МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МИРЭА – РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
РТУ МИРЭА

Институт ИКБ

Специальность (направление): 09.03.02 (информационные системы и технологии)

Кафедра: КБ-3 «Разработка программных решений и системного программирования»

Дисциплина: «Алгоритмы и структуры данных»

Практическая работа
на тему:
Программа по графам

Студент: _____ 17.10.2024 Крашенинников М.В.
подпись *Дата* *инициалы и фамилия*

Группа: БСБО-16-23 Шифр: 23Б0107

Преподаватель: _____ 17.10.2024 Филатов В.В.
подпись *дата* *инициалы и фамилия*

Москва 2024 г.

1. Задание (вариант 7)

1. Определить и вывести ВСЕ (т.е. необязательно самые короткие) незамкнутые пути в орграфе заданной длины x (вводится с клавиатуры). Способ представления графа – список смежности

2. Термины

1) Ориентированный граф (орграф) — граф, где рёбра (дуги) имеют направление. Каждое ребро указывает, от какой вершины оно исходит и в какую ведёт.

2) Взвешенный граф — это граф, в котором каждому ребру (дуге) назначено числовое значение — вес, обычно соответствующий стоимости или длине.

3) Список смежности — структура данных, где для каждой вершины хранится список вершин, к которым есть дуги, и соответствующие веса этих дуг.

4) Путь в графе — это последовательность вершин, соединённых рёбрами (дугами), в которой каждое ребро ведёт от одной вершины к следующей.

5) Незамкнутый путь — путь, который не возвращается в начальную вершину, то есть начальная и конечная вершины различны.

6) Дуга — ориентированное ребро графа, которое соединяет одну вершину с другой и имеет направление.

7) Поиск в глубину (DFS) — алгоритм обхода графа, который исследует все возможные пути от одной вершины к другой, углубляясь до конца каждого пути, прежде чем переходить к следующему.

3. Описание программы

1. Основная цель программы

Программа предназначена для работы с ориентированным графом, представленным с использованием списка смежности. Она позволяет добавлять вершины и дуги, удалять их, редактировать, а также выполнять поиск всех путей в графе с общей стоимостью x, используя алгоритм поиска в глубину (DFS).

2. Структуры и классы

Vertex: представляет вершину графа. Вершина содержит название (name), уникальный номер/индекс (number), и флаг посещения (visited), который используется в DFS для пометки посещённых вершин.

Edge: представляет ориентированную дугу графа. Она содержит указатели на вершины начала и конца дуги (from, to), а также стоимость дуги (cost).

AdjNode: элемент списка смежности, который хранит дугу и указатель на следующий элемент списка.

AdjList: управляет списком смежности для каждой вершины, предоставляя доступ к дугам, исходящим из неё.

AdjListIterator и VertexIterator: итераторы для обхода вершин и элементов списка смежности.

3. Алгоритм добавления и удаления вершин и дуг
ADD_V (добавление вершины) — метод добавляет новую вершину с именем name в массив вершин. Если были удалённые вершины, программа использует их место для новых вершин, чтобы избежать "дыр" в данных.

ADD_E (добавление дуги) — добавляет дугу между двумя вершинами с именами vName и wName и стоимостью дуги c. Дуга добавляется в список смежности для вершины vName.

DEL_V (удаление вершины) — метод удаляет вершину и все исходящие и входящие дуги. Вершина "помечается" удалённой через замену имени на символ '-'.

DEL_E (удаление дуги) — удаляет дугу между вершинами vName и wName.

4. Поиск в глубину (DFS)
DFS_START — запускает алгоритм DFS для всех вершин графа, которые не были посещены. Метод инициализирует путь и переменные для хранения текущей стоимости и длины пути.

DFS — основной метод для поиска путей с использованием рекурсии. Он начинает с текущей вершины (currentIndex) и посещает все её смежные

вершины, пока не найдёт путь с суммарной стоимостью, равной заданной длине length.

Важная деталь — рекурсивное добавление стоимости дуги к пути с помощью функции getEdgeCost.
5. Другие вспомогательные методы
showAdjacencyList: выводит текущий список смежности, показывая для каждой вершины её смежные вершины и стоимость дуг.

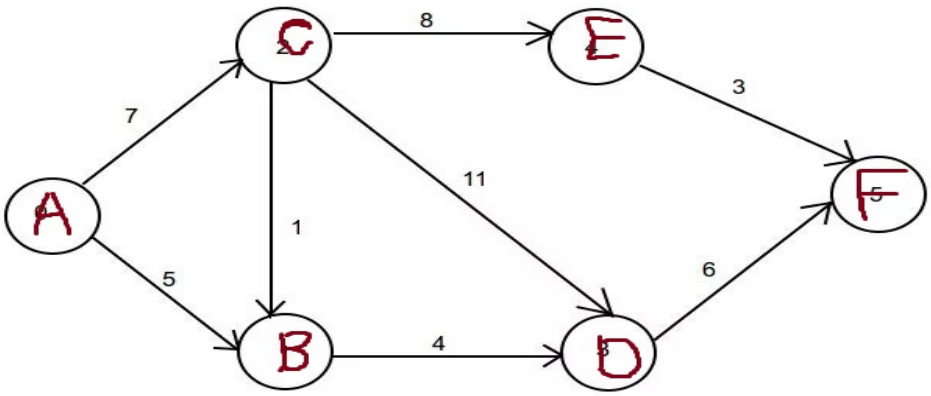
setLength: задаёт длину пути, которую должен искать DFS.

FIRST и NEXT: методы для нахождения первой непосещённой вершины и последующих вершин в списке смежности.

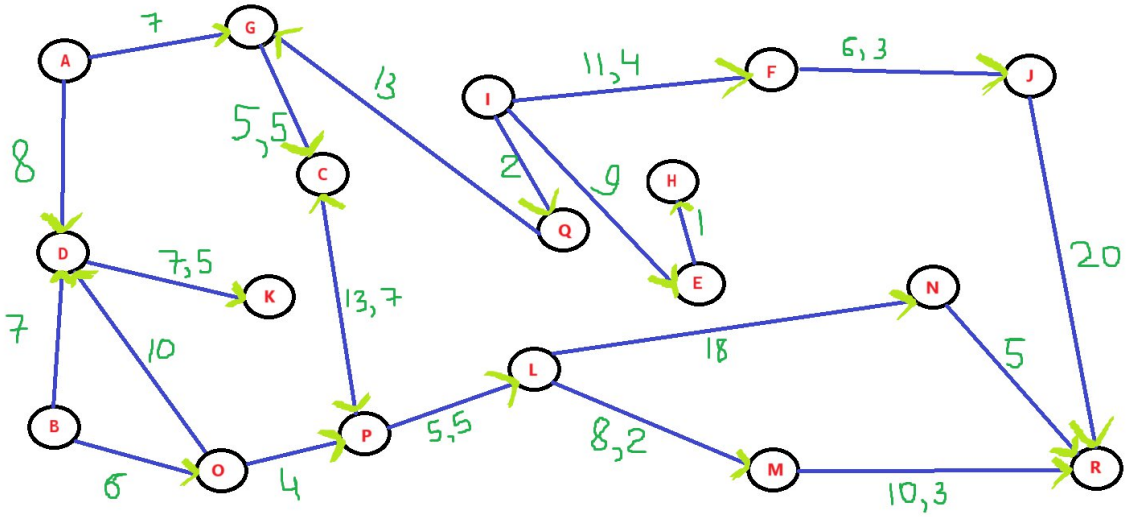
6. Общий процесс работы программы
Пользователь добавляет вершины и дуги, создавая граф.
Задаётся целевая длина пути (сумма весов дуг).
Программа запускает поиск в глубину (DFS), находя все пути в графе, у которых суммарная стоимость дуг равна заданной длине.
Все найденные пути выводятся на экран.
Программа реализована таким образом, чтобы можно было легко управлять графом, добавлять и удалять вершины/дуги, а также находить специфические пути по их стоимости.

4. Изображения графов

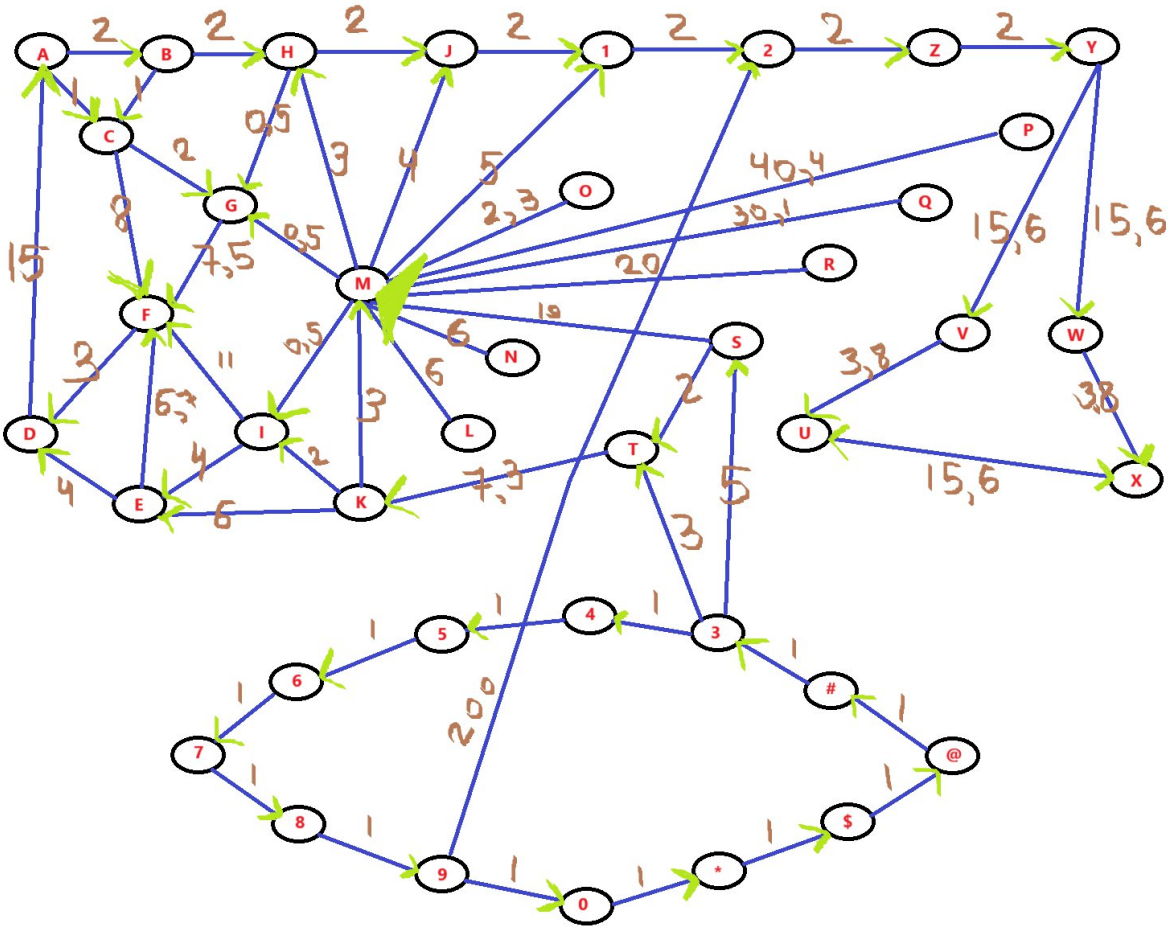
GRAPH1:



GRAPH2:



GRAPH3:



5. Скриншот работы программы

```
GRAPH #1
A: C(7), B(5)
B: D(4)
C: E(8), D(11), B(1)
D: F(6)
E: F(3)
F: NULL
********************************
LENGTH FOR GRAPH: 11
DFS | x = 11 | C E F
********************************
DFS | x = 11 | C D
********************************
DFS | x = 11 | C B D F
********************************
```

```
GRAPH #2
A: D(8), G(7)
B: O(6), D(7)
C: P(13.7)
D: K(7.5)
E: H(1)
F: J(6.3)
G: C(5.5)
H: NULL
I: F(11.4), E(9), Q(2)
J: R(20)
K: NULL
L: N(18), M(8.2)
M: R(10.3)
N: R(5)
O: P(4), D(10)
P: L(5.5)
Q: G(13)
R: NULL
********************************
LENGTH FOR GRAPH: 9
DFS | x = 9 | I E
********************************
```

```
GRAPH #3
A: C(1), B(2)
B: H(2), C(1)
C: F(8), G(2)
D: A(15)
E: F(6.7), D(4)
F: D(3)
G: F(7.5)
H: J(2), G(0.5)
I: F(11), E(4)
J: 1(2)
K: E(6), I(2), M(3)
L: M(6)
M: 1(5), J(4), H(3), G(0.5), I(0.5)
N: M(6)
O: M(2.3)
P: M(40.4)
Q: M(30.1)
R: M(20)
S: T(2), M(19)
T: K(7.3)
U: X(15.6)
V: U(3.8)
W: X(3.8)
X: U(15.6)
Y: W(15.6), V(15.6)
Z: Y(2)
0: *(1)
1: 2(2)
2: Z(2)
3: S(5), T(3), 4(1)
4: 5(1)
5: 6(1)
6: 7(1)
7: 8(1)
8: 9(1)
9: 0(1), 2(200)
*: $(1)
$: @(1)
@: #(1)
#: 3(1)
```

```
******************************
LENGTH FOR GRAPH: 13
DFS | x = 13 | B H G F D
******************************
DFS | x = 13 | K I F
******************************
DFS | x = 13 | K M J 1 2 Z
******************************
DFS | x = 13 | L M 1 2
******************************
DFS | x = 13 | L M H J 1
******************************
DFS | x = 13 | M H J 1 2 Z Y
******************************
DFS | x = 13 | N M 1 2
******************************
DFS | x = 13 | N M H J 1
******************************
DFS | x = 13 | 5 6 7 8 9 0 * $ @ # 3 T
******************************
DFS | x = 13 | 7 8 9 0 * $ @ # 3 S
******************************
DFS | x = 13 | 9 0 * $ @ # 3 S T
******************************
```

6. Исходный код

Для удобства - [matw0x/ALGORITHMS (github.com)]

Структуры:

```
#pragma once
#include "edge.h"


struct Vertex {
    char name; // название узла
    size_t number; // номер узла
    bool visited; // был ли посещён


    Vertex(const char& name, const size_t& number) :
        name(name), number(number), visited(false) {}

    Vertex() : name(' '), number(size_t(-1)), visited(false) {}


    void setVisited() noexcept {
        visited = true;
    }


    void operator = (const Vertex& v) {
        name = v.name;
        number = v.number;
        visited = v.visited;
    }


    bool operator == (const Vertex* v) const noexcept {
        return this->name == v->name && this->number == v->number;
    }
};


class VertexIterator {
private:
    Vertex* vertices;
    size_t index, count;


public:
    VertexIterator(Vertex* v, const size_t& c, const size_t& start = 0) :
        vertices(v), index(start), count(c) {
        moveToValid();
```

```
    }

    void moveToValid() {
        while (index < count && vertices[index].name == '-') {
            ++index;
        }
    }

    VertexIterator& operator ++ () noexcept {
        ++index;
        moveToValid();
        return *this;
    }

    Vertex& operator*() const noexcept {
        return vertices[index];
    }

    bool operator != (const VertexIterator& other) const {
        return index != other.index;
    }

    static VertexIterator begin(Vertex* vertices, size_t count) noexcept {
        return VertexIterator(vertices, count);
    }

    static VertexIterator end(Vertex* vertices, size_t count) noexcept {
        return VertexIterator(vertices, count, count);
    }
};
```

```
#pragma once
#include "vertex.h"

struct Vertex;

struct Edge {
    Vertex *from, *to; // откуда и куда
    float cost; // стоимость (вес) дуги

    Edge(Vertex* from, Vertex* to, const float& cost) :
        from(from), to(to), cost(cost) {}
```

```
    // ~Edge(); - по факту реализация описана в ~Graph()
};
#pragma once
#include "vertex.h"
#include "edge.h"


struct AdjNode {
    Edge* edge; // дуга (данные о двух вершинах и стоимости дуги)
    AdjNode* next; // следующий элемент смежности


    AdjNode(Edge* e) :
        edge(e), next(nullptr) {}


    ~AdjNode() {
        delete edge;
    }
};


struct AdjList {
    AdjNode* head; // главный элемент


    AdjList() : head(nullptr) {}


    ~AdjList() {
        AdjNode* current = head;
        while (current != nullptr) {
            AdjNode* temp = current;
            current = current->next;
            delete temp;
        }
    }
};
```

```
class AdjListIterator {
private:
    AdjNode* current;

public:
    AdjListIterator(AdjNode* start) : current(start) {}


    AdjListIterator& operator ++ () noexcept {
        if (current != nullptr) current = current->next;
        return *this;
    }


    AdjNode* operator * () const noexcept {
        return current;
    }


    bool operator != (const AdjListIterator& other) const noexcept {
        return current != other.current;
    }


    static AdjListIterator begin(AdjNode* start) noexcept {
        return AdjListIterator(start);
    }


    static AdjListIterator end() noexcept {
        return AdjListIterator(nullptr);
    }
};
```

Сам граф:

```
#pragma once
```

```cpp
#include <iostream>
#include <string>
#include "vertex.h"
#include "edge.h"
#include "adjacency_list.h"


const std::string stars(30, '*'); // для удобного вывода
#define PRINT_STARS std::cout << stars + '\n';


class Graph {
private:
    Vertex* vertices; // все вершины
    AdjList* adjLists; // массив списков смежности (для каждой вершины отдельный список)
    size_t countVertices, // кол-во вершин - исходное
           countEdges, // кол-во дуг - исходное
           NV, // кол-во вершин - фактическое (текущее) для вершин
           NE; // кол-во вершин - фактическое (текущее) для дуг
    float length; // та самая длина x
    size_t* deletedNumbers; // удалённые индексы | решение проблем с дырами
    size_t deletedCount; // кол-во удалённых


    const size_t UNREAL_VALUE = this->countVertices + 1; // для неопределённых индексов


    Vertex* findVertexByName(const char& vertexName) const noexcept {
        for (size_t i = 0; i != countVertices; ++i) {
            if (vertices[i].name == vertexName && vertices[i].name != '-') return &vertices[i];
        }


        return nullptr;
    }


    void DFS(const size_t& currentIndex, size_t* path, size_t& pathLength, float& currentCost) const noexcept {
        vertices[currentIndex].setVisited();
```

```
        path[pathLength++] = currentIndex;


        auto getEdgeCost = [&](const size_t& from, const size_t& to) -> float {
            AdjNode* current = adjLists[from].head;
            while (current != nullptr) {
                if (current->edge->to->number == to) {
                    return current->edge->cost;
                }
                current = current->next;
            }
            return 0.0f;
        };


        if (currentCost == length) {
            if (path[0] != currentIndex) {
                std::cout << "DFS | x = " << length << " | ";
                for (size_t i = 0; i != pathLength; ++i) {
                    std::cout << vertices[path[i]].name << ' ';
                }


                std::cout << std::endl;
                PRINT_STARS;
            }
        } else if (currentCost < length) {
            size_t i = FIRST(vertices[currentIndex].name);
            while (i != UNREAL_VALUE) {
                if (!vertices[i].visited) {
                    float edgeCost = getEdgeCost(currentIndex, i);
                    currentCost += edgeCost;
                    DFS(i, path, pathLength, currentCost);
                    currentCost -= edgeCost; // откатываем вес дуги после
рекурсии
                }


                i = NEXT(vertices[currentIndex].name, i);
            }
        }
```

```
        vertices[currentIndex].visited = false;
        --pathLength;
    }

public:
    Graph(const size_t& cV) :
    countVertices(cV), countEdges(cV*cV - cV), deletedCount(NE = NV = 0) {
        vertices = new Vertex[countVertices];
        adjLists = new AdjList[countVertices];
        deletedNumbers = new size_t[countVertices];
    }


    ~Graph() {
        for (size_t i = 0; i != NV; ++i) adjLists[i].~AdjList();


        delete[] adjLists;
        delete[] vertices;
        delete[] deletedNumbers;
    }


    void showAdjacencyList() const noexcept {
        for (auto it = VertexIterator::begin(vertices, countVertices);
            it != VertexIterator::end(vertices, countVertices);
            ++it) {

            std::cout << (*it).name << ": ";


            bool isEmpty = true;
            for (auto adjIt =
AdjListIterator::begin(adjLists[(*it).number].head);
                adjIt != AdjListIterator::end();
                ++adjIt) {
                isEmpty = false; // т.к. иное не может в принципе зайти в цикл


                std::cout << (*adjIt)->edge->to->name
```

```
                    << '(' << (*adjIt)->edge->cost << ')';

                if ((*adjIt)->next != nullptr) std::cout << ", ";
            }


            if (isEmpty) std::cout << "NULL";
            std::cout << std::endl;
        }
        PRINT_STARS;
    }


    void ADD_V(const char& name) noexcept {
        for (size_t i = 0; i != countVertices; ++i) {
            if (vertices[i].name == name) {
                std::cout << "ADD_V: Vertex " << name << " already exists!\n";
            }
        }

        if (deletedCount > 0) {
            size_t vertexNumber = deletedNumbers[--deletedCount];
            vertices[vertexNumber].name = name;
            adjLists[vertexNumber].head = nullptr;
            ++NV;
            return;
        }


        if (NV >= countVertices) {
            std::cout << "ADD_V: Could not add a vertex " << name << " | NV >=
countVertices!\n";
            return;
        } else {
            vertices[NV].name = name;
            vertices[NV].number = NV;
            adjLists[NV++].head = nullptr;
        }
    }
```

```
    void ADD_E(const char& vName, const char& wName, const float& c) noexcept {
        if (NE >= countEdges) {
            std::cout << "ADD_E: Could not add an edge from/to " << vName << '/'
<< wName << " | NE >= countEdges!\n";
            return;
        }


        Vertex* from = findVertexByName(vName);
        Vertex* to = findVertexByName(wName);


        if (from == nullptr) {
            std::cout << "ADD_E: The vertex " << vName << " was not found!\n";
            return;
        }


        if (to == nullptr) {
            std::cout << "ADD_E: The vertex " << wName << " was not found!\n";
            return;
        }


        if (from->name == '-' || to->name == '-') {
            std::cout << "ADD_E: One of the vertices " << '[' << vName
            << ", " << wName << "] is deleted!\n";
            return;
        }


        AdjNode* newNode = new AdjNode(new Edge(from, to, c));
        newNode->next = adjLists[from->number].head;
        adjLists[from->number].head = newNode;
        ++NE;
    }


    void DEL_V(const char& name) noexcept {
        Vertex* vertexToDelete = findVertexByName(name);
        if (vertexToDelete == nullptr) {
            std::cout << "DEL_V: The vertex " << name << " was not found!\n";
```

```
}

// исходящая и внутренности
AdjNode* current = adjLists[vertexToDelete->number].head;
while (current != nullptr) {
    AdjNode* temp = current;
    current = current->next;
    delete temp;
    --NE;
}

adjLists[vertexToDelete->number].head = nullptr;

// входящие
for (size_t i = 0; i != NV; ++i) {
    if (i != vertexToDelete->number) {
        AdjNode* prev = nullptr;
        AdjNode* current = adjLists[i].head;

        while (current != nullptr) {
            if (current->edge->to->name == name) {
                if (prev == nullptr) {
                    adjLists[i].head = current->next;
                } else {
                    prev->next = current->next;
                }

                delete current;
                --NE;
                break;
            }

            prev = current;
            current = current->next;
        }
    }
```

```
    }

    vertexToDelete->name = '-';
    deletedNumbers[deletedCount++] = vertexToDelete->number;
    --NV;
}


void DEL_E(const char& vName, const char& wName) noexcept {
    Vertex* from = findVertexByName(vName);
    Vertex* to = findVertexByName(wName);


    if (from == nullptr) {
        std::cout << "ADD_E: The vertex " << vName << " was not found!\n";
        return;
    }


    if (to == nullptr) {
        std::cout << "ADD_E: The vertex " << wName << " was not found!\n";
        return;
    }


    if (from->name == '-' || to->name == '-') {
        std::cout << "ADD_E: One of the vertices " << '[' << vName
        << ", " << wName << "] is deleted!\n";
        return;
    }


    AdjNode* prev = nullptr;
    AdjNode* current = adjLists[from->number].head;


    while (current != nullptr) {
        if (current->edge->to == to) {
            if (prev == nullptr) {
                adjLists[from->number].head = current->next;
            } else {
                prev->next = current->next;
```

```
                }


                delete current;
                --NE;
                return;
            }


            prev = current;
            current = current->next;
        }
    }


    void EDIT_V(const char& name, const bool& newVisited) const noexcept {
        bool success = false;
        for (size_t i = 0; i != NV; ++i) {
            if (vertices[i].name == name) {
                vertices[i].visited = newVisited;
                return;
            }
        }


        if (!success) std::cout << "EDIT_V: Vertex " << name << " was not
found!\n";
    }


    void EDIT_E(const char& vName, const char& wName, const float& newCost) const
noexcept {
        Vertex* from = findVertexByName(vName);
        Vertex* to = findVertexByName(wName);


        if (from == nullptr) {
            std::cout << "EDIT_E: Vertex " << vName << " was not found!\n";
            return;
        }


        if (to == nullptr) {
```

```
            std::cout << "EDIT_E: Vertex " << wName << " was not found!\n";
            return;
        }

        if (from->name == '-' || to->name == '-') {
            std::cout << "ADD_E: One of the vertices [" << vName
            << ", " << wName << "] is deleted!\n";
        }

        AdjNode* current = adjLists[from->number].head;
        while (current != nullptr) {
            if (current->edge->to == to) current->edge->cost = newCost;
            current = current->next;
        }
    }

    size_t FIRST(const char& name) const noexcept {
        Vertex* from = findVertexByName(name);
        if (from == nullptr) {
            std::cout << "FIRST: Vertex " << name << " was not found!\n";
            return UNREAL_VALUE;
        }

        AdjNode* current = adjLists[from->number].head;
        while (current != nullptr && current->edge->to->visited) {
            current = current->next;
        }

        if (current == nullptr) return UNREAL_VALUE;

        return current->edge->to->number;
    }

    size_t NEXT(const char& name, const size_t& i) const noexcept {
        Vertex* from = findVertexByName(name);
```

```
    if (from == nullptr) {
        std::cout << "NEXT: Vertex " << name << " was not found!\n";
        return UNREAL_VALUE;
    }

    AdjNode* current = adjLists[from->number].head;
    while (current != nullptr) {
        if (current->edge->to->number == i) {
            current = current->next;
            while (current != nullptr && current->edge->to->visited) {
                current = current->next;
            }

            if (current == nullptr) return UNREAL_VALUE;
            return current->edge->to->number;
        }

        current = current->next;
    }

    return UNREAL_VALUE;
}

Vertex* VERTEX(const char& name, const size_t& i) const noexcept {
    Vertex* from = findVertexByName(name);
    if (from == nullptr) {
        std::cout << "VERTEX: Vertex " << name << " was not found!\n";
        return nullptr;
    }

    AdjNode* current = adjLists[from->number].head;
    while (current != nullptr) {
        if (current->edge->to->number == i) return current->edge->to;
        current = current->next;
    }
```

```
        return nullptr;
    }


    void DFS_START() const noexcept {
        if (NV == 0 || countVertices == 0) {
            return;
        }


        size_t* path = new size_t[countVertices];
        float currentCost = 0.0f;
        size_t pathLength = 0;


        for (size_t i = 0; i != NV; ++i) {
            if (!vertices[i].visited) {
                DFS(i, path, pathLength, currentCost);
            }
            currentCost = 0.0f;
            pathLength = 0;
        }


        delete[] path;
    }


    void setLength(const float& x) {
        length = x;
    }
};
```

Точка входа:

```
#include <iostream>
#include <utility>
#include "graph.h"


typedef std::tuple<char, char, float> E;
```

```
void creating(Graph& g, const char* v, const E* e, const size_t& cV, const
size_t& cE);
void solveWithInput(Graph& g);
void solveWithCycle(Graph& g);


int main() {
    const size_t COUNT_VERTICES_1 = 6;
    const size_t COUNT_EDGES_1 = 8;


    char v1[COUNT_VERTICES_1] = { 'A', 'B', 'C', 'D', 'E', 'F' };
    E e1[COUNT_EDGES_1] = {
        {'A', 'B', 5}, {'A', 'C', 7}, {'B', 'D', 4}, {'C', 'B', 1},
        {'C', 'D', 11}, {'C', 'E', 8}, {'D', 'F', 6}, {'E', 'F', 3}
    };


    Graph graph1(COUNT_VERTICES_1);
    creating(graph1, v1, e1, COUNT_VERTICES_1, COUNT_EDGES_1);
    std::cout << "GRAPH #1\n";
    graph1.showAdjacencyList();
    solveWithInput(graph1);
    // solveWithCycle(graph1);


    // ************************************************************


    const size_t COUNT_VERTICES_2 = 18;
    const size_t COUNT_EDGES_2 = 21;


    char v2[COUNT_VERTICES_2] = {
        'A', 'B', 'C', 'D', 'E', 'F', 'G', 'H', 'I',
        'J', 'K', 'L', 'M', 'N', 'O', 'P', 'Q', 'R'
    };
    E e2[COUNT_EDGES_2] = {
        {'A', 'G', 7}, {'A', 'D', 8}, {'B', 'D', 7}, {'B', 'O', 6},
        {'C', 'P', 13.7}, {'D', 'K', 7.5}, {'E', 'H', 1}, {'F', 'J', 6.3},
```

```
    {'G', 'C', 5.5}, {'I', 'Q', 2}, {'I', 'E', 9}, {'I', 'F', 11.4},
    {'J', 'R', 20}, {'L', 'M', 8.2}, {'L', 'N', 18}, {'M', 'R', 10.3},
    {'N', 'R', 5}, {'O', 'D', 10}, {'O', 'P', 4}, {'P', 'L', 5.5},
    {'Q', 'G', 13}
};


Graph graph2(COUNT_VERTICES_2);
creating(graph2, v2, e2, COUNT_VERTICES_2, COUNT_EDGES_2);
std::cout << "GRAPH #2\n";
graph2.showAdjacencyList();
solveWithInput(graph2);
// solveWithCycle(graph2);


// ************************************************************


const size_t COUNT_VERTICES_3 = 40;
const size_t COUNT_EDGES_3 = 57;


char v3[COUNT_VERTICES_3] = {
    'A', 'B', 'C', 'D', 'E', 'F', 'G', 'H', 'I', 'J',
    'K', 'L', 'M', 'N', 'O', 'P', 'Q', 'R', 'S', 'T',
    'U', 'V', 'W', 'X', 'Y', 'Z', '0', '1', '2', '3',
    '4', '5', '6', '7', '8', '9', '*', '$', '@', '#'
};
E e3[COUNT_EDGES_3] = {
    {'A', 'B', 2}, {'A', 'C', 1}, {'B', 'C', 1}, {'B', 'H', 2},
    {'C', 'G', 2}, {'C', 'F', 8}, {'D', 'A', 15}, {'E', 'D', 4},
    {'E', 'F', 6.7}, {'F', 'D', 3}, {'G', 'F', 7.5}, {'H', 'G', 0.5},
    {'H', 'J', 2}, {'I', 'E', 4}, {'I', 'F', 11}, {'J', '1', 2},
    {'K', 'M', 3}, {'K', 'I', 2}, {'K', 'E', 6}, {'L', 'M', 6},
    {'M', 'I', 0.5}, {'M', 'G', 0.5}, {'M', 'H', 3}, {'M', 'J', 4},
    {'M', '1', 5}, {'N', 'M', 6}, {'O', 'M', 2.3}, {'P', 'M', 40.4},
    {'Q', 'M', 30.1}, {'R', 'M', 20}, {'S', 'M', 19}, {'S', 'T', 2},
    {'T', 'K', 7.3}, {'U', 'X', 15.6}, {'V', 'U', 3.8}, {'W', 'X', 3.8},
    {'X', 'U', 15.6}, {'Y', 'V', 15.6}, {'Y', 'W', 15.6}, {'Z', 'Y', 2},
    {'0', '*', 1}, {'1', '2', 2}, {'2', 'Z', 2}, {'3', '4', 1},
    {'4', '5', 1}, {'5', '6', 1}, {'6', '7', 1}, {'7', '8', 1},
```

```
        {'8', '9', 1}, {'9', '2', 200}, {'9', '0', 1}, {'*', '$', 1},
        {'$', '@', 1}, {'@', '#', 1}, {'#', '3', 1}, {'3', 'T', 3}, {'3', 'S', 5}
    };


    Graph graph3(COUNT_VERTICES_3);
    creating(graph3, v3, e3, COUNT_VERTICES_3, COUNT_EDGES_3);
    std::cout << "GRAPH #3\n";
    graph3.showAdjacencyList();
    solveWithInput(graph3);
    // solveWithCycle(graph3);


    return 0;
}


void creating(Graph& g, const char* v, const E* e, const size_t& cV, const
size_t& cE) {
    for (size_t i = 0; i != cV; ++i) {
        g.ADD_V(v[i]);
    }


    for (size_t i = 0; i != cE; ++i) {
        g.ADD_E(std::get<0>(e[i]), std::get<1>(e[i]), std::get<2>(e[i]));
    }
}


void solveWithInput(Graph& g) {
    float x;
    std::cout << "LENGTH FOR GRAPH: "; std::cin >> x;
    g.setLength(x);
    g.DFS_START();


    std::cout << std::endl;
}


void solveWithCycle(Graph& g) {
```

```
    for (int i = 0; i <= 5e3; ++i) {
        float x = i * 0.1f;
        g.setLength(x);
        g.DFS_START();
    }


    std::cout << std::endl;
}
```

Вывод: в процессе реализации программы для поиска всех незамкнутых путей в ориентированном графе я значительно углубил свои знания в области графов и алгоритмов. Я научился представлять графы с помощью списков смежности, что позволило оптимально организовать данные и оптимизировать доступ к ним. Также понял, как эффективно отслеживать посещённые узлы и управлять состоянием пути, что является важным аспектом работы с графами.

В целом, это задание не только укрепило мои знания в области алгоритмов и структур данных, но и развило критическое мышление и способности к решению проблем.

7. Литература

1) Тюкачев Н. А., Хлебостроев В. Г. - C#. Алгоритмы и структуры данных, стр. 185, 5.7.2. Приближенные алгоритмы раскраски графа
2) Иванов Б. Н. - Дискретная математика. Алгоритмы и программы. Расширенный курс, стр. 356, Глава 7. Теория графов. Алгоритмы на графах
3) Лекции и практики – преподаватель Филатов В. В.