

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ОТЧЕТ

об испытаниях прототипа Автономной роботизированной платформы
(в рамках работ по проекту №17-47-590128)

Руководитель проекта: _____ д.э.н., проф.
Файзрахманов Р.А.

Ответственный исполнитель: _____ к.т.н., доц. Курушин Д.С.

Исполнители:

_____ д.э.н., проф. Долгова Е.В.

_____ магистрант Ерискина Е.В.

_____ студент Карпова С.Ю.

_____ студент Касьянова Е.А.
инженер-программист ПАО
«ПНППК» Кондаков Д.В.

_____ магистрант Леонов Е.Р.

Пермь — 2017

Содержание

Введение.....	4
1. Проверка возможности передвижения в автоматическом режиме с требуемой скоростью.....	5
2. Проверка возможности анализа сцен окружающего мира.....	12
3. Проверка возможности широкополосного информационного обмена с пунктом управления.....	17
4. Проверка возможности самостоятельно прокладывать оптимальный маршрут.....	19
Заключение.....	21
Приложение А. Результаты работы алгоритма распознавания образов.....	22
Приложение Б. Результаты работы алгоритма прокладки маршрута.....	24

Основные определения и сокращения

АРП — автоматизированная роботизированная платформа;

ПДУ — пульт дистанционного управления;

СТЗ — система технического зрения;

ОС — операционная система;

ИИСУ — интеллектуальная система управления.

КХЧ — контроллер ходовой части

БИУ — блок исполняющий универсальный

БУШ — блок управления шасси

БС — блок сопряжения

ЭС АРП — экспертная система АРП

Python — язык программирования высокого уровня.

pyDatalog — расширение АЯП Python для разработки ЭС

WiFi (англ. Wireless Fidelity — «беспроводная точность») — стандарт на беспроводное сетевое оборудование

Ethernet 1000Base-CX — тип проводного соединения, скорость передачи до 1000 Мб/с.

IEEE 802.11 — набор стандартов связи для коммуникации в беспроводной локальной сетевой зоне

WEP — алгоритм для обеспечения безопасности сетей Wi-Fi.

ПНИПУ — Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Введение

Одним из этапов разработки АРП являются его испытания. Целью испытаний являются исследование технических характеристик объекта испытаний и путей достижения значений, установленных требованиями технического задания, а также для определения перечня необходимых доработок.

На 2017 год выполнения проекта запланировано выполнить следующие испытания:

- 1) проверка возможности передвижения в автоматическом режиме с требуемой скоростью движения и по заданной траектории;
- 2) проверка технического зрения на предмет анализа сцен окружающего мира и определения параметров наблюдаемых объектов;
- 3) проверка возможности широкополосного информационного обмена с пунктом управления;
- 4) проверка возможности самостоятельно прокладывать оптимальный маршрут.

1. Проверка возможности передвижения в автоматическом режиме с требуемой скоростью

Проверка передвижения в автоматическом режиме с требуемой скоростью движения выполняется следующим образом: проверяется способность АРП следовать по прямой с постоянной скоростью, заданной оператором с ПДУ. Объект считается выдержавшим испытание при условии движения с заданной скоростью в диапазоне 0-20 км/ч с отклонением не более ± 1 км/ч на дистанции в 250 м.

Испытания проводились на имеющемся в распоряжении коллектива шасси (см. рис. 1).

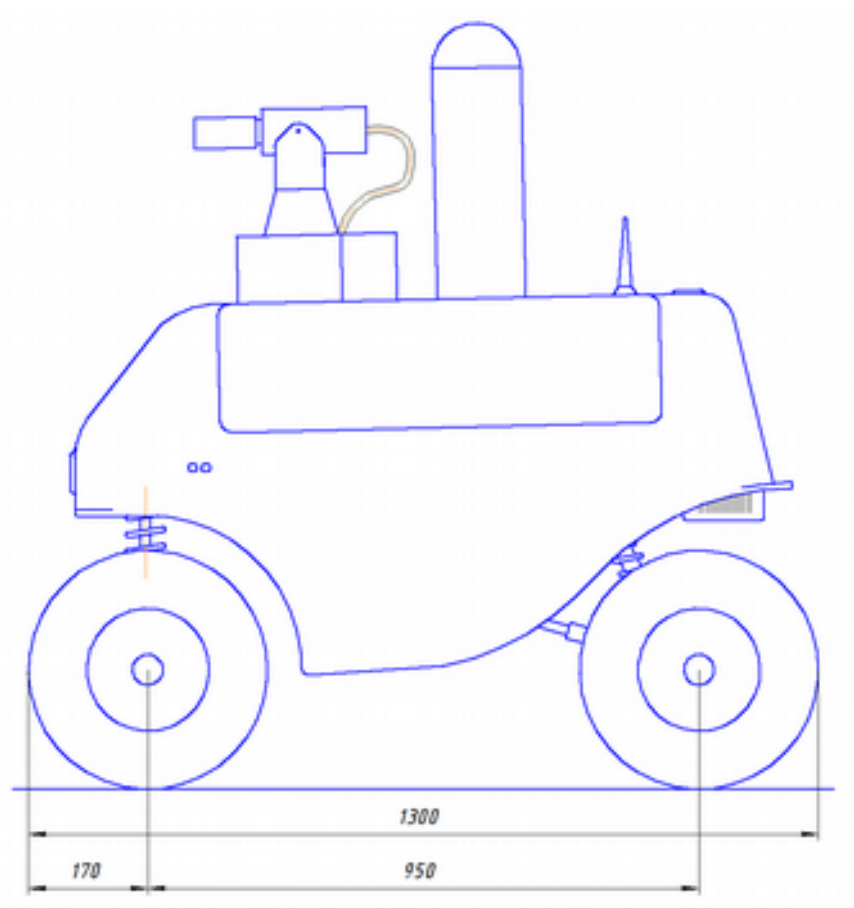


Рис. 1. Шасси для испытаний, чертеж общего вида

График регулирования текущей скорости роботизированной платформы при достижении необходимого значения при коэффициенте П-регулятора, равному 5 представлен на рис. 2¹. Из графика видно наложение 2-х осцилляций с периодом в 3 и 0.3 сек. Эти осцилляции вызваны особенностью реализации схемы управления двигателем, состоящей из 3-х блоков (см. рис. 3):

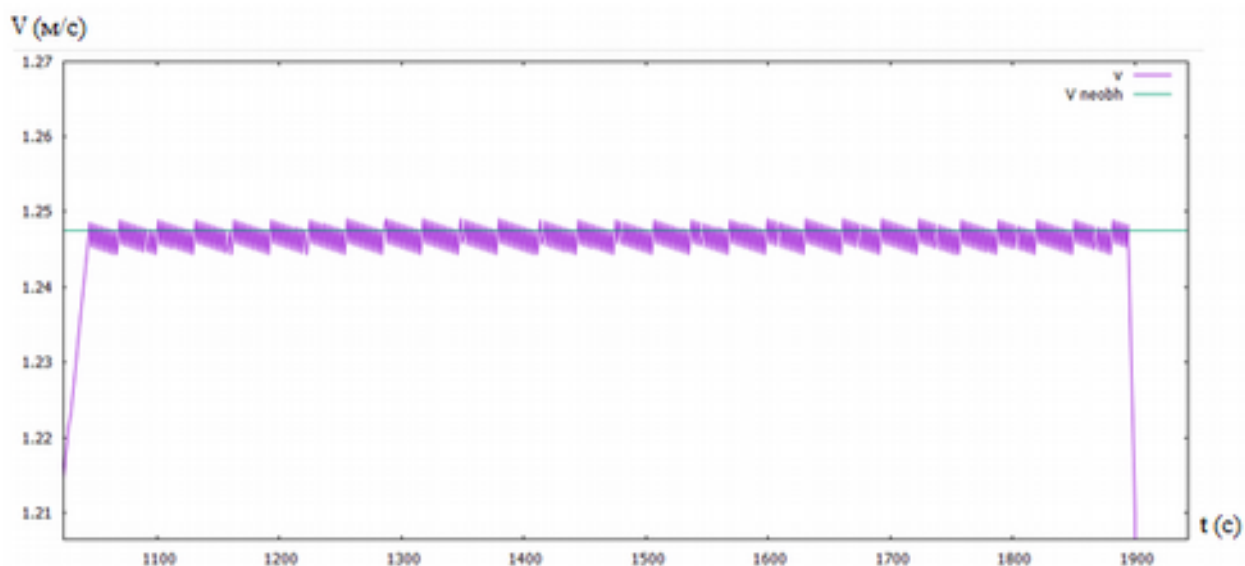


Рис. 2. График регулирования скорости.

1) БИУ — блока исполняющего универсального (в нем реализован регулятор)

2) БУШ — блока управления шасси (управляет двигателем),

2) Блока сопряжения БИУ-БУШ (БС).

Осцилляции вызваны задержками в передаче сигнала об ошибке и управляющего воздействия по цепочке БИУ — БС — БУШ — Шасси — БИУ. По результатам испытаний принято решение доработать шасси, исключив БУШ и БС и разработать отдельный блок управления, сочетающий в себе функции БИУ, БУШ и БС.

1) Здесь и далее время отложено в 1/10 сек, т. е. отметка 2000 соответствует 200 сек.

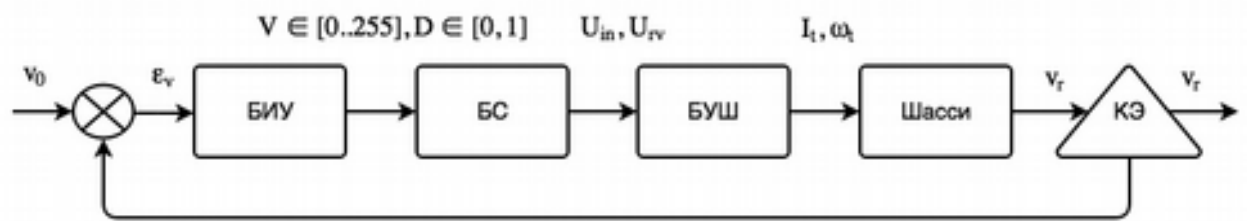


Рис. 3. Структура регулятора скорости

где v_0 — заданная скорость, ε_v — ошибка по скорости, V — числовое значение скорости, D — признак реверса (1 — движение назад), U_{in} — аналоговое значение скорости, U_r — аналоговое значение реверса (+5v — реверс), I_t, ω_t — переменные управления двигателем (ток и частота вращения вала), v_r — скорость движения, КЭ — колесные энкодеры.

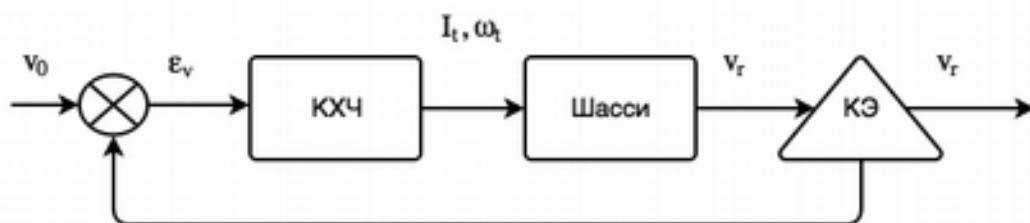


Рис. 4. Модифицированная структура регулятора.

На рис. 4. показана предложенная по результатам испытаний модифицированная схема регулятора скорости.

Испытания системы движения по маршруту проводились с использованием среды моделирования Blender, в которую подключались правила ЭС АРП.

Был проведен ряд испытаний: 1) объезд статического препятствия, 2) выезд с парковочного места, уступая дорогу движущимся ТС, 3) движение по

извилистой траектории. Визуальная модель АРП не строилась.

1) Прототип АРП, съезжая по наклонной плоскости, должен объехать статическое препятствие. На рис. 5 статическим препятствием является объект А, а прототипом АРП – В.

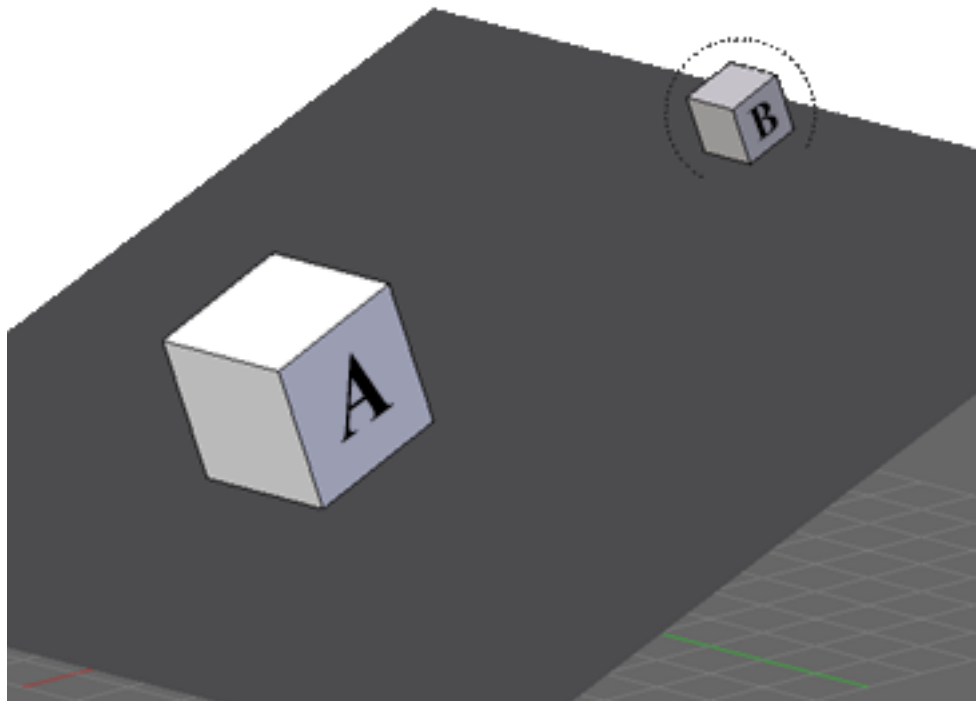


Рис. 5. Схема задачи №1

Пример правил приведен на листинге 1.

Листинг 1. Правило огибания препятствия (pyDatalog)

```
близкоОбъект(Х) <= (Х < 2)
(увернутьсяАРП[Х] == сила) <= близкоОбъект(Х)
(увернутьсяАРП[Х] == 0) <= ~ (близкоОбъект(Х))
```

В качестве сенсора в данной задаче используется сенсор delay, чтобы с некоторой задержкой обращаться к контроллеру. Контроллером в этой ситуации является скрипт на языке Python, который управляет АРП.

Близость АРП к препятствию высчитывалась по имеющимся координатам. Такой подход моделирует получение координат объектов с помощью спут-

никовой системы навигации.

2) Два АРП, находящиеся, например, на парковке, должны покинуть парковочное место, не задев впередистоящий автомобиль и уступив дорогу проезжающему автомобилю. На следующем рисунке прототипами АРП являются объекты А, периодически проезжающим автомобилем — объект В, стоящими на парковке автомобилями — объекты С.

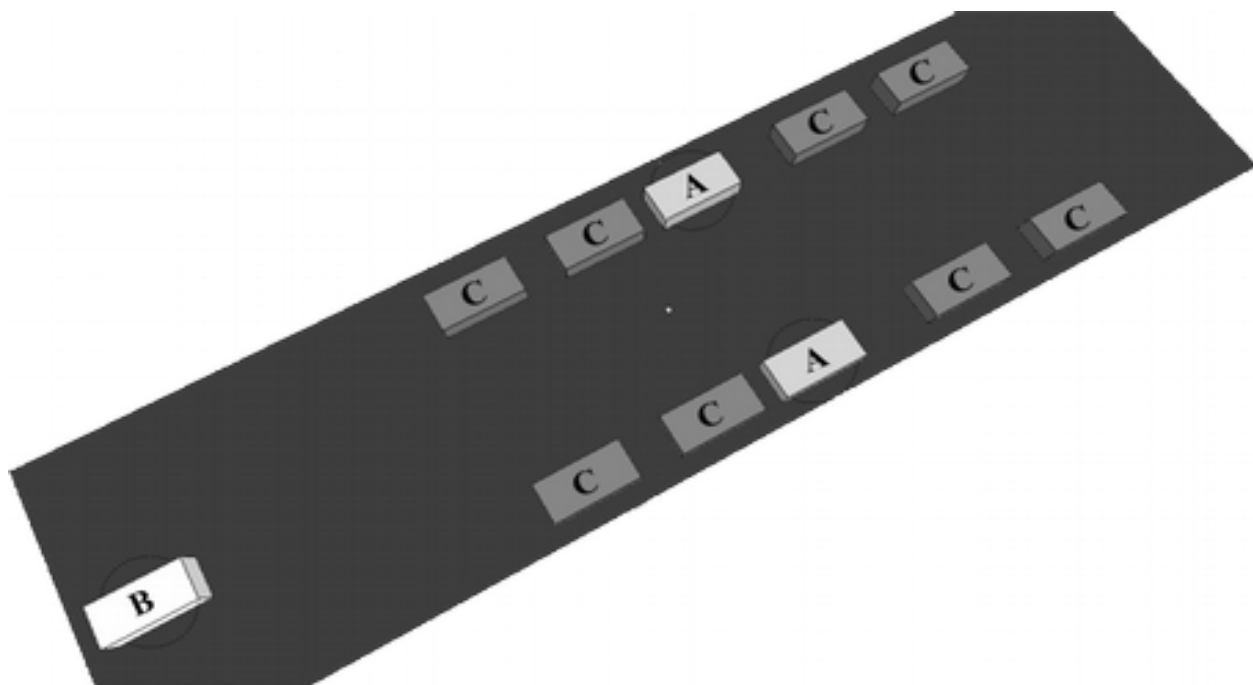


Рис. 6. Схема задачи №2

На рисунке рис. 7 видно, как один АРП уже покинул свое парковочное место и движется по проезжей части, а второй АРП стоит и пропускает проезжающую машину. Пример правил приведен на листинге 2.

Листинг 2. Правила трогания с места (pyDatalog)

```
радарСработал(Х) <= (Х == True)
(повернутьАРП[Х, АРП] == 0.03) <= радарСработал(Х) & (АРП == "Robot2")
(повернутьАРП[Х, АРП] == -0.03) <= радарСработал(Х) & (АРП == "Robot1")
(повернутьАРП[Х, АРП] == 0.00) <= ~ (радарСработал(Х))
```

В качестве сенсоров в данной задаче использовались: сенсор delay, сенсор keyboard, сенсор property, сенсор radar. Сенсор delay отвечает за периодическое обращение к контроллеру, который проверяет достижение проезжающим автомобилем конца дороги. Сенсор keyboard отвечает за начало движения АРП по команде оператора. Сенсор property отвечает за выполнение некоторых действий вследствие срабатывания определенного свойства. Сенсор radar отвечает за обнаружение впереди стоящего автомобиля.

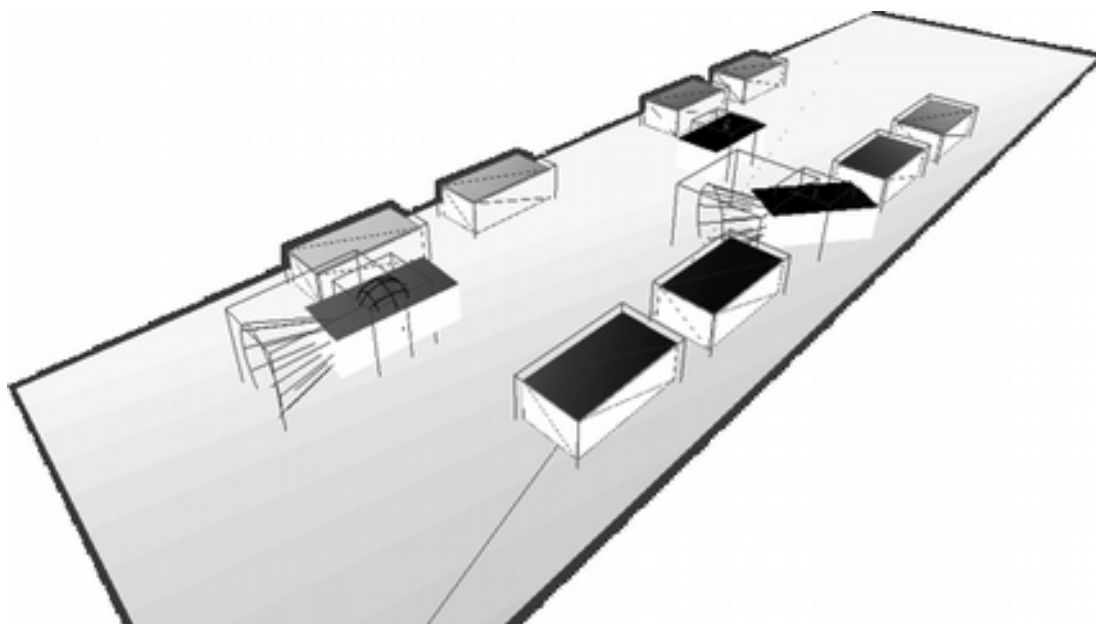


Рис. 7. Визуализация задачи №2

Контроллерами в этой ситуации являются скрипты на языке Python и связки and, которые связывают сенсор и актуатор. Актуатор перемещает АРП после получения сигнала от контроллера, которого в свою очередь вызвал сработавший на некоторое условие сенсор.

Близость АРП к проезжающему автомобилю высчитывалась по имеющимся координатам. Такой подход моделирует получение координат объектов с помощью спутниковой системы навигации. Определение препятствия в виде впереди стоящего на парковке автомобиля происходило с помощью сенсора radar, который моделирует простейшую СТЗ. Таким образом была пока-

зана возможность визуальной навигации в дополнение к существующим.

3) Прототип АРП должен достичь конца извилистой дороги, при этом не столкнувшись со статическими препятствиями на своем пути. На следующем рисунке прототипом АРП является объект А, статическими препятствиями – объекты В, началом дороги – С, концом дороги – D.

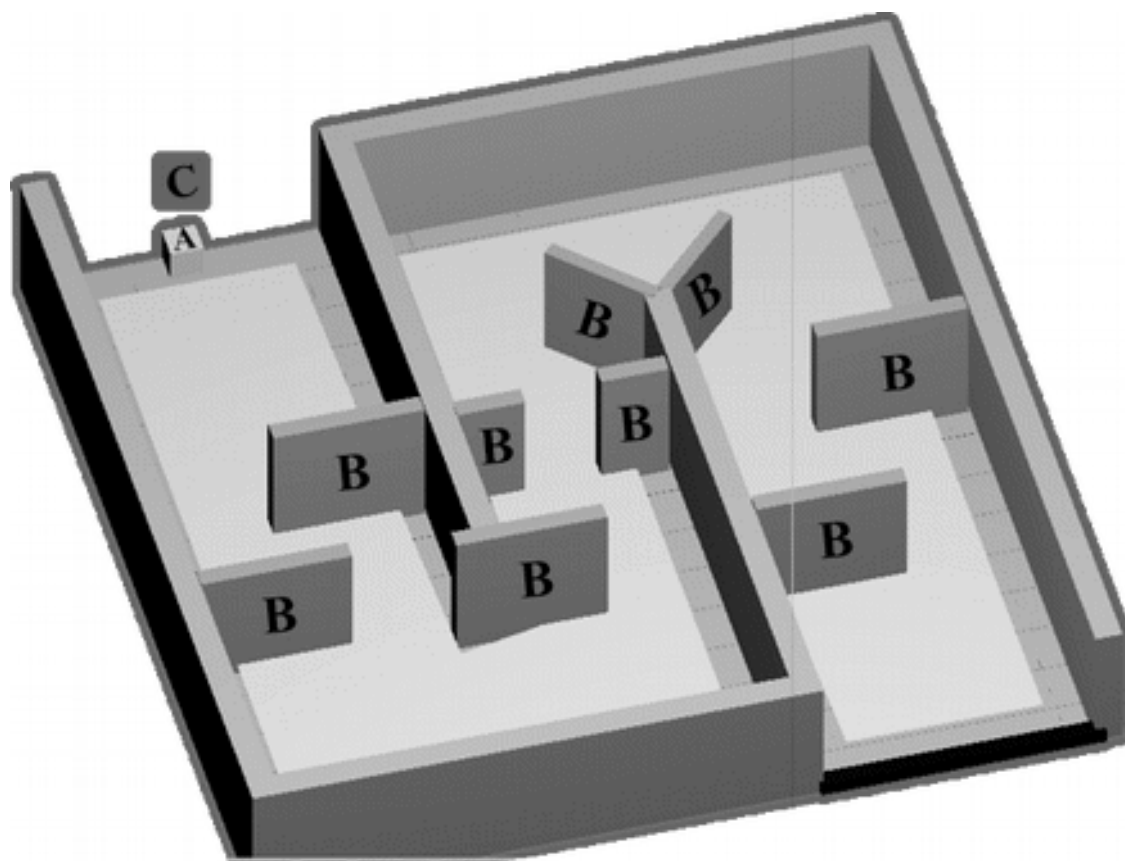


Рис. 8. Схема задачи №3

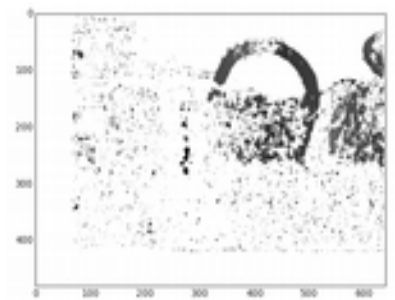
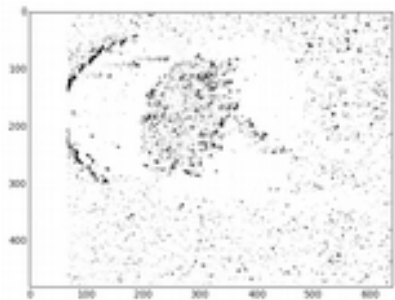
Правила в данной задаче аналогичны правилам, которые были приведены в примерах предыдущих двух задач. Во всех трех случаях модель АРП успешно справилась с поставленной задачей.

2. Проверка возможности анализа сцен окружающего мира

Проверка технического комплекса для анализа сцен окружающего мира производится путем предоставления таковых СТЗ АРП. СТЗ АРП должна выделять и классифицировать объекты.

В таблице 1 представлены результаты восстановления трехмерных изображений. Сначала в таблице представлено исходное изображение и ниже полученная карта невязок (расхождений) стереосистемы.

Таблица 1 — Результаты восстановления трехмерных сцен

Исходное изображение 1	
Карта расхождений 1	
Исходное изображение 2	
Карта расхождений 2	

Как можно видеть, результаты получены с некоторыми искажениями и высокой степенью шума. Для снижения влияния шума модель была доработана и в состав системы включены ультразвуковые датчики расстояния. Моделирование работы системы с стереопарой и ультразвуковыми датчиками было проведено в виртуальной реальности, созданной инструментом V-Rep.

На рис. 9 показано облако точек, построенное после обхода роботом сцены.

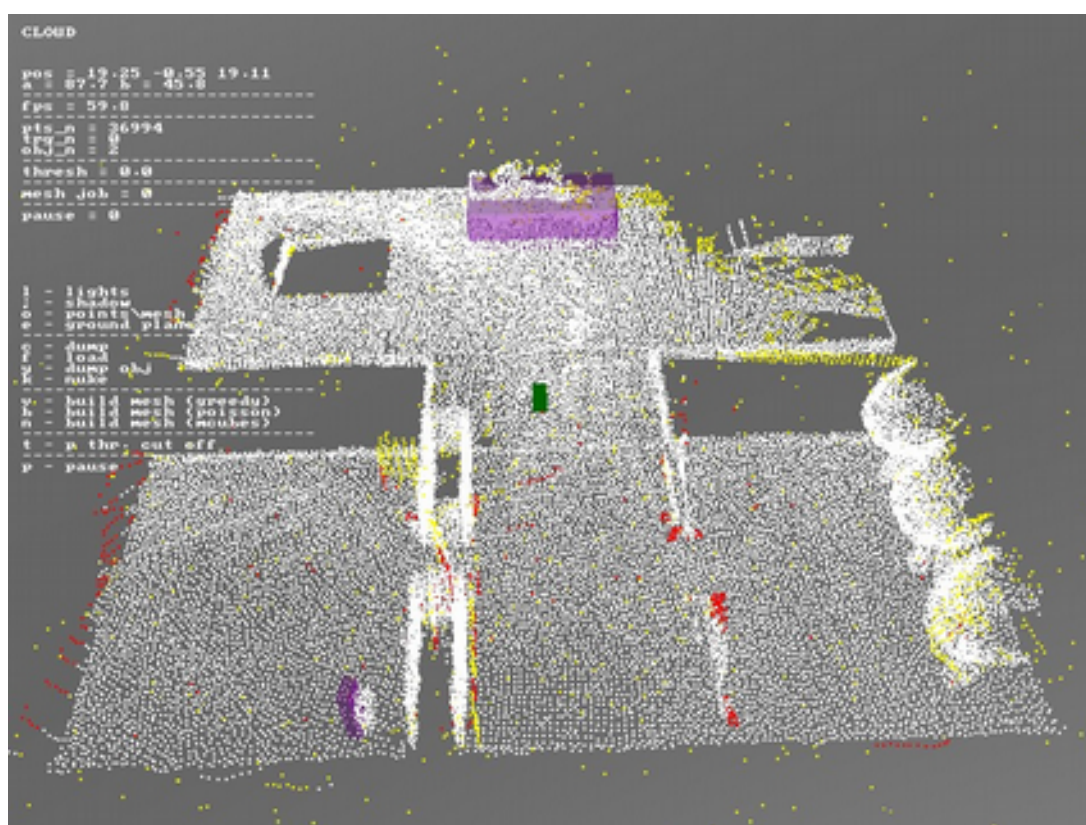


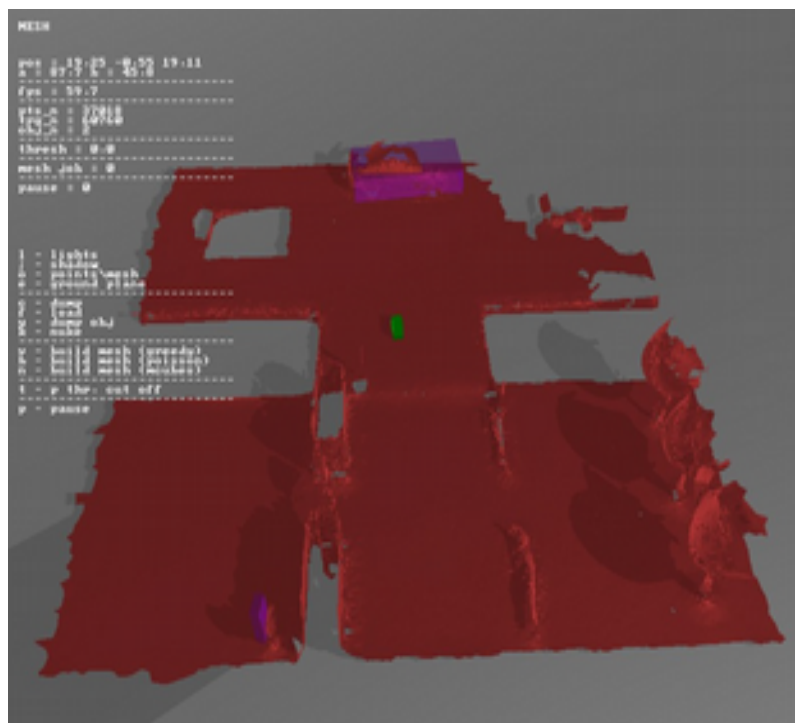
Рис. 9. Результат построения облака точек для сцены

На рисунке 10 (а, б) показан результат восстановления поверхности путем триангуляции облака точек, показано сравнение построенных навигационных мешей для оригинальной сцены и реконструированной сцены.

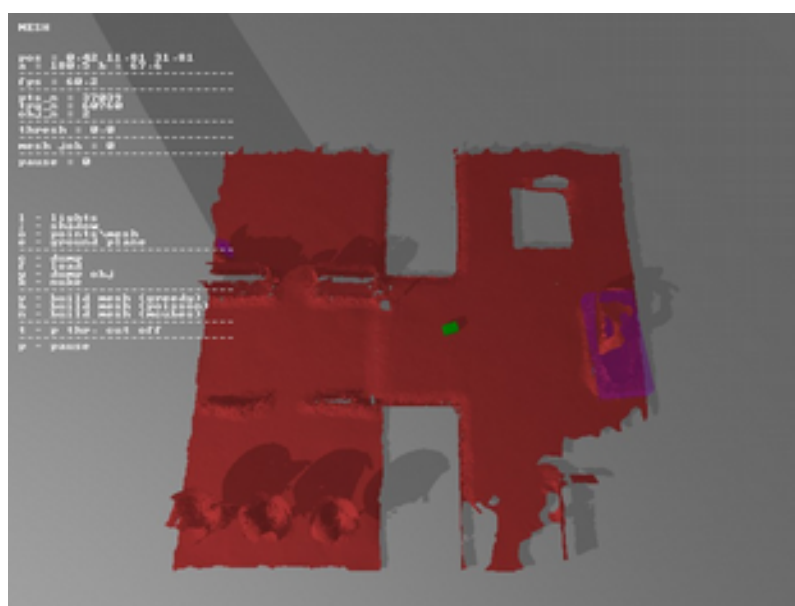
На основании сравнения полученных мешей можно сделать вывод о том, что метод с достаточной точностью выполняет поставленную задачу восстанов-

ления поверхности.

Для тестирования способности СТЗ распознавать объекты были проведены следующие испытания. Классификатор был обучен выделять следующие типы объектов: здание, автомобиль. В обучающую выборку вошел ряд изображений, показанный на рис. 11.



(a)



(б)

Рис. 10. Результаты восстановления поверхности по облаку точек

Обученному классификатору предлагалось отнести предъявляемые изображения (см. рис. 12) к одному из 2-х классов. В результате (см. Приложение А) верно определено 18 из 21 изображений. Т.о. качество распознавания для данной выборки составляет 0,86.



(а) здания

(б) автомобили

Рис. 11. Обучающая выборка

Таким образом установлено, что работа алгоритмов СТЗ является удовлетворительной.

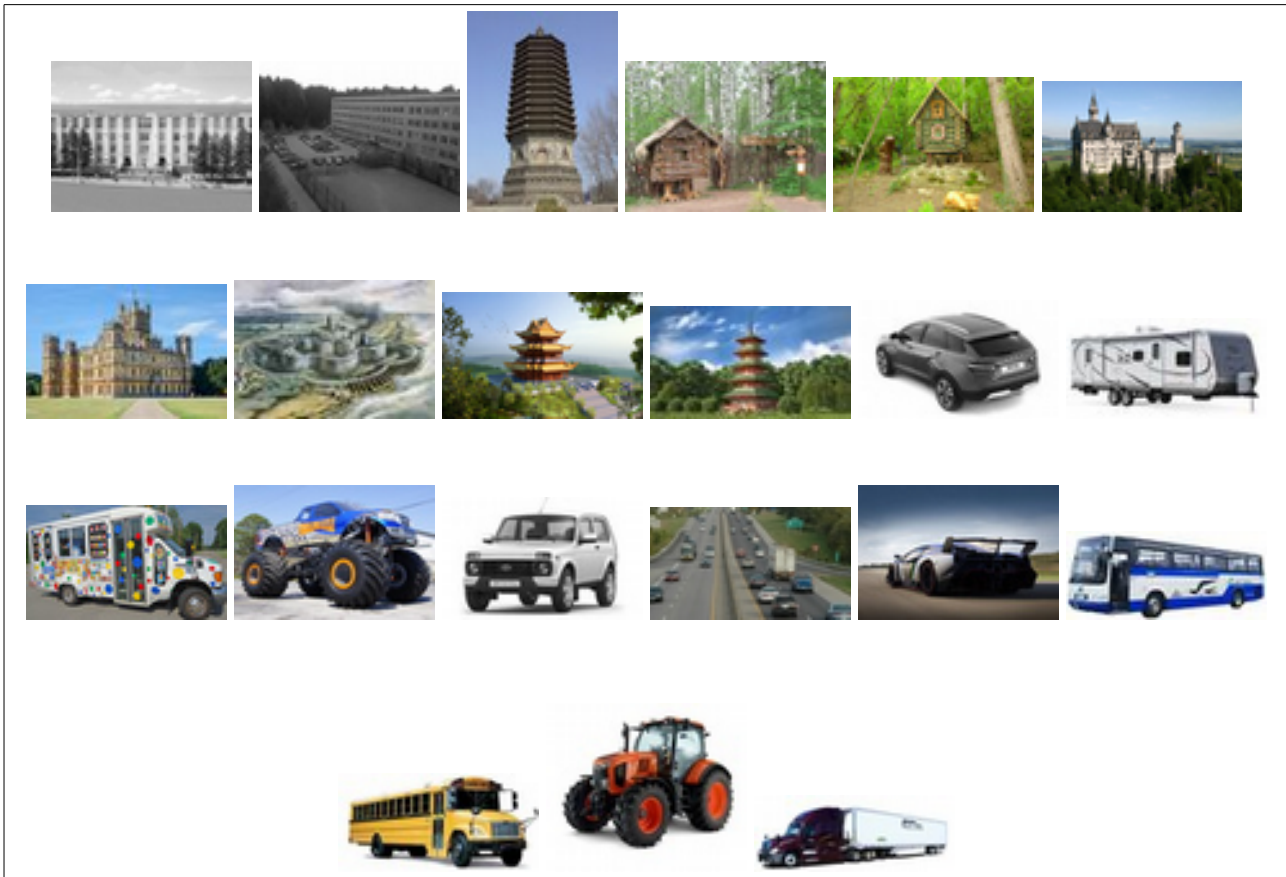


Рис. 12. Тестовая выборка

3. Проверка возможности широкополосного информационного обмена с пунктом управления

Проверка широкополосного информационного обмена с пунктом управления осуществляется путем тестирования канала связи на различных дистанциях. Тестирование производится при помощи утилиты ping в ОС ПДУ. Объект считается выдержавшим испытание при условии, если средняя задержка доставки пакета не превышает 1 сек.

Структура сети роботизированной платформы показана на рис. 7. Как можно видеть, связь между ПДУ и АРП организована при помощи WiFi канала с антенным усилителем.

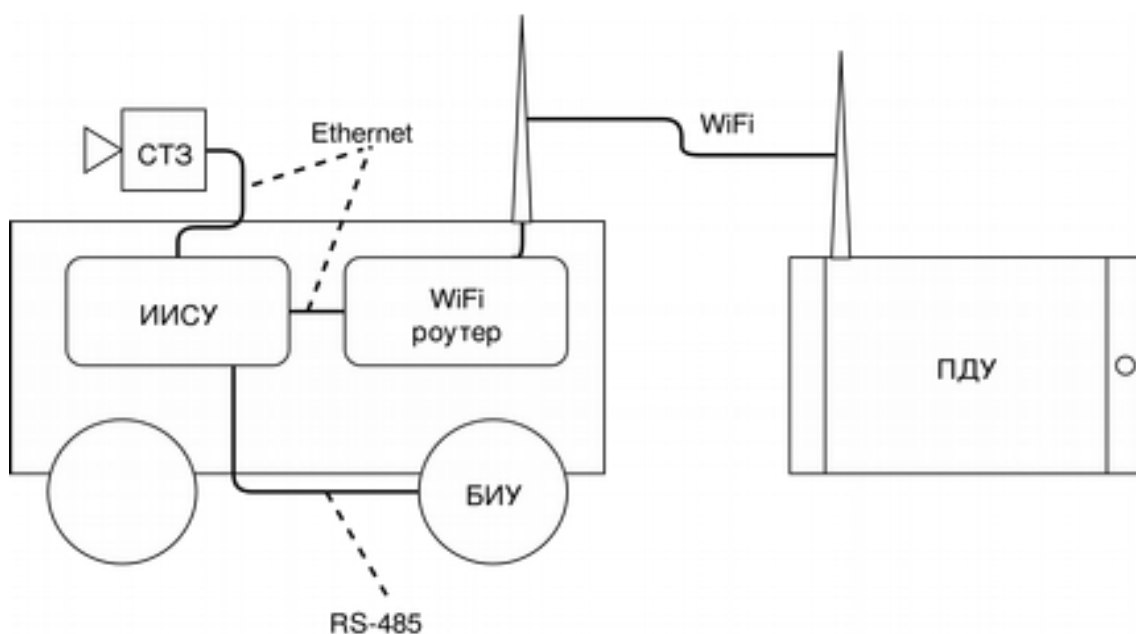


Рис. 13. Упрощенная структура сети АРП

В сеть АРП входят следующие основные компоненты: 1) ИИСУ, ПДУ, WiFi роутер, CTЗ и БИУ. Связь ИИСУ — CTЗ — роутер WiFi осуществляется по Ethernet 1000Base-CX, ПДУ — WiFi роутер — IEEE 802.11. В этом тесте испытывается только последний участок. В качестве ПДУ задействован ноутбук Packard Bell V5WT2. Ноутбук подключен к сети АРП и авторизован по WEP.

В связи с тем, что управление АРП предполагается только в пределах прямой видимости, обычно платформа действует автономно, тест проводится на расстоянии < 50м, без существенных с т.з. проходимости радиоволн преград.

IP-адрес ПДУ в сети АРП определяется командой ifconfig (см. лист. 3).

Листинг 3. Определение IP-адреса. Фрагмент ответа

```
$ ifconfig
* * * * *
wlp2s0    Link encap:Ethernet  HWaddr 40:f0:2f:45:22:45
          inet addr:192.168.1.51  Bcast:192.168.1.255  Mask:255.255.255.0
* * * * *
```

IP-адрес роутера — 192.168.1.1., проведем тест соединения:

Листинг 4. Проверка наличия соединения

```
$ ping -c 4 192.168.1.1
PING 192.168.1.1 (192.168.1.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 192.168.1.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.696 ms
64 bytes from 192.168.1.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=1.00 ms
64 bytes from 192.168.1.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=1.05 ms
64 bytes from 192.168.1.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=33.3 ms

--- 192.168.1.1 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3001ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.696/9.023/33.334/14.036 ms
```

Как можно видеть на лист. 2, все 4 пакета вернулись. Определяем задержку экстенсивного флуд-пинга (лист. 5).

Листинг 5. Экстенсивный флуд-пинг

```
$ sudo ping -c 4000 -f 192.168.1.1
PING 192.168.1.1 (192.168.1.1) 56(84) bytes of data.

--- 192.168.1.1 ping statistics ---
4000 packets transmitted, 4000 received, 0% packet loss, time 4294ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.547/1.006/30.814/0.804 ms, pipe 2, ipg/ewma
1.074/0.951 ms
```

Можно видеть, что задержки пакетов (из 4000) составляют:

- min — 0.547 мс,
- avg — 1.006 мс,
- max — 30.814 мс,

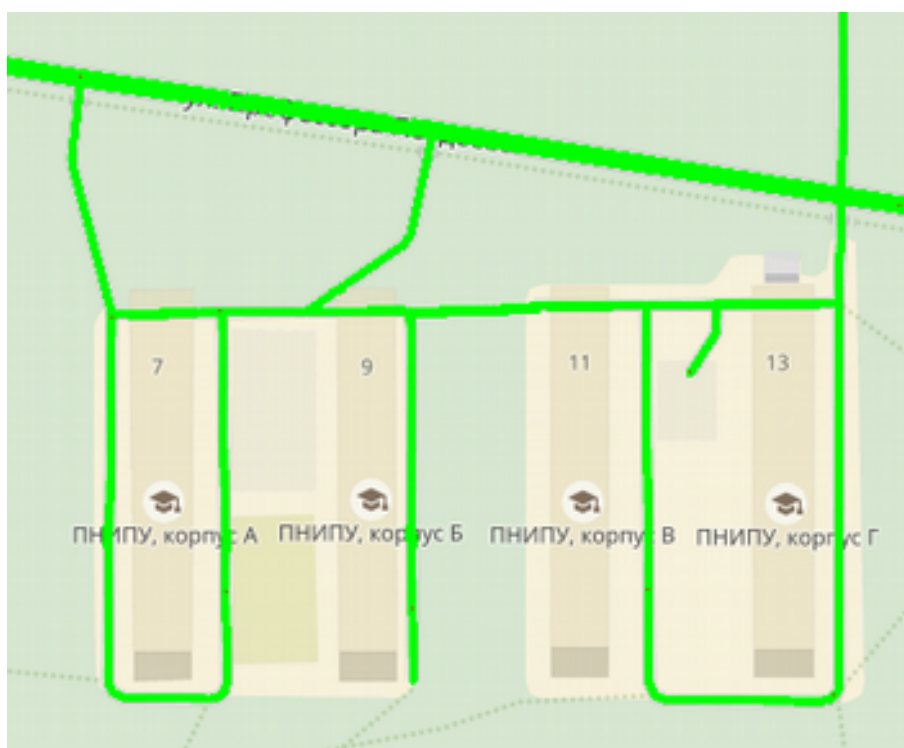
что является приемлемым результатом.

4. Проверка возможности самостоятельно прокладывать оптимальный маршрут

Обеспечение возможности самостоятельно прокладывать оптимальный маршрут выполняется следующим образом. В распоряжении робота имеется карта местности (см. рис. 13 а, б). При запуске подсистемы планирования маршрута производится случайный выбор точек начала и конца пути, затем строится траектория, по которой может быть проложен путь АРП.



(а)



(б)

Рис. 13. Карты местности (вблизи к. А. ПНИПУ).

При запуске подсистемы планирования генерируются отладочные кадры, позволяющие оценить ход поиска маршрута (см. рис. 14).



Рис. 14. Поиск маршрута, промежуточное состояние

Результат работы подсистемы приведен на рис. 15. Другие примеры ра-



Рис. 15. Результат поиска маршрута, 96 итераций, менее 1 сек

боты подсистемы приведены в Приложении Б. Среднее время поиска маршрута на карте составляет 0,63 сек.

Заключение

В ходе выполнения работы были проведены испытания технических характеристик ОРП, а именно:

- проверена возможность передвижения в автоматическом режиме с требуемой скоростью движения и по заданному маршруту
- проверена возможность анализа сцен окружающего мира и оценки основных параметров наблюдаемых объектов;
- проверена возможность широкополосного информационного обмена с пунктом управления;
- проверена возможность самостоятельно прокладывать оптимальный маршрут.

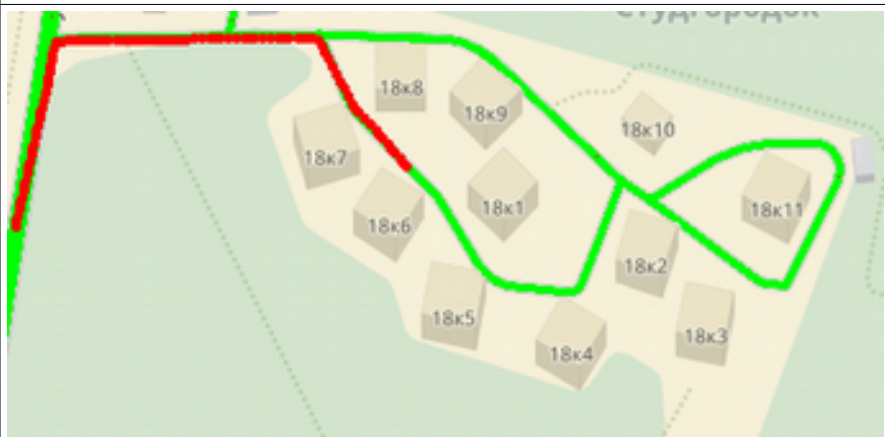
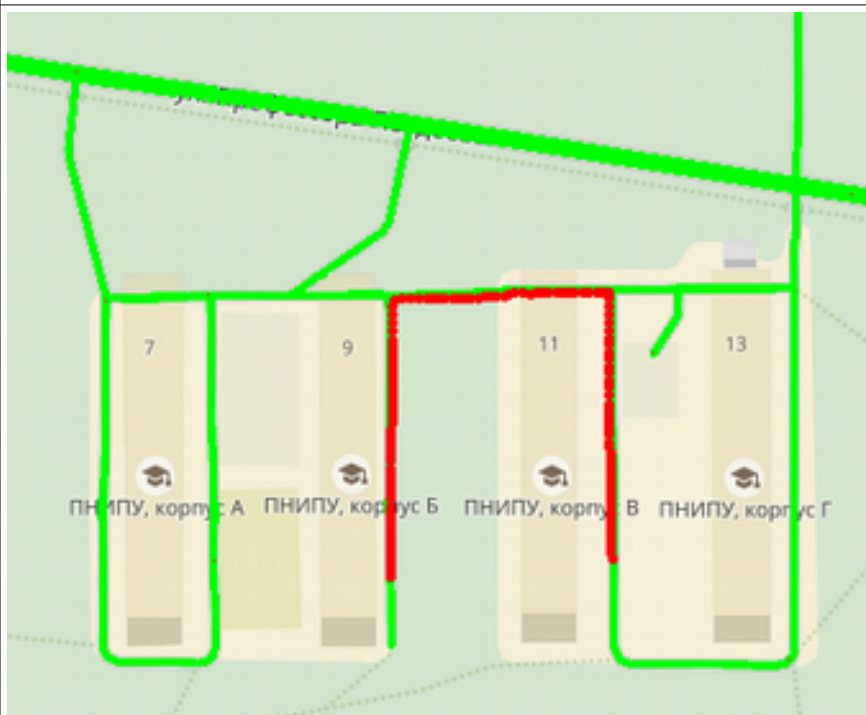
Таким образом, исходя из выполненных задач, поставленная цель достигнута, выявлены необходимые доработки.

Приложение А. Результаты работы алгоритма распознавания образов

Изображение	Имя файла (ожидаемый ответ)	Ответ СТЗ	Корректность
	test/buiding_2.jpg	building	1
	test/building_1.jpg	building	1
	test/building_10.JPG	building	1
	test/building_3.jpg	building	1
	test/building_4.jpg	building	1
	test/building_5.jpg	building	1
	test/building_6.jpg	building	1
	test/building_7.jpg	building	1
	test/building_8.jpg	building	1
	test/building_9.jpg	building	1

Изображение	Имя файла (ожидаемый ответ)	Ответ СТЗ	Корректность
	test/car_1.jpg	car	1
	test/car_10.jpg	car	1
	test/car_11.jpg	car	1
	test/car_12.jpg	building	0
	test/car_2.jpg	car	1
	test/car_3.jpg	building	0
	test/car_5.jpg	car	1
	test/car_6.jpg	car	1
	test/car_7.jpg	building	0
	test/car_8.jpg	car	1
	test/car_9.jpg	car	1
Правильных ответов			18
Всего объектов			21

Приложение Б. Результаты работы алгоритма прокладки маршрута

Результат работы	Число итераций / время (с)
	96 / 0,63
	124 / 0,81
	66 / 0,43