Факультет программной инженерии и компьютерной техники

Системы искусственного интеллекта

Лабораторная работа №2

Вариант № 4

Преподаватель: Болдырева Елена Александровна

Выполнили: Кульбако Артемий Юрьевич P33113

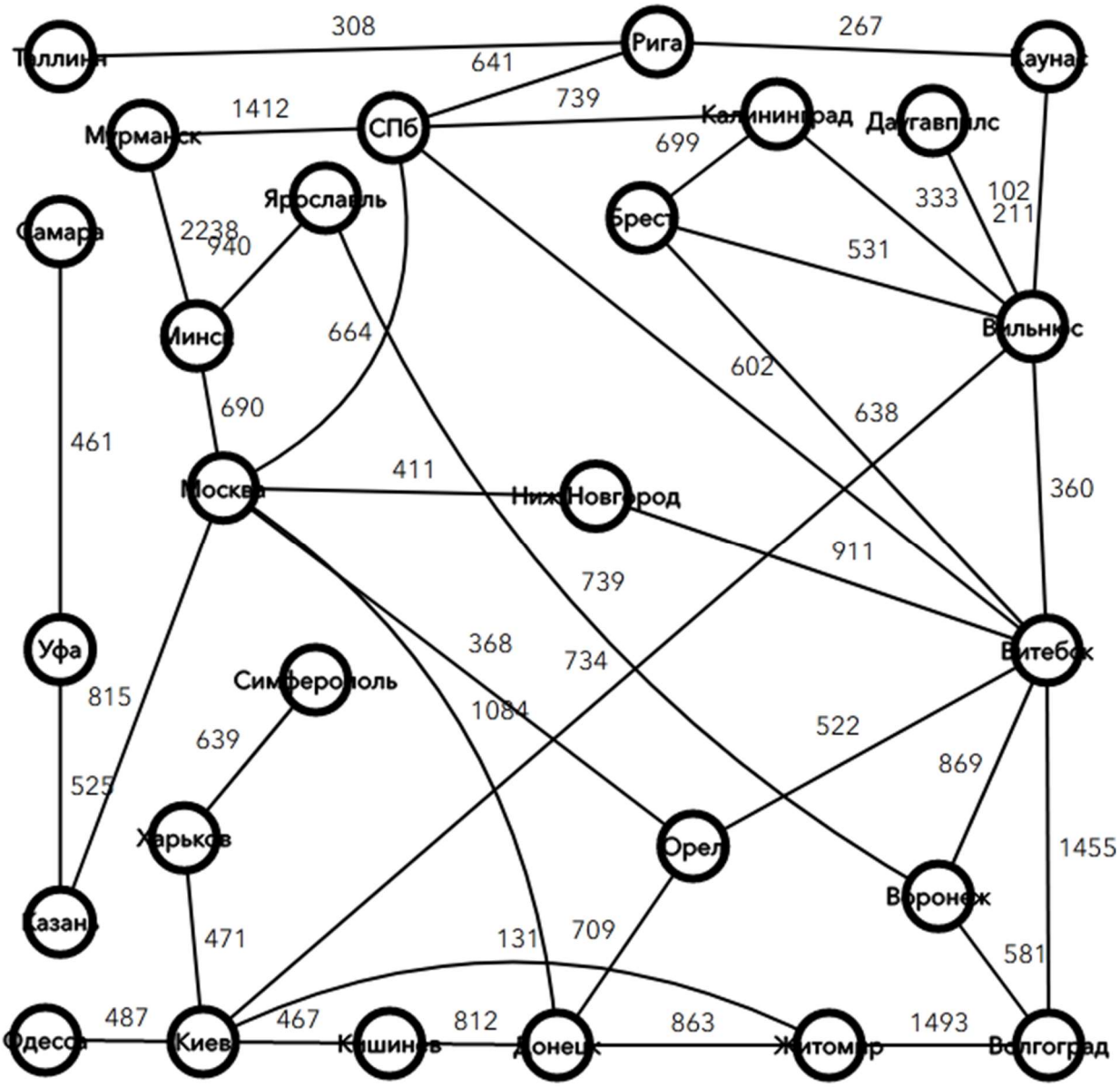
Санкт-Петербург
2020

Задание

Исследование алгоритмов решения задач методом поиска.

Путь от Риги до Уфы.

Граф



Код

App.kt

```
import GraphsAlgorithms.A_StarSearch
import GraphsAlgorithms.bestFirstSearch
import GraphsAlgorithms.bidirectionalSearch
import GraphsAlgorithms.breadthFirstSearch
import GraphsAlgorithms.depthFirstSearch
import GraphsAlgorithms.depthLimitSearch
import GraphsAlgorithms.iterativeDeepeningDepthFirstSearch
import java.io.File
```

```kotlin
fun main(args: Array<String>) {
    val root = "V:/itmo/3 course/artificial intelligence systems/lab2-16.09.20/docs/"
    val vertices = File("${root}heuristics.txt").readLines().map { it.split(" ") }
        .map { Vertex(it[0]).apply { this.h = it[1].toInt() } }.toSet()
    File("${root}graphData.txt").readLines().map { it.split(" ") }.forEach { r ->
        val (a, b) = vertices.filter { it.name == r[0] || it.name == r[1] }
        a.link(b, r[2].toInt())
    }
    val (a, b) = vertices.filter { it.name == "Рига" || it.name == "Уфа" }
    println("""
        DFS ${depthFirstSearch(a, b)}
        BFS ${breadthFirstSearch(a, b)}
        DLS ${depthLimitSearch(a, b, 5)}
        IDDFS ${iterativeDeepeningDepthFirstSearch(a, b)}
        BDS ${bidirectionalSearch(a, b)}
        BFS ${bestFirstSearch(a, b)}
        A* ${A_StarSearch(a, b)}
    """.trimIndent()
    )
}
```

Vertex.kt

```kotlin
/**
 * Вершина графа. [name] - название вершины.
 * @author Кульбако Артемий
 */
data class Vertex(val name: String): Comparable<Vertex> {

    private val neighbors = mutableMapOf<Vertex, Int>()
    var g = 0
    set(value) {
        field += value
        f = value + h
    }
    var h = 0
    set(value) {
        field = value
        f = value + g
    }
    var f = 0
        private set

    /**
     * Соединить вершину с вершиной [v]. [length] - вес ребра.
     */
    fun link(v: Vertex, length: Int) {
        this.neighbors[v] = length
        v.neighbors[this] = length
    }

    /**
     * Соединить вершину с вершиной [v].
     */
    //В предыдущей реализации параметр по умолчанию не использовался, чтобы
```

```
сохранить инфиксную форму.
    infix fun link(v: Vertex) = link(v, 1)

    /**
     * Разорвать связь с вершиной [v].
     */
    infix fun unlink(v: Vertex) {
        this.neighbors.remove(v)
        v.neighbors.remove(this)
    }

    /**
     * @return прямых соседей вершины, без возможности редактировать их, во
избежание нарушения целостности графа.
     */
    fun getNeighbors() = this.neighbors.toMap()

    /**
     * @return является ли [neighbor] прямым соседом вершины.
     */
    operator fun contains(neighbor: Vertex) = neighbors.containsKey(neighbor)

    override fun compareTo(other: Vertex) = this.f - other.f
}
```

GraphsAlgorithms.kt

```
import java.util.*

/**
 * Содержит методы для поиска пути в графе.
 * @author Кульбако Артемий.
 */
object GraphsAlgorithms {

    /**
     * Алгоритм поиск в глубину на графах.
     * @return путь от [start] до [finish] и его длину.
     * @link https://ru.haru-atari.com/blog/17-algorithms-on-graphs-deep-
first-search-dfs-dls-iddfs
     * @link https://stackoverflow.com/questions/12864004/tracing-and-
returning-a-path-in-depth-first-search
     */
    fun depthFirstSearch(start: Vertex, finish: Vertex, limit: Int =
Int.MAX_VALUE): Pair<List<Vertex>, Int> {
        val path = Stack<Vertex>()
        //необходимо использовать вложенную функцию, чтобы создать замыкания
для переменной path
        fun innerDFS(current: Vertex, limit: Int, visited: Set<Vertex> =
setOf()): Boolean =
            when {
                current == finish -> true
                limit == 0 -> false
                else -> {
                    current.getNeighbors().keys.filter { it !in visited
}.forEach {
                        if (innerDFS(it, limit - 1, visited + current)) {
                            path.push(it)
```

```
                            return true
                        } }
                    false
                }
            }
        innerDFS(start, limit)
        path.push(start) //добавляем в начало пути вершину, из которой начали
поиск
        return path.reversed() to path.size - 1 //вычитаем из длины пути
вершину, из которой начали поиск
    }

    /**
     * Алгоритм поиска в ширину на графах.
     * @return путь от [start] до [finish] и его длину.
     * @link https://www.fandroid.info/8-5-osnovy-kotlin-grafy/4/
     * @link https://brestprog.by/topics/bfs/
     */
    fun breadthFirstSearch(start: Vertex, finish: Vertex): Pair<List<Vertex>,
Int> {
        val queue = Stack<Vertex>().apply { this.push(start) }
        val parents = mutableMapOf<Vertex, Vertex?>(start to null) //ключ -
вершина, значение - родитель
        val visited = mutableSetOf(start)
        while (queue.isNotEmpty()) {
            val next = queue.pop()
            visited.add(next)
            if (next == finish) {
                val path = generateSequence(next) { parents[it]
}.toList().reversed()
                return path to path.size - 1
            }
            next.getNeighbors().keys.filter { it !in visited }.forEach {
                queue.add(it)
                parents[it] = next
            } }
        return listOf(start) to 0
    }

    /**
     * Алгоритм поиск в глубину на графах с ограничением глубины [limit].
     * @return путь от [start] до [finish] и его длину.
     */
    fun depthLimitSearch(start: Vertex, finish: Vertex, limit: Int) =
depthFirstSearch(start, finish, limit)

    /**
     * Алгоритм поиск с итеративным углублением. Использует в своей
реализации [breadthFirstSearch].
     * @return путь от [start] до [finish] и его длину.
     */
    fun iterativeDeepeningDepthFirstSearch(start: Vertex, finish: Vertex):
Pair<List<Vertex>, Int> =
        generateSequence(1) { it + 1 }.map { depthFirstSearch(start, finish,
it) }.find { it.first.size > 1 }?: listOf(start) to 0

    /**
     * Алгоритм двунаправленного поиск в графе.
     * @return путь от [start] до [finish] и его длину.
```

```
     * @link https://www.geeksforgeeks.org/bidirectional-search/
     */
    fun bidirectionalSearch(start: Vertex, finish: Vertex):
Pair<List<Vertex>, Int> {
        val sData = Triple(
            mutableListOf(start),                                   //очередь
            mutableSetOf(start),                                    //посещённые
вершины
            mutableMapOf<Vertex, Vertex?>(start to null)        //родители
        )
        val fData = Triple(
            mutableListOf(finish),
            mutableSetOf(finish),
            mutableMapOf<Vertex, Vertex?>(finish to null)
        )
        fun innerBFS(vertexData: Triple<MutableList<Vertex>,
MutableSet<Vertex>, MutableMap<Vertex, Vertex?>>) {
            val current = vertexData.first.first()
            vertexData.first.removeFirst()
            current.getNeighbors().keys.filter { it !in vertexData.second
}.forEach {
                vertexData.third[it] = current
                vertexData.second.add(it)
                vertexData.first.add(it)
            }
        }
        while (sData.first.isNotEmpty() && fData.first.isNotEmpty()) {
            innerBFS(sData)
            innerBFS(fData)
            val intersectVertices = sData.second intersect fData.second
            if (intersectVertices.isNotEmpty()) {
                val path = mutableListOf(intersectVertices.first())
                fun buildHalfPath(v: Vertex, data:
Triple<MutableList<Vertex>, MutableSet<Vertex>, MutableMap<Vertex, Vertex?>>)
{
                    var intersect = intersectVertices.first()
                    while (intersect != v) {
                        val parent = data.third[intersect]?: break
                        path.add(parent)
                        intersect = parent
                    }
                }
                buildHalfPath(start, sData)
                path.reverse()
                buildHalfPath(finish, fData)
                return path to path.size - 1
            }
        }
        return listOf(start) to 0
    }

    private fun buildInformPath(parents: Map<Vertex, Vertex?>, lastVertex:
Vertex?): Pair<List<Vertex>, Int> {
        var current = lastVertex
        val path = mutableListOf<Vertex>()
        var roadLength = 0
        while (current != null) {
            path.add(current)
            val parent = parents[current]
```

```
            roadLength += current.getNeighbors()[parent]?: 0
            current = parent
        }
        return path.reversed() to roadLength
    }

    /**
     * Алгоритм жадного поиска на графах по первому наилучшему соответствию.
     * @return путь от [start] до [finish] и его длину.
     * @link https://www.annytab.com/best-first-search-algorithm-in-python/
     */
    fun bestFirstSearch(start: Vertex, finish: Vertex): Pair<List<Vertex>,
Int> {
        val queue = mutableListOf(start)
        val visited = mutableSetOf<Vertex>()
        val parents = mutableMapOf<Vertex, Vertex?>(start to null)
        while (queue.isNotEmpty()) {
            queue.sortByDescending { it.h }
            /*
            Перевернуть очередь необходимо, т.к. я по ошибке определил
эвристику в виде пути по прямой от Риги до Уфы,
            а не от Уфы до Риги. Без него алгоритм всё-равно отработает
верно, но с большим количеством шагов
             */
            val current = queue.removeFirstOrNull()
            visited.add(current!!)
            if (current == finish) return buildInformPath(parents, current)
            current.getNeighbors().keys.filter { it !in visited }.forEach { v
->
                if (queue.none { v == it && v.h >= it.h }) {
                    queue.add(v)
                    parents[v] = current
                }
            }
        }
        return listOf(start) to 0
    }

    /**
     * Поиск методом минимизации суммарной оценки A* на графах.
     * @return путь от [start] до [finish] и его длину.
     * @link https://medium.com/@nicholas.w.swift/easy-a-star-pathfinding-
7e6689c7f7b2
     */
    fun A_StarSearch(start: Vertex, finish: Vertex): Pair<List<Vertex>, Int>
{
        //используем очередь с приоритетом, чтобы автоматически сортировать
очередь по параметру Vertex.f
        val queue = PriorityQueue<Vertex>().apply { this.add(start) }
        val visited = mutableSetOf<Vertex>()
        val parents = mutableMapOf<Vertex, Vertex?>(start to null)
        while (queue.isNotEmpty()) {
            val current = queue.poll()
            visited.add(current)
            if (current == finish) return buildInformPath(parents, current)
            current.getNeighbors().keys.filter { it !in visited }.forEach { v
->
                v.g = current.getNeighbors()[v]?: 0
                if (queue.none { v == it && v.g >= it.g }) {
```

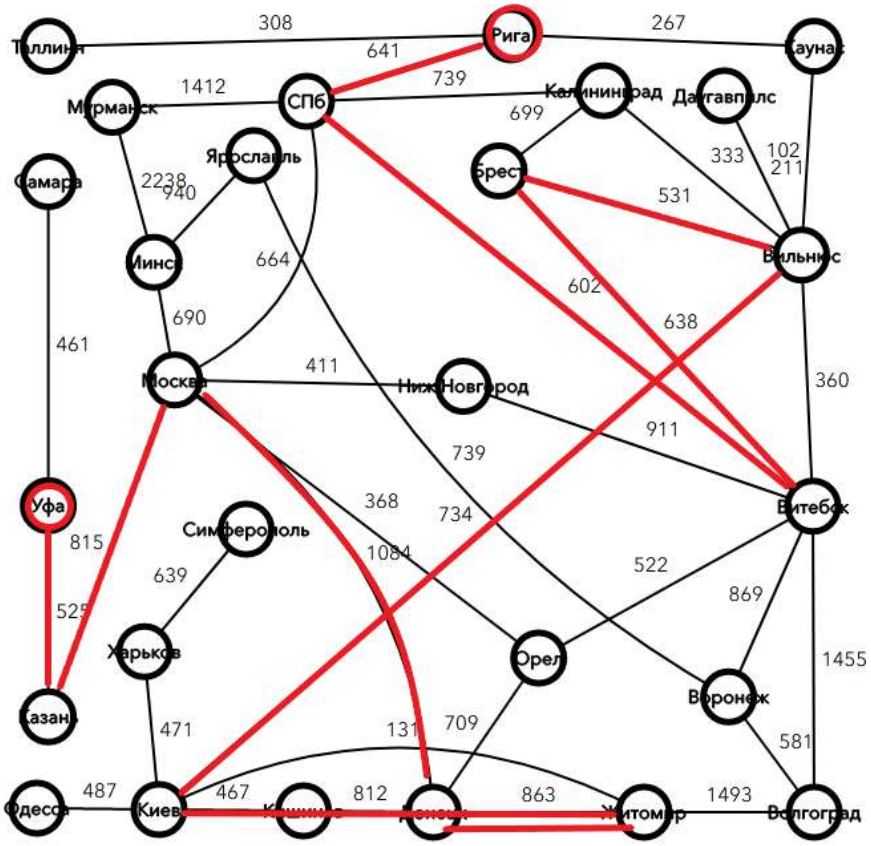
```
                    queue.add(v)
                    parents[v] = current
                }
            }
        }
        return listOf(start) to 0
    }
}
```

Вывод

Т.к. последовательность действий можно выразить в виде дерева решений, именно такой подход часто используют в системах искусственного интеллекта для принятия решений. В лабораторной работе необходимо было реализовать простой ИИ, принимающий решение, в какую из вершин графа двигаться, чтобы достичь цели. Основными вопросами, которыми он задаётся являются «Посещена ли вершина?» и «Лучшая ли это вершина из доступных для посещения?» (второй вопрос актуален только для информированного поиска). Для реализации подобного поведения часто используется структура данных «Очередь с приоритетом», где в голове очереди находится самый «выгодный» с точки зрения алгоритма элемент. Так как ответить на эти вопросы не всегда является возможным или возможным однозначно, не все алгоритмы принятия решений являются полными (т.е. могут найти ответ).

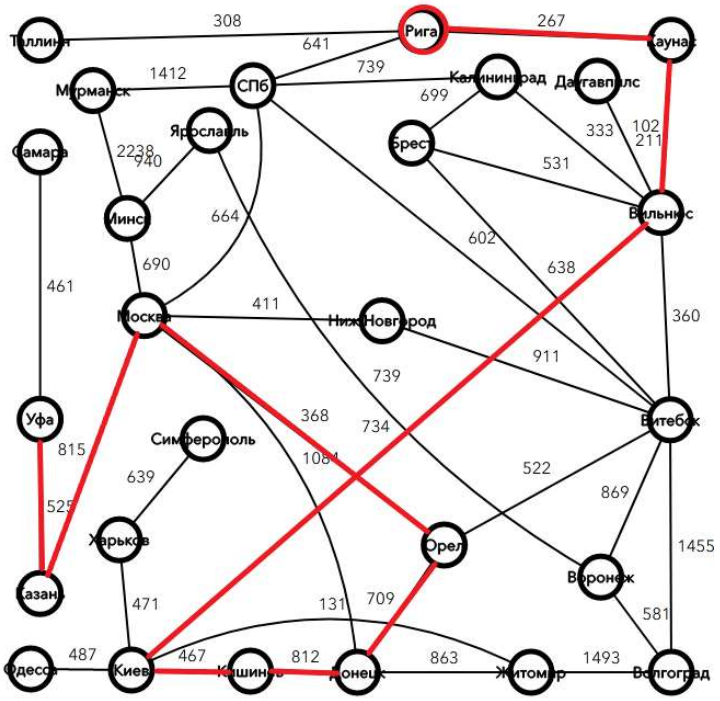
DFS

Т.к. этот алгоритм обладает информацией только о связях между вершинами, его дерево решений будет самым объёмным, ибо следующий рассматриваемый узел будет браться случайным образом, следовательно путь от начала до него может быть не оптимальным (в виду отсутствия эвристической оценки, отображать дерево решений смысла нет).



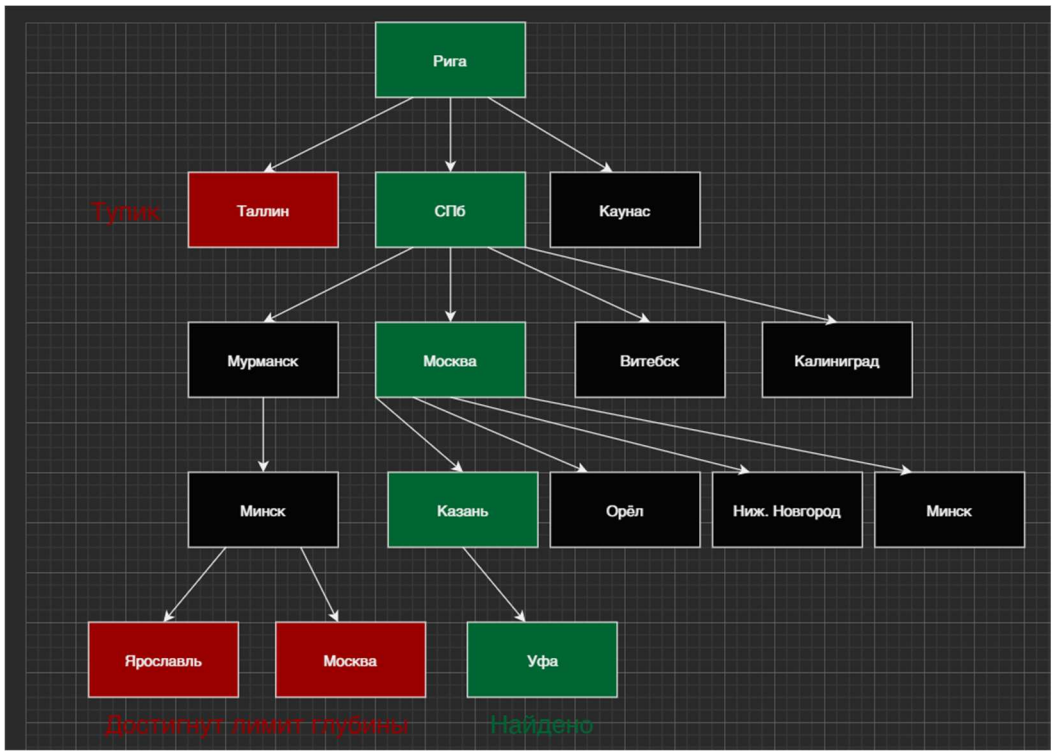
BFS

BFS отличается от DFS порядком обхода вершин, но также не принимает решений, основанный на оценки пройденного пути до вершины. Быстрее обнаружит решение на неглубоких уровнях, но также может пойти по неоптимальному пути и выдать это за решение.



DLS

DLS поступит умнее. Как только будет достигнуть ограничительная глубина, цепочка поиск будет разорвана и будет предпринята попытка найти другой путь. Запустим алгоритм с ограничением в 4 шага.

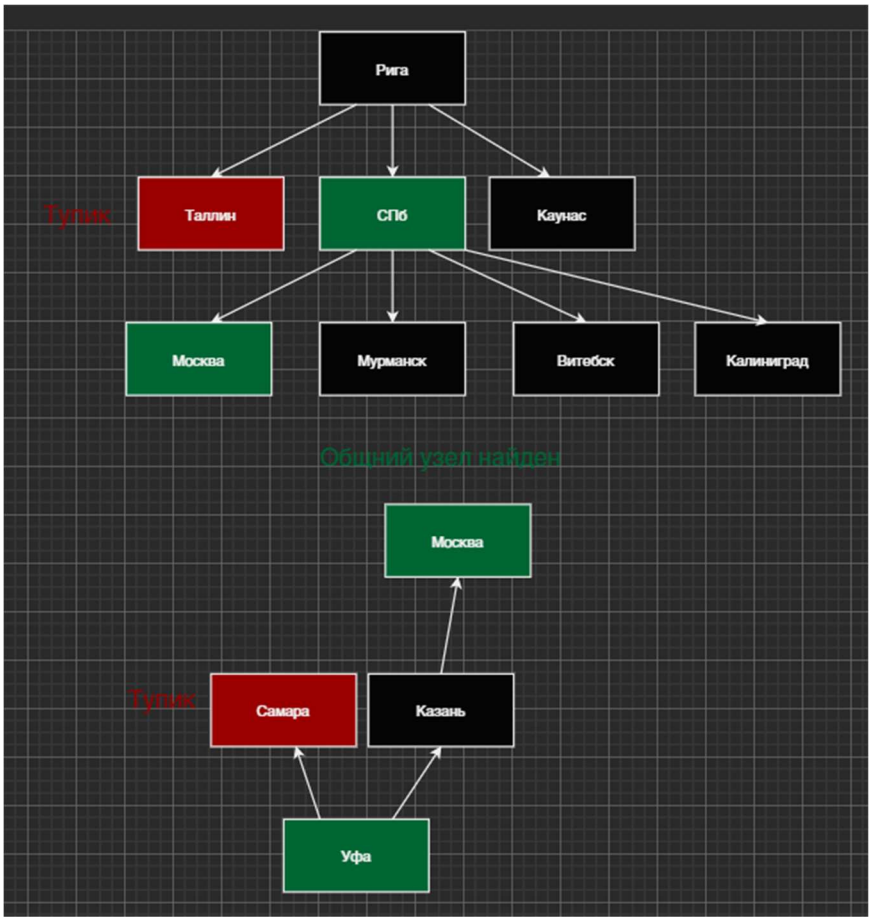


IDDFS

Подобным образом отработает и IDDFS, но сначала запустится с ограничением 1, 2, 3, а на 4-ый найдет то же самое решение.

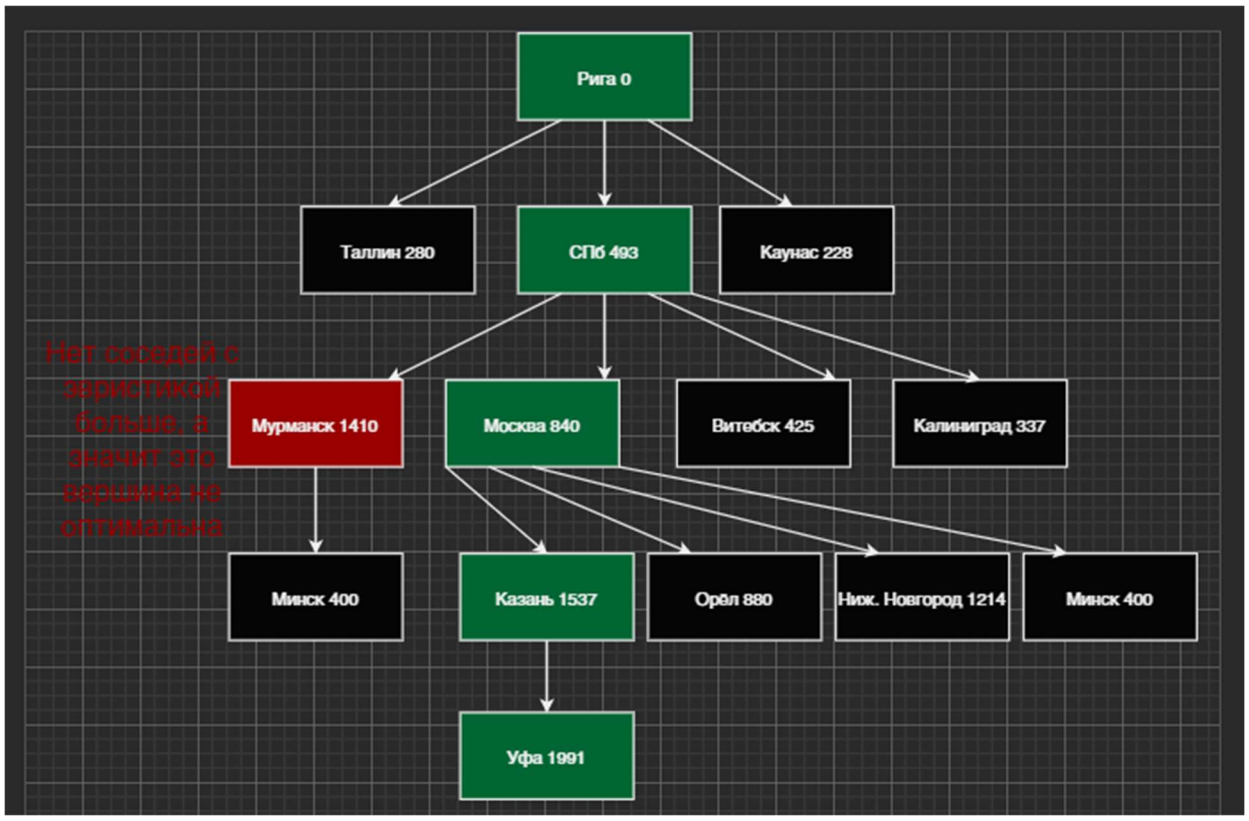
BDS

Один поиск запускается с начального узла, другой – с конечного. Основан на BFS, но как только в оба BFS-а находят общий узел, поиск сворачивается.



BFS

На каждой итерации алгоритм будет выбирать ту вершину из соседей текущей, которая максимально приблизит нас к конечной вершине (максимальная эвристика).



A*

A* отличается от BFS функцией оценки. Теперь это сумма эвристики и пути от стартовой вершины (в реальных приложениях используют теорему Пифагора, а не сумму, а сам алгоритм для определения пути движения противников к игроку).