Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

кафедра ПМиК

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Объектно-ориентированное программирование»

Тема: «Построение ДОП (дерево оптимального поиска)»

Выполнил: студент группы ИП-111

Кузьменок Д.В.

Проверил: ассистент кафедры ПМиК

Дементьева К.И.

Новосибирск

2022

Содержание

Постановка задачи

1. Используя знания из предмета “Структуры и алгоритмы обработки данных” реализовать алгоритм построения дерева оптимального поиска, где новой и, пожалуй, основной чертой является вес вершины.

2. В программе должны использоваться методы объектно-ориентированного программирования (инкапсуляция, наследование, полиморфизм, списки инициализации, абстрактный класс и виртуальные методы, статические переменные, шаблоны).

3. Построить и вывести три матрицы: весов (AW), взвешенных весов поддеревьев (AP), корней поддеревьев (AR) – благодаря которым и строится оптимальное дерево поиска. По завершению программы на экран должны выводиться характеристики дерева – размер, контрольная сумма, высота и средневзвешенная высота – для сравнения с другими деревьями поиска.

Технологии ООП

Инкапсуляция – это поля, которые меняются или используются только внутри класса, т.е. доступа извне к ним нет (из экземпляра класса). Доступ к закрытым полям можно получить только с помощью геттеров и сеттеров.

```
template <class T>
class Vertex
{
protected:
    static int W;
    T Data;
    Vertex<T>* Left;
    Vertex<T>* Right;
    Vertex<T>* Head;

public:


    Vertex() :Left(NULL), Right(NULL), Head(NULL)
    {

    }

    ~Vertex()
    {
        Data = 0;
        Left = NULL;
        Right = NULL;
    }

    int getW()
    {
        return this->W;
    }

    void setW(int new_weight)
```

Рисунок 1 – Инкапсуляция.

Наследование – механизм базирования объекта или класса на другом объекте (наследование на основе прототипа) или классе (наследование на основе класса) с сохранением аналогичной реализации.

```
template <class T>
class Vertex
{
protected:
    static int W;
    T Data;
    Vertex<T>* Left;
    Vertex<T>* Right;
    Vertex<T>* Head;

public:


    Vertex() :Left(NULL), Right(NULL), Head(NULL)
    {

    }

    ~Vertex()
    {
        Data = 0;
        Left = NULL;
        Right = NULL;
    }
```

Рисунок 2 – Родительский класс.

```
template <class T>
class BinaryTree : public Vertex<T>
{
protected:
    Vertex<T>* Root;
    T A[N];
public:

    BinaryTree() :Root(NULL)
    {

    }

    void setRoot(Vertex<T>* new_Root)
    {
        this->Root = new_Root;
    }

    int random()
    {
        return rand() % 256;
    }
```

Рисунок 3 – Дочерний класс класса Vertex.

```
template <class T>
class DOPTree : public BinaryTree<T>
{
private:
    int AW[N + 1][N + 1];
    int AP[N + 1][N + 1];
    int AR[N + 1][N + 1];
    int W[N];
    T V[N];
public:

    void randVW()
    {
        for (int i = 0; i < N; i++)
        {
            V[i] = i + 1;
            W[i] = 1 + rand() % 10;
        };
    }

    void calculateW()
    {
        for (int i = 0; i <= N; i++)
            for (int j = i + 1; j <= N; j++)
                AW[i][j] = AW[i][j - 1] + W[j - 1];
    }
```

Рисунок 4 – Дочерний класс класса BinaryTree

Полиморфизм – это свойство системы использовать объекты с одинаковым интерфейсом без информации о типе и внутренней структуре объекта. В моём случае он реализован в виде виртуальных методов.

```
virtual int SDP(Vertex<T>* p, int level) = 0;
```

Рисунок 5 – Чистый виртуальный метод, находящееся в классе BinaryTree, где с помощью наследования в классе DOPTree она будет переопределяться.

```
int SDP(Vertex<T>* p, int level)
{
    if (p == NULL)
    {
        return 0;
    }
    else
    {
        return level * (p->getW()) + SDP(p->getLeft(), level + 1) +
            SDP(p->getRight(), level + 1);
    }
}
```

Рисунок 6 – Переопределение метода в классе-наследнике

Списки инициализации – метод, при котором инициализируются переменные члены класса вместо присваивания им значений после их создания.

```
Vertex() :Left(NULL), Right(NULL), Head(NULL)
{

}
```

Рисунок 7 – Списки инициализации для указателей вершины в классе Vertex.

```
BinaryTree() :Root(NULL)
{

}
```

Рисунок 8 – Списки инициализации для корня всего дерева в классе BinaryTree.

Виртуальный метод - в объектно-ориентированном программировании метод класса, который может быть переопределён в классах-наследниках так, что конкретная реализация метода для вызова будет определяться во время исполнения.

Абстрактный класс - это класс, у которого не реализован один или больше методов.

```
virtual int SDP(Vertex<T>* p, int level) = 0;
```

Рисунок 9 – Чистый виртуальный метод в классе BinaryTree, который будет переопределён в классе-наследнике DOPTree. Также класс BinaryTree является абстрактным, так как содержит чистый виртуальный метод.

```
int SDP(Vertex<T>* p, int level)
{
    if (p == NULL)
    {
        return 0;
    }
    else
    {
        return level * (p->getW()) + SDP(p->getLeft(), level + 1) +
            SDP(p->getRight(), level + 1);
    }
}
```

Рисунок 10 – Переопределение виртуального метода в дочернем классе DOPTree.

Статическая переменная – это переменная, которая не исчезает после завершения работы функции. Значение статической переменной можно использовать при следующем вызове функции - она по-прежнему будет иметь то же значение, которое получила при последнем вызове функции.

```
template <class T>
class Vertex
{
protected:
    static int W;
```

Рисунок 11 – Использование статической переменной при создании вершин дерева.

Шаблоны - это фрагменты обобщённого кода, в котором некоторые типы или константы вынесены в параметры. Шаблонными могут быть функции, структуры (классы) и даже переменные. Компилятор превращает использование шаблона в конкретный код, подставляя в него нужные

параметры на этапе компиляции. Шаблоны позволяют писать общий код, пригодный для использования с разными типами данных.

```
template <class T>
class Vertex
{
protected:
    static int W;
    T Data;
    Vertex<T>* Left;
    Vertex<T>* Right;
    Vertex<T>* Head;
```

```
template <class T>
class BinaryTree : public Vertex<T>
{
protected:
    Vertex<T>* Root;
```

```
int main()
{
    srand(time(NULL));

    DOPTree<int> tree;

    tree.randVW();
    tree.calculateW();
    tree.calculatePR();
    Vertex<int>* p = tree.getRoot();
    tree.createTree(0, N, p);
```

Рисунки 12 – Использование шаблонов для того, чтобы в вершинах дерева могли записываться различные типы данных.

Структура классов

Классы в C++ — это абстракция, которая описывает методы, свойства, еще не существующих объектов.

Объекты – конкретное представление абстракции, имеющие свои свойства и методы.

В ООП существует три основных принципа построения классов:

1) Инкапсуляция;
2) Наследование;
3) Полиморфизм.

Спецификаторы доступа:

1. Public – это члены структуры или класса, к которым можно получить доступ извне структуры или класса.
2. Private – это члены класса, к которым могут получить доступ только другие члены класса.

```
template <class T>
class DOPTree : public BinaryTree<T>
{
private:
    int AW[N + 1][N + 1];
    int AP[N + 1][N + 1];
    int AR[N + 1][N + 1];
    int W[N];
    T V[N];
public:

    void randVW()
    {
        for (int i = 0; i < N; i++)
        {
            V[i] = i + 1;
            W[i] = 1 + rand() % 10;
        };
    }

    void calculateW()
    {
        for (int i = 0; i <= N; i++)
            for (int j = i + 1; j <= N; j++)
                AW[i][j] = AW[i][j - 1] + W[j - 1];
    }
```

Рисунок 13 – Класс DOPTree, у которого матрицы из private участвуют в методах в public.

3. Protected – позволяет получить доступ к члену класса, к которому принадлежит член, друзья и производные класса. Однако Protected члены недоступны вне класса.

```
template <class T>
class Vertex
{
protected:
    static int W;
    T Data;
    Vertex<T>* Left;
    Vertex<T>* Right;
    Vertex<T>* Head;
```

Рисунок 14 – Спецификатор protected, используемый в дочерних классах для инициализации вершины дерева и для их привязки между друг другом.

Программная реализация

Все основные действия программы регулируются в функции int main(). В ней я создаю объект дерево, строю матрицы для дерева оптимального поиска, беру указатель на корень дерева из самого основного класса Vertex и в конечном итоге строю само дерево. Также здесь присутствует вывод матриц, на случай ручной проверки корректности работы программы, и вывод основных характеристик дерева.

```cpp
int main()
{
    srand(time(NULL));

    DOPTree<int> tree;

    tree.randVW();
    tree.calculateW();
    tree.calculatePR();
    Vertex<int>* p = tree.getRoot();
    tree.createTree(0, N, p);

    cout << "DOP left to right:\n";
    tree.printLR(p);
    cout << endl << endl;
    tree.printAWmatrix();
    cout << endl << endl;
    tree.printAPmatrix();
    cout << endl << endl;
    tree.printARmatrix();

    printf("\n\nn=100 | size |    sum    | height | Wavgh\n");
    printf(
        "DOP   | %4d | %9d | %6d | %3.3f\n",
        tree.size(tree.getRoot()),
        tree.sum(tree.getRoot()),
        tree.height(tree.getRoot()),
        tree.WaverageHeight());

    return 0;
}
```

Рисунок 15 – Функция main().

class Vertex – основной родительский класс, в нем происходит инициализация вершин и привязка между ними с помощью указателя Head, который содержится в списках инициализации.

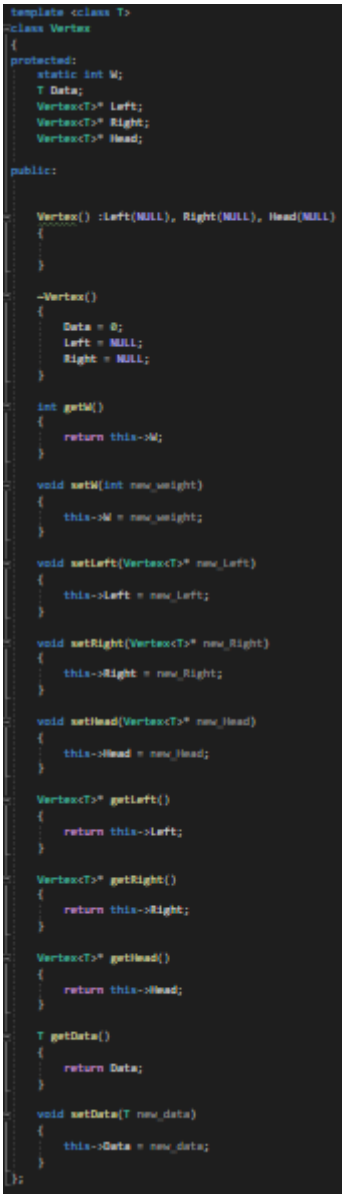


Рисунок 16 – Класс Vertex (основной родительский).

class BinaryTree – дочерний класс класса Vertex. Наследуется указатель на корень дерева. В самом же классе происходит подсчёт всех необходимых параметров дерева оптимального поиска.

Рисунок 17 – Класс BinaryTree.

class DOPTree – дочерний класс класса BinaryTree. В нём происходит построение и вывод три матрицы: весов (AW), взвешенных весов поддеревьев (AP), корней поддеревьев (AR) – благодаря которым и строится оптимальное дерево поиска.

Рисунок 18 – Класс DOPTree.

Результаты работы

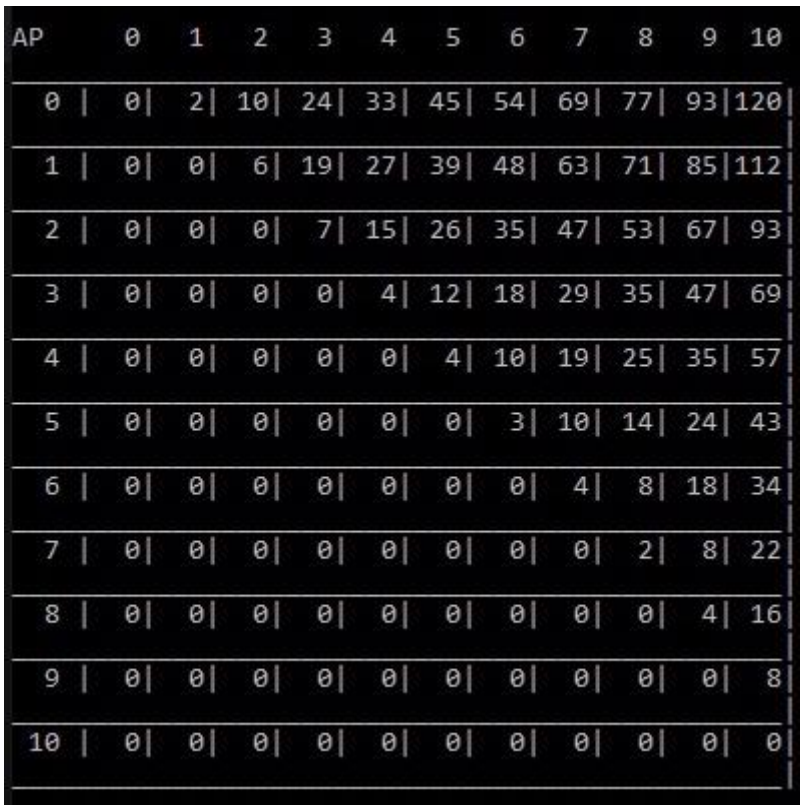
Результатом моей курсовой работы стало корректное построение дерева оптимального поиска (было все проверено вручную) и вывод правильных характеристик, которые ещё раз подтверждают, что дерево оптимального поиска стоит на лидирующем месте среди остальных деревьев.

```
DOP left to right:
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
```

Рисунок 19 - Вывод обхода дерева слева направо.

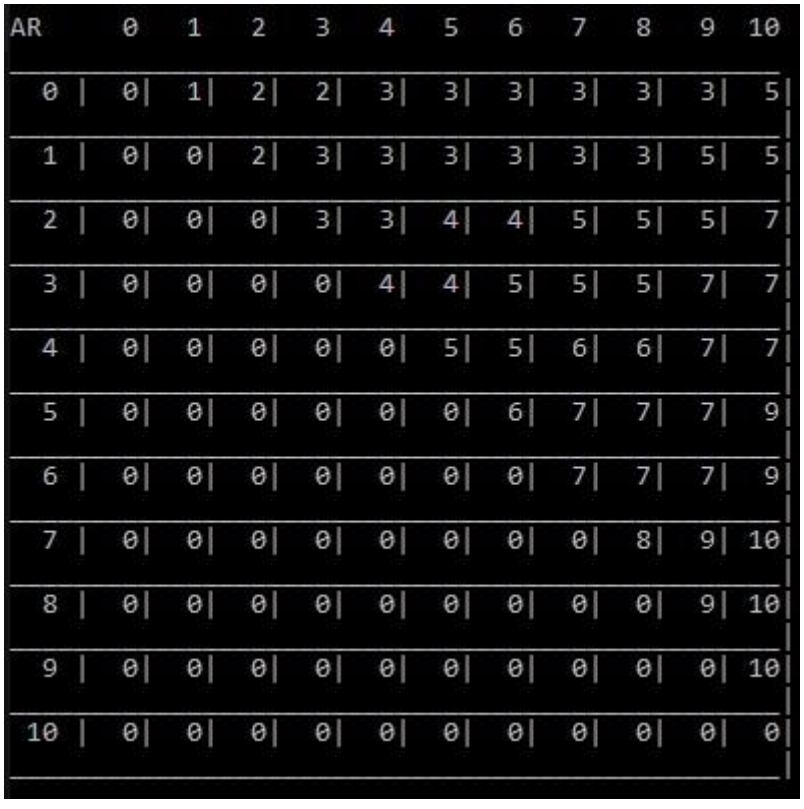
AW	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	2	8	15	19	23	26	30	32	36	44
1	0	0	6	13	17	21	24	28	30	34	42
2	0	0	0	7	11	15	18	22	24	28	36
3	0	0	0	0	4	8	11	15	17	21	29
4	0	0	0	0	0	4	7	11	13	17	25
5	0	0	0	0	0	0	3	7	9	13	21
6	0	0	0	0	0	0	0	4	6	10	18
7	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	14
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	12
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 20 – Вывод матрицы весов.



AP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	2	10	24	33	45	54	69	77	93	120
1	0	0	6	19	27	39	48	63	71	85	112
2	0	0	0	7	15	26	35	47	53	67	93
3	0	0	0	0	4	12	18	29	35	47	69
4	0	0	0	0	0	4	10	19	25	35	57
5	0	0	0	0	0	0	3	10	14	24	43
6	0	0	0	0	0	0	0	4	8	18	34
7	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	22
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	16
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 21 – Вывод матрицы взвешенных весов поддеревьев.



AR	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	1	2	2	3	3	3	3	3	3	5
1	0	0	2	3	3	3	3	3	3	5	5
2	0	0	0	3	3	4	4	5	5	5	7
3	0	0	0	0	4	4	5	5	5	7	7
4	0	0	0	0	0	5	5	6	6	7	7
5	0	0	0	0	0	0	6	7	7	7	9
6	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7	9
7	0	0	0	0	0	0	0	0	8	9	10
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	10
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 22 – Вывод матрицы корней поддеревьев (в ячейках матрицы содержатся индексы элементов исходного массива).

Рисунок 23 – Вывод основных характеристик дерева.

Заключение

В конечном итоге, у меня получилось реализовать дерево оптимального поиска, используя по максимуму технологии ООП. Были реализованы все необходимые функции подсчёта, строительства и вывода, чтобы в результате получить корректно работающую программу.

Приложение. Листинг

```
#include <algorithm>
#include <iostream>
#include <time.h>

#define N 10

using namespace std;

template <class T>
class Vertex
{
protected:
	static int W;
	T Data;
	Vertex<T>* Left;
	Vertex<T>* Right;
	Vertex<T>* Head;

public:


	Vertex() :Left(NULL), Right(NULL), Head(NULL)
	{

	}

	~Vertex()
	{
		Data = 0;
		Left = NULL;
		Right = NULL;
	}

	int getW()
	{
		return this->W;
	}

	void setW(int new_weight)
	{
		this->W = new_weight;
	}

	void setLeft(Vertex<T>* new_Left)
	{
		this->Left = new_Left;
	}

	void setRight(Vertex<T>* new_Right)
	{
		this->Right = new_Right;
	}

	void setHead(Vertex<T>* new_Head)
	{
		this->Head = new_Head;
	}
```

```
	Vertex<T>* getLeft()
	{
		return this->Left;
	}

	Vertex<T>* getRight()
	{
		return this->Right;
	}

	Vertex<T>* getHead()
	{
		return this->Head;
	}

	T getData()
	{
		return Data;
	}

	void setData(T new_data)
	{
		this->Data = new_data;
	}
};

template <class T>
int Vertex<T>::W = 0;

template <class T>
class BinaryTree : public Vertex<T>
{
protected:
	Vertex<T>* Root;
	T A[N];
public:

	BinaryTree() :Root(NULL)
	{

	}

	void setRoot(Vertex<T>* new_Root)
	{
		this->Root = new_Root;
	}

	int random()
	{
		return rand() % 256;
	}

	void fillArr()
	{
		for (int i = 0; i < N; i++)
		{
			A[i] = random();
		}
	}
```

```
	int size(Vertex<T>* p)
	{
		if (p == NULL)
		{
			return 0;
		}
		else
		{
			return 1 + size(p->getLeft()) + size(p->getRight());
		}
	}

	int height(Vertex<T>* p)
	{
		if (p == NULL)
		{
			return 0;
		}
		else
		{
			return 1 + max(height(p->getLeft()), height(p->getRight()));
		}
	}

	float averageHeight()
	{
		return SDP(Root, 1) / (float)size(Root);
	}

	virtual int SDP(Vertex<T>* p, int level) = 0;

	int sum(Vertex<T>* p)
	{
		if (p == NULL)
		{
			return 0;
		}
		else
		{
			return p->getData() + sum(p->getLeft()) + sum(p->getRight());
		}
	}

	void printLR(Vertex<T>* p)
	{
		if (p != NULL)
		{
			printLR(p->getLeft());
			cout << p->getData() << " ";
			printLR(p->getRight());
		}
	}

	Vertex<T>* getRoot()
	{
		return this->Root;
	}

};
```

```
template <class T>
class DOPTree : public BinaryTree<T>
{
private:
	int AW[N + 1][N + 1];
	int AP[N + 1][N + 1];
	int AR[N + 1][N + 1];
	int W[N];
	T V[N];
public:

	void randVW()
	{
		for (int i = 0; i < N; i++)
		{
			V[i] = i + 1;
			W[i] = 1 + rand() % 10;
		};
	}

	void calculateW()
	{
		for (int i = 0; i <= N; i++)
			for (int j = i + 1; j <= N; j++)
				AW[i][j] = AW[i][j - 1] + W[j - 1];
	}

	void calculatePR()
	{
		int i, j, m, min, k, h;
		for (i = 0; i < N; i++)
		{
			j = i + 1;
			AP[i][j] = AW[i][j];
			AR[i][j] = j;
		}
		for (h = 2; h <= N; h++)
		{
			for (i = 0; i <= N - h; i++)
			{
				j = i + h;
				m = AR[i][j - 1];
				min = AP[i][m - 1] + AP[m][j];
				for (k = m + 1; k <= AR[i + 1][j]; k++)
				{
					int x = AP[i][k - 1] + AP[k][j];
					if (x < min)
					{
						m = k;
						min = x;
					}
				}
				AP[i][j] = min + AW[i][j];
				AR[i][j] = m;
			}
		}
	}

	void add(T D, int W, Vertex<T>*& p)
```

```
{
	if (p == NULL)
	{
		p = new Vertex<T>;
		if (this->getRoot() == NULL) {
			this->setRoot(p);
			this->setHead(NULL);
		}
		p->setData(D);
		p->setW(W);
	}
	else if (D < p->getData())
	{
		Vertex<T>* pp = p->getLeft();
		add(D, W, pp);
		p->setLeft(pp);
	}

	else if (D > p->getData())
	{
		Vertex<T>* pq = p->getRight();
		add(D, W, pq);
		p->setRight(pq);
	}

}

void createTree(int L, int R, Vertex<T>*& root)
{
	if (L < R)
	{
		int k = AR[L][R];
		add(V[k - 1], W[k - 1], root);
		createTree(L, k - 1, root);
		createTree(k, R, root);
	}
}

int SDP(Vertex<T>* p, int level)
{
	if (p == NULL)
	{
		return 0;
	}
	else
	{
		return level * (p->getW()) + SDP(p->getLeft(), level + 1) +
			SDP(p->getRight(), level + 1);
	}
}

void printAWmatrix()
{
	cout << "AW   ";
	for (int i = 0; i < N + 1; i++) printf("%3d ", i);
	cout << endl;
	for (int i = 0; i < N + 1; i++) cout << "____";
	cout << "____" << endl;
	for (int i = 0; i < N + 1; i++)
	{
```

```
			printf("%3d |", i);
			for (int j = 0; j < N + 1; j++) printf("%3d|", AW[i][j]);
			cout << endl;
			for (int j = 0; j < N + 1; j++) cout << "____";
			cout << "____|" << endl;
		}
		cout << endl;
	}

	void printAPmatrix()
	{
		cout << "AP   ";
		for (int i = 0; i < N + 1; i++) printf("%3d ", i);
		cout << endl;
		for (int i = 0; i < N + 1; i++) cout << "____";
		cout << "____" << endl;
		for (int i = 0; i < N + 1; i++)
		{
			printf("%3d |", i);
			for (int j = 0; j < N + 1; j++) printf("%3d|", AP[i][j]);
			cout << endl;
			for (int j = 0; j < N + 1; j++) cout << "____";
			cout << "____|" << endl;
		}
		cout << endl;
	}

	void printARmatrix()
	{
		cout << "AR   ";
		for (int i = 0; i < N + 1; i++) printf("%3d ", i);
		cout << endl;
		for (int i = 0; i < N + 1; i++) cout << "____";
		cout << "____" << endl;
		for (int i = 0; i < N + 1; i++)
		{
			printf("%3d |", i);
			for (int j = 0; j < N + 1; j++) printf("%3d|", AR[i][j]);
			cout << endl;
			for (int j = 0; j < N + 1; j++) cout << "____";
			cout << "____|" << endl;
		}
		cout << endl;
	}

	int sumW(Vertex<T>* p)
	{
		if (p == NULL)
		{
			return 0;
		}
		else
		{
			return p->getW() + sumW(p->getLeft()) + sumW(p->getRight());
		}
	}

	float WaverageHeight()
	{
		return (float)SDP(this->getRoot(), 1) / sumW(this->getRoot());
```

```
	}
};

int main()
{
	srand(time(NULL));

	DOPTree<int> tree;

	tree.randVW();
	tree.calculateW();
	tree.calculatePR();
	Vertex<int>* p = tree.getRoot();
	tree.createTree(0, N, p);

	cout << "DOP left to right:\n";
	tree.printLR(p);
	cout << endl << endl;
	tree.printAWmatrix();
	cout << endl << endl;
	tree.printAPmatrix();
	cout << endl << endl;
	tree.printARmatrix();

	printf("\n\nn=100 | size |    sum    | height | Wavgh\n");
	printf(
		"DOP   | %4d | %9d | %6d | %3.3f\n",
		tree.size(tree.getRoot()),
		tree.sum(tree.getRoot()),
		tree.height(tree.getRoot()),
		tree.WaverageHeight());

	return 0;
}
```

Список литературы и других источников

1. Лафоре, Р. Объектно-ориентированное программирование в C++. – СПб : Питер, 2003. – С. 124-129.

2. Страуструп, Б. Язык программирования C++. – М. : Бином, 2010. – С. 34-41.

3. Мейер, Б. Почувствуй класс: учимся программировать хорошо с объектами и контрактами. – М. : Интернет-университет информационных технологий, 2011. – С. 111-114.

4. Буч, Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений. – СПб : Бином, 1998. – С. 36.

5. Вайсфельд, М. Объектно-ориентированное мышление. – СПб : Питер Пресс, 2014. – С. 84-86.