Возвращает ссылку на созданный объект.

### Метод Logger::log.

Принимает на вход три аргумента: *message* — сообщение, *type* — тип сообщения и *indents* — количество отступов. Для начала метод получает единственный объект класса *Logger* — *logger*. Далее проверяется, если включен тихий режим и тип сообщения — *DEBUG*, то происходит выход из функции. Иначе создает строку отступа, которая состоит из пробелов, количество которых равно *indentSize\_ \* indents*. Далее функция выводит сообщение с отступом на консоль, а также при наличии флага fileOutput\_ — в файл. Ничего не возвращает.

### Метод Logger::setFileOutput.

Принимает на вход *filePath* — путь к файлу для записи сообщений. Присваивает полю *filePath\_* значение *filePath*, открывает поток вывода в файл и присваивает значение полю *fileOutput\_* значение *true*. Ничего не возвращает.

### Метод Logger::setSilentMode.

Принимает на вход *value* — новое значение флага тихого режима. Устанавливает полю *silentMode\_* значение *value*. Ничего не возвращает.

## Выполнение работы.

Для решения поставленной задачи был написан класс *BinaryTree,* предоставляющий функционал для работы с бинарным деревом. Для вывода основной и промежуточной информации на экран и в файл был использован класс *Logger*. Для тестирования работы класса *BinaryTree* была написана функция *test*. Для вывода справки программы была написана функция *printHelp*. Генерации имени файла лога осуществляется с использованием функции *getCurrentDataTime*, которая возвращает текущую дату и время в виде строки. Помимо этого, был реализован CLI-интерфейс для удобной работы с программой.

### Функция printHelp.

Выводит информацию о принимаемых программой аргументах на консоль. Ничего не принимает; ничего не возвращает.

### Функция getCurrentDataTime.

Ничего не принимает. Возвращает текущие дату и время в виде следующей строки: *<день>-<месяц>-<год>\_<часы>-<минуты>-<секунды>*. Используется для генерации имени файла с логами.

### Функция test.

Проводит тестирование программы при помощи заготовленных тестов, находящихся в файле. На вход принимает *path* — путь к файлу с тестами. Для начала открывает файл, если не удалось открыть — происходит выход из функции. Далее из файла тестов происходит считывание скобочной записи бинарного дерева и корректных значений его глубины и длины внутреннего пути, которые находятся на одной строке, разделенные символом «|», и их проверка на тестируемой функции с выводом информации о результатах. Строка имеет следующий формат: *<скобочная запись бд>|<максимальная глубина бд>|<длина внутреннего пути бд>*. Ничего не возвращает.

### Функция main.

Для начала объявляются следующе переменные:

* *isFromFile* — хранит информацию о способе считывания входных данных;
* *isTesting* — хранит информацию о режиме тестирования;
* *isSilentMode* — хранит информацию о тихом режиме;
* *expression* — хранит строку, содержащую скобочную запись иерархического списка;
* *logger* — ссылка на единственный объект класса Logger.

После у логгера *logger* вызывается метод *setFileOutput* для установки файла для вывода сообщений. Далее происходит проверка аргументов, подаваемых на вход программе*,* и в зависимости от переданных аргументов инициализируются переменные *isFromFile, isTesting, isSilentMode* новым значениями. Если один из аргументов неверен, то происходит печать информации об этом и завершение программы. После устанавливается тихий режим при помощи метода *setSilentMode*.

Далее в зависимости от значение переменной *isTesting* происходит тестирование программы при помощи функции *test,* после чего происходит выход из программы. Если же флаг тестирования не был установлен, то в происходит считывание входных данных. В зависимости от значения переменной *isFromFile* происходит считывание либо с файла, либо с консоли.

После получения скобочной записи бинарного дерева *expression*, создается объекта бинарного дерева и переменная *const char\* end*, которая содержит адрес начала *C-style* строки *expression*. Далее происходит создание бинарного дерева по скобочной записи при метода *createFromString*, которая принимает на вход переменную *end*. Далее происходит вызов методов *getMaximumDepth* и *getInternalPathLength,* при помощи которых осуществляется поиск максимальной глубины и длины внутреннего пути дерева. В конце происходит вывод результата и завершение работы программы.

Разработанный программный код см. в приложении А.

Результаты тестирования см. в приложении Б.

## Выводы.

Была изучена структура данных бинарного, реализована рекурсивная обработка бинарных деревьев на языке программирования C++.

Разработан класс бинарного дерева *BinaryTree*, при помощи которого можно создать бинарное дерево по скобочной записи и найти максимальную глубину и длину внутреннего пути этого дерева. При реализации методов класса *BinaryTree* использовалась рекурсия.

# Приложение А Исходный код программы

Название файла: main.cpp

#include <iostream>

#include <fstream>

#include <string>

#include <ctime>

#include "BinaryTree.h"

#include "Logger.h"

void printHelp() {

std::cout << "List of available options:\n";

std::cout << " -f Input from file.\n";

std::cout << " -t Conduct testing.\n";

std::cout << " -s Enable silent mode.\n";

std::cout << " -h Print help.\n";

std::cout << "\n";

}

std::string getCurrentDateTime() {

time\_t timestamp; // Временная метка

tm timeinfo; // Структура с информацией о времени

char buffer[80] = { '\0' };

time(&timestamp); // Получение временной метки

localtime\_s(&timeinfo, &timestamp); // Получение информации о времени

strftime(buffer, sizeof(buffer), "%d-%m-%y\_%H-%M-%S", &timeinfo);

return std::string(buffer);

}

void test(const std::string& path) {

size\_t testCount = 0; // Общее количество тестов

size\_t successTestCount = 0; // Колчество успешных тестов

std::ifstream file(path);

// Проверка на то, что файл был открыт

if (!file.is\_open()) {

Logger::log("Cannot open file: " + path + "\n");

return;

}

Logger::log("File with tests: " + path + "\n");

while (!file.eof()) { // Пока не пройдемся по всем строкам файла

std::string line, result1, result2;

std::getline(file, line);

// Поиск и проверка разделтеля

size\_t separatorIndex1 = line.find('|');

size\_t separatorIndex2 = line.rfind('|');

if (separatorIndex1 != -1 && separatorIndex2 != -1 && separatorIndex1 != separatorIndex2) {

std::string expression = line.substr(0, separatorIndex1); // Входная строка

std::string correctResult1 = line.substr(separatorIndex1 + 1, separatorIndex2 - separatorIndex1 - 1); // Корректный результат теста 1

std::string correctResult2 = line.substr(separatorIndex2 + 1); // Корректный результат теста 2

BinaryTree<char> tree;

const char\* end = expression.c\_str();

bool correct = tree.createFromString(end);

// Проверка на корректность скобочной записи списка

if (\*end != '\0' || !correct) {

result1 = "invalid"; // Результат теста 1

result2 = "invalid"; // Результат теста 2

} else if (tree.isEmpty()) {

result1 = "empty";

result2 = "empty";

} else {

result1 = std::to\_string(tree.getMaximumDepth()); // Результат теста 1

result2 = std::to\_string(tree.getInternalPathLength()); // Результат теста 2

}

// Вывод результатов теста

if (result1 == correctResult1 && result2 == correctResult2) {

successTestCount++;

Logger::log("\n[Test #" + std::to\_string(++testCount) + " OK]\n");

} else {

Logger::log("\n[Test #" + std::to\_string(++testCount) + " WRONG]\n");

}

Logger::log("Input binary tree: " + expression + "\n");

Logger::log("Correct result: Maximum depth = " + correctResult1 + " and internal path length = " + correctResult2 + "\n");

Logger::log("Test result: Maximum depth = " + result1 + " and internal path length = " + result2 + "\n");

}

}

Logger::log("\nPassed tests: " + std::to\_string(successTestCount) + "/" + std::to\_string(testCount) + "\n");

}

int main(int argc, char\* argv[]) {

std::string expression;

bool isFromFile = false;

bool isTesting = false;

bool isSilentMode = false;

// Создание и настройка логгера

Logger& logger = Logger::getInstance();

logger.setFileOutput("Logs\\" + getCurrentDateTime() + ".txt");

// Обработка аргументов командной строки

if (argc > 0) {

for (int i = 1; i < argc; i++) {

if (strcmp(argv[i], "-f") == 0) {

isFromFile = true;

}

else if (strcmp(argv[i], "-t") == 0) {

isTesting = true;

}

else if (strcmp(argv[i], "-s") == 0) {

isSilentMode = true;

}

else if (strcmp(argv[i], "-h") == 0) {

printHelp();

return 0;

}

else {

Logger::log("Unknown option: " + std::string(argv[i]) + "\n");

return 0;

}

}

}

// Установка тихого режима

logger.setSilentMode(isSilentMode);

// Тестирование алгоритма при помощи набора тестов

if (isTesting) {

test("Tests\\tests.txt");

return 0;

}

// Ввод выражения из файла

if (isFromFile) {

std::fstream file("input.txt");

// Проверка на то, что файл был открыт

if (!file.is\_open()) {

Logger::log("Cannot open file: input.txt\n");

return 0;

}

std::getline(file, expression);

Logger::log("Expression from file: " + expression + "\n");

}

// Ввод выражения с клавиатуры

else {

std::cout << "[Enter binary tree expression] ";

std::getline(std::cin, expression);

Logger::log("Entered binary tree expression: " + expression + "\n");

}

// Создание бинарного дерева

BinaryTree<char> tree;

const char\* end = expression.c\_str();

bool correct = tree.createFromString(end);

// Проверка на корректность скобочной записи списка

if (\*end != '\0' || !correct) {

Logger::log("Invalid binary tree expression.\n");

return 0;

} else if (tree.isEmpty()) {

Logger::log("Binary tree is empty.\n");

return 0;

}

Logger::log("Created binary tree: " + tree.getString() + "\n\n");

// Получение результатов

size\_t maximumDepth = tree.getMaximumDepth();

size\_t internalPathLength = tree.getInternalPathLength();

// Вывод результата работы программы

Logger::log("Binary tree maximum depth: " + std::to\_string(maximumDepth) + "\n");

Logger::log("Binary tree internal path length: " + std::to\_string(internalPathLength) + "\n");

return 0;

}

Название файла: Logger.h

#ifndef LOGGER\_H

#define LOGGER\_H

#include <fstream>

enum MessageType {

COMMON,

DEBUG

};

class Logger {

int indentSize\_ = 4; // Размер отступа

bool silentMode\_ = false; // Тихий режим

bool fileOutput\_ = false; // Вывод сообщений в файл

std::string filePath\_; // Путь к выходному файлу

std::ofstream file\_; // Дескриптор выходного файла

Logger() = default;

Logger(const Logger&) = delete;

Logger(Logger&&) = delete;

Logger& operator=(const Logger&) = delete;

Logger& operator=(Logger&&) = delete;

~Logger() = default;

public:

static Logger& getInstance();

static void log(const std::string& message, MessageType type = COMMON, int indents = 0);

void setSilentMode(bool value);

void setFileOutput(const std::string& filePath);

};

#endif // LOGGER\_H

Название файла: Logger.cpp

#include "Logger.h"

#include <iostream>

Logger& Logger::getInstance() {

static Logger instance;

return instance;

}

void Logger::setSilentMode(bool value) {

silentMode\_ = value;

}

void Logger::setFileOutput(const std::string& filePath) {

file\_.close();

file\_.open(filePath);

// Проверка открытия файла

if (!file\_.is\_open()) {

filePath\_ = "";

fileOutput\_ = false;

Logger::log("Cannot open file: " + filePath + "\n");

return;

}

filePath\_ = filePath;

fileOutput\_ = true;

}

void Logger::log(const std::string& message, MessageType type, int indents) {

Logger& logger = Logger::getInstance();

// Если включен тихий режим и сообщение - отладочное, то происходит выход из функции

if (logger.silentMode\_ && type == DEBUG) {

return;

}

std::string indent(logger.indentSize\_ \* indents, ' '); // Получение отступа

std::cout << indent << message; // Вывод на консоль

if (logger.fileOutput\_) {

logger.file\_ << indent << message; // Вывод в файл

}

}

Название файла: BinaryTree.h

#ifndef BINARY\_TREE\_H

#define BINARY\_TREE\_H

#include <cstddef>

#include <iostream>

#include "Logger.h"

template <typename T>

class BinaryTree {

private:

T element; // Корень дерева

BinaryTree\* right = nullptr; // Правое поддерево

BinaryTree\* left = nullptr; // Левое поддерево

public:

BinaryTree();

bool createFromString(const char\*& character);

bool isEmpty();

size\_t getMaximumDepth(int depth = 0);

size\_t getInternalPathLength(int depth = 0);

std::string getString();

~BinaryTree();

};

template<>

inline BinaryTree<char>::BinaryTree(): element('\0') {}

template <>

bool BinaryTree<char>::createFromString(const char\*& character) {

// Если скобочная запись начинается с '\', то это пуcтое БД

if (\*character == '/') {

character++;

return true;

}

// Если скобочная запись начинается с '(', то это непустое БД

if (\*character == '(') {

character++;

// Если нам встречается значение узла дерева, то записываем его в узел

if (\*character != '(' && \*character != ')' && \*character != '/' && \*character != ' ' && \*character != '\0') {

element = \*character;

character++;

} else {

return false;

}

// Если встречаем пробел, то пропускаем его

if (\*character == ' ') {

character++;

}

// Если встречаем конец скобочной записи, то выходим

else if (\*character == ')') {

character++;

return true;

}

// Создаем левое поддерево

if (\*character != '/') {

left = new BinaryTree;

bool correct = left->createFromString(character);

// Если не удалось корректно считать скобочную запись, то выходим

if (!correct) {

return false;

}

} else {

character++;

}

// Если встречаем пробел, то пропускаем его

if (\*character == ' ') {

character++;

}

// Если встречаем конец скобочной записи, то выходим

else if (\*character == ')') {

character++;

return true;

}

// Создаем правое поддерево

if (\*character != '/') {

right = new BinaryTree;

bool correct = right->createFromString(character);

// Если не удалось корректно считать скобочную запись, то выходим

if (!correct) {

return false;

}

} else {

character++;

}

// Если встречаем конец скобочной записи, то выходим

if (\*character == ')') {

character++;

return true;

}

}

return false;

}

template<>

inline bool BinaryTree<char>::isEmpty() {

if (right == nullptr && left == nullptr && element == '\0') {

return true;

}

return false;

}

template <typename T>

size\_t BinaryTree<T>::getMaximumDepth(int depth) {

Logger::log("Calling method getMaximumDepth() for binary tree " + getString() + ":\n", DEBUG, depth);

size\_t rightDepth = 0; // Глубина правого поддерева

size\_t leftDepth = 0; // Глубина левого поддерева

// Если у узла есть левое поддерево

if (left != nullptr) {

Logger::log("Right binary subtree:\n", DEBUG, depth);

leftDepth = left->getMaximumDepth(depth + 1) + 1; // Получаем глубину левого поддерева и к ней прибавляем 1 (для учета теукщего узла)

}

// Если у узла есть правое поддерево

if (right != nullptr) {

Logger::log("Left binary subtree:\n", DEBUG, depth);

rightDepth = right->getMaximumDepth(depth + 1) + 1; // Получаем глубину правого поддерева и к ней прибавляем 1 (для учета теукщего узла)

}

// Возвращаем наибольшую глубину дерева

if (rightDepth > leftDepth) {

Logger::log("Method getMaximumDepth() for binary tree " + getString() + " finished: Maximum depth: " + std::to\_string(rightDepth) + "\n\n", DEBUG, depth);

return rightDepth;

} else {

Logger::log("Method getMaximumDepth() for binary tree " + getString() + " finished: Maximum depth: " + std::to\_string(leftDepth) + "\n\n", DEBUG, depth);

return leftDepth;

}

}

template <typename T>

size\_t BinaryTree<T>::getInternalPathLength(int depth) {

Logger::log("Calling method getInternalPathLength() for binary tree " + getString() + ":\n", DEBUG, depth);

size\_t leftLength = 0; // Длина правого поддерева

size\_t rigthLength = 0; // Длина левого поддерева

// Если у узла есть левое поддерево

if (left != nullptr) {

Logger::log("Right binary subtree:\n", DEBUG, depth);

leftLength = left->getInternalPathLength(depth + 1); // Получаем внутренний путь левого поддерева

}

// Если у узла есть правое поддерево

if (right != nullptr) {

Logger::log("Left binary subtree:\n", DEBUG, depth);

rigthLength = right->getInternalPathLength(depth + 1); // Получаем внутренний путь правого поддерева

}

Logger::log("Method getInternalPathLength() for binary tree " + getString() + " finished: Internal path length: " + std::to\_string(leftLength + rigthLength + depth) + "\n\n", DEBUG, depth);

return leftLength + rigthLength + depth; // Возвращаем внутренний путь правого, левого поддерева и глубину данного узла для получения внутрннего пути данного дерева

}

template <>

std::string BinaryTree<char>::getString() {

std::string result = "(";

result += std::string(1, element); // Записыаем значение узла

// Если левое поддерево не пусто, то добавляем его скобочную запись, иначе добавляем скобочную запись пустого БД

if (left != nullptr) {

result += left->getString();

} else {

result += "/";

}

// Если правое поддерево не пусто, то добавляем его скобочную запись, иначе добавляем скобочную запись пустого БД

if (right != nullptr) {

result += right->getString();

} else {

result += "/";

}

return result + ")";

}

template <typename T>

BinaryTree<T>::~BinaryTree() {

delete right;

delete left;

}

#endif // BINARY\_TREE\_H

# Приложение Б Тестирование

Таблица Б.1 - Примеры тестовых случаев на некорректных данных

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Входные данные | Выходные данные | Комментарии |
|  | ( | invalid | OK |
|  | ) | invalid | OK |
|  | () | invalid | OK |
|  | (/) | invalid | OK |
|  | x | invalid | OK |
|  | (a)x | invalid | OK |
|  | x(a) | invalid | OK |
|  | (a(x) | invalid | OK |
|  | (a x x) | invalid | OK |

Таблица Б.2 - Примеры тестовых случаев на корректных данных

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Входные данные | Выходные данные | Комментарии |
|  | / | empty | OK |
|  | (a) | 0 0 | OK |
|  | (a / /) | 0 0 | OK |
|  | (a (b) /) | 1 1 | OK |
|  | (a / (b)) | 1 1 | OK |
|  | (a (b) (c)) | 1 2 | OK |
|  | (a (b) (a (b) (c))) | 2 6 | OK |
|  | (a / (a / (a / (a)))) | 3 6 | OK |
|  | (a (a (a (a) /) /) /) | 3 6 | OK |
|  | (f (f (f)) (f (f))) | 2 6 | OK |
|  | (f (f (f / (c))) (f (f))) | 3 9 | OK |
|  | (a (a (B) (a (B))) (a (a (B) (c)) (a (B) (c)))) | 3 25 | OK |
|  | (A (B (C (D) (E (F) (G))) (H (I) (H))) (K)) | 4 26 | OK |
|  | (x (x (x (x) (x)) (x (x) (x))) (x (x (x) (x)) (x (x) (x)))) | 3 34 | OK |

Файл с тестами: tests.txt

(|invalid|invalid

)|invalid|invalid

()|invalid|invalid

(/)|invalid|invalid

x|invalid|invalid

(a)x|invalid|invalid

x(a)|invalid|invalid

(a(x)|invalid|invalid

(a x x)|invalid|invalid

/|empty|empty

(a)|0|0

(a / /)|0|0

(a (b) /)|1|1

(a / (b))|1|1

(a (b) (c))|1|2

(a (b) (a (b) (c)))|2|6

(a / (a / (a / (a))))|3|6

(a (a (a (a) /) /) /)|3|6

(f (f (f)) (f (f)))|2|6

(f (f (f / (c))) (f (f)))|3|9

(a (a (B) (a (B))) (a (a (B) (c)) (a (B) (c))))|3|25

(A (B (C (D) (E (F) (G))) (H (I) (H))) (K))|4|26

(x (x (x (x) (x)) (x (x) (x))) (x (x (x) (x)) (x (x) (x))))|3|34