МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(государственный университет)
ФАКУЛЬТЕТ РАДИОТЕХНИКИ И КИБЕРНЕТИКИ
КАФЕДРА ИНФОРМАТИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

# Модель планирования движения наземных роботов

Магистерская диссертация

Студент: Бочаров Никита Алексеевич, ФРТК, 113 группа.

Научный руководитель: Парамонов Николай Борисович, д.т.н., профессор

# Цель работы

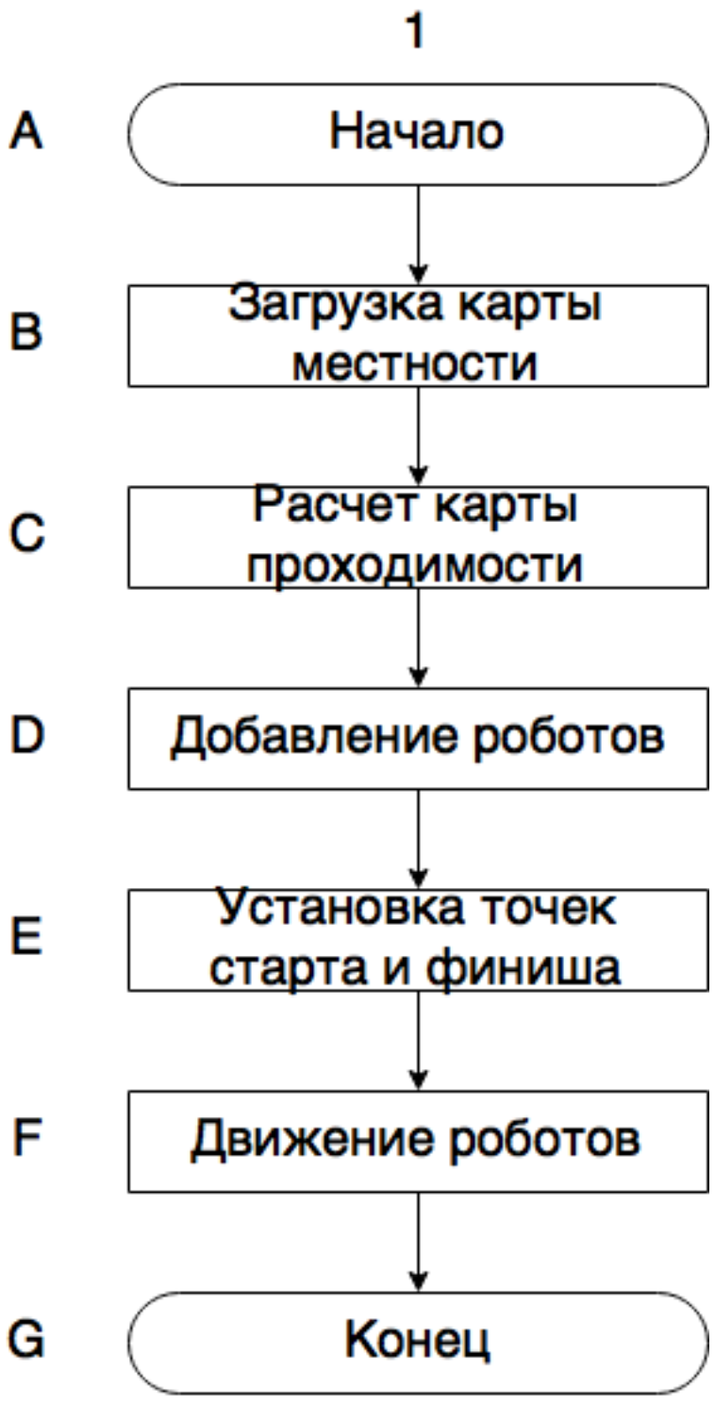
Программная модель движения группы наземных робототехнических комплексов (НРТК), показывающую применимость ВК и ОПО Эльбрус для решения задач управления группой НРТК

# Требования:

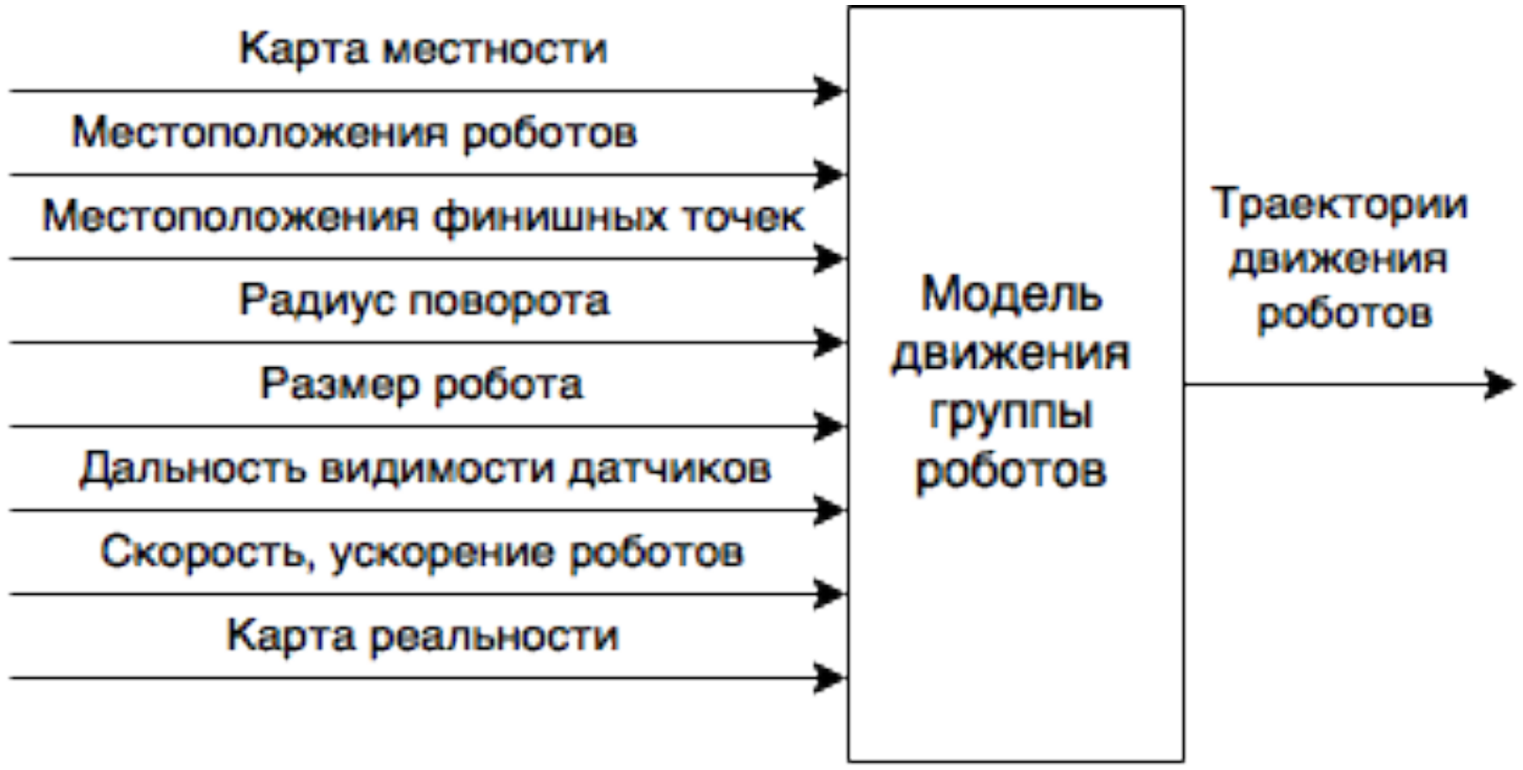
1. Реализация модели на языке Java
2. Статические параметры планирования
    1. Учет радиуса поворота
    2. Учет проходимости местности с использованием карт OpenStreetMap
    3. Поиск пути на графе
3. Учет динамических параметров
    1. Обнаружение препятствий
    2. Групповое управление

# Модель планирования движения

Блок-схема работы модели

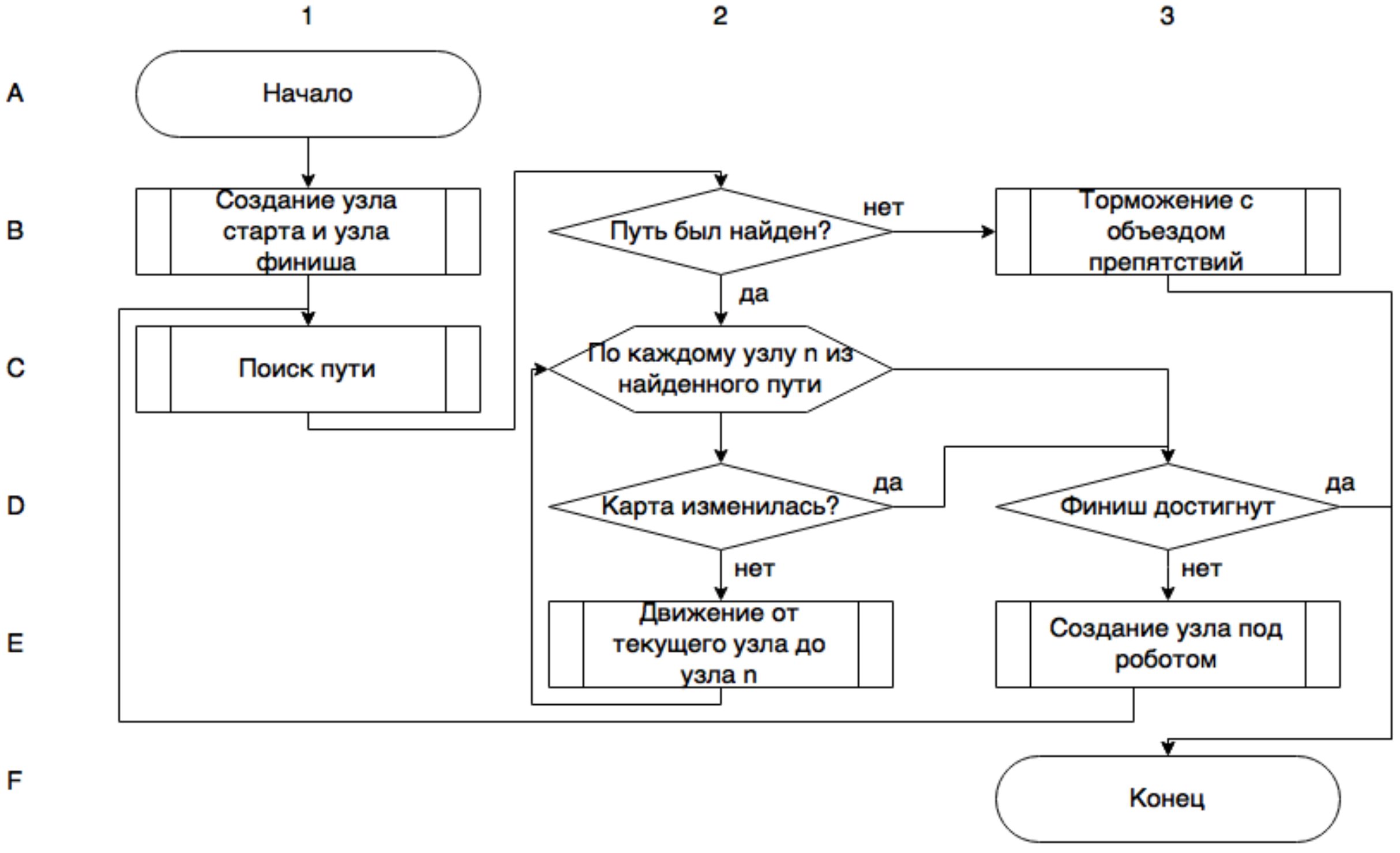



Входные и выходные параметры

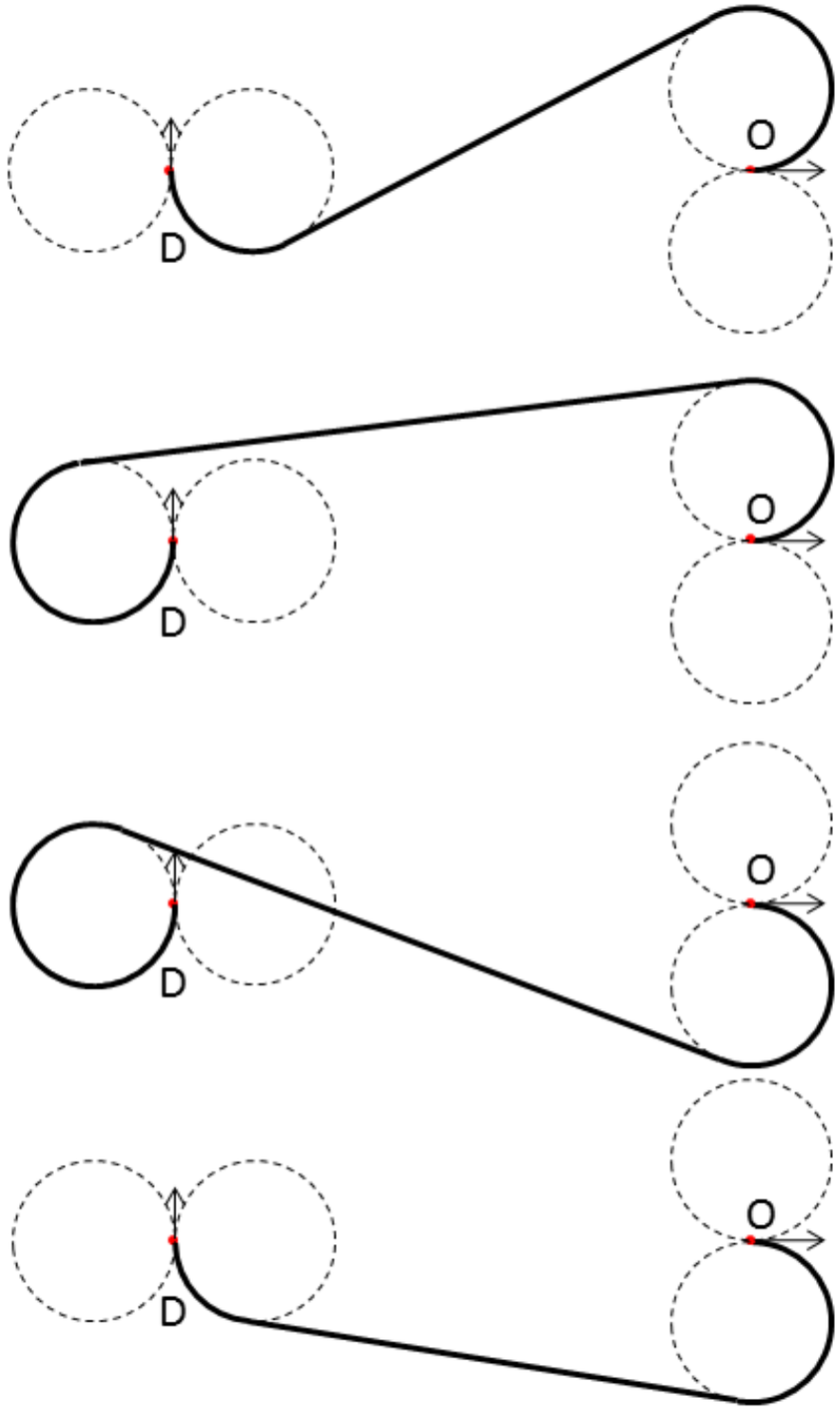


# Модель планирования движения

## Блок-схема движения одного робота



# Учет радиуса поворота робота




Варианты построения траекторий с учетом направления

Движение робота - от узла к узлу.

Проблема: робот не может мгновенно поворачивать на одном месте.

Решение: строить траекторию между узлами с плавными поворотами, соответствующими радиусу поворота робота.

Построение пути между двумя узлами с учетом направлений в обоих узлах сведено к построению траектории, состоящей из трех сегментов: дуга, линия, дуга.

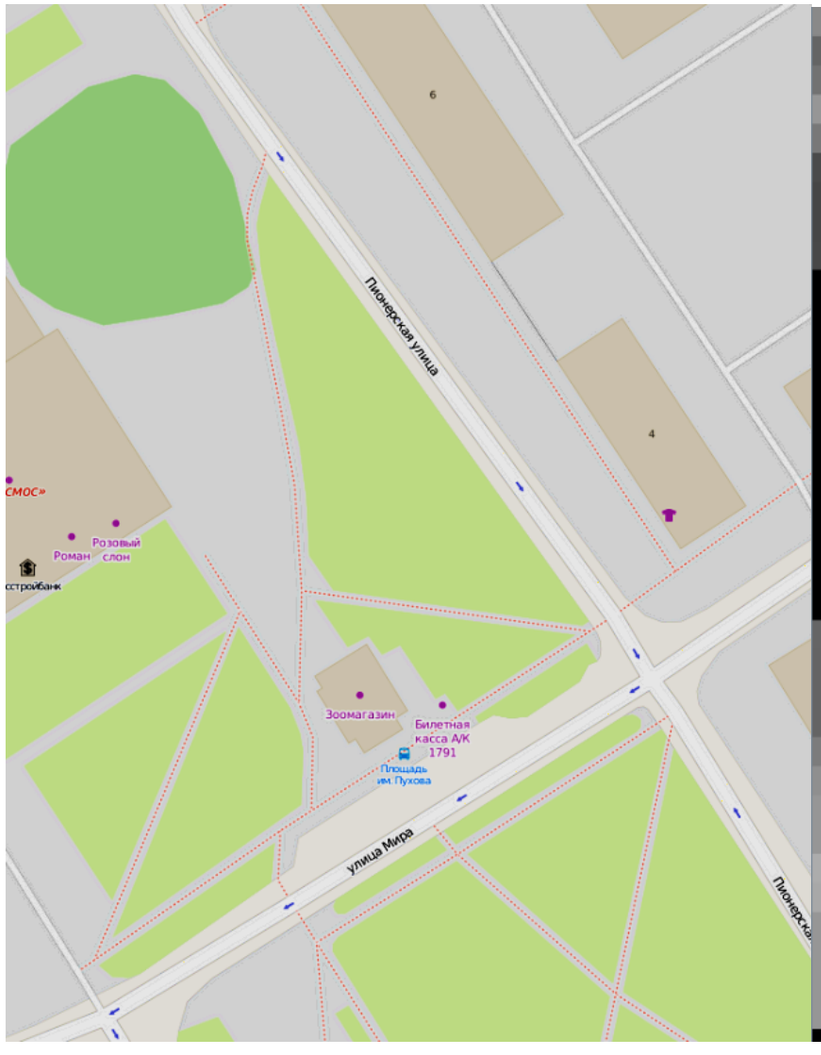
Из четырех вариантов траекторий выбирается та, которая короче.

# Учет проходимости местности

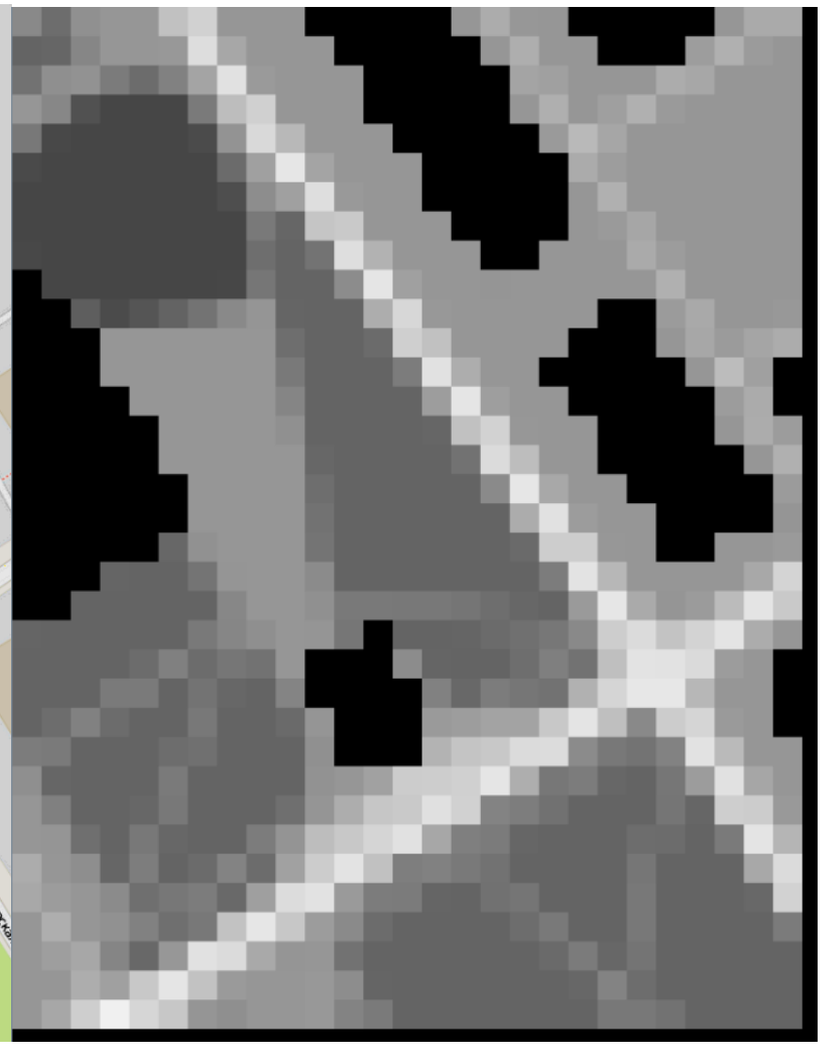
Исходные данные: растровая карта местности в формате OpenStreetMap

Проблема: получение представления этой карты в виде карты проходимости. Карта проходимости представляет из себя матрицу чисел от 0 до 255, где 0 - непроходимая область, а 255 - наиболее проходимая.

Решение: попиксельный анализ карты местности.




Карта местности



Карта проходимости

# Учет проходимости местности

## Проблемы попиксельного анализа

1. Наличие переходных цветов на границах областей

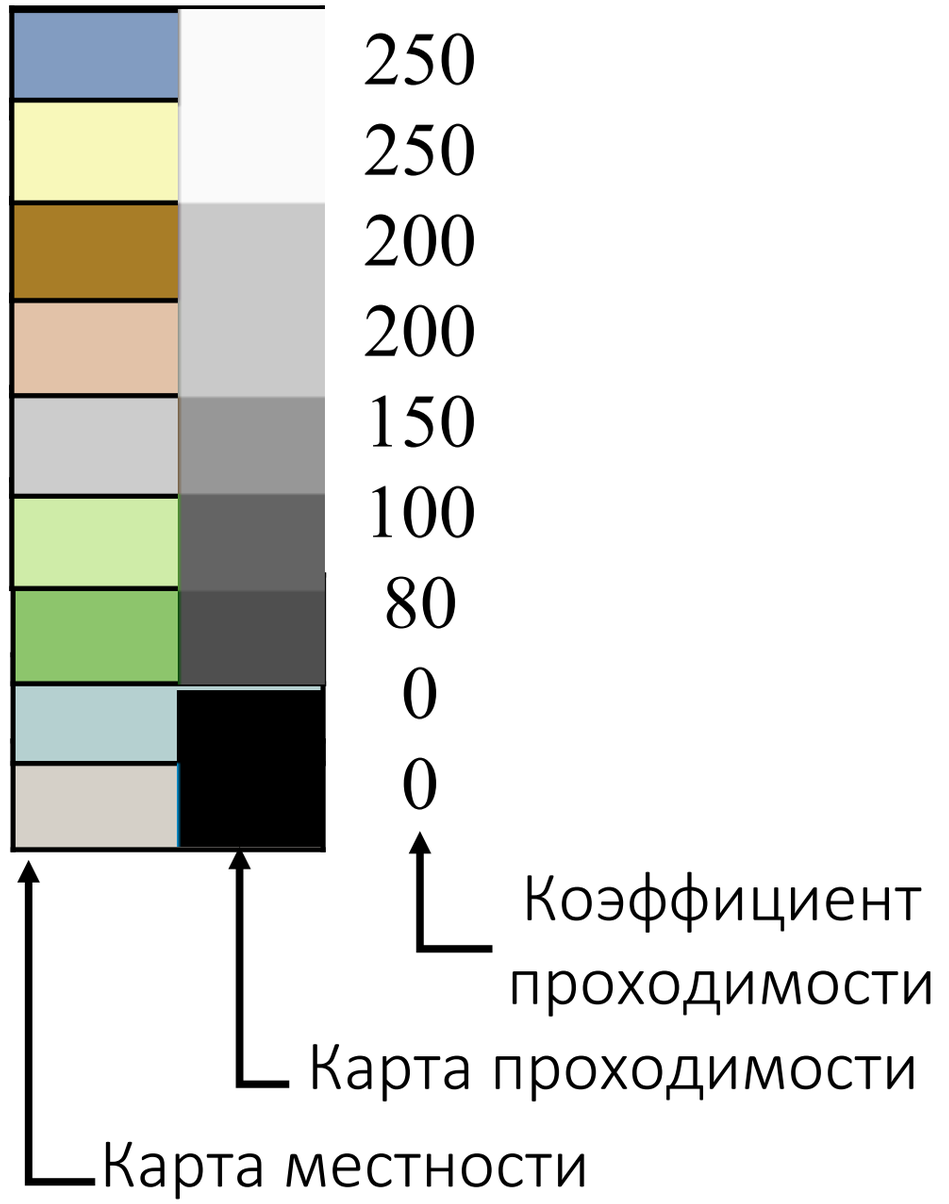
Решение: запоминание цвета последнего проанализированного пикселя

2. Одиночный выделяющийся пиксель

Решение: анализ соседних 8 пикселей

3. Небольшое отличие цвета в легенде от цвета на изображении карты

Решение: учет погрешности при сравнении цвета с легендой



# Поиск пути на графе.

## Выбор алгоритма

| Алгоритм | Учет направления поиска | Учет расстояния от узла старта | Возможность модификации для учета веса узлов |
|---|---|---|---|
| Поиск в ширину | нет | нет | нет |
| Поиск в глубину | нет | нет | нет |
| Алгоритм «лучший первый» | да | нет | нет |
| Алгоритм Дейкстры | нет | да | да |
| Алгоритм A* | да | да | да |

Выбран алгоритм A*

***f(n)=g(n)+h(n)***

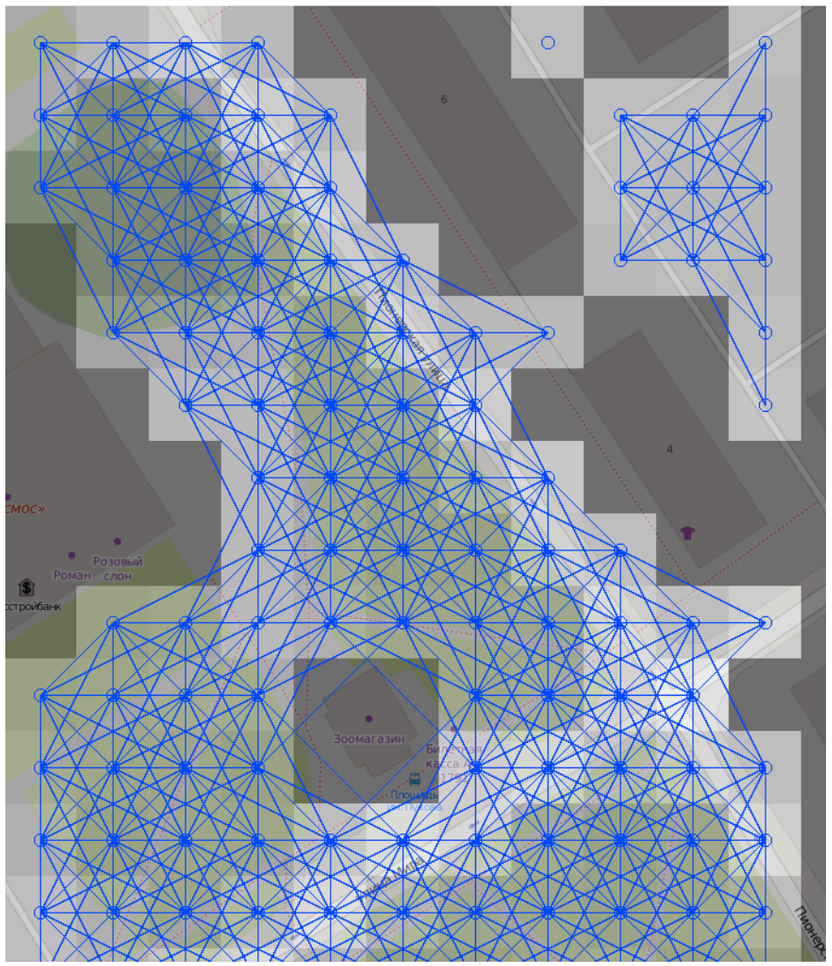
f(n) - значение оценки для узла n,

g(n) - стоимость пути из узла-старта в узел n,

h(n) - эвристическое приближение стоимости пути из узла n в узел-финиш

# Поиск пути на графе.

## Модификация параметров выбранного алгоритма




Визуальное представление графа

Проблема: учет проходимости местности

Решение: модификация характеристик g(n) и h(n)

$$g(n_1) = g(n_2) + d(n_1, n_2) * w(n_1, n_2) + r(n_1, n_2) * w(n_1, n_2)$$

При движении из узла $n_2$ в узел $n_1$

$d(n_1, n_2)$ - длина пути от узла $n_1$ до узла $n_2$,

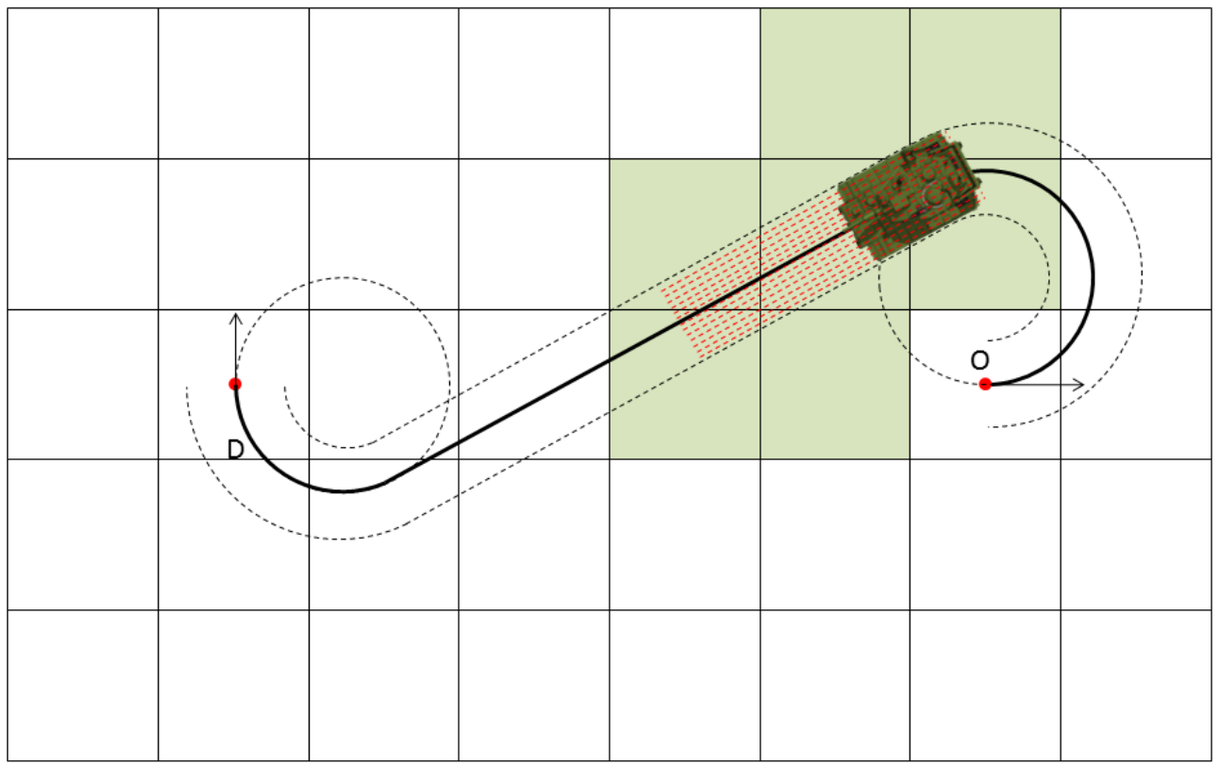
$w(n_1, n_2)$ - вес ребра, соединяющего узлы $n_1$ и $n_2$,

$r(n_1, n_2)$ - суммарный угол поворота в радианах ребра, соединяющего узлы $n_1$ и $n_2$.

Оценка $h(n_1)$ равна длине пути от узла $n_1$ до узла финиша, умноженная на средний вес. Средний вес равен среднему значению веса в точках узла $n_1$ и узла финиша.

# Обнаружение препятствий

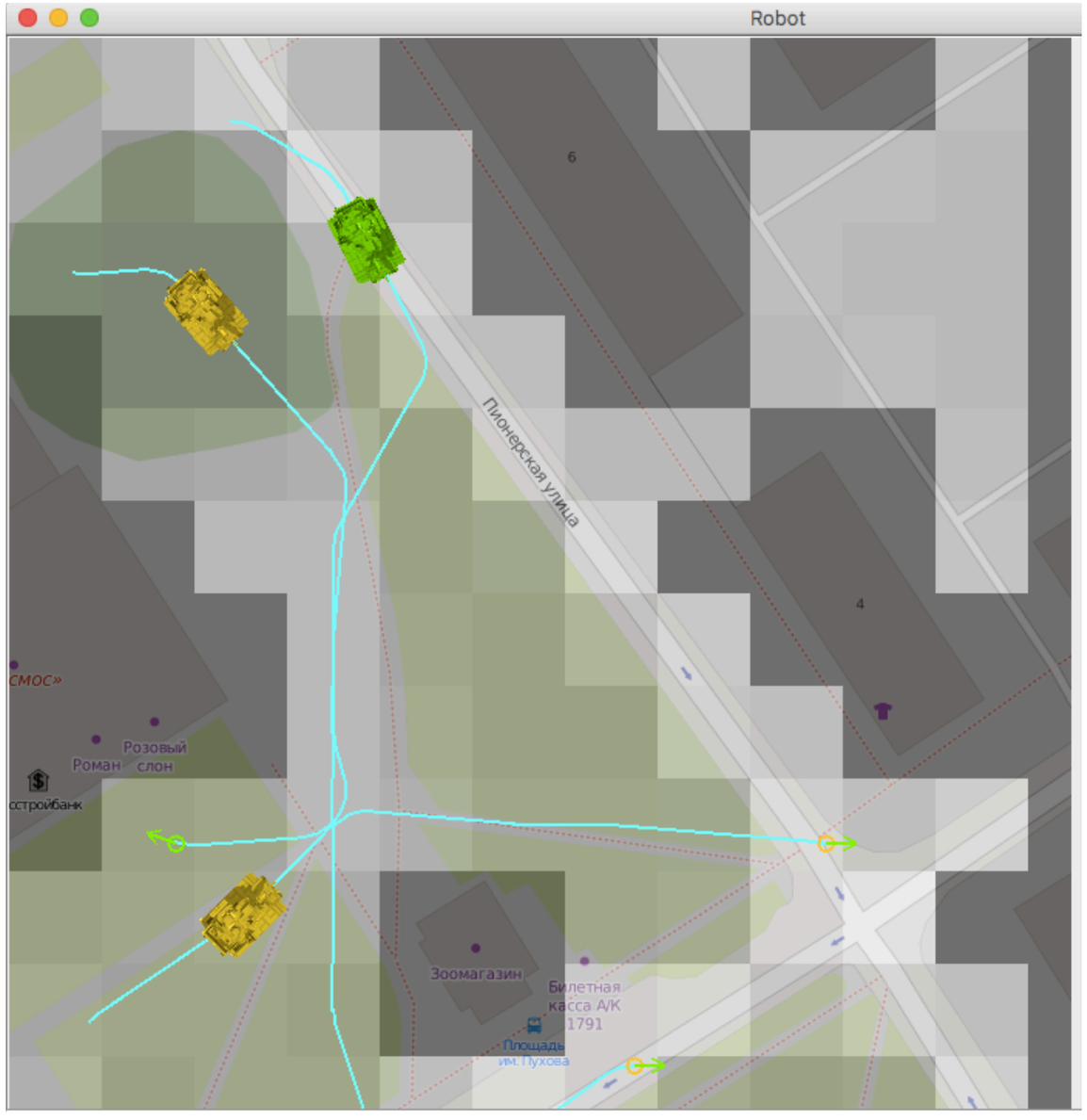
Проблема: необходимо моделировать поведение робота в случае обнаружения во время движения изначально неизвестных препятствий.
Решение: ввести дополнительную карту, которую будем называть картой реальности. Карта реальности имеет формат карты проходимости. Во время движения робот анализирует карту реальности перед собой на некотором расстоянии и, в случае несоответствия с картой проходимости, вносит изменения в карту и перестраивает маршрут.



# Групповое управление

Проблема: планирование движения группы роботов

Решение: планирование проводится для каждого робота отдельно. Во время движения робот идентифицирует других роботов в зоне видимости датчиков как препятствия.




Преимущества данного подхода:

- простота реализации
- масштабируемость
- устойчивость группы к потерям отдельных роботов

# Реализация

Выполнена на языке Java 8

Общий объем кода составил 4300 строк

- Segment – один из трех сегментов траектории
- Link – связь между двумя узлами
- Node – узел графа
- SearchAlgorithm – алгоритм поиска пути
- MapColors – легенда карты
- MapInfo – изображения и внутренние представления карт
- Robot – параметры робота
- Surface – область отрисовки и управление роботом
- Hypervisor – взаимодействие между роботами
- PathsFindingGui – графический интерфейс
- GlobalTime – экспериментальные функции с движущимися препятствиями

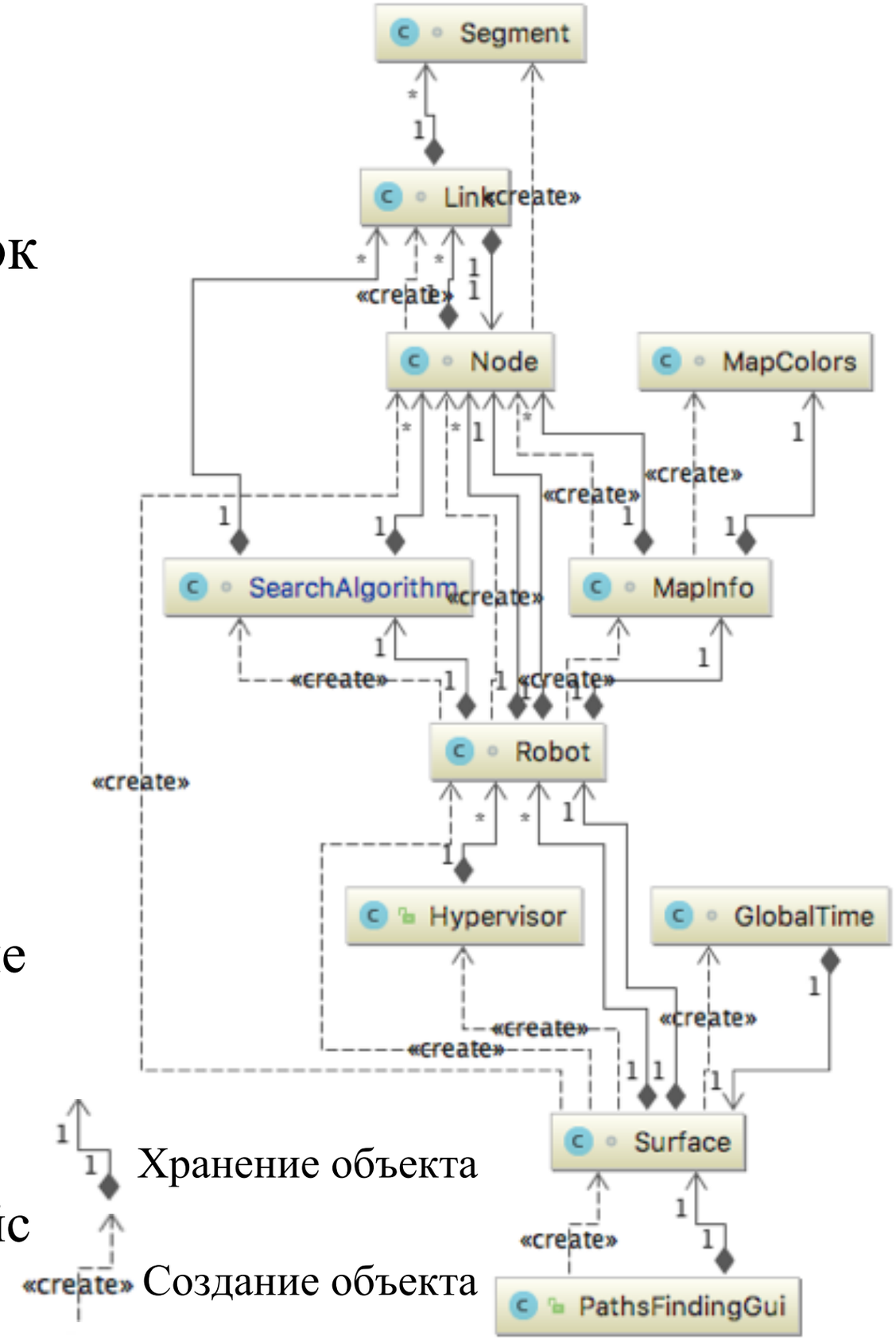



Диаграмма классов

# Реализация

## Использование многопоточности

### Статический этап.

Карта проходимости разбивается на n независимых частей, где n – число доступных ядер. Для анализа каждой части запускается свой поток.

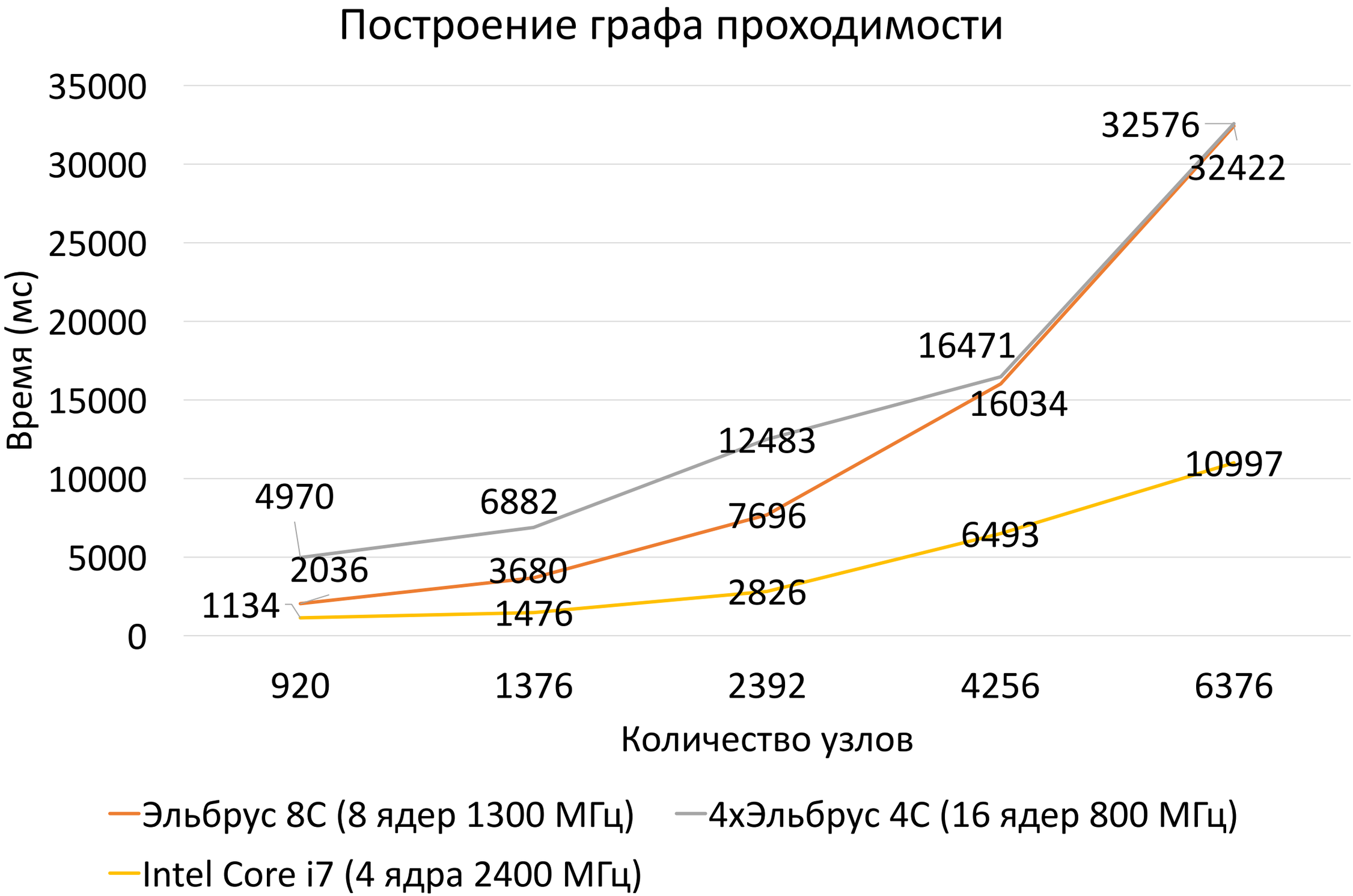
### Динамический этап.

Во время работы программы выполняются следующие потоки:

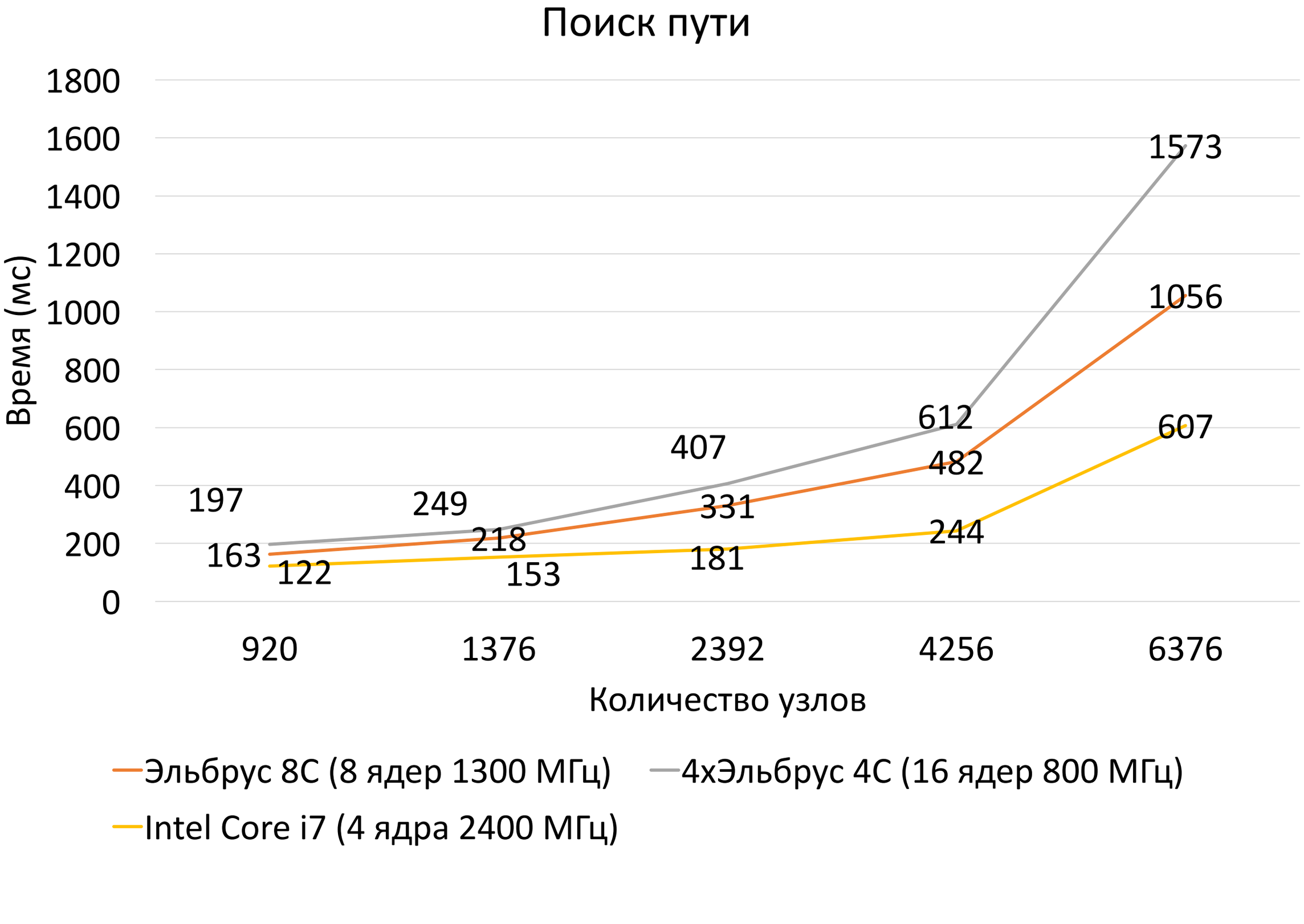
- поток управления моделью;
- поток моделирования движения для каждого робота;
- поток отрисовки актуального состояния модели.

Для хранения общего ресурса(графа) используется коллекция ConcurrentHashMap

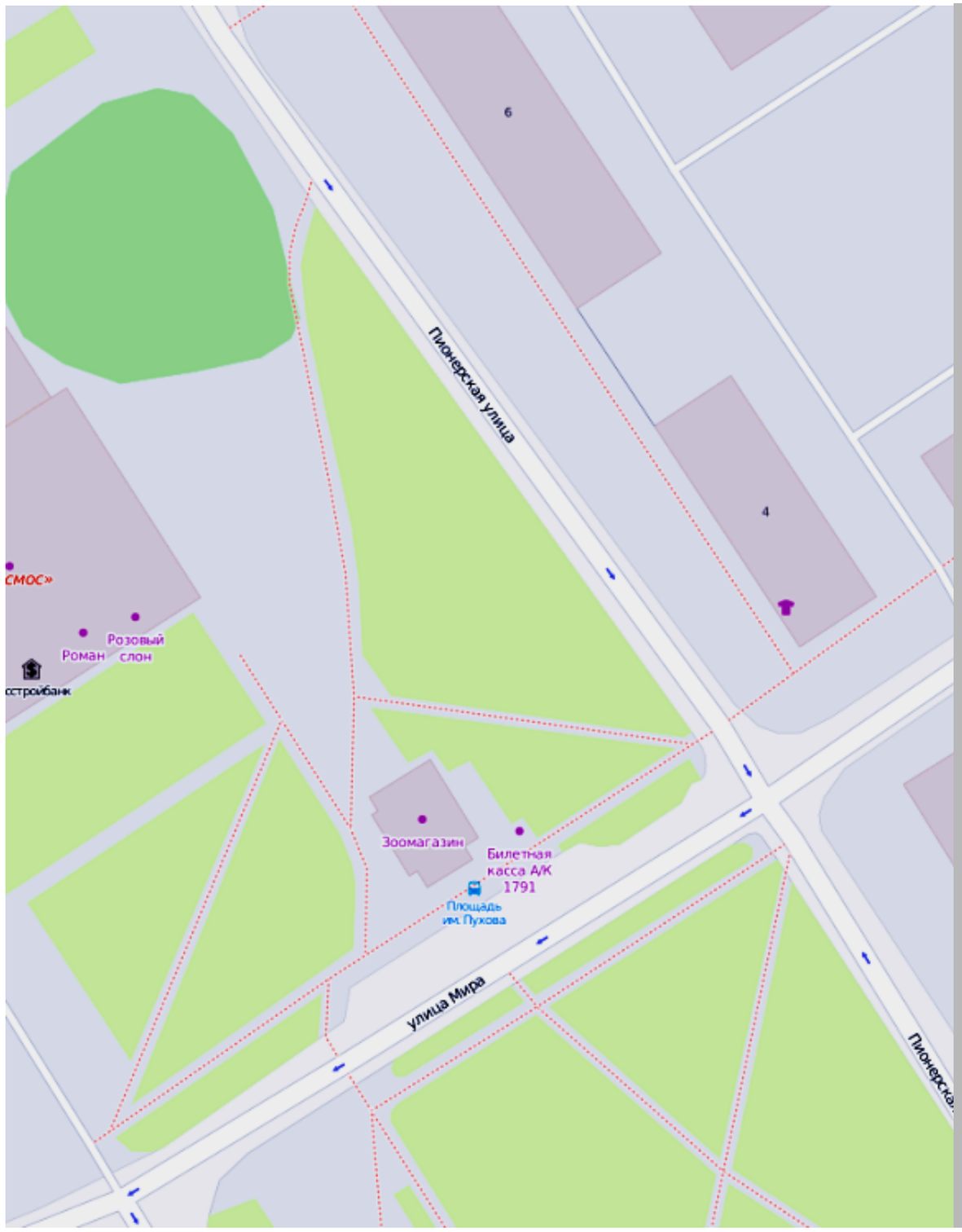
# Моделирование на платформах Intel и Эльбрус



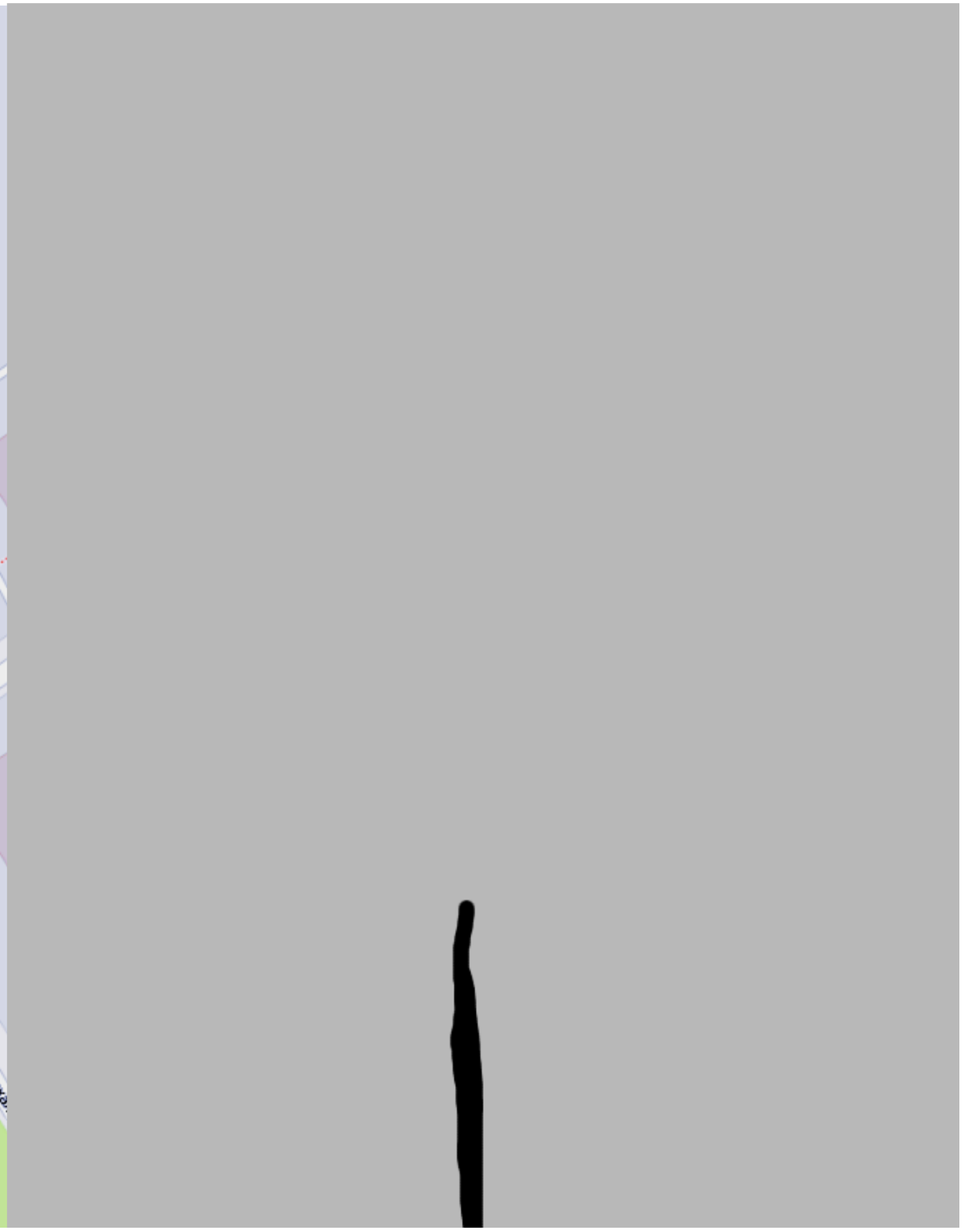
# Моделирование на платформах Intel и Эльбрус



# Демонстрация

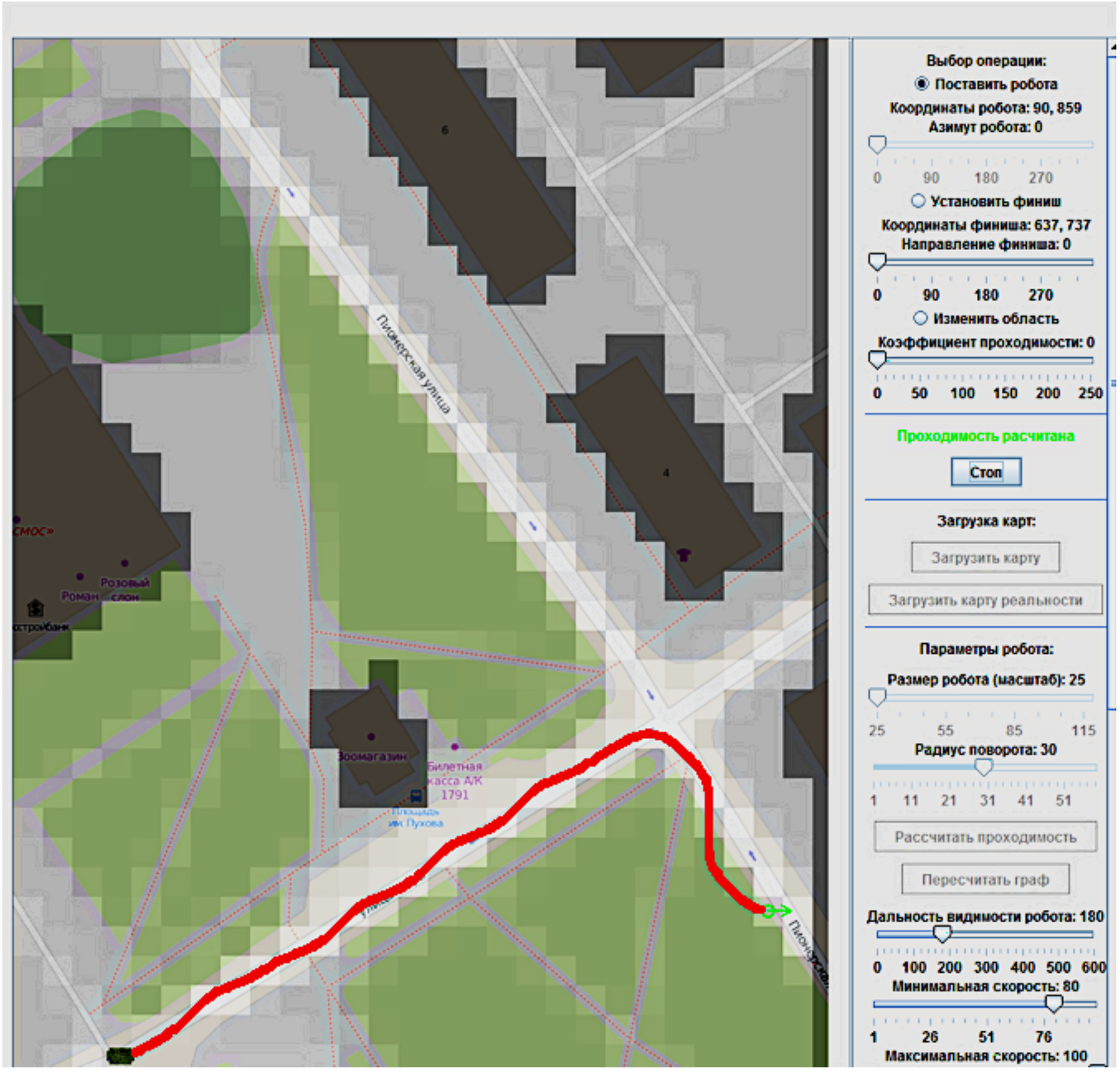



Карта местности

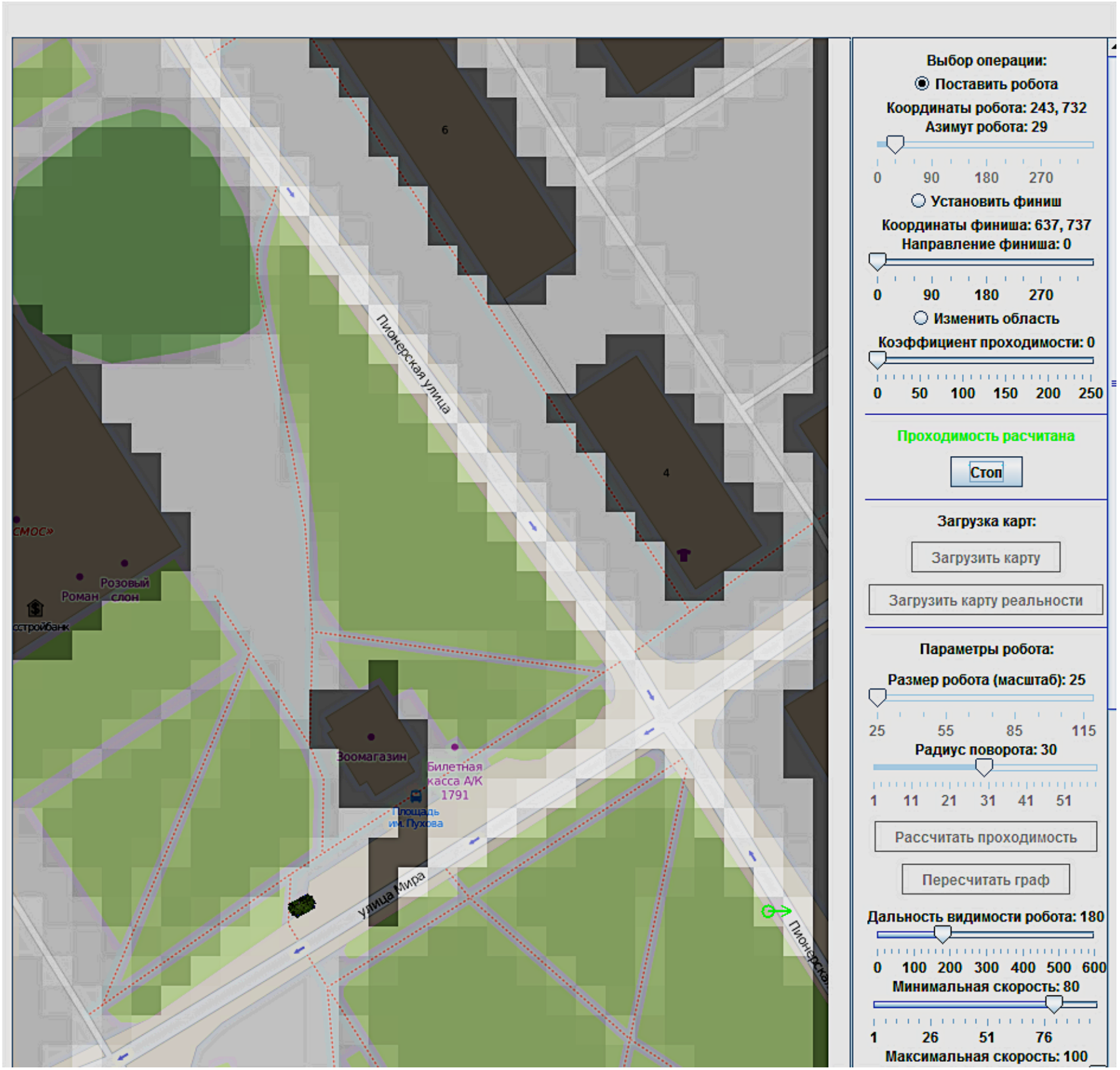


Карта реальности

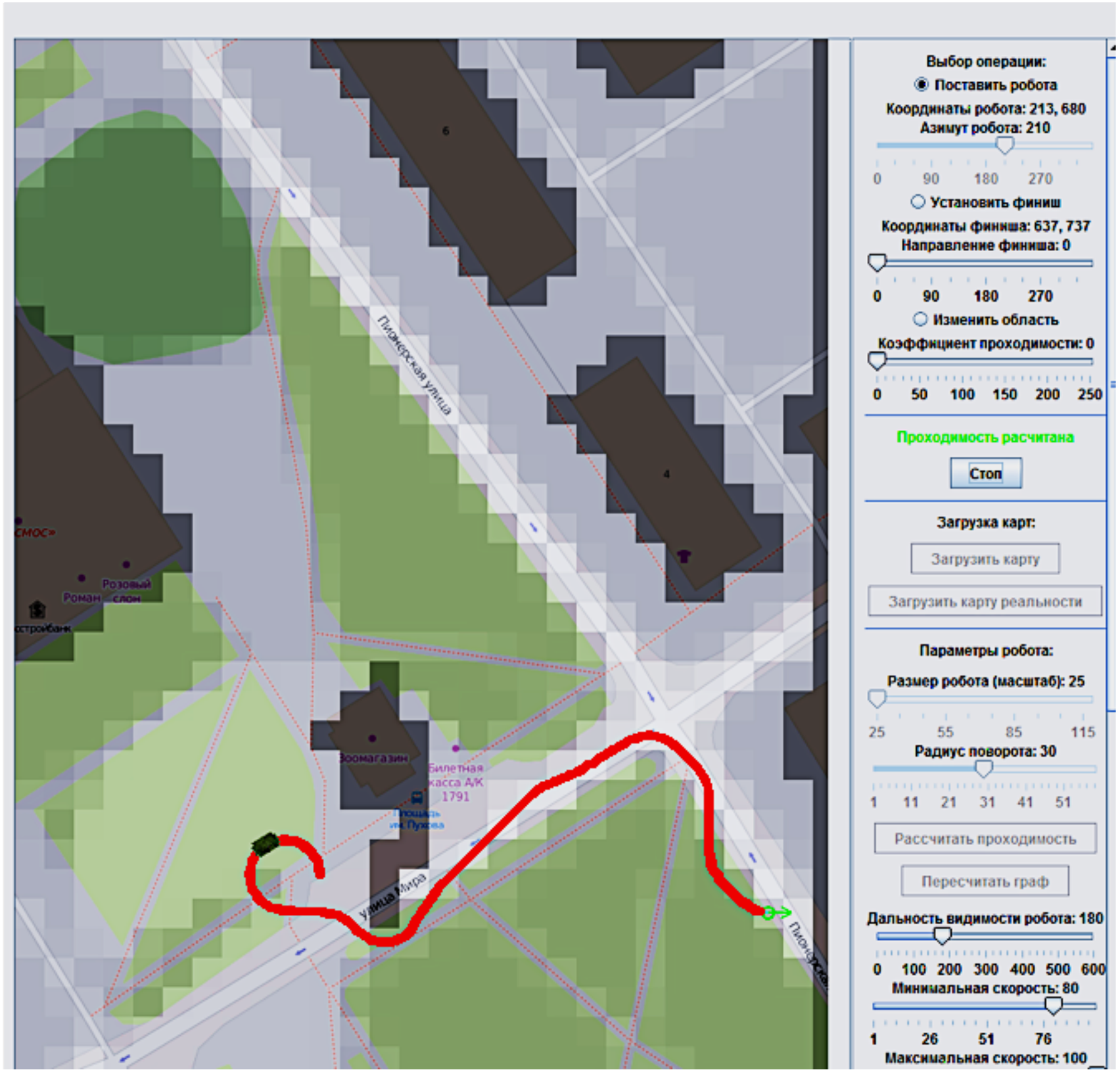
# Демонстрация



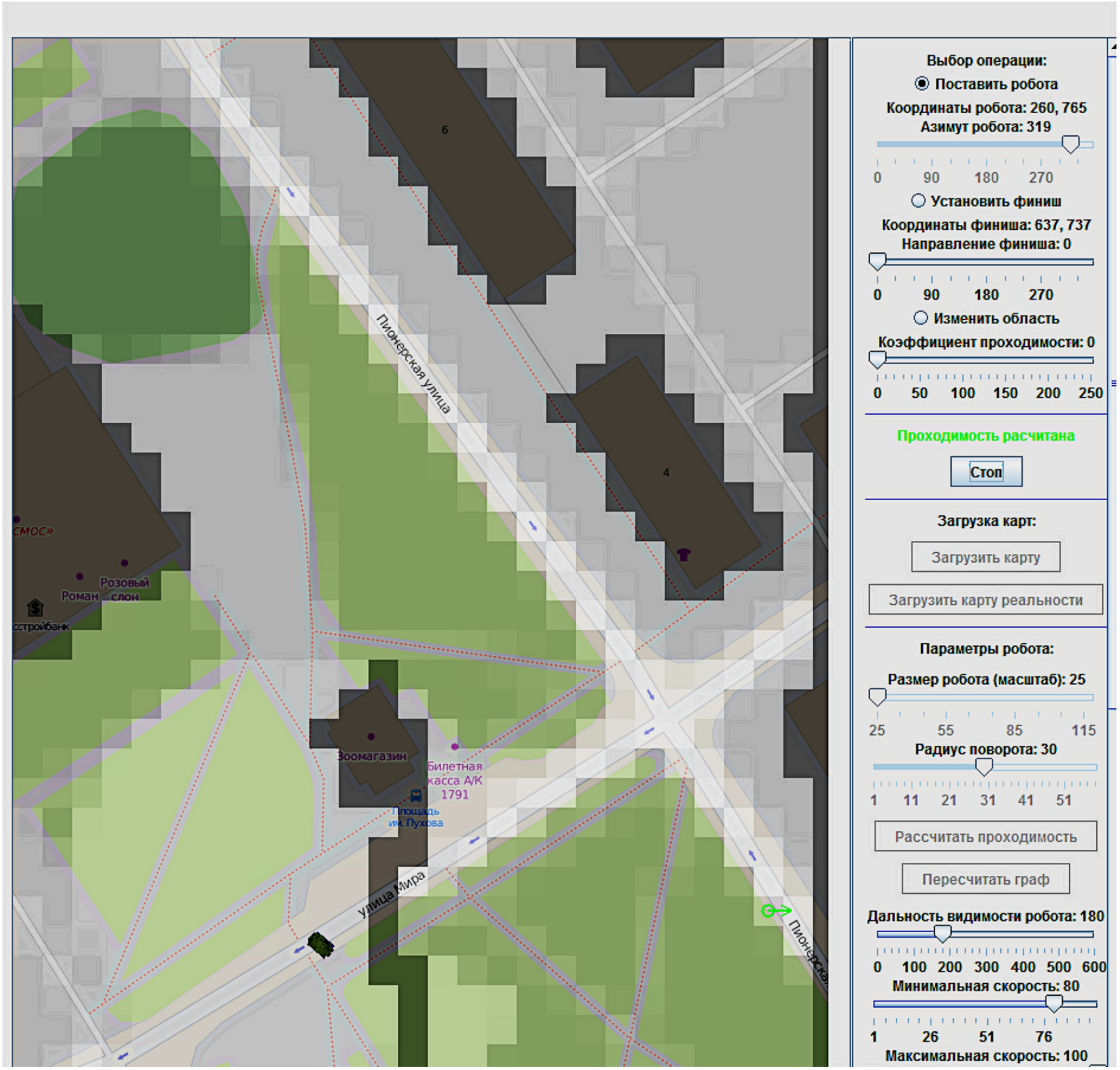
# Демонстрация



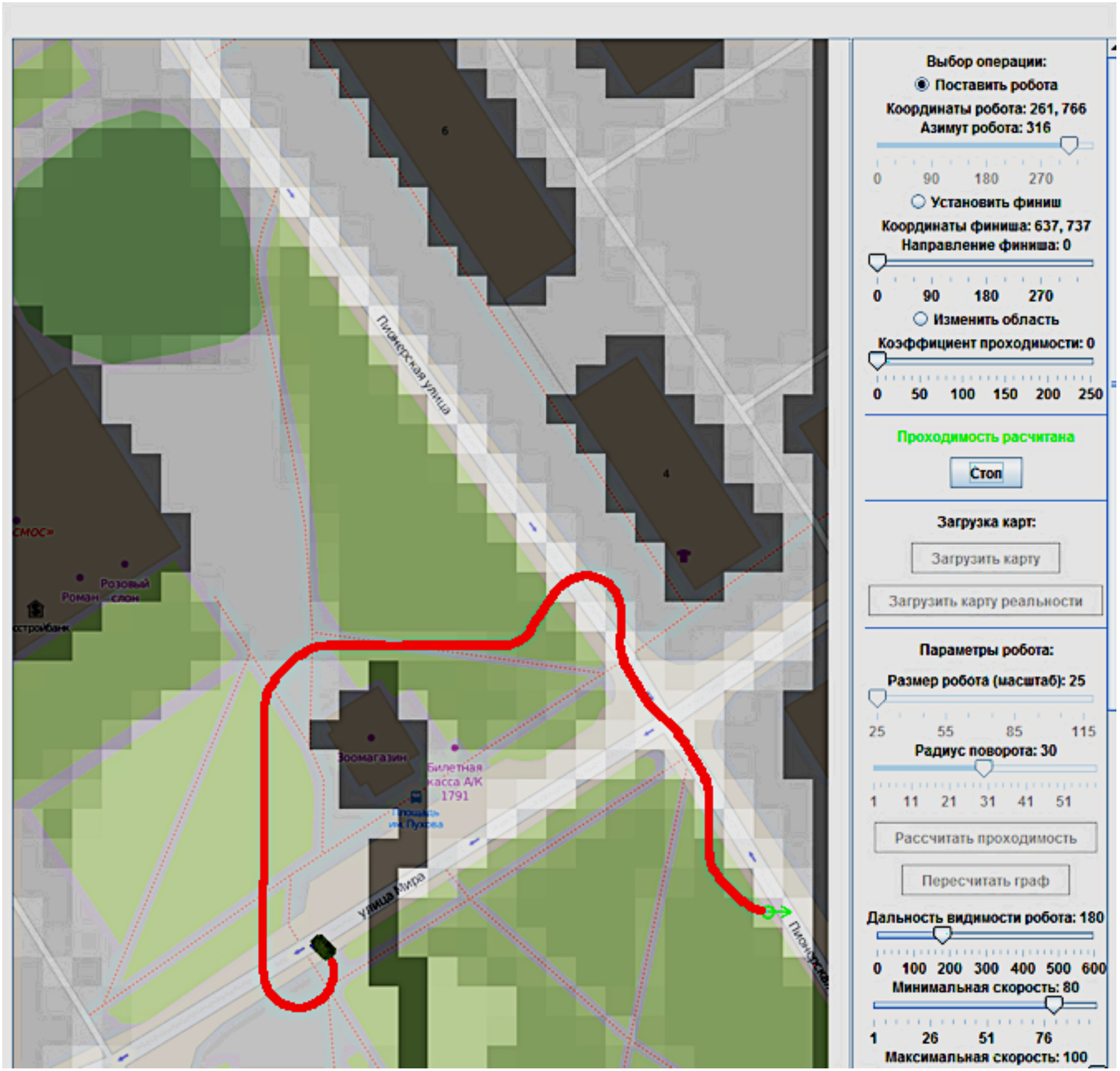
# Демонстрация



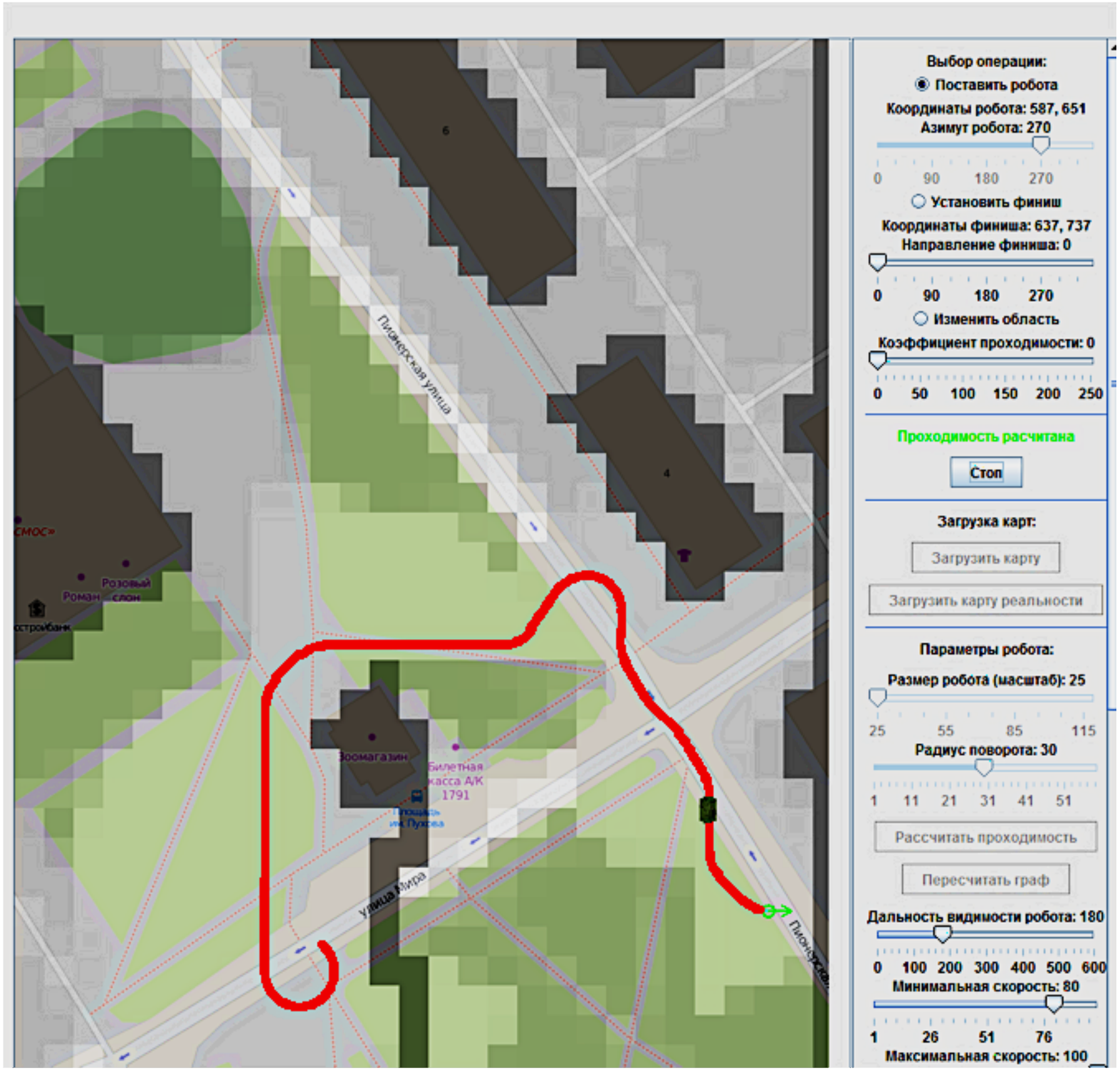
# Демонстрация



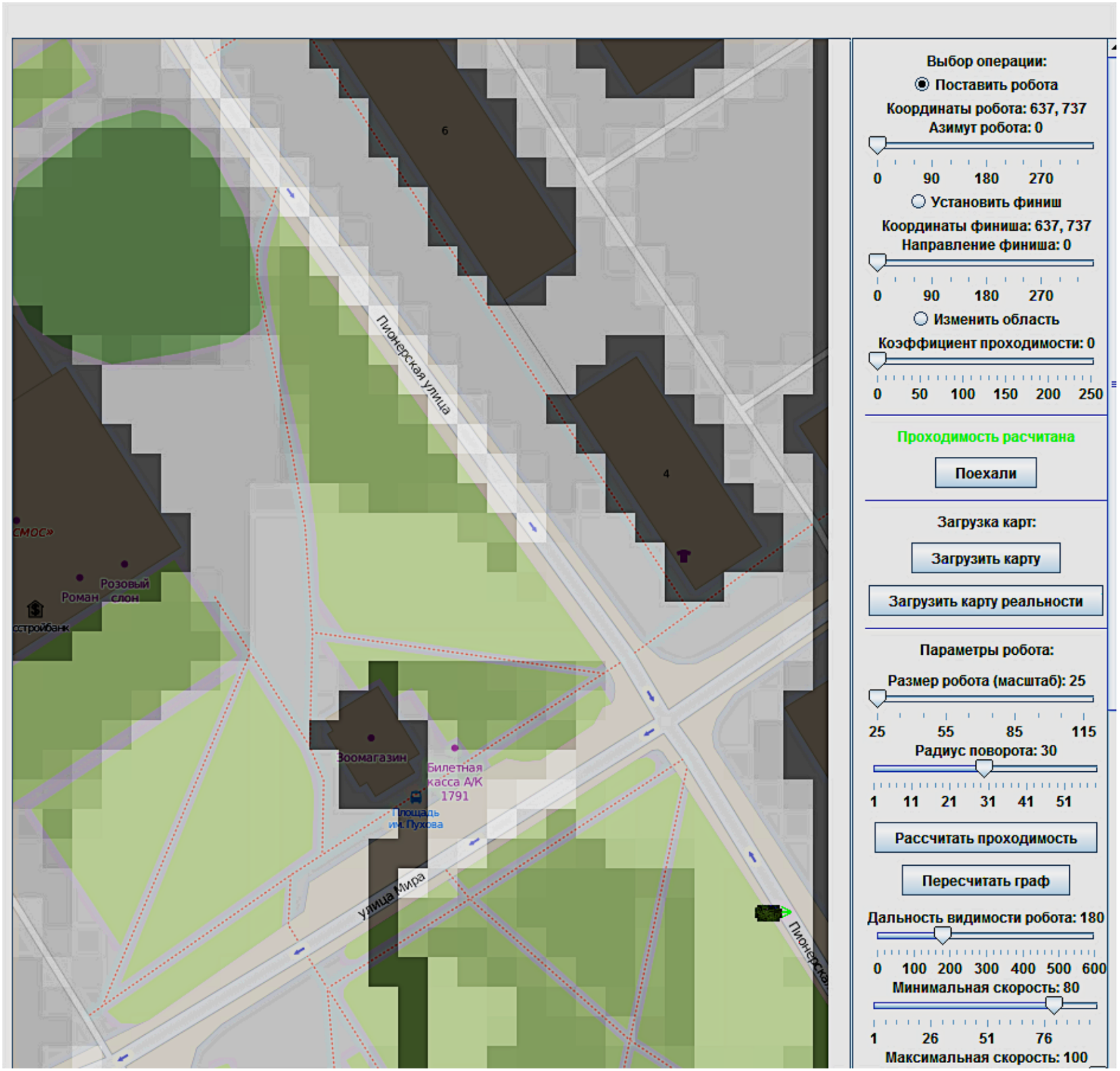
# Демонстрация



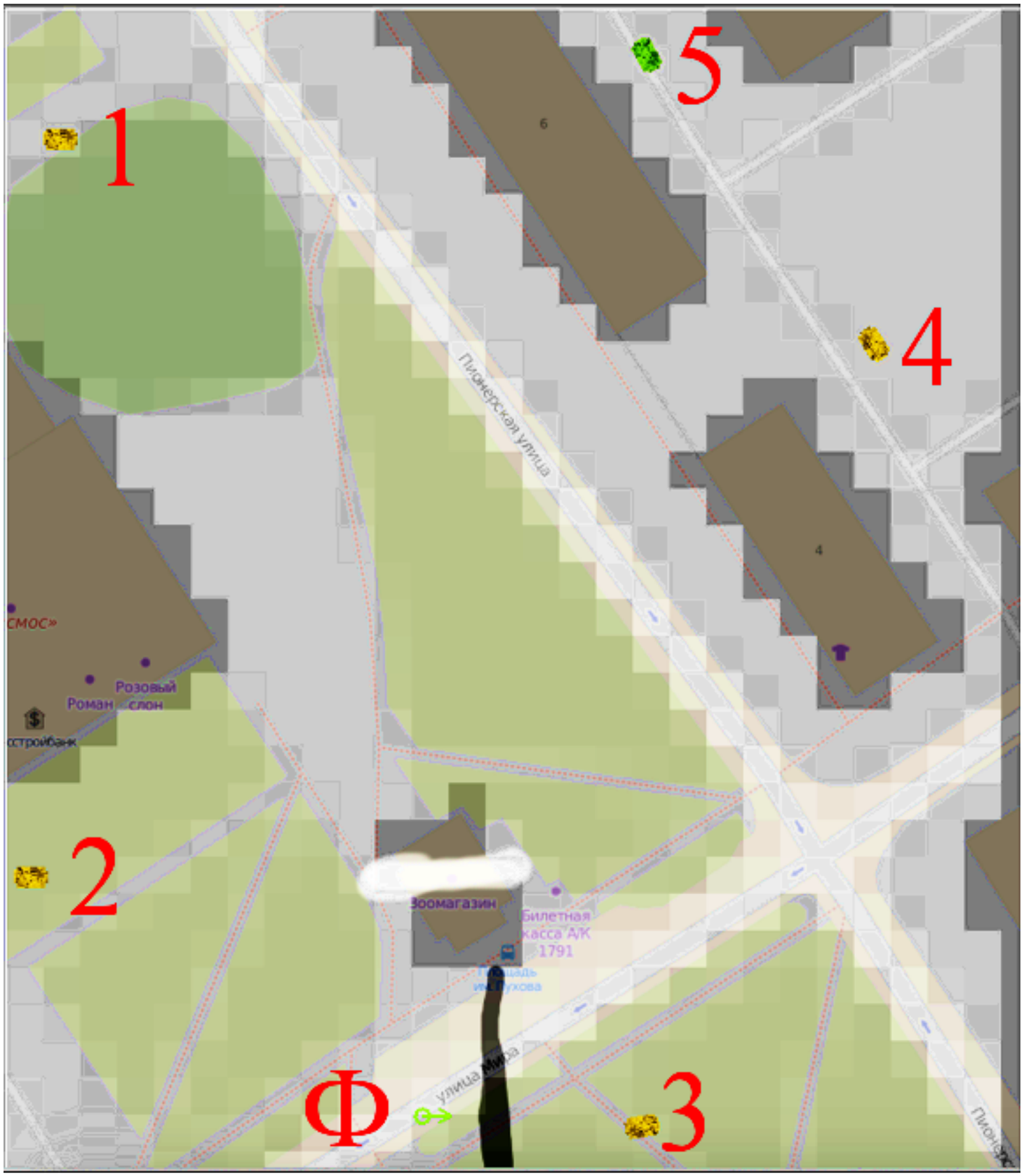
# Демонстрация



# Демонстрация

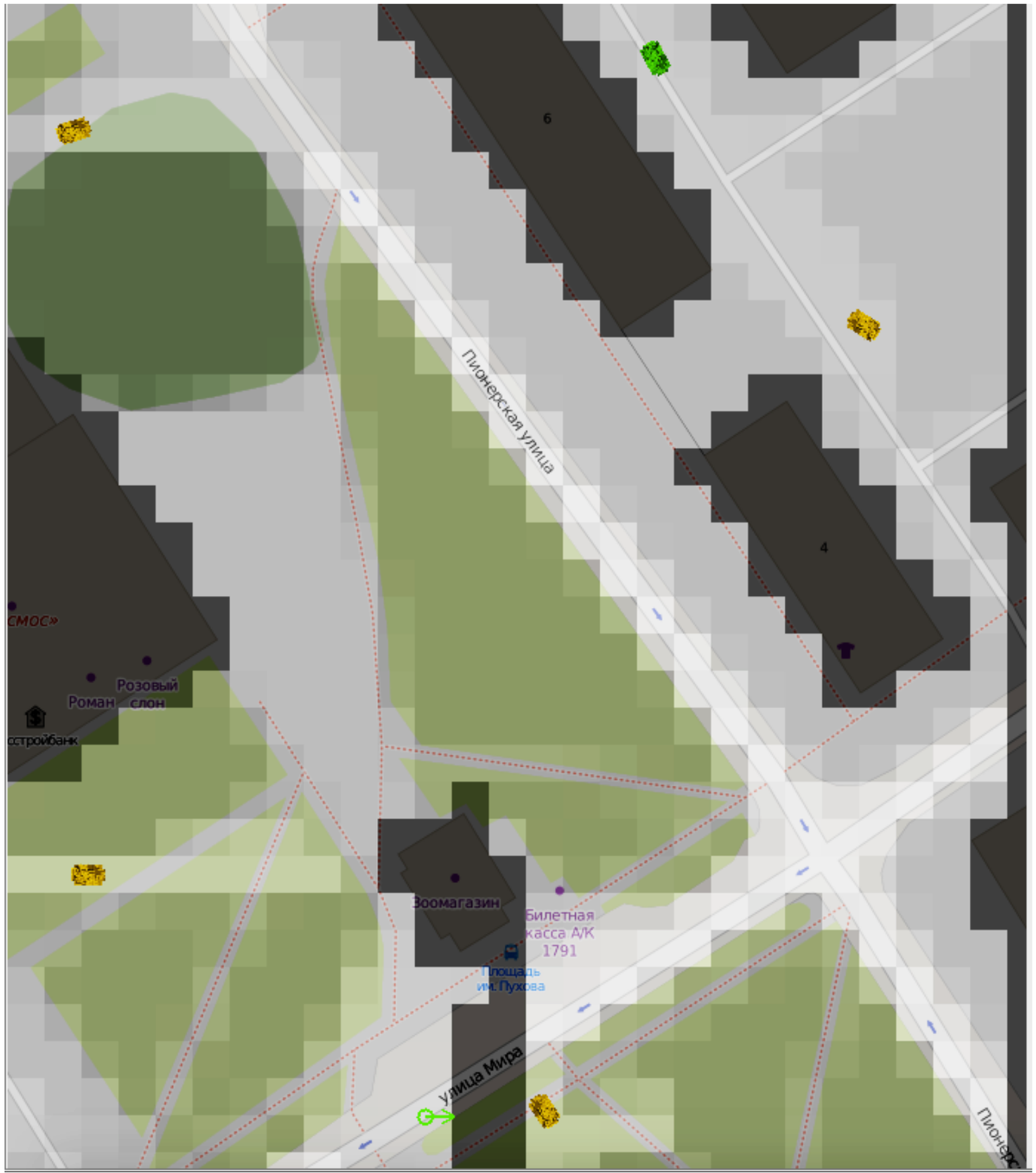


# Демонстрация группового управления



# Демонстрация группового управления

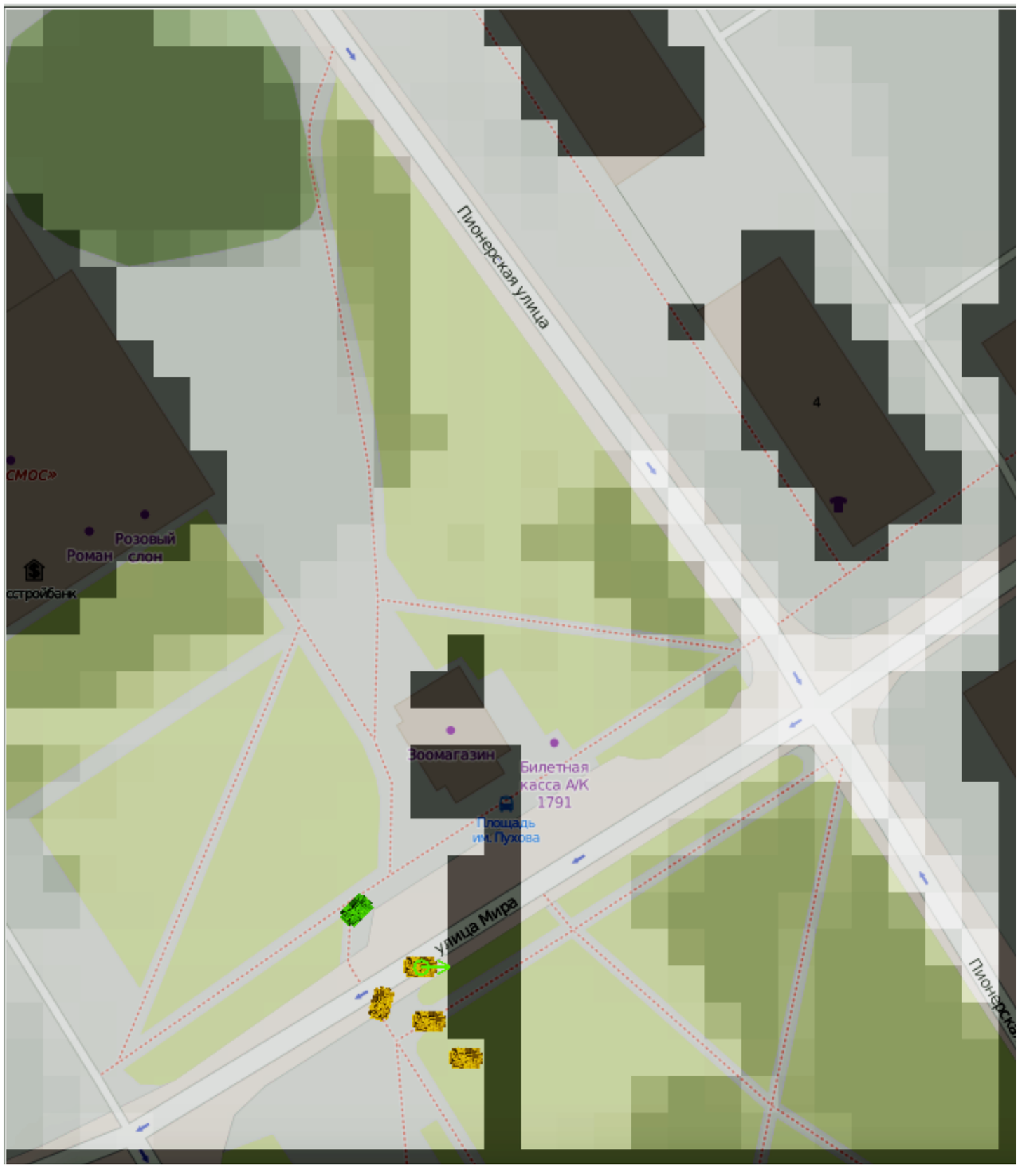
# Демонстрация группового управления



# Демонстрация группового управления

# Демонстрация группового управления

# Демонстрация группового управления



# Результаты

Разработана программа моделирования движения группы роботов. Программа удовлетворяет всем поставленным требованиям.

Проведенное функциональное и нагрузочное тестирование показало, что ВК и ОПО Эльбрус применимы для решения задач управления группой роботов.

Ранняя версия программы использовалась для проведения испытаний СЗП Джава на Эльбрус в рамках НИР «Верстак». Финальная версия программы использовалась в НИР «Группировка-МЦСТ».

Результаты работы были опубликованы в двух статьях, докладывались на четырех конференциях.

Программа прошла государственную регистрацию (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016660783)

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(государственный университет)
ФАКУЛЬТЕТ РАДИОТЕХНИКИ И КИБЕРНЕТИКИ
КАФЕДРА ИНФОРМАТИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

# Модель планирования движения наземных роботов

Магистерская диссертация

Студент: Бочаров Никита Алексеевич, ФРТК, 113 группа.

Научный руководитель: Парамонов Николай Борисович, д.т.н., профессор