**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Санкт-Петербургский государственный**

**электротехнический университет**

**«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**

**Кафедра МО ЭВМ**

отчет

**по лабораторной работе №2**

**по дисциплине «Построение и анализ алгоритмов»**

Тема: Кратчайшие пути в графах: коммивояжёр

Вариант: 2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студентка гр. 3388 |  | Титкова С.Д. |
| Преподаватель |  | Жангиров Т.Р. |

Санкт-Петербург

2025

**Цель работы:**

Изучить принципы работы алгоритмов на графах. Решить с помощью них задачу Коммивояжёра.

**Задание:**

Решить задачу Коммивояжёра 2 различными способами. Алгоритм Литтла с модификацией: после приведения матрицы, к нижней оценке веса решения добавляется нижняя оценка суммарного веса остатка пути на основе МОД. Приближённый алгоритм: АБС. Начинать АБС со стартовой вершины.

**Реализация**

*Описание алгоритма Литтла с модификацией:*

Задача коммивояжера заключается в нахождении кратчайшего замкнутого маршрута (гамильтонова цикла), проходящего через все вершины полного взвешенного графа ровно один раз с возвращением в начальную точку. Алгоритм Литтла применяет метод ветвей и границ для эффективного поиска такого маршрута, избегая полного перебора всех возможных путей.

Алгоритм начинает с исходной матрицы расстояний между вершинами (городами) и использует редукцию для получения начальной нижней границы стоимости маршрута. Затем он итеративно разбивает задачу на подзадачи (ветвление), оценивает их перспективность через нижние границы и отсекает неперспективные варианты, пока не найдет оптимальный цикл.

Исходные данные представляют собой квадратную матрицу n×n где n — число вершин. Элемент matrix[i][j] — это стоимость пути из вершины i в вершину j, а диагональные элементы (i=j) равны бесконечности (∞), так как петли запрещены.

Выполняется начальная редукция матрицы. Для каждой строки находится минимальное значение (игнорируя ∞) и вычитается из всех элементов строки. Это приводит к появлению хотя бы одного нуля в каждой строке. Аналогично, для каждого столбца находится минимальное значение и вычитается из всех элементов столбца. Сумма всех вычтенных минимальных значений становится начальной нижней границей — минимально возможной стоимостью маршрута.

Создается корневая подзадача с редуцированной матрицей, пустым маршрутом и начальной границей.

Для каждого узла определяется нижняя граница — минимальная стоимость, которую можно достичь, продолжая маршрут из текущего состояния. Используется два подхода для вычисления нижней границы:

1. **Сумма редукций**: исходная граница увеличивается на основе изменений при ветвлении (штрафы или стоимость включенных дуг).
2. **Граф минимального остовного дерева (МОД)**: строится граф на основе текущих кусков маршрута, находящихся в процессе формирования. Вес минимального остова этого графа добавляется к границе, чтобы оценить стоимость соединения оставшихся вершин. Если эта оценка выше текущей границы, она используется как более точная.

На каждом шаге выбирается дуга (ребро) для включения или исключения из маршрута на основе анализа матрицы:

**Выбор дуги**: среди всех ячеек с нулевым значением в матрице определяется та, исключение которой приведет к наибольшему увеличению нижней границы (штраф). Штраф вычисляется как сумма минимальных значений в строке и столбце этой ячейки (исключая саму ячейку). Создаются два потомка:

**Исключение дуги (левый потомок)**: Выбранная дуга запрещается (ее стоимость устанавливается в ∞), а также запрещается дополнительная дуга для предотвращения подциклов. Матрица редуцируется заново, и нижняя граница увеличивается на штраф.

**Включение дуги (правый потомок)**: Выбранная дуга добавляется в маршрут, вся строка и столбец этой дуги запрещаются (заполняются ∞), исключая возможность повторного посещения вершин. Матрица редуцируется, и нижняя граница корректируется на основе новой редукции.

Запрет подциклов: на каждом этапе проверяется, чтобы добавление дуги не замкнуло цикл меньше n вершин. Это достигается выбором дополнительной дуги для запрета в левом потомке, например, обратной дуги на первом шаге или дуги, замыкающей треугольник на последующих.

Все узлы хранятся в очереди с приоритетом, где приоритет определяется нижней границей. На каждой итерации выбирается узел с минимальной нижней границей для дальнейшего ветвления. Если граница узла превышает текущую лучшую стоимость полного маршрута, узел отсекается (не исследуется).

Когда маршрут в узле достигает длины n−1(посещены все вершины кроме одной), проверяется возможность замыкания цикла. Находится последняя вершина и проверяется, существует ли конечный путь от последней вершины маршрута к начальной. Если цикл гамильтонов (посещает все вершины ровно один раз и возвращается в начало), его стоимость вычисляется как сумма весов дуг. Если эта стоимость меньше текущей лучшей, она сохраняется как новый результат.

Алгоритм завершается, когда очередь узлов пуста или найден маршрут, чья стоимость не может быть улучшена (все оставшиеся узлы имеют большую нижнюю границу). Возвращается оптимальный маршрут и его длина.

**Особенности алгоритма**

* **Редукция**: Уменьшение значений в матрице позволяет сосредоточиться на нулевых ячейках, упрощая выбор дуг.
* **Штрафы**: Использование штрафов при исключении дуг помогает отсечь неперспективные ветви.
* **МОД**: Добавление оценки через минимальное остовное дерево улучшает точность нижних границ, ускоряя отсечение.

.

*Описание функций и структур:*

* *Node**–* класс для представления подзадачи в методе ветвей и границ. Хранит состояние каждой подзадачи, включая матрицу, маршрут и оценку, для обработки и ветвления.
  1. *matrix:* Матрица расстояний (n×n) для текущего узла.
  2. *bound:* Нижняя граница стоимости маршрута.
  3. *route:* Список дуг текущего маршрута.
  4. *pieces:* Список кусков маршрута (подпоследовательностей вершин).
  5. *parent:* Ссылка на родительский узел для построения дерева.
  6. *depth:* Глубина узла в дереве поиска.
* *clone\_matrix(matrix)* – метод, который создает копию матрицы расстояний, чтобы изменения в одной подзадаче не влияли на другие
* *row\_mins(matrix)* - метод, который, находит минимальные элементы в каждой строке матрицы для редукции.
* *column\_mins(matrix)* – метод, который находит минимальные элементы в каждом столбце матрицы для редукции.
* *reduce\_rows(matrix, mins)* – метод, который вычитает минимальное значение строки из всех ее элементов.
* *reduce\_columns(matrix, mins)* - метод, который вычитает минимальное значение столбца из всех ее элементов.
* *reduce(matrix)* – метод, который выполняет полную редукцию матрицы и вычисляет начальную нижнюю границу.
* *get\_cell\_with\_max\_penalty(self)* – метод, который определяет дугу для ветвления на основе максимального штрафа
* *get\_lower\_bounds(self)* – метод, который улучшает нижнюю границу с учетом остатка пути
* *get\_acceptable\_edges(self)* – метод, который формирует список ребер для построения графа МОД
* *build\_mod\_graph(self, edges)* – метод, который создает граф для вычисления минимального остова
* *calculate\_mod\_weight(self, mod\_graph)* – метод, который определяет вес минимального остовного дерева
* *is\_hamiltonian\_cycle(route)* – функция, которая проверяет, является ли маршрут замкнутым циклом через все вершины
* *make\_children(min\_node)* – функция, которая генерирует узлы для ветвления
* *little(matrix)* – функия, которая реализует полный процесс поиска оптимального маршрута
* *hierarchy\_pos(G, root=None, width=2., vert\_gap=0.4, vert\_loc=0, xcenter=0.5)* – функия, которая определяет координаты узлов для визуализации дерева поиска
* *visualize\_tree(nodes) –* функия, которая создает графическое представление процесса поиска
* *Main() –* функциясчитывает из файла матрицу и вызывает функцию little. Выводит оптимальный путь и его длину.

*Оценка сложности алгоритма:*

**Временная сложность**: O(n^2⋅2^n) в худшем случае.

*Редукция матрицы*: O(n^2) для каждой строки и столбца (по n элементов).

*Поиск ячейки с максимальным штрафом*: O(n^2) для проверки всех

ячеек и вычисления штрафов.

*Построение МОД:* O(n^2) для создания графа и O(nlogn) для сортировки ребер (в худшем случае O(n^2) из-за числа ребер).

*Количество узлов*: В худшем случае алгоритм исследует все возможные подмножества вершин, что дает O(2^n) узлов.

*Итог:* O(n^2) операций на узел умножается на O(2^n) узлов, что дает O(n^2⋅2^n).

Однако отсечение по границам значительно сокращает количество исследуемых узлов в среднем случае, делая алгоритм эффективнее полного перебора (O(n!)).

**Cложность относительно памяти:** O(n^2 + n2^n)

*Матрица:* O(n^2) для хранения матрицы в каждом узле.

*Очередь узлов*: В худшем случае O(2^n) узлов, каждый из которых хранит матрицу (O(n^2)), маршрут (O(n)), и куски (O(n)).

*Итог:* O(n^2) для корневой матрицы плюс O(n⋅2^n) для хранения маршрутов и кусков в узлах, что упрощается O(n^2+n⋅2^n).

*Описание приближённого алгоритма: АБС:*

Алгоритм ближайшего соседа — это жадный подход, который строит маршрут, на каждом шаге выбирая ближайшую непосещенную вершину, начиная с произвольной точки.

Алгоритм начинает с выбранной начальной вершины и итеративно добавляет к маршруту ближайшую непосещенную вершину, пока все вершины не будут включены. Затем он проверяет возможность возвращения в начальную точку, чтобы замкнуть цикл. Этот метод не гарантирует нахождение оптимального решения, но обеспечивает быстрый и приемлемый результат для многих практических случаев.

Исходные данные представляют собой квадратную матрицу n×n, где n — число вершин. Элемент matrix[i][j] обозначает стоимость пути из вершины i в вершину j, а диагональные элементы (i=j) равны бесконечности (∞), так как петли запрещены.

Выбирается начальная вершина, которая становится первым элементом маршрута.

Создается массив или список для отслеживания посещенных вершин, изначально все вершины, кроме начальной, отмечены как непосещенные.

Для каждой итерации (всего n−1итераций, чтобы добавить оставшиеся вершины). Определяется текущая вершина — последняя добавленная в маршрут. Из матрицы расстояний извлекаются все непосещенные вершины, доступные из текущей вершины, исключая те, пути к которым имеют бесконечную стоимость (∞). Среди доступных вершин выбирается та, расстояние до которой минимально. Если такой вершины нет (все пути бесконечны), алгоритм завершается с ошибкой, так как маршрут невозможен.

Выбранная вершина добавляется в маршрут, и она отмечается как посещенная.

После добавления всех n вершин проверяется возможность возвращения из последней вершины маршрута в начальную. Если путь от последней вершины к начальной имеет бесконечную стоимость, алгоритм завершается с ошибкой, так как гамильтонов цикл невозможен. Если путь конечен, маршрут замыкается добавлением начальной вершины в конец.

Далее рассчитывается суммарная стоимость маршрута:

Для каждой пары последовательных вершин в маршруте берется соответствующее значение из матрицы расстояний.

Добавляется стоимость пути от последней вершины к начальной для завершения цикла.

Итоговая стоимость представляет длину найденного гамильтонова цикла.

Алгоритм возвращает построенный маршрут (список вершин) и его общую стоимость.

Если на каком-либо этапе маршрут не может быть построен (например, из-за бесконечных путей), возвращается индикация неудачи (например, None).

**Особенности**

* **Жадный подход**: Выбор ближайшего соседа на каждом шаге упрощает вычисления, но может привести к субоптимальному решению, так как не учитывает глобальную структуру графа.
* **Проверка бесконечностей**: Алгоритм явно обрабатывает случаи, когда пути имеют бесконечную стоимость, что важно для графов с отсутствующими ребрами.
* **Линейная последовательность**: Маршрут строится последовательно, без возврата к предыдущим решениям, что отличает его от методов полного перебора или ветвей и границ.

*Описание функций и структур:*

* *nearest\_neighbor\_tsp(distance\_matrix, start\_vertex=0)* – функция реализует алгоритм ближайшего соседа для построения гамильтонова цикла.
* *Main()* – функция считывает матрицу и стартовою вершину, запускает основной алгоритм, выводит длину пути и сам путь.

*Оценка сложности алгоритма:*

**Временная сложность**: O(n^2)

*Инициализация:* Создание структуры для отслеживания посещенных вершин занимает O(n).

*Поиск ближайшего соседа*: На каждой из n−1 итераций для текущей вершины проверяются все непосещенные вершины (в худшем случае n вершин), что требует O(n) операций.

*Вычисление стоимости*: Суммирование n n n дуг маршрута занимает O(n) O(n) O(n).

*Итог:* (n−1)⋅O(n)= O(n^2).

**Cложность относительно памяти:** O(n^2)

*Матрица расстояний:* Хранение матрицы n×n требует O(n^2).

*Структура посещенных вершин:* Список из n булевых значений занимает O(n).

*Маршрут:* Список из n+1 вершин (включая возврат) занимает O(n).

*Итог:* O(n^2) для матрицы плюс O(n) для маршрута и посещенных вершин, что упрощается до O(n^2 + n), где O(n^2) доминирует.

*Дополнительные функции:*

* *generate\_matrix(size, max\_weight=50) –* функция генерирует матрицу, заполняя её рандомными значениями.
* *generate\_symmetric\_matrix(size, max\_weight=50) -* функция генерирует симметричную матрицу, заполняя её рандомными значениями.
* *save\_matrix\_to\_file(matrix, filename) –* функция сохраняет матрицу в файл.
* *load\_matrix\_from\_file(filename) –* функция считывает матрицу из файла.

**Тестирование**

Таблица 1. Тестирование.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Входные данные | Выходные данные Литтла | Выходные данные АБС |
| inf 37 27  8 inf 34  12 11 inf | Минимальный путь: [(0, 2), (1, 0), (2, 1)]  Длина пути: 46.0 | Маршрут: [2, 1, 0, 2]  Общее расстояние: 46.0 |
| inf 27 16 12 29  28 inf 23 36 10  12 18 inf 38 22  49 23 18 inf 10  16 1 26 36 inf | Минимальный путь: [(0, 3), (2, 0), (4, 1), (1, 2), (3, 4)]  Длина пути: 58.0 | Маршрут: [2, 0, 3, 4, 1]  Общее расстояние: 58.0 |
| inf 44 47 4 46 9 40 45  1 inf 6 26 46 42 37 46  8 37 inf 30 5 32 36 47  16 38 3 inf 40 6 34 14  20 49 8 25 inf 39 10 3  23 30 43 26 46 inf 18 2  25 20 47 33 18 34 inf 26  36 49 16 15 49 45 35 inf | Минимальный путь: [(6, 1), (2, 4), (1, 0), (4, 6), (5, 7), (0, 3), (3, 5), (7, 2)]  Длина пути: 95.0 | Маршрут: [2, 4, 7, 3, 5, 6, 1, 0, 2]  Общее расстояние: 115.0 |
| inf 23 48 20 16 6 23 44 1  23 inf 41 13 5 13 20 9 49  44 3 inf 47 40 45 36 32 41  26 39 40 inf 33 6 26 50 19  5 5 46 13 inf 19 16 24 29  5 23 17 36 39 inf 25 15 5  33 44 30 29 10 29 inf 10 42  44 22 28 26 13 18 25 inf 18  48 11 9 26 50 8 14 49 inf | Минимальный путь: [(2, 1), (3, 5), (0, 8), (8, 2), (5, 0), (6, 7), (7, 4), (1, 6), (4, 3)]  Длина пути: 95.0 | Маршрут: [2, 1, 4, 0, 8, 5, 7, 6, 3, 2]  Общее расстояние: 131.0 |
| inf 10 37 49 44  10 inf 20 19 50  37 20 inf 22 50  49 19 22 inf 34  44 50 50 34 inf | Минимальный путь: [(0, 1), (3, 4), (4, 0), (1, 2), (2, 3)]  Длина пути: 130.0 | Маршрут: [2, 1, 0, 4, 3]  Общее расстояние: 130.0 |
| inf 14 6 31 32 1 43 50 6  14 inf 49 30 44 5 36 41 25  6 49 inf 43 38 38 18 17 33  31 30 43 inf 12 40 27 17 22  32 44 38 12 inf 49 7 32 28  1 5 38 40 49 inf 45 29 40  43 36 18 27 7 45 inf 3 8  50 41 17 17 32 29 3 inf 1  6 25 33 22 28 40 8 1 inf | Минимальный путь: [(2, 0), (5, 1), (0, 5), (3, 4), (4, 6), (8, 7), (1, 3), (6, 8), (7, 2)]  Длина пути: 87.0 | Маршрут: [2, 0, 5, 1, 8, 7, 6, 4, 3]  Общее расстояние: 103.0 |

**Вывод**

В ходе лабораторной работы была написана программа с использованием модифицированного алгоритма Литтла и алгоритма ближайшего соседа. На основании тестирования, можно сказать, что первый алгоритм более точный, нежели жадный алгоритм.

**Исходный код программы см. в ПРИЛОЖЕНИИ А.**

**ПРИЛОЖЕНИЕ А.**

**ИСХОДНЫЙ КОД ПРОГРАММЫ**

Little.py

import random

import matplotlib

matplotlib.use('Agg')

import math

import networkx as nx

import matplotlib.pyplot as plt

DEBUG = False

class Node:

def \_\_init\_\_(self, matrix, bound, route, pieces, parent=None, depth=0):

self.matrix = matrix

self.bound = bound

self.route = route

self.pieces = pieces

self.parent = parent

self.depth = depth

@staticmethod

def clone\_matrix(matrix):

return [row[:] for row in matrix]

@staticmethod

def row\_mins(matrix):

return [min(row) for row in matrix]

@staticmethod

def column\_mins(matrix):

return [min(matrix[i][j] for i in range(len(matrix))) for j in range(len(matrix[0]))]

@staticmethod

def reduce\_rows(matrix, mins):

for i in range(len(matrix)):

if math.isfinite(mins[i]):

matrix[i] = [cell - mins[i] for cell in matrix[i]]

@staticmethod

def reduce\_columns(matrix, mins):

for j in range(len(matrix[0])):

if math.isfinite(mins[j]):

for i in range(len(matrix)):

matrix[i][j] -= mins[j]

@staticmethod

def reduce(matrix):

row\_mins = Node.row\_mins(matrix)

Node.reduce\_rows(matrix, row\_mins)

col\_mins = Node.column\_mins(matrix)

Node.reduce\_columns(matrix, col\_mins)

return sum(val for val in row\_mins if math.isfinite(val)) + sum(val for val in col\_mins if math.isfinite(val))

def get\_cell\_with\_max\_penalty(self):

max\_penalty = -math.inf

cell\_with\_max\_penalty = None

if DEBUG:

print("Поиск ячейки с максимальной штрафной стоимостью:")

for i in range(len(self.matrix)):

for j in range(len(self.matrix[i])):

if self.matrix[i][j] == 0:

row\_min = min(

(self.matrix[i][k] for k in range(len(self.matrix[i])) if k != j),

default=math.inf

)

col\_min = min(

(self.matrix[k][j] for k in range(len(self.matrix)) if k != i),

default=math.inf

)

penalty = row\_min + col\_min

if penalty > max\_penalty:

max\_penalty = penalty

cell\_with\_max\_penalty = (i, j, max\_penalty)

if DEBUG:

print(f" Ячейка ({i}, {j}): штраф {penalty}")

if DEBUG:

print(f" Ячейка с максимальной штрафной стоимостью: {cell\_with\_max\_penalty}\n")

return cell\_with\_max\_penalty

def get\_lower\_bounds(self):

if DEBUG:

print("Вычисление нижней оценки на основе графа МОД:")

dopustimye\_dugi = self.get\_acceptable\_edges()

mod\_graph = self.build\_mod\_graph(dopustimye\_dugi)

bound2 = self.calculate\_mod\_weight(mod\_graph)

if DEBUG:

print(f" Нижняя оценка: {bound2}\n")

return bound2

def get\_acceptable\_edges(self):

acceptable\_edges = []

for i in range(len(self.pieces)):

for j in range(i + 1, len(self.pieces)):

u, v = self.pieces[i][-1], self.pieces[j][0]

if u != v and math.isfinite(self.matrix[u][v]):

acceptable\_edges.append((u, v))

u, v = self.pieces[j][-1], self.pieces[i][0]

if u != v and math.isfinite(self.matrix[u][v]):

acceptable\_edges.append((u, v))

return acceptable\_edges

def build\_mod\_graph(self, edges):

if DEBUG:

print("Построение графа МОД:")

mod\_graph = {}

for edge in edges:

if edge[0] not in mod\_graph:

mod\_graph[edge[0]] = []

if edge[1] not in mod\_graph:

mod\_graph[edge[1]] = []

mod\_graph[edge[0]].append((edge[1], self.matrix[edge[0]][edge[1]]))

mod\_graph[edge[1]].append((edge[0], self.matrix[edge[0]][edge[1]]))

if DEBUG:

print(f" Граф МОД: {mod\_graph}\n")

return mod\_graph

def calculate\_mod\_weight(self, mod\_graph):

mod\_weight = 0

used\_edges = set()

edges = []

for node in mod\_graph:

for edge in mod\_graph[node]:

if math.isfinite(edge[1]):

edges.append((edge[1], node, edge[0]))

edges.sort()

for edge in edges:

if (edge[1], edge[2]) not in used\_edges and (edge[2], edge[1]) not in used\_edges:

mod\_weight += edge[0]

used\_edges.add((edge[1], edge[2]))

used\_edges.add((edge[2], edge[1]))

return mod\_weight

def is\_hamiltonian\_cycle(route):

if DEBUG:

print("Проверка на гамильтонов цикл:")

if len(route) != len(set(route)):

if DEBUG:

print(" Не гамильтонов цикл: длина маршрута не соответствует количеству уникальных вершин.")

return False

graph = {}

for u, v in route:

graph[u] = v

visited = set()

current = route[0][0]

while current not in visited:

visited.add(current)

if current not in graph:

if DEBUG:

print(" Не гамильтонов цикл: не все вершины посещены.")

return False

current = graph[current]

if len(visited) == len(graph):

if DEBUG:

print(" Гамильтонов цикл найден.\n")

return True

else:

if DEBUG:

print(" Не гамильтонов цикл: не все вершины посещены.\n")

return False

def make\_children(min\_node):

if DEBUG:

print("Создание потомков:")

row, column, left\_penalty = min\_node.get\_cell\_with\_max\_penalty()

if row is None or column is None:

return []

left\_matrix = Node.clone\_matrix(min\_node.matrix)

left\_matrix[row][column] = math.inf

left\_route = min\_node.route[:]

left\_pieces = [piece[:] for piece in min\_node.pieces]

forbidden\_row, forbidden\_col = None, None

if min\_node.depth == 0:

forbidden\_row, forbidden\_col = column, row

else:

for piece in left\_pieces:

if piece[-1] == row:

piece.append(column)

break

else:

left\_pieces.append([row, column])

for piece in left\_pieces:

if len(piece) >= 3:

if piece[-2] == row and piece[-1] == column:

for other\_piece in left\_pieces:

if other\_piece != piece and other\_piece[0] != piece[-1]:

forbidden\_row, forbidden\_col = piece[-1], other\_piece[0]

break

if forbidden\_row is None:

forbidden\_row, forbidden\_col = piece[-1], piece[0]

break

if forbidden\_row is None or forbidden\_col is None:

forbidden\_row, forbidden\_col = column, row

if forbidden\_row is not None and forbidden\_col is not None:

left\_matrix[forbidden\_row][forbidden\_col] = math.inf

Node.reduce(left\_matrix)

left\_bound = min\_node.bound + left\_penalty

left\_child = Node(left\_matrix, left\_bound, left\_route, left\_pieces, parent=min\_node, depth=min\_node.depth + 1)

right\_matrix = Node.clone\_matrix(min\_node.matrix)

right\_matrix[column][row] = math.inf

for i in range(len(right\_matrix)):

right\_matrix[row][i] = math.inf

right\_matrix[i][column] = math.inf

right\_route = min\_node.route + [(row, column)]

right\_penalty = Node.reduce(right\_matrix)

right\_bound = min\_node.bound + right\_penalty

right\_pieces = [piece[:] for piece in min\_node.pieces]

for piece in right\_pieces:

if piece[-1] == row:

piece.append(column)

break

else:

right\_pieces.append([row, column])

right\_child = Node(right\_matrix, right\_bound, right\_route, right\_pieces, parent=min\_node, depth=min\_node.depth + 1)

if DEBUG:

print(f" Левый потомок: граница {left\_bound}, маршрут {left\_route}, запрещена дуга ({forbidden\_row}, {forbidden\_col})")

print(f" Правый потомок: граница {right\_bound}, маршрут {right\_route}")

return [left\_child, right\_child]

def little(matrix):

if DEBUG:

print("Запуск алгоритма Little:")

root\_matrix = Node.clone\_matrix(matrix)

min\_bound = Node.reduce(root\_matrix)

root = Node(root\_matrix, min\_bound, [], [[0]])

priority\_queue = [root]

record = None

nodes\_for\_graph = []

while priority\_queue:

if DEBUG:

print("Выбор узла с минимальной границей:")

min\_node = min(priority\_queue, key=lambda node: node.bound)

priority\_queue.remove(min\_node)

nodes\_for\_graph.append(min\_node)

if DEBUG:

print(f" Узел с минимальной границей: граница {min\_node.bound}, маршрут {min\_node.route}\n")

if record is not None and record['length'] <= min\_node.bound:

if DEBUG:

print("Остановка алгоритма: найден оптимальный маршрут.")

break

if len(min\_node.route) == len(matrix) - 1:

if DEBUG:

print("Построение полного маршрута:")

for row in range(len(matrix)):

for column in range(len(matrix)):

if math.isfinite(min\_node.matrix[row][column]):

min\_node.bound += min\_node.matrix[row][column]

min\_node.route.append((row, column))

if is\_hamiltonian\_cycle(min\_node.route):

if record is None or record['length'] > min\_node.bound:

record = {'length': min\_node.bound, 'route': min\_node.route}

if DEBUG:

print(f"Найден оптимальный маршрут: длина {record['length']}, маршрут {record['route']}\n")

else:

if DEBUG:

print("Вычисление нижней оценки:")

lower\_bound = min\_node.get\_lower\_bounds()

if lower\_bound > min\_node.bound:

min\_node.bound = lower\_bound

if DEBUG:

print(f" Обновлена граница узла: {min\_node.bound}\n")

left\_child, right\_child = make\_children(min\_node)

priority\_queue.append(left\_child)

priority\_queue.append(right\_child)

return record, nodes\_for\_graph

def hierarchy\_pos(G, root=None, width=2., vert\_gap=0.4, vert\_loc=0, xcenter=0.5):

if not nx.is\_tree(G):

raise TypeError('cannot use hierarchy\_pos on a graph that is not a tree')

if root is None:

if isinstance(G, nx.DiGraph):

root = next(iter(nx.topological\_sort(G)))

else:

root = random.choice(list(G.nodes))

def \_hierarchy\_pos(G, root, width=1., vert\_gap=0.2, vert\_loc=0, xcenter=0.5, pos=None, parent=None):

if pos is None:

pos = {root: (xcenter, vert\_loc)}

else:

pos[root] = (xcenter, vert\_loc)

children = list(G.neighbors(root))

if not isinstance(G, nx.DiGraph) and parent is not None:

children.remove(parent)

if len(children) != 0:

dx = width / len(children)

nextx = xcenter - width / 2 - dx / 2

for child in children:

nextx += dx

pos = \_hierarchy\_pos(G, child, width=dx, vert\_gap=vert\_gap,

vert\_loc=vert\_loc - vert\_gap, xcenter=nextx, pos=pos,

parent=root)

return pos

return \_hierarchy\_pos(G, root, width, vert\_gap, vert\_loc, xcenter)

def visualize\_tree(nodes):

G = nx.DiGraph()

root\_node = None

for node in nodes:

G.add\_node(id(node), label=f"B:{node.bound:.0f}, R:{node.route}")

if node.parent:

G.add\_edge(id(node.parent), id(node))

else:

root\_node = node

pos = hierarchy\_pos(G, root=id(root\_node), width=4, vert\_gap=0.8)

labels = {node\_id: G.nodes[node\_id]['label'] for node\_id in G.nodes()}

plt.figure(figsize=(20, 12)) # Increased figure size

nx.draw(G, pos, with\_labels=False, node\_size=2000, node\_color='lightblue', font\_size=10,

arrowsize=20)

nx.draw\_networkx\_labels(G, pos, labels=labels, font\_size=10)

plt.title("Search Tree", fontsize=16)

plt.savefig("search\_tree.png")

print("График сохранен в search\_tree.png")

NN.py

import math  
  
DEBUG = False  
  
def nearest\_neighbor\_tsp(distance\_matrix, start\_vertex=0):  
 n = len(distance\_matrix)  
 visited = [False] \* n  
 route = [start\_vertex]  
 visited[start\_vertex] = True  
  
 if DEBUG:  
 print("Начало поиска маршрута ближайшего соседа.")  
 print(f" Матрица расстояний: {distance\_matrix}")  
 print(f" Начальный город: {start\_vertex}")  
  
 for \_ in range(n - 1):  
 last\_city = route[-1]  
  
 if DEBUG:  
 print(f"\nИщем ближайшего соседа для города {last\_city}...")  
 eligible\_neighbors = [(i, distance\_matrix[last\_city][i]) for i in range(n) if not visited[i] and distance\_matrix[last\_city][i] != math.inf]  
  
 if DEBUG:  
 print(f" Возможные соседи: {eligible\_neighbors}")  
  
 nearest\_city = min(eligible\_neighbors, key=lambda x: x[1], default=(None, math.inf))  
  
 if nearest\_city[0] is None:  
 print("Невозможно найти путь без бесконечностей.")  
 return None, None  
  
 if DEBUG:  
 print(f" Ближайший город: {nearest\_city[0]} (расстояние: {nearest\_city[1]})")  
  
 route.append(nearest\_city[0])  
 visited[nearest\_city[0]] = True  
  
 if distance\_matrix[route[-1]][start\_vertex] == math.inf:  
 print("Невозможно вернуться в начальный город без бесконечностей.")  
 return None, None  
  
 total\_distance = 0  
 for i in range(n - 1):  
 total\_distance += distance\_matrix[route[i]][route[i + 1]]  
 total\_distance += distance\_matrix[route[-1]][start\_vertex]  
  
 if DEBUG:  
 print(f"\nЗавершен поиск маршрута.")  
   
 return route, total\_distance

matrix.py

import random  
import math  
DEBUG = 0  
  
def generate\_matrix(size, max\_weight=50):  
 matrix = [[math.inf if i == j else random.randint(1, max\_weight) for j in range(size)] for i in range(size)]  
 return matrix  
def generate\_symmetric\_matrix(size, max\_weight=50):  
 matrix = [[math.inf if i == j else 0 for j in range(size)] for i in range(size)]  
 for i in range(size):  
 for j in range(i + 1, size):  
 weight = random.randint(1, max\_weight)  
 matrix[i][j] = weight  
 matrix[j][i] = weight  
 return matrix  
  
  
def save\_matrix\_to\_file(matrix, filename):  
 with open(filename, 'w') as file:  
 for row in matrix:  
 file.write(' '.join(map(str, row)) + '\n')  
  
  
def load\_matrix\_from\_file(filename):  
 matrix = []  
 try:  
 with open(filename, 'r') as file:  
 for line in file:  
 row = list(map(lambda x: float(x) if x != 'inf' else math.inf, line.split()))  
 matrix.append(row)  
  
 n = len(matrix)  
 if not all(len(row) == n for row in matrix):  
 print("Ошибка: Матрица не квадратная (число столбцов не равно числу строк).")  
 return None  
  
 for i in range(n):  
 for j in range(n):  
 if i == j:  
 if not math.isinf(matrix[i][j]):  
 print(  
 f"Ошибка: Элемент на диагонали ({i}, {j}) должен быть бесконечностью, а не {matrix[i][j]}.")  
 return None  
 else:  
 if matrix[i][j] < 0:  
 print(  
 f"Ошибка: Элемент ({i}, {j}) = {matrix[i][j]} отрицательный, ожидается неотрицательное значение.")  
 return None  
 if math.isnan(matrix[i][j]):  
 print(f"Ошибка: Элемент ({i}, {j}) содержит NaN, что недопустимо.")  
 return None  
  
 if DEBUG:  
 print(f"Матрица успешно загружена из файла {filename} и проверена на корректность.")  
 return matrix  
  
 except FileNotFoundError:  
 print(f"Ошибка: Файл {filename} не найден.")  
 return None  
 except ValueError:  
 print("Ошибка: В файле содержатся некорректные значения (не числа).")  
 return None

main.py

from Little import little,visualize\_tree  
from matrix import generate\_matrix, generate\_symmetric\_matrix,save\_matrix\_to\_file,load\_matrix\_from\_file  
from NN import nearest\_neighbor\_tsp  
  
print("Введите размер матрицы:")  
size = int(input())  
print("1 - Симметричная")  
print("2 - Обычная")  
type = int(input())  
  
if type == 1:  
 matrix = generate\_symmetric\_matrix(size)  
elif type == 2:  
 matrix = generate\_matrix(size)  
  
print("Сгенерированная матрица:")  
for row in matrix:  
 print(row)  
filename = 'matrix.txt'  
save\_matrix\_to\_file(matrix, filename)  
print(f"Матрица сохранена в файл {filename}")  
  
print(" ")  
matrix = load\_matrix\_from\_file('matrix.txt')  
result, nodes = little(matrix)  
print("Модифицированный алгоритм Литтла:")  
print(f"Минимальный путь: {result['route']}")  
print(f"Длина пути: {result['length']}")  
visualize\_tree(nodes)  
  
print(" ")  
print("Алгоритм АБС:")  
print("Введите стартовую вершину:")  
start\_vertex = int(input())  
route, distance = nearest\_neighbor\_tsp(matrix, start\_vertex)  
print(f"Маршрут: {route}")  
print(f"Общее расстояние: {distance}")