

Начало работы с Robotino

Антонов Е. С.
Кафедра систем управления и информатики
Университет ИТМО

Санкт-Петербург
2015–2017

Оглавление

1 Описание робота	4
1.1 Общие сведения	4
1.2 Ходовая часть робота	4
1.3 Бортовые компьютер и электроника	5
1.4 Порты питания и линии ввода-вывода	5
1.5 Периферийные дальномеры	6
2 Практические вопросы использования робота	8
2.1 Включение/выключение робота	8
2.2 Зарядка робота	9
2.3 Подключение робота к сети	11
2.3.1 Общие замечания	11
2.3.2 Подключение роутера с его предварительным извлечением	11
2.3.3 Подключение роутера без его предварительного извлечения	11
2.3.4 Настройка роутера на работу в режиме точки доступа	12
2.3.5 Настройка роутера на работу в режиме клиента	12
2.4 Дополнительные устройства и их подключение	14
2.4.1 Подключение web-камеры	14
2.4.2 Система NorthStar	14
2.4.3 Подключение лидара	16
2.4.4 Подключение датчика-металлоискателя (inductive sensor)	16
2.4.5 Подключение оптического датчика (Opto-electronic sensors)	18
2.4.6 Подключение схвата (gripper)	19
2.4.7 Подключение реле	21
3 Программное обеспечение робота	22
3.1 Общие сведения	22
3.2 Стандартное API	22
3.2.1 Общие замечания	22
3.2.2 Установка необходимого ПО	22
3.2.3 Создание программ	23
3.3 Управление роботом средствами ROS	23
3.3.1 Общие замечания	23
3.3.2 Установка и использование пакетов	23
Список источников	23
Приложения	
A Дополнительные замечания о системе NorthStar	25
B Описание проверяющих работоспособность системы NorthStar экспериментов	26

C Рекомендации к дальнейшим экспериментам с NorthStar	31
D Пример настроек проекта в CodeBlocks, необходимых для использования библиотеки RobotinoAPI2	32

Глава 1

Описание робота

1.1 Общие сведения

Робот Robotino был создан и выпускался немецкой компанией Festo Didactic для применения в образовательных целях. Всего компанией производителем было разработано три версии (или поколения) этого робота: Robotino 1.0, Robotino 2.0 и Robotino 3.0.¹ Данное руководство посвящено описанию роботов второй(-го) из них.

Внешний вид робота Robotino 2.0 показан на рисунке 1.1. Большинство из отмеченных на нем частей робота будут подробно описаны ниже по тексту. О датчике касания 3, о котором далее не последует отдельного повествования, достаточно отметить лишь то, что он, выполняющий также защитные функции, работает как концевой выключатель, сигнализируя только о факте собственного контакта с внешними объектами.

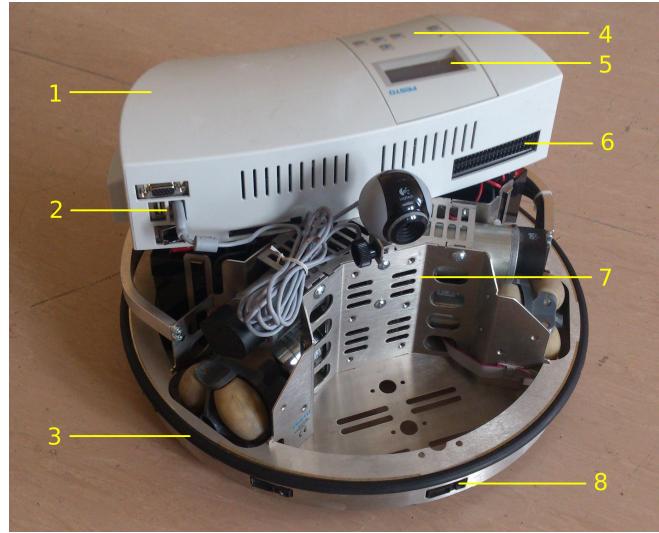


Рис. 1.1: Робот Robotino: 1 — блок с бортовым компьютером и управляющей электроникой; 2 — разъемы VGA × 1, USB 2.0 × 2 и Ethernet × 1; 3 — датчик касания; 4, 5 — кнопочно-дисплейный интерфейс; 6 — порты питания и ввода-вывода; 7 — шасси; 8 — оптический дальномер.

1.2 Ходовая часть робота

Ходовая часть данного робота (см. рисунок 1.2) снабжена тремя всенаправленными колесами 4, каждое из которых приводится в движение отдельным двигателем 2 постоянного то-

¹То, что данный робот существует в трех версиях, следует, например, из [2], а также из того, что на сайте производителя существуют страницы, посвященные двум последним версиям робота (см. [3, 4]) и на первой из них есть упоминание об еще старой версии данного робота.

ка через ременную передачу 1 и редуктор (он находится под двигателем и на рисунке 1.2 не виден). Благодаря такому ее устройству Robotino может двигаться на плоскости совершенно произвольным образом.

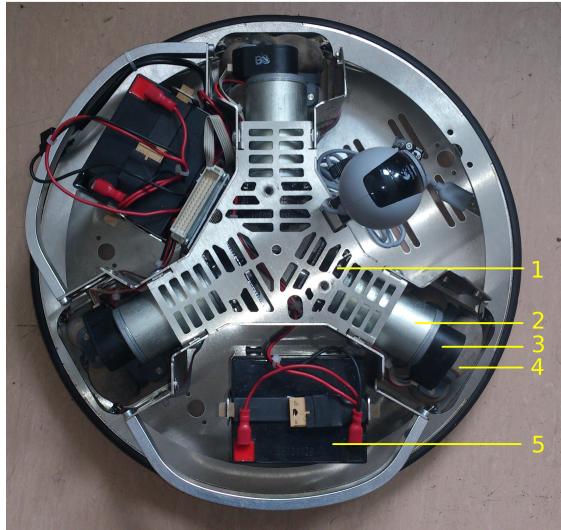


Рис. 1.2: Строение ходовой части робота: 1 — передача с зубчатым ремнем; 2 — двигатель постоянного тока; 3 — энкодер; 4 — всенаправленное колесо; 5 — аккумулятор.

Максимальная скорость поступательного движения робота согласно [3] равна 10 км/ч.

1.3 Бортовые компьютер и электроника

Командный блок («голова») робота содержит компьютер, на котором установлен Linux Ubuntu 9.04, и иную электронику, необходимую для работы с датчиками, двигателями и проч. Информация о них может быть найдена в [2, 3, 5], при этом автор не берется комментировать ее достоверность.

В заключение остается добавить, что на кафедральных роботах их родныероутеры заменены на маршрутизаторы TL-WR702N.

1.4 Порты питания и линии ввода-вывода

Входы-выходы 6 (см. рисунок 1.1, а также рисунки из [5, стр. 74] и [6]) нужны для подключения к роботу дополнительного оборудования. Они включают в себя

- 8 аналоговых входов (AIN0–AIN7),
- 8 цифровых входов (DI0–DI7),
- 8 цифровых выходов (DO0–DO7),
- 2 набора портов релейного переключения (REL0_ * и REL1_ *),
- 10 выходов питания (24V и GND)

и предназначены для работы со следующими электрическими сигналами:

- допустимое напряжение для подачи на аналоговые входы — от 0 до +10 В [5, стр. 74], [6];

- при выставлении на какой-либо цифровой выход логического нуля («false» в соответствующей функции) потенциал на нем относительно земли будет равен 0 В, при выставлении логической «1» («true» в соответствующей функции) — +10 В [7]²;
- при подаче на какой-либо цифровой вход напряжения меньшего, чем 5.75 В, входной сигнал будет интерпретирован как логический «0», а при большего, чем 8.6 В — как логическая «1» [8]³.
- информацию о максимально допустимом токе, который может быть обеспечен выходами питания, найти не удалось; можно лишь предполагать, что он не должен превышать 4.5 А — значения, которое указано в [5, стр. 58] и которое, к слову сказать, близко к значению, на которое рассчитаны предохранители робота (5 А).

Смысл портов релейного переключения установить не удалось.

Подключение проводных контактов устройств к рассмотренным портам ввода-вывода робота осуществляется с помощью специальных клеммников, пример которых можно видеть на рисунке 1.3. Для этого последние с закрепленными в них контактами устройств⁴ попросту вставляются по одному в верхний и нижний ряд соответствующих отверстий (см., например, рисунок 2.16).

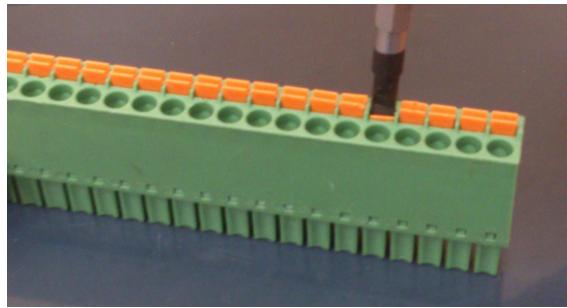


Рис. 1.3: Внешний вид клеммников Robotino.

1.5 Периферийные дальномеры

Робот Robotino имеет 9 оптических дальномеров, внешний вид которых можно видеть на рисунке 1.1. Каждый из них согласно [5, стр. 68] рассчитан на измерение расстояний до объектов в пределах от 4 до 30 см.

Схема расположения дальномеров представлена на рисунке 1.4. Красным и зеленым отрезками, на нем показаны оси OX и OY правосторонней системы координат, жестко связанной с роботом так, что положительное направление оси абсцисс совпадает с направлением «взора» робота. Окружностью радиусом 48.5 см обозначена приблизительная граница области видимости датчиков. Последнее значение получается, если к наибольшему расстоянию до препятствия, фиксируемому дальномерами, (30 см) прибавить радиус робота, равный 18.5 см [3].

²Измерение мультиметром, однако, во втором случае показывает значение, близкое к +24 В.

³О допустимых верхней и нижней границах информации в сети найти не удалось. Принимая во внимание сказанное в [7] о цифровых выходах можно предположить, что максимально большое из допустимых напряжений имеет значение, равное +10 В.

⁴Для закрепления провода в гнезде клеммника отожмите, например отверткой, соответствующий фиксатор так, как это показано на рисунке 1.3.

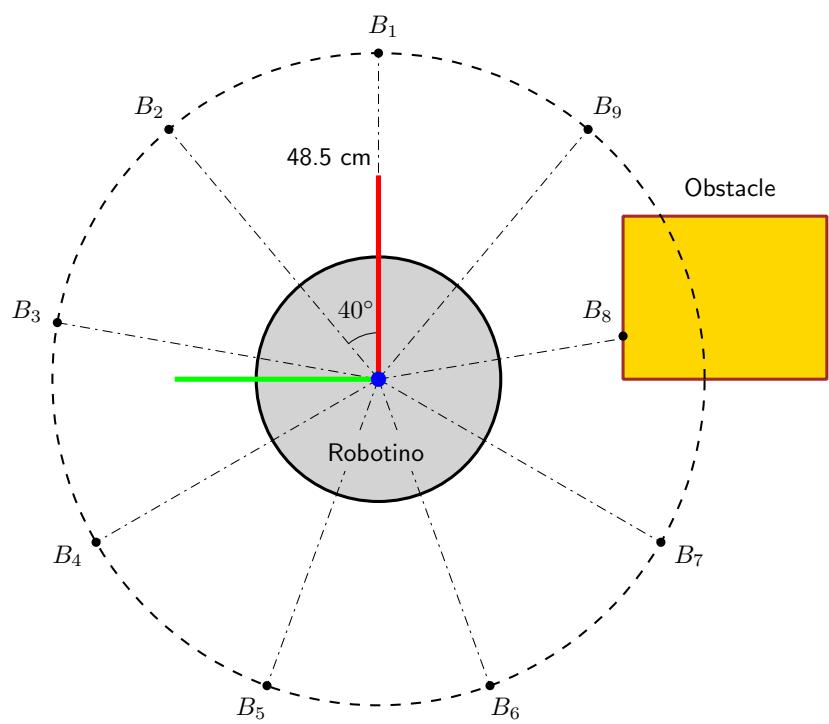


Рис. 1.4: Схема расположения дальномеров на роботе Robotino.

Глава 2

Практические вопросы использования робота

2.1 Включение/выключение робота

Для включения робота нажмите и удерживайте кнопку 1 до тех пор пока индикаторный светодиод 2 не перестанет мигать. После этого отпустите кнопку и дождитесь окончания загрузки.



Рис. 2.1: Кнопочно-дисплейный интерфейс Robotino.

Стоит отметить, что на определенном этапе загрузки робот может самостоятельно отключиться. В этом случае просто включите его еще раз. Если такое его поведение повторится более двух раз, попробуйте заменить ему батареи или поставить его на зарядку.

Для выключения робота нажмите и удерживайте кнопку 1 до тех пор пока индикаторный светодиод, перестав мигать, не потухнет. После этого отпустите кнопку.

2.2 Зарядка робота

Для зарядки пары аккумуляторов, установленных на робота, воткните штекер зарядного устройства в вилку, торчащую с левого борта Robotino (см. рисунок 2.2).

Для зарядки пары аккумуляторов, не установленных на робота, соедините их перемычкой и подключите свободные полюса к зарядному устройству с помощью «переходника», оснащенного зажимами-крокодилами (см. рисунок 2.3).

Если понадобится произвести замену аккумуляторов на Robotino, отверните четыре показанные на рисунке 2.4 винта и аккуратно снимите командный блок («голову») робота. После этого снимите вилки (или зажимы-крокодилы) с клемм старых аккумуляторов, а также прижимную планку, фиксирующую аккумулятор на месте его установки, освободив ее концы от прижимных петель (см. рисунок 2.5). После этого замените старые аккумуляторы на новые и повторите все указанные действия в обратном порядке. Будьте осторожны при установке на место командного блока робота по той причине, что можно повредить разъемы его электрического соединения с несущей платформой!



Рис. 2.2: Зарядка аккумуляторов, установленных на робота.



Рис. 2.3: Зарядка отдельно стоящих аккумуляторов.

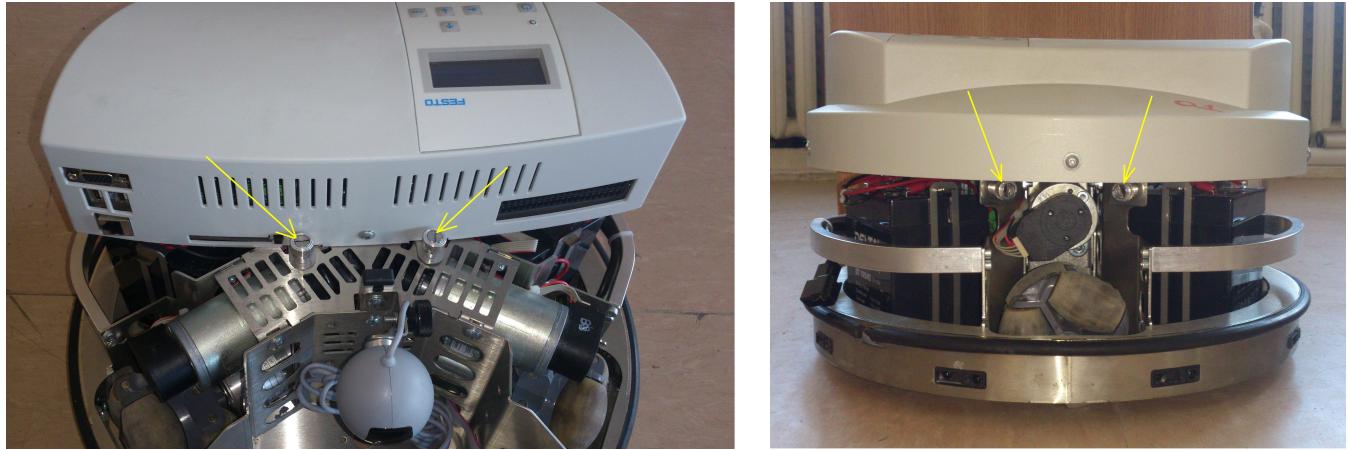


Рис. 2.4: Винты, соединяющие «голову» и колесную базу робота.

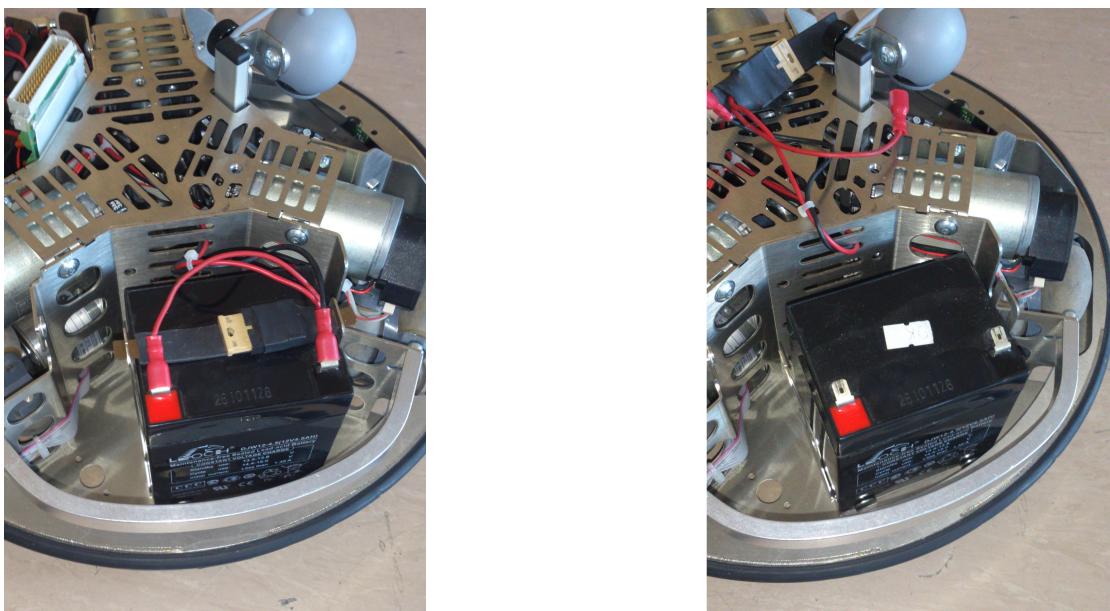
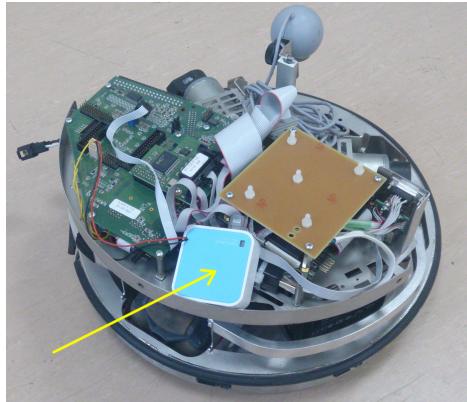


Рис. 2.5: Отключение аккумулятора от робота.

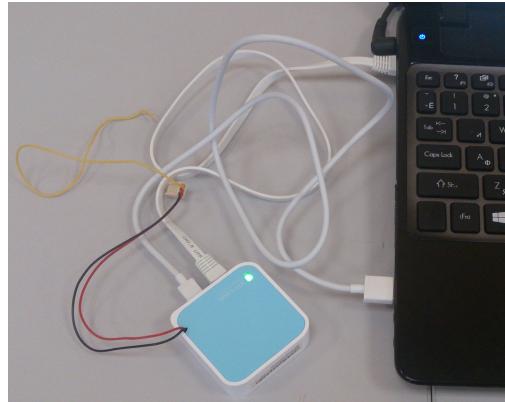
2.3 Подключение робота к сети

2.3.1 Общие замечания

Подключение Robotino к сети обеспечивается маршрутизатором TL-WR702N, находящимся внутри командного блока (см. рис. 2.6а). Для «общения» с роботом через сеть его можно настроить на работу в одном из двух режимах: точки доступа и клиента.



а)



б)

Рис. 2.6: Маршрутизатор TL-WR702N: а — внутри командного блока робота, б — подключенный к ПК.

Для настройки роутера в первую очередь необходимо к нему подключиться. Сделать это можно двумя способами — см. п. 2.3.2 и 2.3.3.

2.3.2 Подключение роутера с его предварительным извлечением

Извлеките из выключенного робота его CF карту, предварительно нажав на специально предназначенную для этого кнопку (обведена желтым контуром на рис. 2.7). Отверните 4 показанные на рис. 2.7 красными стрелками винта и снимите крышку командного блока. Далее отсоедините роутер от присоединенных к нему кабелей питания и Ethernet. Извлеченный роутер подключите к своему компьютеру с помощью mini-USB и Ethernet кабелей (см. рис. 2.6б). Далее нажмите и держите кнопку сброса на роутере до тех пор, пока не замигает его индикаторный светодиод. Подождите пока роутер не перезагрузится примерно минуту. Далее откройте на своем компьютере «Сетевые соединения» и подключитесь к проводному соединению, созданному роутером (этот процесс может пройти автоматически). Откройте браузер и введите в его адресной строке IP-адрес роутера (после перезагрузки устройства он сбрасывается до 192.168.0.254). Далее в открывшемся окне введите логин: admin и пароль: admin. Роутер готов к настройке.

2.3.3 Подключение роутера без его предварительного извлечения

Подключите свой компьютер к роботу с помощью Ethernet кабеля, используя тот Ethernet порт робота, который обозначен с помощью 2 на рис. 1.1. Далее откройте на своем компьютере «Сетевые соединения» и подключитесь к проводному соединению, созданному при указанном подключении (этот процесс может пройти автоматически). Там же (в «Сведения о соединении») или иным образом¹ узнайте IP, который получил ваш компьютер в этом соединении. Просканируйте данную сеть, например, с помощью утилиты пинг, передав ей в качестве аргумента этот IP (команду целиком можно видеть на рис. 2.8). Откройте браузер и введите в его адресной строке IP-адрес маршрутизатора, определенный с помощью пинг. Далее в открывшемся окне введите логин: admin и пароль: admin. Роутер готов к настройке.

¹Например, с помощью команды ifconfig в *nix системах.



Рис. 2.7: Винты, фиксирующие крышку командного блока робота.

2.3.4 Настройка роутера на работу в режиме точки доступа

Минусы: При работе маршрутизатора в этом режиме с одного компьютера можно «общаться» только с одним роботом.

Плюсы: Рабочая сеть всегда с собой (с роботом).

Для настройки работы роутера в режиме точки доступа откройте вкладку «Быстрая настройка» (см. рис. 2.9). Выполните все требуемые действия, выбрав при этом пункт «Точка доступа» в качестве желаемого режима работы роутера.

2.3.5 Настройка роутера на работу в режиме клиента

Плюсы: При работе маршрутизатора в этом режиме с одного компьютера можно «общаться» с любым количеством роботов.

Минусы: Нужна внешняя Wi-Fi сеть.

Для настройки работы роутера в режиме точки доступа откройте вкладку «Быстрая настройка» (см. рис. 2.9). Выполните все требуемые действия, выбрав при этом пункт «Клиент» в качестве желаемого режима работы роутера.

```

^C[base_laser_broadcaster_from_launch_file-7] killing on exit
[robot_state_publisher-6] killing on exit
[robotino_camera_node-5] killing on exit
[robotino_laserrangefinder_node-4] killing on exit
[robotino_odometry_node-3] killing on exit
[robotino_node-2] killing on exit
[rosout-1] killing on exit
[master] killing on exit
shutting down processing monitor...
... shutting down processing monitor complete
done
:~$ sudo nmap -sP 192.168.0.101/24

Starting Nmap 6.40 ( http://nmap.org ) at 2015-08-14 14:28 MSK
Nmap scan report for 192.168.0.100 1
Host is up (-0.089s latency).
MAC Address: 00:E0:4B:2F:7E:F8 (Jump Industrielle Computertechnik GmbH)
Nmap scan report for 192.168.0.254 2
Host is up (0.0034s latency).
MAC Address: E8:94:F6:91:FB:70 (Tp-link Technologies Co.)
Nmap scan report for 192.168.0.101 3
Host is up.
Nmap done: 256 IP addresses (3 hosts up) scanned in 32.49 seconds
:~$ 

```

Рис. 2.8: Работа утилиты nmap: 1 — информация о компьютере Robotino, 2 — о маршрутизаторе, 3 — о компьютере, с которого проводилось сканирование.

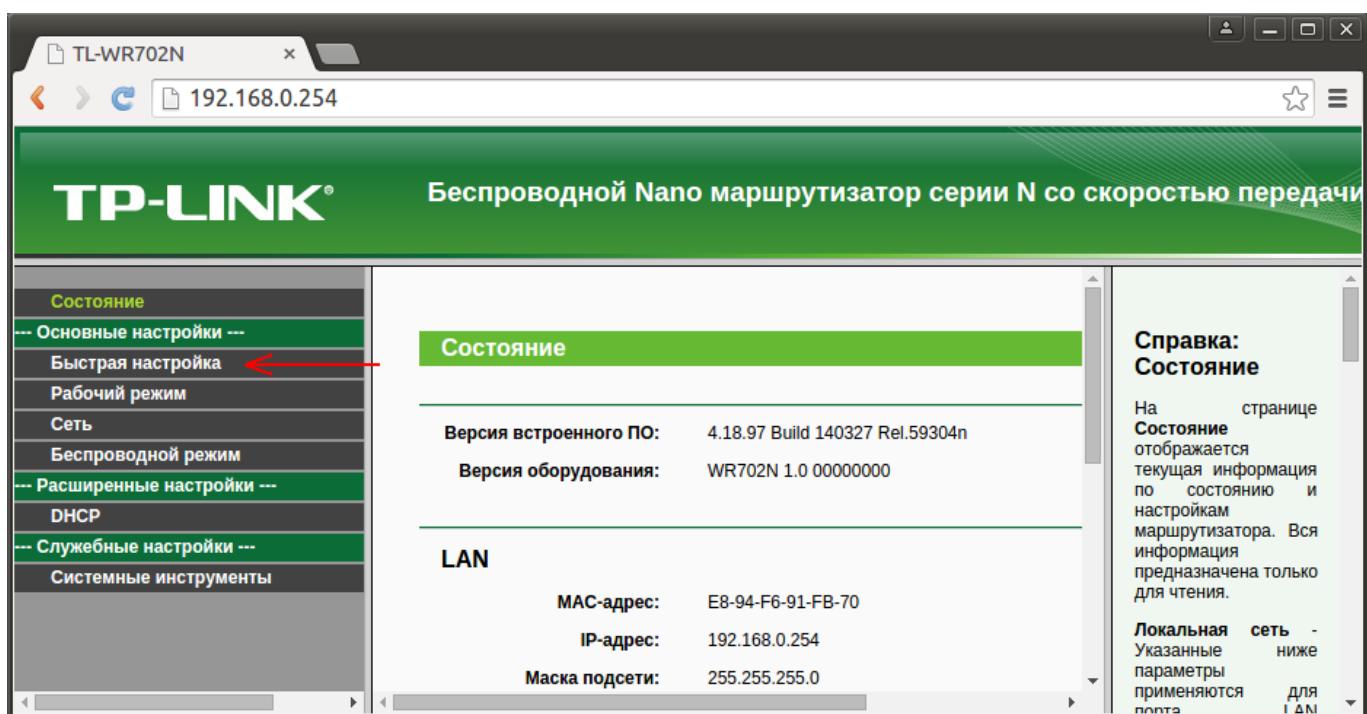


Рис. 2.9: Настройка роутера. Интерфейс.

2.4 Дополнительные устройства и их подключение

2.4.1 Подключение web-камеры

Электрически web-камеры к роботу подключаются по USB. Механически — как угодно, в том числе и с помощью специальной рейки, позволяющей регулировать высоту расположения камеры на роботе (см. рисунок 2.10).



Рис. 2.10: Монтаж вертикальной рейки на робота и установка на нее web-камеры.

2.4.2 Система NorthStar

Система NorthStar [9] предназначена для локализации Robotino в помещении. Всего данная система состоит из устройств двух типов: проекторов и приемников. Внешний вид последних можно видеть на рисунке 2.11.

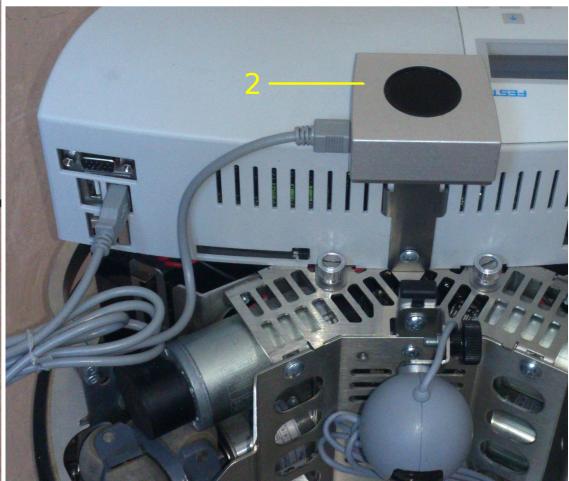


Рис. 2.11: Внешний вид составляющих частей системы NorthStar: 1 — проекторов, 2 — приемников.

Принцип работы данной системы состоит в том, что проектор излучает в инфракрасном диапазоне на потолок два световых пятна, а приемник по видимому изображению этих пятен на потолке определяет положение робота, на которого он установлен, относительно правосторонней системы координат, жестко связанной с проектором (обозначим ее как СКП). При этом данная информация включает в себя не только сведения о координатах точки в СКП, в которой находится робот, но также и о его угле поворота относительно нее. Точное положение самой

СКП определяется из тех фактов, что ее начало находится в точке на полу, в которую проецируется середина отрезка, ограниченного на потолке упомянутыми выше световыми пятнами, а ось OY лежит на прямой, проходящей через проекции с потолка на пол самих световых пятен.

Для определения положения на потолке инфракрасных пятен из-за их невидимости человеческому глазу разработчиками системы предусмотрена возможность их подсветки видимым красным светом (для иллюстрации к сказанному обратитесь к рисунку 2.12). Для ее активации на несколько секунд достаточно коснуться пальцем металлизированного «горла» проектора.



Рис. 2.12: Система NorthStar в работе.

У каждого проектора NorthStar на одной из его сторон есть переключатель набора частот, с которыми должны излучаться на потолок создаваемые им световые пятна (каждое пятно также проецируется с собственной, отдельной частотой). Поскольку приемник способен различать частоты свечения пятен, то одновременно он может работать сразу с несколькими проекторами.² Каждый проектор в свою очередь также может использоваться одновременно несколькими приемниками.

Для работы проектора достаточно подключить его к бытовой сети питания 220 В, для работы приемника — подключить его к роботу по USB.

Среди других эксплуатационных характеристик NortStar стоит выделить еще и то, что перед использованием данной системы в работе ее необходимо калибровать. Конкретные действия, составляющие суть данного процесса, сводятся к тому, чтобы подобрать такое значение одного из входных параметров³ для управляющего работой приемника программного обеспечения, при котором смещение робота в жизни на расстояние в 1 м, будет соответствовать изменению в возвращаемых системой координатах, говорящему о том же — о смещении приемника в 1 м [9, стр. 30].

Дополнительные сведения, касающиеся этой системы, можно узнать в Приложении А.

²Для указания того, с каким проектором следует работать приемнику NorthStar, в относящемся к нему ПО используется параметр RoomId. Характер зависимости его значения от положения переключателя набора частот на проекторе показан в таблице из [9, стр. 25].

³В дальнейшем он будет именоваться калибровочным коэффициентом. Официальная же документация к ПО робота приписывает ему значение высоты потолка [10].

2.4.3 Подключение лидара

Лидар (Laser range finder) Hokuyo URG-04LX-UG01 представляет собой датчик, который сканирует одну плоскость окружающего его пространства и определяет в ней расстояния, отделяющие его от препятствий (см. рисунок 2.13). Эти расстояния относятся к направлениям, описываемым некоторым множеством углов. Например, последнее для этого датчика может быть равным $[-120^\circ, -119.64^\circ, -119.28^\circ, \dots, 120^\circ]$ (подразумевается, что угол 0° соответствует направлению «вперед» относительно лидара). Согласно паспорту (см. datasheet в [11]), датчик способен фиксировать препятствия, находящиеся от него на расстоянии от 20 мм до 5600 мм, однако опыт его использования показывает, что предметы, удаленные от него больше, чем на 3 метра, стабильно могут не детектироваться.

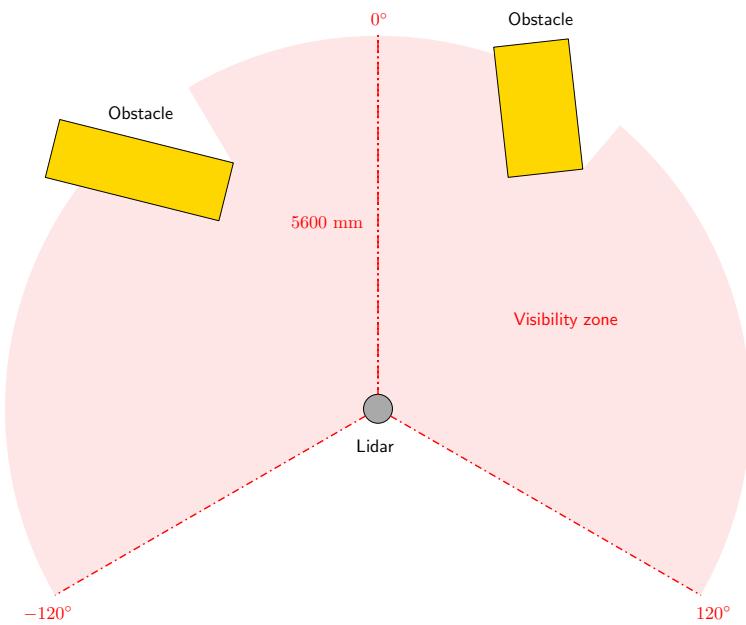


Рис. 2.13: Лидар в работе (схема; вид сверху).

Для подключения лидара к Robotino вставьте в USB-порты оба свободных конца его Y-образного кабеля (см. рисунок 2.14). Ограничеваться подключением к роботу только одного из концов категорически запрещено, так как это может привести к поломке как самого робота, так и датчика. Дело в том, что для работы последнего требуется ток, который может превышать 500 мА — максимальное значение для выходного тока одного USB-порта.

2.4.4 Подключение датчика-металлоискателя (inductive sensor)

Металлоискатель (см. рисунок 2.15) представляет собой датчик, который возвращает аналоговый сигнал, числовое значение которого тем меньше, чем ближе к сенсору находится какой-либо металлический объект. При этом дальность действия датчика составляет всего 6 мм.

Для электрического подключения этого датчика к Robotino (см. стр. 30 руководства с [12]) воткните коричневый провод датчика в любое гнездо клеммника, соответствующее порту с называнием «24V», синий провод — в любое гнездо клеммника, соответствующее порту с называнием «GND», а черный — в любое гнездо клеммника, соответствующее порту с называнием «AIN?», где ? — одно из чисел, составляющих множество $[1, 2, \dots, 8]$. Белый провод оставьте неподключенным (см. рисунок 2.16).

Для механического монтажа данного датчика производителем предусмотрены несколько отверстий в колесной платформе Robotino. Способ крепления выберите по вкусу. При этом учтите, что в руководстве пользователя от Robotino более поздней модели рекомендуется просто зафиксировать датчик в желаемом положении с помощью двух гаек [12], а на сайте производителя встречаются такие сборочные единицы с участием этого датчика, как [13, 14].



Рис. 2.14: Подключение лидара к роботу.



Рис. 2.15: Датчик-металлоискатель и кабель, с помощью которого он подключается.



Рис. 2.16: Пример подключения проводов кабеля датчика-металлоискателя.

2.4.5 Подключение оптического датчика (Opto-electronic sensors)

Оптические датчики (см. рисунок 2.17) можно использовать для решения двух задач. Во-первых, с их помощью можно определять цвет интересующей поверхности, однако только с точностью до «белая она или черная». Во-вторых, их можно использовать в качестве световых барьеров — датчиков, изменяющих состояние своего выходного сигнала при пересечении каким-либо объектом прямой линии, соединяющей излучатель и приемник (пример применения оптических датчиков в этой роли — см. подраздел 2.4.6).



Рис. 2.17: Оптический датчик с подключенным к нему сдвоенным световодом.

Для электрического подключения этого сенсора к Robotino (см. стр. 28–30 руководства с [12]) подключите его коричневый провод к любому из портов под названием «24V», синий — к любому из портов под названием «GND», а белый и черный — к любым двум из портов под названиями «DI?», где ? — одно значение из множества $[1, 2, \dots, 8]$. Цифровые сигналы, передаваемые с помощью белого и черного проводов являются инвертированными по отношению друг к другу, следовательно можно ограничиться подключением либо только белого, либо только черного провода.

Для крепления оптических датчиков у Robotino специально предусмотрено несколько посадочных мест (см. рисунки 2.18 и 2.22). При этом в качестве крепежных элементов подразумевается использовать две пары болт-гайка.

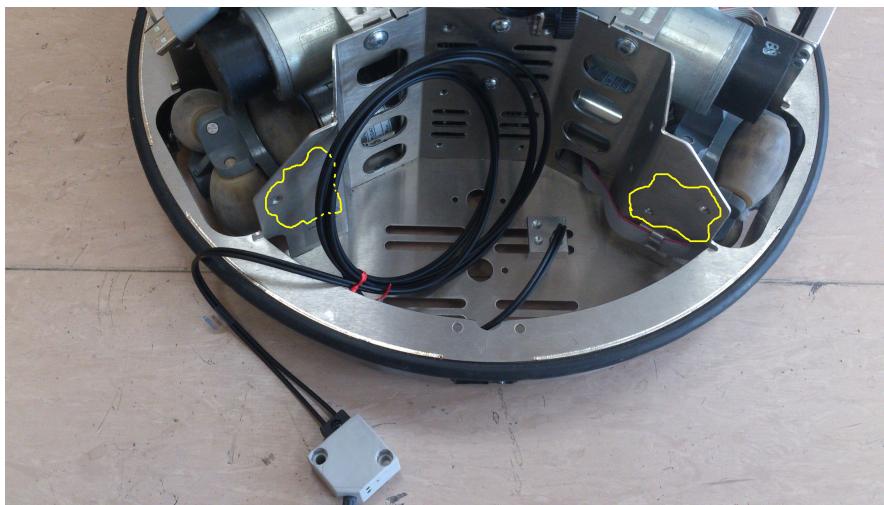


Рис. 2.18: Места для крепления оптических датчиков на роботе.

К оптическим датчикам дополнительно можно подключать световоды. Они бывают сдвоенными и одиночными. Сдвоенные следует применять, когда эти сенсоры применяются для определения цвета той или иной поверхности, одиночные — когда сенсоры используются как

световые барьеры. Пример использования одиночных световодов доступен в подразделе 2.4.6, а сдвоенного — на рисунке 2.18. На нем показан способ установки светочувствительного конца такого световода на днище робота, к которому можно прибегнуть, когда необходимо наделить робота умением определять цвет дорожного полотна.

Для установки световодов просто воткните их свободные концы в отверстия излучателя и приемника (см. рисунок 2.17) и закрепите их там некоторым поворотом затяжного винта.

Необходимо отметить, что даже при правильном выполнении всех выше описанных действий датчики могут «не заработать». Это можно исправить, покрутив маленькой отверткой настроечный винт, которым регулируется дальность срабатывания сенсоров (см. рисунок 2.19).

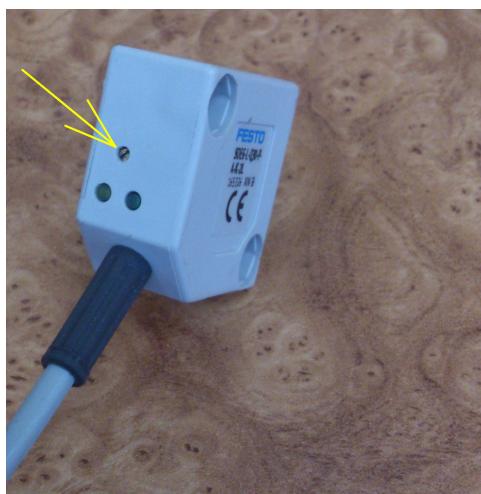


Рис. 2.19: Местоположение на оптическом сенсоре регулировочного винта.

2.4.6 Подключение схвата (gripper)

Доступный для подключения к Robotinoхват раскрывается всего на 4–4.5 мм (см. рисунок 2.20): расстояние между внутренними поверхностями его пальцев в закрытом состоянии составляет 38.5 мм, в открытом — 43 мм.



Рис. 2.20: Схват робота в открытом и закрытом состояниях.

Для электрического подключения схвата прикрутите к нему прилагающийся кабель. Последний внешне похож на те, которые применяются в паре с датчиками-металлоискателями, и отличается от них главным образом только тем, что содержит три провода: черный, коричневый и синий — а не четыре. Затем снимите командный блок Robotino и его левый аккумулятор (как это сделать — см. подраздел 2.2). На открывшейся вашему взору плате найдите свободный клеммник X15 (см. рисунок 2.21). Подсоедините к его левому гнезду коричневый провод кабеля

схвату, а к правому — синий (для этого сперва немного открутите размещенные там прижимные винты, затем вставьте в гнезда концы проводов и закрутите винты). Черный провод схвата никуда не подключается. Верните на место аккумулятор и командный блок робота. После этих действий схват готов к работе.

Рекомендуемое официальным разработчиком место размещения схвата, можно посмотреть в [15].

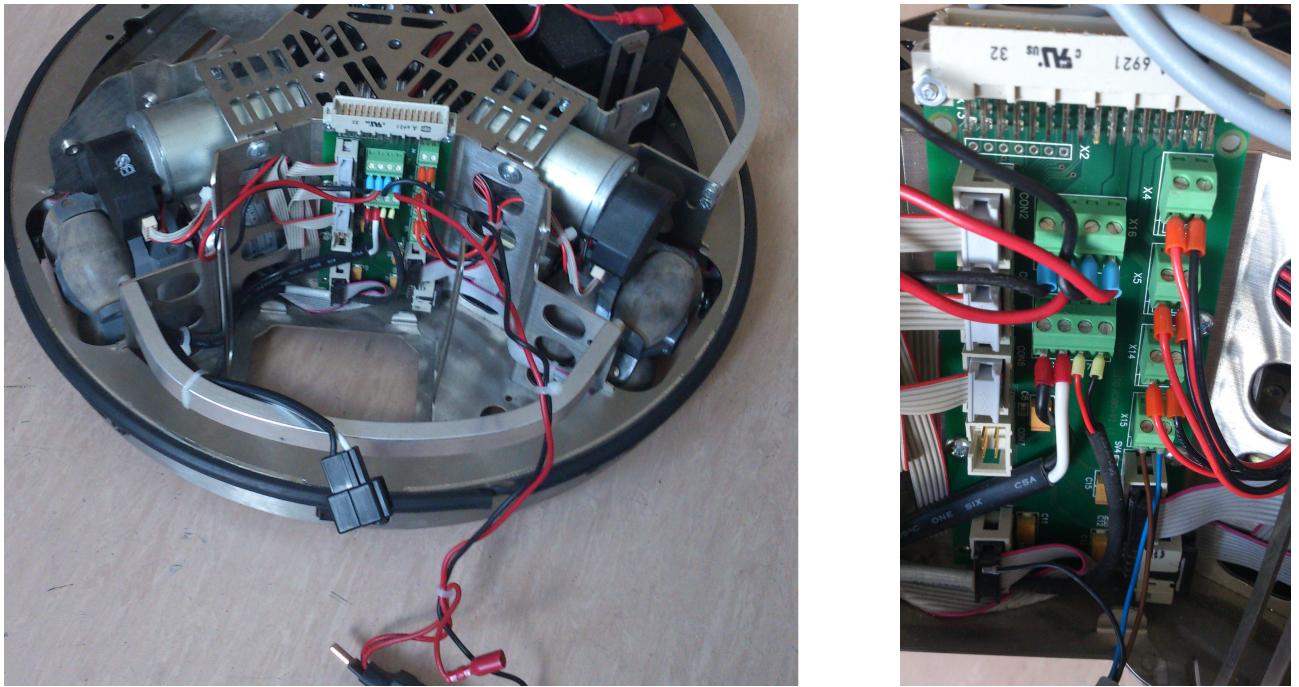


Рис. 2.21: Подключение проводов к клеммнику X15.

На обоих пальцах схвата имеются резьбовые отверстия, в которые можно вкрутить одиночные оптоволды оптического датчика. При этом последний, как можно догадаться, будет показывать, находится ли между пальцами схвата в данный момент что-либо или нет (см. рисунок 2.22).

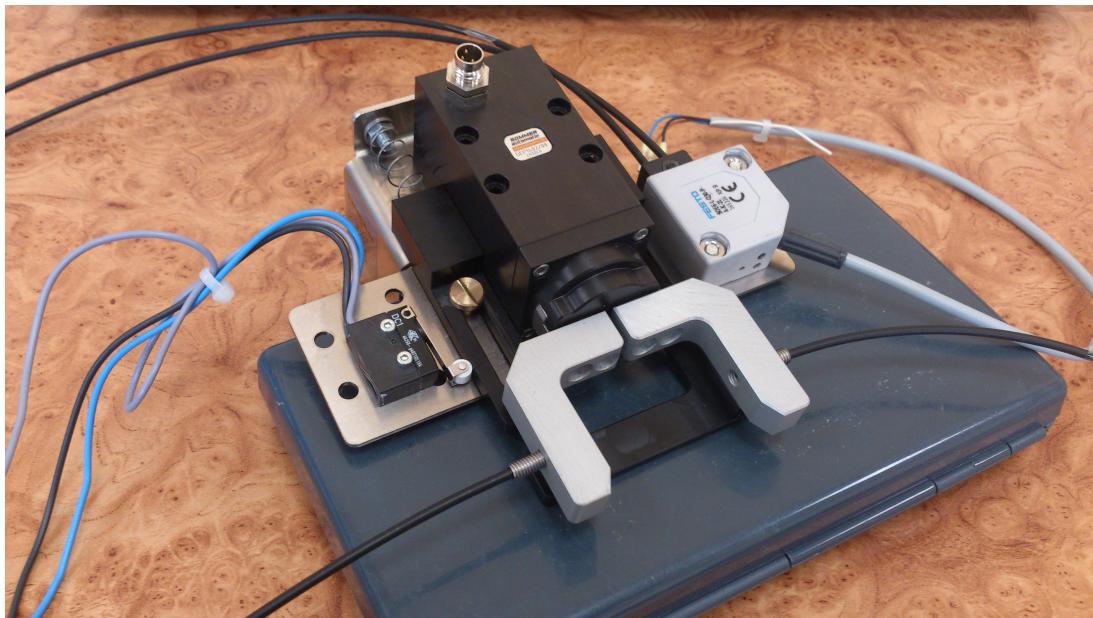


Рис. 2.22: Установка оптического датчика на схват.

На кронштейн, на который монтируется захват, есть возможность установить смещающуюся пластину, пружины и реле (его подключение — см. подраздел 2.4.7). Эти элементы, объединен-

ные в такую систему, образуют датчик касания: при смещении пластины в сторону «тела» схвата ролик прижимной пластины реле «провалится» в специально предназначенную для этого выемку в пластине, и реле изменит свое состояние (см. рисунок 2.23).

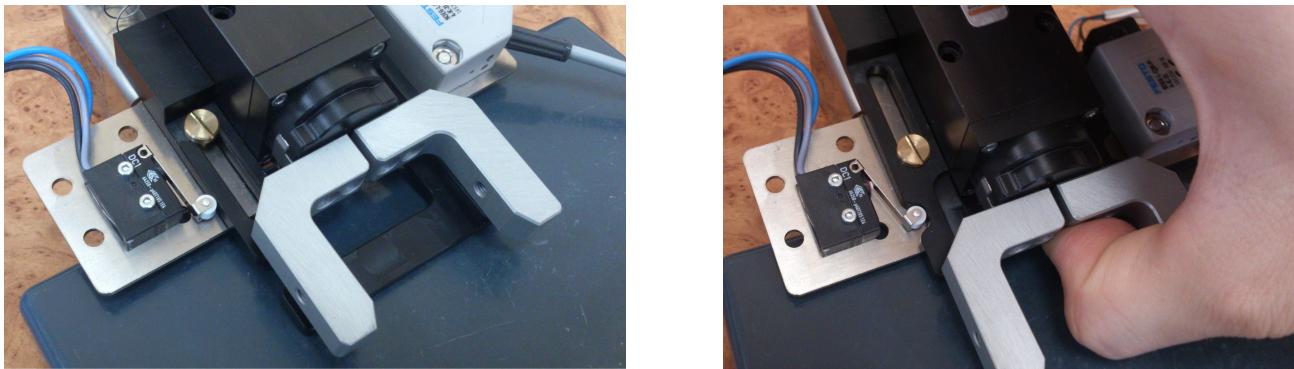


Рис. 2.23: Принцип работы датчика касания схвата.

2.4.7 Подключение реле

Реле, которое можно видеть на рисунках 2.22 и 2.23, представляет собой электромеханический переключатель с тремя проводами, способный находиться в двух состояниях. В первом из них (при ненажатой кнопке) он устанавливает контакт между черным и серо-голубым проводом и разъединяет между собой черный и голубой провода, во втором (при нажатой кнопке) все происходит с точностью до наоборот: появляется контакт между черным и голубым проводом, а черный и серо-голубой провода теряют соединение друг с другом.

Подключение этого реле, а в равной степени и любого другого электромеханического переключателя к работе может быть осуществлено по схеме, изображенной на рисунке 2.24. Помимо обозначенного на ней необходимого отношения значений сопротивлений при выборе номиналов для последних следует учитывать значение тока (I), который появится в цепи «24 V-GND» при замыкании ключа:

$$I = \frac{24 \text{ B}}{R_1 + R_2} \quad (2.1)$$

В заключение можно добавить, что автор успешно подключал к Robotino кнопки, пользуясь при этом резисторами, которым соответствуют $R_1 = 65.5 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 54.4 \text{ k}\Omega$, хотя они несколько и не удовлетворяют указанному на рисунке 2.24 соотношению номиналов.

$$R_1/R_2 = 15/9 = 5/3$$

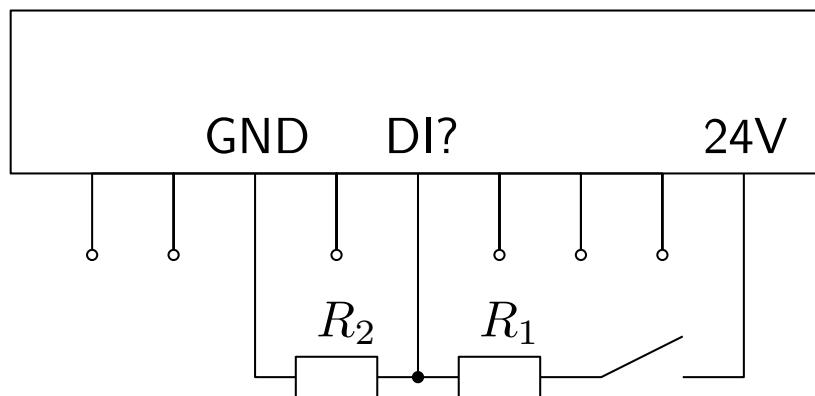


Рис. 2.24: Схема подключения кнопок к роботу.

Глава 3

Программное обеспечение робота

3.1 Общие сведения

Данный документ описывает взаимодействие с роботом при помощи программ на языках C/C++, системы ROS и с использованием ПК под управлением Linux Ubuntu. Однако работать с ним можно, применяя для этого другие языки программирования и иное ПО [1].

3.2 Стандартное API

3.2.1 Общие замечания

Стандартное ПО Robotino, основанное на языке C++, для общения управляющих программ с роботом использует протоколы TCP и UDP. По этой причине запуск самих программ возможен как на самом роботе, так и на любом другом компьютере, подключенном к той же, что и робот сети.

3.2.2 Установка необходимого ПО

Для работы с данным ПО в первую очередь необходимо установить на тот компьютер, на котором будут запускаться управляющие программы, библиотеку RobotinoAPI2. Если программы будут создаваться и запускаться непосредственно на самом роботе (что не очень удобно), то устанавливать ее не нужно: она уже есть на нем.

Эта библиотека может быть скачана в бинарном виде с официального сайта (см. раздел API2 в [16]), либо в соответствии с этими инструкциями¹ (где ANY_DIR — любая папка)

```
$ cd ANY_DIR
$ svn export svn://svn.rec.de/openrobotino/api2/trunk source/api2
$ find source/api2/external -wholename "*/bin/*" -exec chmod +x {} \;
$ mkdir -p build/api2
$ cd build/api2
$ cmake ../../source/api2
$ make install
$ ./create_packages.sh
$ sudo dpkg -i robotino-api*.deb
```

собрана на компьютере из исходников. Обратите внимание, данный перечень команд несколько отличается от указанного в [17].

¹После выполнения шестой из этих команд в терминал может быть выведена ошибка, говорящая о том, что версия CMake, установленная на вашем компьютере, ниже, чем 3.0. В этом случае попробуйте закомментировать строчку `cmake_minimum_required(VERSION 3.0)` в файле `CMakeLists.txt` из директории `ANY_DIR/source/api2` и повторить команду.

3.2.3 Создание программ

Создание программ для Robotino с помощью библиотеки RobotinoAPI2 не имеет в себе ничего особенного. Единственное, что стоит сделать для их правильной компиляции — это указать компилятору на расположение этой библиотеки и относящихся к ней заголовочных файлов. Например, данное требование при использовании компилятора gcc в Linux будет выполнено применением для компиляции программ такой последовательности команд:

```
$ g++ -I/usr/local/robotino/api2/include/rec/robotino/api2 -c path_to_file\  
/file_name.cpp -o path_to_obj_file/obj_name.o  
$ g++ path_to_obj_file/obj_name.o /usr/local/robotino/api2/lib\  
/librec_robotino_api2.so -o path_to_bin_file/bin_name
```

а при использовании IDE CodeBlocks в Linux — настройками проекта в данной среде, показанными в приложении D.

Относительно состава программ и компонентов библиотеки достаточно будет отметить всего две вещи. Во-первых, в каждой из программ должен присутствовать как минимум один объект класса Com или объект класса, являющегося потомком Com, потому что именно через него осуществляется связь с роботом. Во-вторых, некоторое подобие механизма прерывания, когда, например, при обновлении показания какого-нибудь датчика выполняется некоторая желаемая последовательность действий, реализовано в библиотеке с помощью виртуальных функций. Следовательно, для его использования должны применяться собственные классы, являющиеся потомками библиотечных классов различных устройств робота.

Описание API доступно в [18] и непосредственно в комментариях заголовочных файлов библиотеки. Расположение последних скорее всего будет следующим: /usr/local/robotino/api2/include/rec/robotino/api2/

Примеры программ доступны в [19].

3.3 Управление роботом средствами ROS

3.3.1 Общие замечания

Для управления Robotino существуют определенные пакеты в ROS. При этом стоит отметить, что сама система запускается на стороннем компьютере, а не на бортовой машине самого робота. Последняя достаточно слаба, для того чтобы успешно справиться с этой задачей.

Упомянутые пакеты основаны на библиотеке RobotinoAPI2. По этой причине прежде их сборки последняя должна быть установлена на компьютер (см. подраздел 3.2.2 по поводу того, как сделать это).

3.3.2 Установка и использование пакетов

Порядок установки и использования пакетов описан в материалах относящегося к ним репозитория [20]. Последний содержит немного переработанные их официальные версии, хранящиеся на официальном сервере [21].

Список источников

- [1] Основное wiki по роботу: wiki.openrobotino.org
- [2] Страница на wiki.openrobotino.org, содержащая характеристики железа роботов разных версий.
- [3] Страница с описанием второй версии робота на сайте производителя.
- [4] Страница с описанием третьей версии робота на сайте производителя.
- [5] Руководство пользователя, относящееся ко второй версии робота.
- [6] Страница из документации по Robotino View, касающаяся аналоговых входов робота.
- [7] Страница из документации по Robotino View, касающаяся цифровых выходов робота.
- [8] Страница из документации по Robotino View, касающаяся цифровых входов робота.
- [9] Руководство пользователя ко второй версии NorthStar.
- [10] Описание функции `NorthStar::setCeilingCal` из библиотеки RobotinoAPI2.
- [11] Страница, посвященная лидару, на wiki.openrobotino.org
- [12] Страница тех. поддержки, относящаяся к самой новой версии робота.
- [13] Странная конструкция с датчиком-металлоискателем.
- [14] Еще одна странная конструкция с датчиком-металлоискателем.
- [15] Небольшой документ, касающийся схвата робота.
- [16] Страница Downloads на wiki.openrobotino.org.
- [17] Страница API2 Source Build на wiki.openrobotino.org.
- [18] Документация к библиотеке API2.
- [19] Репозиторий `robotino_examples`, содержащий примеры простых программ, использующих библиотеку API2.
- [20] Репозиторий `robotino`, содержащий пакеты ROS для Robotino.
- [21] Директория официального репозитория, содержащая пакеты для ROS.

Приложение А

Дополнительные замечания о системе NorthStar

Опыт работы с системой NorthStar в рамках учебных проектов и настораживающие объяснения, касающиеся ее работы в официальной документации¹, заставили усомниться в правильности возвращаемых системой данных.

Для проверки этих подозрений был поставлен ряд экспериментов. Их описание и полученные результаты — см. Приложение B. Дополнительно к сказанному там можно добавить лишь следующее.

Как можно видеть на представленных в упомянутом приложении рисунках, отражающих характер экспериментальных данных, последние подвергнуты искажениям. К примеру «сетка» экспериментальных данных, показанная на рисунке B.4, «загнута» сверху и снизу. Иначе говоря, вдоль вертикальной оси рисунка она подвержена искажениям, подобным тем, которые возникают на фотографиях при наличии у оптической системы фотокамеры дисторсии.² При таких условиях естественно может возникнуть желание провести какие-нибудь количественные исследования этих искажений и, возможно, даже как-то попытаться их исправить. В таком случае при постановке экспериментов, подобных описанным в Приложении B, рекомендуется, во-первых, проводить их в пустом помещении, чьи размеры в обоих измерениях существенно больше, чем 6×6 м³ (это позволит исключить из результатов искажения, вызываемые окружающими предметами), а во-вторых, для выравнивания системы координат СКП и экспериментальной разметки использовать метод, описанный в Приложении C.

¹В [9, стр. 30–31] о точности системы говорится только в контексте повторного достижения роботом позиции, координаты которой уже были предварительный найдены с помощью системы NorthStar. Очевидно, что из данных объяснений нельзя сделать какие-либо выводы о точности определения координат робота на полу в принципе.

²Надо сказать, что подобные искажения наблюдались и в остальных экспериментах с системой NorthStar.

³Эксперименты, описанные в Приложении B проводились в помещении, имеющем размер 6×8 м.

Приложение В

Описание проверяющих работоспособность системы NorthStar экспериментов

Для проверки работоспособности системы NorthStar были выполнены следующие действия:

1. на предмет выяснения роли, которую играет калибровочный коэффициент, и внутренних механизмов вычисления координат, был изучен исходный код ПО, управляющего работой Robotino и отвечающего за снятие данных с системы NorthStar;
2. проверен факт идентичности данных, возвращаемых парой использованных в работе приемников NorthStar;
3. проверена гипотеза о том, что положение начала системы координат, относительно которой возвращаются координаты приемника, находится в точке, в которую проецируется на пол с потолка центр отрезка, ограниченного видимыми точками красного цвета;
4. проверена гипотеза о том, что положение оси ординат системы координат, относительно которой возвращаются координаты приемника, есть прямая, на которой лежит проецируемый на пол с потолка отрезок, ограниченный видимыми точками красного цвета;
5. исследован характер искажений в возвращаемых системой данных.

Комментируя каждое из этих действий более подробно, можно сказать следующее.

В результате выполнения первого из них, во-первых, были выяснены внутренние механизмы вычисления системой NorthStar координат приемника (ошибок в соответствующих вычислениях не обнаружено), а во-вторых, был установлен смысл коэффициента, который необходимо настраивать при калибровке. Последний в изменениях возвращаемых системой NorthStar координат оказался играющим роль обычного коэффициента пропорциональности (см. в ссылке на SVN с [1] файл `/common/trunk/lib/rec/nstar2/Report.h`).

Второй из указанных экспериментов, состоящий из следующих шагов:

1. включить и откалибровать систему;
2. поставить первого Robotino, оборудованного первым приемником, в произвольную точку и запомнить координаты, выдаваемые при этом системой NorthStar;
3. поставить второго Robotino, оборудованного вторым приемником, в ту точку, в которой стоял первый Robotino, и сравнить получаемые данные с записанными на прошлом шаге;
4. в случае совпадения данных из двух прошлых пунктов повторить описанные в них действия еще несколько раз для подтверждения успеха; в случае несовпадения остановиться на данном этапе и выяснить, чем это может быть вызвано.

подтвердил идентичность с точностью до нескольких сантиметров возвращаемых приемниками данных. Пример полученных результатов см. на рисунке B.1.

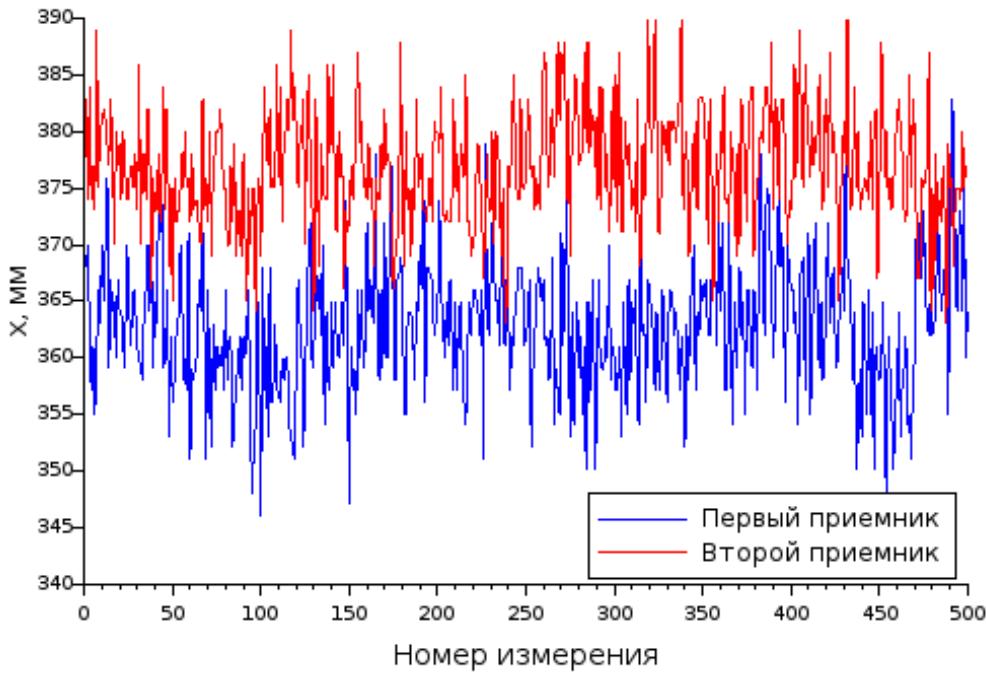


Рис. В.1: Пример выдаваемых приемниками сигналов, содержащих информацию об абсциссах роботов.

Третье из названных выше действий также подтвердило соответствующую гипотезу. Всего его реализация состояла из следующих этапов:

1. подключить и откалибровать систему NorthStar;
2. активировать излучение проектором на потолок видимых точек красного цвет;
3. найти центр ограниченного ими отрезка на потолке (для этого один из проводящих эксперимент людей должен был залезть на стремянке до потолка с рулеткой и выполнить эту операцию простым измерением);
4. опустить из найденной точки отвес;
5. в точку на полу, на которую он укажет, поставить Robotino и убедиться, что координаты последнего составят пару $(0; 0)$;
6. в случае успеха повторить описанные действия еще два-три раза.

Результаты выполнения четвертой из поставленных задач также показали справедливость выдвинутой для проверки гипотезы. Конкретные шаги, проделанные для этого, даются таким списком:

1. отметить по описанной ранее технологии положения на полу проекций на него с потолка красных видимых точек, создаваемых излучателем;
2. поместить по очереди в них Robotino и убедится, что его нахождение в этих точках будет описываться разными ординатами (при этом они будут равны по модулю, но противоположны по знаку) и одинаковыми и предельно близкими к нулю абсциссами.

Самый последний пункт в перечне необходимых дел состоял из следующих действий:

1. подключить и откалибровать систему NorthStar;
2. разметить на полу квадрат, состоящий из 11×11 точек, расстояние между координатами которых 40 см (см. рисунок B.2);
3. Поместить проектор системы Northstar, чья голова приблизительно направлена вертикально вверх, в точку 0, примерно выравнивая отрезок, ограниченный на потолке точками, создаваемыми проектором, параллельно одной из сторон размеченного квадрата;
4. поместить одного из Robotino в каждую обозначенную на полу точку и зафиксировать его координаты, полученные с NorthStar, в ней; при этом в качестве его координат стоит взять среднее из, например, 10 возвращаемых значений (данное требование необходимо по той причине, что, как можно видеть из рисунка B.1, получаемые с NorthStar сигналы зашумлены);
5. повторить описанные в прошлом пункте действия еще раз;
6. повторить все описанные в двух прошлых пунктах действия для второго из роботов и при повороте проектора на 90 градусов, относительно вертикальной оси;



Рис. B.2: Требуемая для одного из экспериментов разметка.

В результате последнего действия относительно системы NorthStar были выяснены, главным образом, две вещи.

Во-первых, было установлено, что на возвращаемые ей значения сильное влияние оказывают окружающие объекты. Это выражается в том, что, если робот, положение которого подлежит измерению, находится рядом со стеной, шкафом, столом или иным подобным предметом, показания системы NorthStar сильно искажаются. Наглядно это демонстрирует рисунок B.3, зелеными контурами на котором обозначены искажения в данных, вызванные близко стоящими к зоне, в которой проводился эксперимент, столами, а красным — искажения, вызванные находящейся в непосредственной близости к экспериментальной зоне стеной.¹

¹ Для людей, знакомых с внутренним убранством аудитории, запечатленной на рисунке B.2, во избежание недоумений с их стороны стоит сказать, что эксперимент, чьи результаты представлены на рисунке B.3, проводился при иной расстановке мебели, нежели запечатленной на первом из обозначенных рисунков.

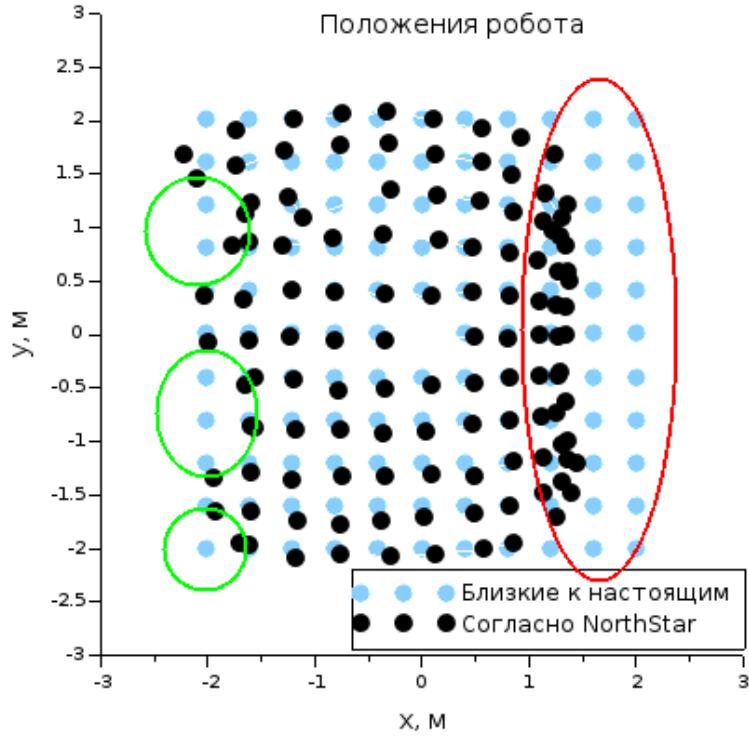


Рис. В.3: Искажения в показаниях NorthStar, вызываемые наличием окружающих предметов.

Во-вторых было установлено, что в целом система NorthStar работоспособна. Несмотря на то, что данные, возвращаемые системой для всей экспериментальной зоны, а она имеет размер 4×4 м, заметно искажены по краям (см. рисунок В.4²) ближе к центру оказываются близкими к точкам экспериментальной разметки. Если же последние подвергнуть разным смещениям и поворотам, а потом взять из них такую пару, при которой сумма квадратов отклонений экспериментальных точек от идеальных принимает наименьшее значение, тем самым попытавшись учесть отсутствие строгого выравнивания системы СКП относительно экспериментальной разметки (см. п. «3» последнего перечня), то результат примет еще более убедительный вид, продемонстрированный на рисунке В.5.

²В эксперименте, чьи результаты запечатлены на данном рисунке, проектор NorthStar был повернут на 90° относительно того положения, в котором он находился при проведении эксперимента, соответствующего рисунку В.3.

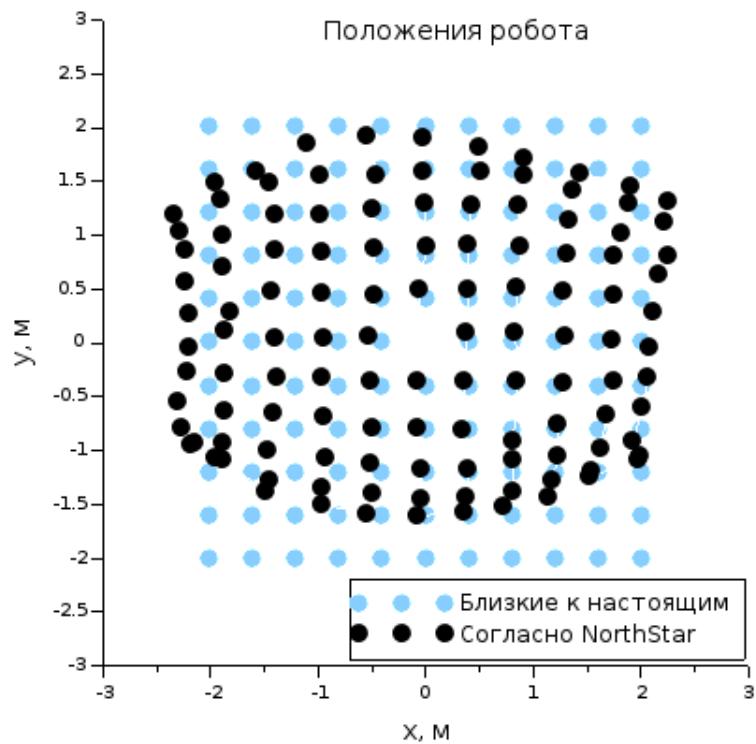


Рис. В.4: Результаты еще одного эксперимента.

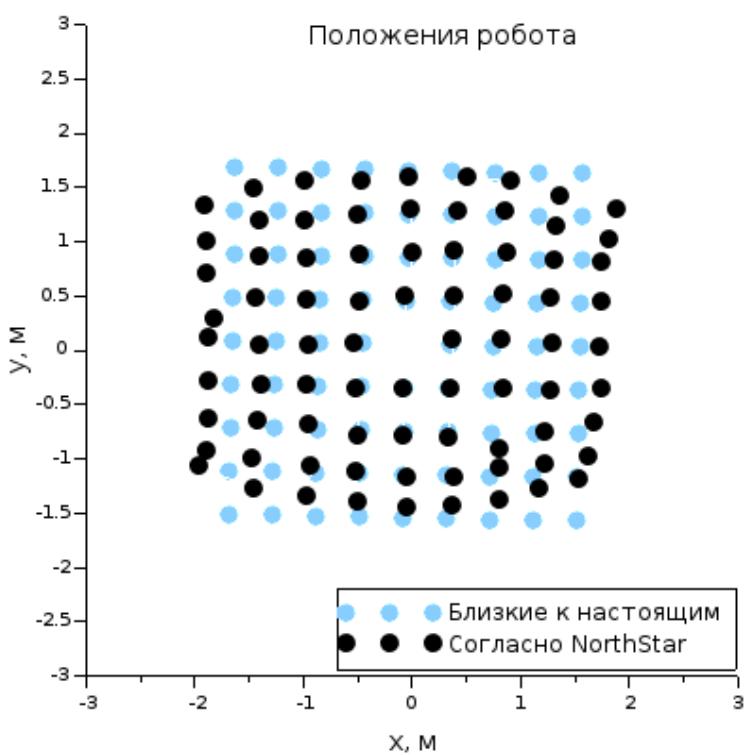


Рис. В.5: Результаты одного из экспериментов, подвергнутые постобработке.

Приложение С

Рекомендации к дальнейшим экспериментам с NorthStar

В данном приложении даются советы по проведению выравнивания¹ системы координат СКП и экспериментальной разметки, описанной в прошлом приложении и представляющей собой квадрат из 11×11 точек, расстояние между которыми 40 см.

Предлагаемый алгоритм следующий (предполагается доступность двух Robotino, снабженных приемниками NorthStar):

1. поместить проектор Northstar, чья «голова» приблизительно направлена вертикально вверх, в точку 0, а обоих Robotino, снабженных приемниками в точки 1 и 3 (см. рисунок C.1);
2. перемещать проектор и изменять угол наклона его головы до тех пор, пока возвращаемые системой NorthStar координаты Robotino $(x_i; y_i)$, где $i = \overline{1, 2}$ не станут согласовываться друг с другом, согласно соотношению $(x_1; y_1) = (-x_2; -y_2)$ (выполнение этого условия теоретически будет гарантировать выравнивание осей системы координат, относительно которой возвращаются координаты приемника, параллельно сторонам большого квадрата);
3. проверить настройку, описанную в прошлом пункте, поместив обоих роботов в точки 2 и 4 (для их координат в этих точках также должно выполняться указанное выше равенство); при этом абсолютные значения всех координат, встречающихся как в этом пункте, так и в прошлом, должны совпадать.

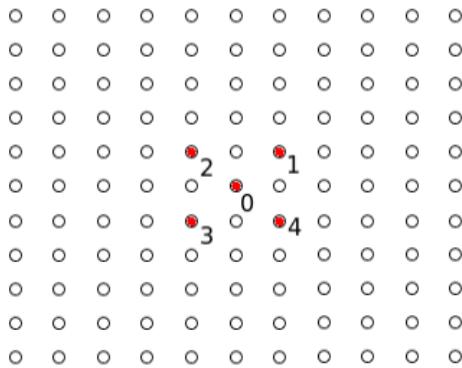


Рис. С.1: Схематичное представление рассматриваемой экспериментальной разметки с необходимыми пометками.

¹ В экспериментах, описанных в прошлом приложении, такое выравнивание не применялось (см. п. «3» его последнего перечня).

Приложение D

Пример настроек проекта в CodeBlocks, необходимых для использования библиотеки RobotinoAPI2

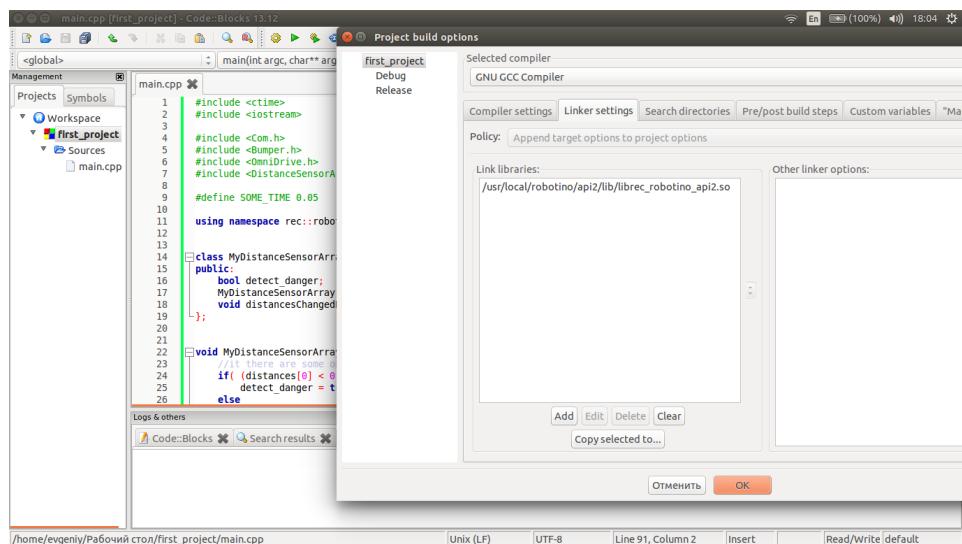


Рис. D.1: Указание на месторасположение библиотеки RobotinoAPI2.

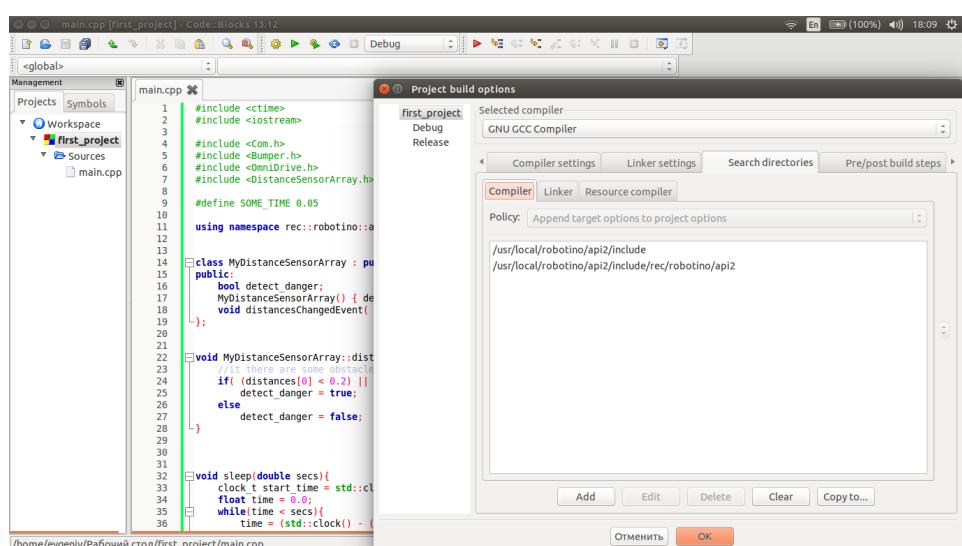


Рис. D.2: Указание на месторасположение заголовочных файлов.