

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Волгоградский государственный университет»
Кафедра *Компьютерных наук и экспериментальной математики*

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ
ПОВЕДЕНЧЕСКОЙ СТРАТЕГИИ АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО
РОБОТА НА ОСНОВЕ ВИЗУАЛЬНОГО АНАЛИЗА
ОКРУЖАЮЩЕГО ПРОСТРАНСТВА
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)**

по направлению подготовки 02.03.03 Математическое обеспечение и
администрирование информационных систем
профиль «Параллельное программирование»

ВЫПОЛНИЛ:

студент гр. МОС-161
Курбанов Эльдар Ровшанович

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

зав. кафедрой *КНЭМ*
д.ф.-м.н., профессор
Клячин Владимир Александрович

КОНСУЛЬТАНТ:

ст. преп. кафедры *КНЭМ*
Гордеев Алексей Юрьевич

РАБОТА ДОПУЩЕНА К ЗАЩИТЕ:

зав. кафедрой *КНЭМ*
д.ф.-м.н., профессор
Клячин Владимир Александрович

«30» мая 2020 г.

(протокол № ____ заседания кафедры)

Волгоград 2020

Оглавление

	Стр.
Введение	5
Глава 1. Теория	7
1.1 Поведение робота	7
1.2 Анализ окружающего пространства	8
1.3 Об управлении	10
1.4 Форматирование текста	10
1.5 Ссылки	11
1.6 Формулы	11
1.6.1 Ненумерованные одиночные формулы	11
1.6.2 Ненумерованные многострочные формулы	12
1.6.3 Нумерованные формулы	14
1.6.4 Форматирование чисел и размерностей величин	15
1.6.5 Заголовки с формулами: $a^2 + b^2 = c^2$, $ Im\Sigma(\varepsilon) \approx const$, $\sigma_{xx}^{(1)}$	18
1.7 Рецензирование текста	18
Глава 2. Анализ	20
2.1 Анализ окружающего пространства	20
2.2 Шасси и система управления	21
2.3 Поведенческая стратегия робота	21
2.4 Вычислительная составляющая	22
2.5 Известные аналоги	23
2.5.1 Nvidia Kaya	23
2.5.2 Nvidia JetBot	25
2.5.3 Сравнение с аналогами	26
2.6 Одиночное изображение	26
2.7 Длинное название параграфа, в котором мы узнаём как сделать две картинки с общим номером и названием	27
2.8 Пример вёрстки списков	28
2.9 Традиции русского набора	30

2.9.1	Пробелы	30
2.9.2	Математические знаки и символы	30
2.9.3	Кавычки	31
2.9.4	Тире	31
2.9.5	Дефисы и переносы слов	32
2.10	Текст из панграмм и формул	32
Глава 3. Практика	37
3.1	Мобильный автономный робот	37
3.1.1	Подбор шасси	37
3.1.2	Движение шасси	38
3.2	Визуальный анализ пространства	40
3.3	Формирование поведенческой стратегии робота	41
3.3.1	Исследование пространства	41
3.3.2	Подъезд к целевому объекту	45
3.4	Подробнее о программной части робота	45
3.4.1	ROS	46
3.4.2	Концепции ROS	47
3.4.3	Узлы, используемые на роботе	48
3.5	Таблица обыкновенная	59
3.6	Таблица с многострочными ячейками и примечанием	60
3.7	Таблицы с форматированными числами	61
3.8	Параграф – два	61
3.9	Параграф с подпараграфами	62
3.9.1	Подпараграф – один	62
3.9.2	Подпараграф – два	62
Заключение	66
Список литературы	67
Список рисунков	74
Приложение А. Примеры вставки листингов программного кода	76

Приложение Б. Очень длинное название второго приложения, в котором продемонстрирована работа с длинными таблицами	82
Б.1 Подраздел приложения	82
Б.2 Ещё один подраздел приложения	84
Б.3 Использование длинных таблиц с окружением <i>longtabu</i>	88
Б.4 Форматирование внутри таблиц	91
Б.5 Стандартные префиксы ссылок	93
Б.6 Очередной подраздел приложения	94
Б.7 И ещё один подраздел приложения	94
Приложение В. Чертёж детали	95

Введение

Актуальность данной работы обусловлена общей автоматизацией и «роботизацией» деятельности человека в условиях современной реальности [1]. Решение поставленной задачи позволит в дальнейшем создать робота, умеющего не только объезжать разного вида помещения, но и ещё выполняющего какую-либо полезную функцию. Например, распознавание опасных объектов окружающего пространства или исследование состава атмосферы в каком-либо замкнутом пространстве.

В настоящий момент поставленная данной работой задача формирования поведенческой стратегии и управления роботом выполнена полностью. Однако, она требует значительных улучшений для каких-либо конкретных условий работы. Например, если испытуемый робот окажется на улице, то может случиться так, что целевой объект может быть так и не найден, в связи с тем, что окружающее пространство окажется слишком широким для угла обзора камеры, установленной на робота. Соответственно, данный конкретный случай должен быть учтён в алгоритме движения робота, но это не является задачей данной работы.

Целью данной работы является создание системы автоматического управления робота с учётом данных, получаемых от окружающего пространства и прежде всего создание самого тестируемого образца робота и его аппаратной системы управления.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Исследовать предметную область робототехники¹ (аппаратную и программную часть);
2. Изучить существующие известные аналоги (в т.ч. зарубежные) и продумать как сделать робота ещё лучше;
3. Закупить необходимое оборудование, уложившись при этом в маленький бюджет;
4. Разработать схему управления роботом и соответствующее ПО;
5. Протестировать созданное изделие.

Научная новизна:

¹Робототехника не изучалась на протяжении всего курса обучения в университете.

1. Впервые в России был сделан робот с одновременным использованием технологии YDLIDAR, движением и распознаванием объектов окружающего пространства на базе платформы NVIDIA Jetson NANO²;
2. Создана программно-аппаратная база, на основе которой можно сделать робота, выполняющего иной функционал.

Практическая значимость данной работы заключается в том, что была решена задача создания своего собственного алгоритма движения для робота на базе относительно новой и ещё мало изученной платформы Jetson NANO со своим алгоритмом езды и следованием за целевыми объектами.

Методология и методы исследования. При разработке данной системы управления и формирования поведенческой стратегии автономного мобильного робота использовались такие методы эмпирического исследования, как наблюдение и эксперимент, а к методам теоретического исследования - анализ и синтез и восхождение от абстрактного к конкретному.

Объем и структура работы. Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения и одного приложения. Полный объём ВКР составляет 95 страниц, включая 31 рисунок и 18 таблиц. Список литературы содержит 61 наименование.

²Возможно, это происходит не впервые, но других таких известных случаев не нашлось

Глава 1. Теория

Теоретическая часть данной работы будет описывать ту предметную область с которой пришлось столкнуться в ходе выполнения практической части.

1.1 Поведение робота

Прежде чем перейти к определению поведения будущего робота мы должны определить его главную задачу. А именно - поиск целевых объектов в замкнутом пространстве.

Для того чтобы выполнить данную задачу робот должен уметь объезжать то замкнутое пространство в котором он находится, распознавать объекты и уметь подъезжать к найденному целевому объекту. Здесь можно выделить две возможные стратегии, которые можно применять к данной задаче:

1. Сначала выполняется обезд всего доступного пространства, во время которого строится карта местности, а затем происходит выполнение на ней поиска целевых объектов;
2. Целевой объект ищется непосредственно во время обезда пространства. При этом обезд пространства происходит без составления карты.

К преимуществам первого подхода можно записать:

- Помимо поиска целевых объектов выполняется полное сканирование местности, что может пригодится для других задач;
- Возможно более «умное» построение маршрута при помощи, например, таких алгоритмов как A*¹;
- Можно найти все целевые объекты в данном замкнутом пространстве и примерно оценить их местоположение на отсканированной карте местности.

К недостаткам первого подхода относятся:

¹A* - алгоритм поиска по первому наилучшему совпадению на графике[2, с. 218].

- Долгое время работы алгоритма: сначала нужно все объездить, оценить обстановку, а затем искать объекты;
- Требуется более сложная алгоритмическая составляющая: как минимум роботу нужно научиться прокладывать маршруты на динамически строящейся карте и уметь определять себя и целевые объекты на ней²;

У второго подхода есть хоть и одно, но очень большое преимущество и это относительно «лёгкая» реализация: как в алгоритмическом, так и в плане производительности. Не требуется составлять карт, а значит и решать задачу SLAM³, в связи с этим уменьшается вычислительная нагрузка на робота.

Недостатки второго подхода:

- Время поиска целевого объекта будет зависеть от удачи, так как карты местности не строится и угадать когда робот поедет к целевому объекту не просто;
- Полное сканирование местности не выполняется, а значит не все целевые объекты могут быть найдены в пространстве;

1.2 Анализ окружающего пространства

Основным сенсором при решении задачи визуального анализа окружающего пространства является видеокамера. Для того чтобы анализировать сигнал с видеокамеры требуется решить задачу машинного зрения. А именно требуется каким-то образом обрабатывать полученное изображение и исходя из этого строить стратегию движения.

Например, можно обучить нейронную сеть, которая распознаёт различные объекты и классифицирует их как опасные или целевые. Если робот видит опасный объект, он немедленно должен перестроить свой маршрут так, чтобы не столкнуться с ним. И если робот видит целевой объект, то он наоборот должен подъехать к нему, удостовериться в том, что это именно

²По сути требуется решить задачу SLAM

³SLAM - метод для построения или обновления карты в пространстве с одновременным контролем местоположения и пройденного пути[3, с. 9].

нужный целевой объект и сохранить его местоположение в энергонезависимой памяти.

В качестве дополнительного сенсора для визуального анализа пространства можно использовать также технологию Лидар, которая позволяет также получить некоторое изображение, представляющее собой облако точек, поддающееся анализу. По сути прибор, реализующий технологию Лидар представляет собой дальномер оптического диапазона, который замеряет угол и расстояние до точки (получаются полярные координаты) при помощи лазерного сканирования. Существует два основных типа сканирующих лидаров [4, с. 702]:

1. 3D лидар;
2. 2D лидар.

Первый позволяет получить 3D картинку. Обычно такой лидар оснащён подвижным лазером, который довольно долго сканирует перед собой окружающую местность. Однако, уже сейчас можно найти 3D лидары, которые сканируют с довольно быстрой скоростью [5, с. 308]. Примером результата такой работы может стать картинка, изображённая на Рисунке 1.1. На сегодняшний день такие лидары являются довольно дорогими устройствами.



Рисунок 1.1 — Пример картинки, генерируемой 3D лидаром, представленном на выставке CEATEC 2017 компанией Panasonic в Японии.

Второй соответственно уже создаёт двухмерное облако точек, которое также можно визуализировать в виде картинки, пример которой изображён на Рисунке 1.2. Такой лидар обычно сканирует область вокруг себя и имеет угол обзора 360 градусов. Лазер также является подвижным, но только в этот раз он просто движется вокруг своей оси [6, с. 610].

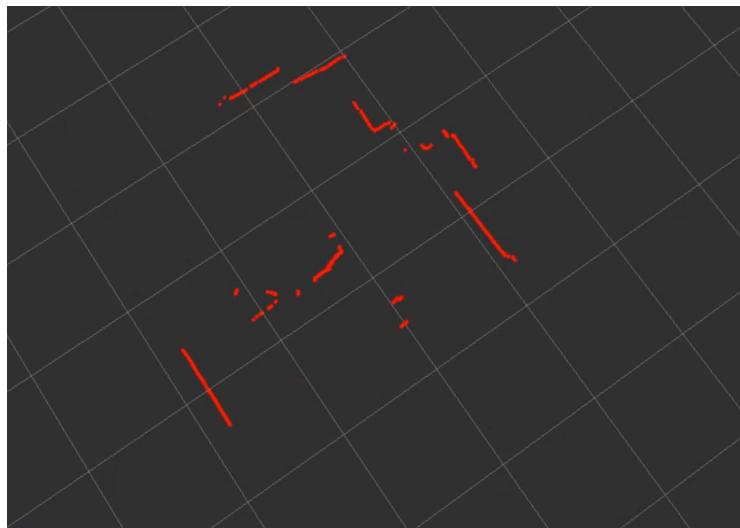


Рисунок 1.2 — Пример картинки, генерируемой 2D лидаром YDLIDAR X4.

1.3 Об управлении

Одна из задач, которую должен уметь решать мобильный автономный робот это задача передвижения. Потому как без него робот уже не будет полностью соответствовать своему критерию «мобильности». Движение для робота, применительно к конкретной задаче данной ВКР просто необходимо.

Для того чтобы робот двигался ему необходимо шасси. Шасси в основной своей массе по своей подвижной части подразделяются на те, что осуществляют езду при помощи гусеничной ленты и те, что ездят на колёсах. Шасси на гусеницах обладают большей проходимостью и мобильностью в следствии того, что гусеницы позволяют, например, разворачивать робота на месте.

Для того чтобы управлять шасси роботу необходимы электродвигатели и контроллер движения для них, но подробнее речь об этом зайдёт в пункте 3.1.2.

1.4 Форматирование текста

Мы можем сделать **жирный текст** и *курсив*.

1.5 Ссылки

Сошлёмся на библиографию. Одна ссылка: [7, с. 54][8, с. 36]. Две ссылки: [7; 8]. Ссылка на собственные работы: [9; 10]. Много ссылок: [11–24][25–27]. И ещё немного ссылок: [28–40] [41–50] [51–53].

Несколько источников (мультицитата): [7, с. vii–x, 5, 7; 8, v–x, 25, 526; 39, с. vii–x, 5, 7], работает только в `biblatex` реализации библиографии.

Ссылки на собственные работы: [9; 54]

Сошлёмся на приложения: Приложение А, Приложение Б.2.

Сошлёмся на формулу: формула (1.2).

Сошлёмся на изображение: рисунок 3.21.

Стандартной практикой является добавление к ссылкам префикса, характеризующего тип элемента. Это не является строгим требованием, но позволяет лучше ориентироваться в документах большого размера. Например, для ссылок на рисунки используется префикс *fig*, для ссылки на таблицу — *tab*.

В таблице 18 приложения Б.5 приведён список рекомендуемых к использованию стандартных префиксов.

1.6 Формулы

Благодаря пакету *icomma*, L^AT_EX одинаково хорошо воспринимает в качестве десятичного разделителя и запятую (3,1415), и точку (3.1415).

1.6.1 Ненумерованные одиночные формулы

Вот так может выглядеть формула, которую необходимо вставить в строку по тексту: $x \approx \sin x$ при $x \rightarrow 0$.

А вот так выглядит ненумерованная отдельностоящая формула с подстрочными и надстрочными индексами:

$$(x_1 + x_2)^2 = x_1^2 + 2x_1x_2 + x_2^2$$

Формула с неопределенным интегралом:

$$\int f(\alpha + x) = \sum \beta$$

При использовании дробей формулы могут получаться очень высокие:

$$\cfrac{1}{\sqrt{2} + \cfrac{1}{\sqrt{2} + \cfrac{1}{\sqrt{2} + \cdots}}}$$

В формулах можно использовать греческие буквы:

$$\alpha\beta\gamma\delta\epsilon\zeta\eta\theta\vartheta\iota\kappa\lambda\mu\nu\xi\pi\varpi\rho\sigma\varsigma\tau\phi\varphi\chi\psi\omega\Gamma\Delta\Theta\Lambda\Xi\P\S\Upsilon\Phi\Psi\Omega$$

$$\alpha\beta\gamma\delta\epsilon\zeta\eta\theta\vartheta\iota\kappa\lambda\mu\nu\xi\pi\varpi\rho\sigma\varsigma\tau\phi\varphi\chi\psi\omega\Gamma\Delta\Theta\Lambda\Xi\P\S\Upsilon\Phi\Psi\Omega$$

Для добавления формул можно использовать пары `$...$` и `$$...$$`, но они считаются устаревшими. Лучше использовать их функциональные аналоги `\(...\)` и `\[...\]`.

1.6.2 Ненумерованные многострочные формулы

Вот так можно написать две формулы, не нумеруя их, чтобы знаки «равно» были строго друг под другом:

$$f_W = \min \left(1, \max \left(0, \frac{W_{soil}/W_{max}}{W_{crit}} \right) \right),$$

$$f_T = \min \left(1, \max \left(0, \frac{T_s/T_{melt}}{T_{crit}} \right) \right),$$

Выровнять систему ещё и по переменной x можно, используя окружение `alignedat` из пакета `amsmath`. Вот так:

$$|x| = \begin{cases} x, & \text{если } x \geq 0 \\ -x, & \text{если } x < 0 \end{cases}$$

Здесь первый амперсанд (в исходном L^AT_EX описании формулы) означает выравнивание по левому краю, второй — по x , а третий — по слову «если». Команда \quad делает большой горизонтальный пробел.

Ещё вариант:

$$|x| = \begin{cases} x, & \text{если } x \geq 0 \\ -x, & \text{если } x < 0 \end{cases}$$

Кроме того, для нумерованных формул alignedat делает вертикальное выравнивание номера формулы по центру формулы. Например, выравнивание компонент вектора:

$$\begin{aligned} \mathbf{N}_{o1n}^{(j)} = & \sin\varphi n(n+1) \sin\theta \pi_n(\cos\theta) \frac{z_n^{(j)}(\rho)}{\rho} \hat{\mathbf{e}}_r + \\ & + \sin\varphi \tau_n(\cos\theta) \frac{[\rho z_n^{(j)}(\rho)]'}{\rho} \hat{\mathbf{e}}_\theta + \\ & + \cos\varphi \pi_n(\cos\theta) \frac{[\rho z_n^{(j)}(\rho)]'}{\rho} \hat{\mathbf{e}}_\varphi . \end{aligned} \quad (1.1)$$

Ещё об отступах. Иногда для лучшей «читаемости» формул полезно немного исправить стандартные интервалы L^AT_EX с учётом логической структуры самой формулы. Например в формуле 1.1 добавлен небольшой отступ \, между основными сомножителями, ниже результат применения всех вариантов отступа:

\!	$f(x) = x^2 + 3x + 2$
по-умолчанию	$f(x) = x^2 + 3x + 2$
\,	$f(x) = x^2 + 3x + 2$
\:	$f(x) = x^2 + 3x + 2$
\;	$f(x) = x^2 + 3x + 2$
\space	$f(x) = x^2 + 3x + 2$
\quad	$f(x) = x^2 + 3x + 2$
\quad\quad	$f(x) = x^2 + 3x + 2$

Можно использовать разные математические алфавиты:

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ
абвѓѓхјјкљмњопќќрстуѡѡѡхјјз
ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

Посмотрим на систему уравнений на примере аттрактора Лоренца:

$$\begin{cases} \dot{x} = \sigma(y - x) \\ \dot{y} = x(r - z) - y \\ \dot{z} = xy - bz \end{cases}$$

А для вёрстки матриц удобно использовать многоточия:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

1.6.3 Нумерованные формулы

А вот так пишется нумерованная формула:

$$e = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n \quad (1.2)$$

Нумерованных формул может быть несколько:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k^2} = \frac{\pi^2}{6} \quad (1.3)$$

Впоследствии на формулы (1.2) и (1.3) можно ссылаться.

Сделать так, чтобы номер формулы стоял напротив средней строки, можно, используя окружение `multlined` (пакет `mathtools`) вместо `multiline` внутри окружения `equation`. Вот так:

$$\begin{aligned}
 & 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + \cdots + \\
 & + 50 + 51 + 52 + 53 + 54 + 55 + 56 + 57 + \cdots + \\
 & + 96 + 97 + 98 + 99 + 100 = 5050
 \end{aligned} \tag{1.4}$$

Используя команду `\eqref{...}`, можно красиво ссылаться сразу на несколько формул (1.2–1.4), даже перепутав порядок ссылок `\eqref{eq1}, \eqref{eq3}, \eqref{eq2}`. Аналогично, для ссылок на несколько рисунков, таблиц и т. д. 1.4–1.6 можно использовать команду `\ref{...}`. Обе эти команды определены в файле `common/packages.tex`.

Уравнения (1.5 и 1.6) демонстрируют возможности окружения `\subequations`.

$$y = x^2 + 1 \quad (1.5a)$$

$$y = 2x^2 - x + 1 \quad (1.5b)$$

Ссылки на отдельные уравнения (1.5a, 1.5b и 1.6a).

$$y = x^3 + x^2 + x + 1 \quad (1.6a)$$

$$y = x^2 \quad (1.6b)$$

1.6.4 Форматирование чисел и размерностей величин

Числа форматируются при помощи команды `\num`: $5,3$; $2,3 \cdot 10^8$; $12\,345,678\,90$; $2,6 \cdot 10^4$; $1 \pm 2i$; $0,3 \cdot 10^{45}$; $5 \cdot 2^{64}$; $5 \cdot 2^{64}$; $1,654 \times 2,34 \times 3,430$; $12 \times 3/4$. Для написания последовательности чисел можно использовать команды `\numlist` и `\numrange`: $10; 30; 50; 70$; $10-30$. Значения углов можно форматировать при помощи команды `\ang`: $2,67^\circ$; $30,3^\circ$; -1° ; $-2'$; $-3''$; $300^\circ 10' 1''$.

Обратите внимание, что ГОСТ запрещает использование знака «-» для обозначения отрицательных чисел за исключением формул, таблиц и рисунков. Вместо него следует использовать слово «минус».

Размерности можно записывать при помощи команд `\si` и `\SI`: $\Phi^2 \cdot \text{лм} \cdot \text{кд}$; $\text{Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$; $\text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$; $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$; $(0,10 \pm 0,05) \text{ Нп}$; $(1,2 - 3i) \cdot 10^5 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$; $1; 2; 3; 4 \text{ Тл}$; $50-100 \text{ В}$. Список единиц измерений приведён в таблицах 1–5. Приставки единиц приведены в таблице 6.

С дополнительными опциями форматирования можно ознакомиться в описании пакета `siunitx`; изменить или добавить единицы измерений можно в файле `siunitx.cfg`.

Таблица 1 – Основные величины СИ

Название	Команда	Символ
Ампер	\ampere	A
Кандела	\candela	кд
Кельвин	\kelvin	K
Килограмм	\kilogram	кг
Метр	\metre	м
Моль	\mole	моль
Секунда	\second	с

Таблица 2 – Производные единицы СИ

Название	Команда	Символ	Название	Команда	Символ
Беккерель	\becquerel	Бк	Ньютон	\newton	Н
Градус Цельсия	\degreeCelsius	°C	Ом	\ohm	Ом
Кулон	\coulomb	Кл	Паскаль	\pascal	Па
Фарад	\farad	Ф	Радиан	\radian	рад
Грей	\gray	Гр	Сименс	\siemens	См
Герц	\hertz	Гц	Зиверт	\sievert	Зв
Генри	\henry	Гн	Стерадиан	\steradian	ср
Джоуль	\joule	Дж	Тесла	\tesla	Тл
Катал	\katal	кат	Вольт	\volt	В
Люмен	\lumen	лм	Ба́тт	\watt	Бт
Люкс	\lux	лк	Вебер	\weber	Вб

Таблица 3 – Внесистемные единицы

Название	Команда	Символ
День	\day	сут
Градус	\degree	°
Гектар	\hectare	га
Час	\hour	ч
Литр	\litre	л
Угловая минута	\arcminute	'
Угловая секунда	\arcsecond	"
Минута	\minute	мин
Тонна	\tonne	т

Таблица 4 – Внесистемные единицы, получаемые из эксперимента

Название	Команда	Символ
Астрономическая единица	\astronomicalunit	а.е.
Атомная единица массы	\atomicmassunit	а.е.м.
Боровский радиус	\bohr	a_0
Скорость света	\clight	c
Дальтон	\dalton	а.е.м.
Масса электрона	\electronmass	m_e
Электрон Вольт	\electronvolt	эВ
Элементарный заряд	\elementarycharge	e
Энергия Хартри	\hartree	E_h
Постоянная Планка	\planckbar	\hbar

Таблица 5 – Другие внесистемные единицы

Название	Команда	Символ
Ангстрем	\angstrom	\AA
Бар	\bar	бар
Барн	\barn	б
Бел	\bel	Б
Децибел	\decibel	дБ
Узел	\knot	уз
Миллиметр ртутного столба	\mmHg	мм рт.ст.
Морская миля	\nauticalmile	миля
Непер	\neper	Нп

Таблица 6 — Приставки СИ

Приставка	Команда	Символ	Степень	Приставка	Команда	Символ	Степень
Иокто	\yocto	и	-24	Дека	\deca	да	1
Зепто	\zepto	з	-21	Гекто	\hecto	г	2
Атто	\atto	а	-18	Кило	\kilo	к	3
Фемто	\femto	ф	-15	Мега	\mega	М	6
Пико	\pico	п	-12	Гига	\giga	Г	9
Нано	\nano	н	-9	Терра	\tera	Т	12
Микро	\micro	мк	-6	Пета	\peta	П	15
Милли	\milli	м	-3	Екса	\exa	Э	18
Санти	\centi	с	-2	Зетта	\zetta	З	21
Деци	\deci	д	-1	Иотта	\yotta	И	24

1.6.5 Заголовки с формулами: $a^2 + b^2 = c^2$, $|\text{Im}\Sigma(\varepsilon)| \approx \text{const}$, $\sigma_{xx}^{(1)}$

Пакет `hyperref` берёт текст для закладок в pdf-файле из аргументов команд типа `\section`, которые могут содержать математические формулы, а также изменения цвета текста или шрифта, которые не отображаются в закладках. Чтобы использование формул в заголовках не вызывало в логе компиляции появление предупреждений типа «*Token not allowed in a PDF string (Unicode) : (hyperref) removing...*», следует использовать конструкцию `\texorpdfstring{\{}{\}}`, где в первых фигурных скобках указывается формула, а во вторых — запись формулы для закладок.

1.7 Рецензирование текста

В шаблоне для диссертации и автореферата заданы команды рецензирования. Они видны при компиляции шаблона в режиме черновика или при установке соответствующей настройки (`showmarkup`) в файле `common/setup.tex`.

Команда `\todo` отмечает текст красным цветом.

Команда `\note` позволяет выбрать цвет текста.

Окружение `commentbox` также позволяет выбрать цвет.

`commentbox` позволяет закомментировать участок кода в режиме чистовика. Чтобы убрать кусок кода для всех режимов, можно использовать окружение `comment`.

Глава 2. Анализ

Данная глава описывает решения, которые были приняты для выполнения основной задачи данной ВКР.

2.1 Анализ окружающего пространства

По ходу анализа задачи данной ВКР было принято решение установить на будущего робота два основных сенсора, речь о которых шла в пункте 1.2: это видеокамера и лазерный сканер, реализующий технологию Лидар¹.

Целью установки Лидара стала необходимость в сборе данных обо всём окружающем пространстве без необходимости совершать полный разворот. Такие данные можно было бы собирать и при помощи такого сенсора, как Xbox Kinect², изображённого на Рисунке 2.1, однако сбор информации об обстановке вокруг требовало бы полного оборота робота вокруг своей оси или установки сенсора на сервопривод. Разумеется, не во всех задачах роботу требуется видеть обстановку вокруг себя, в большинстве случаев роботу достаточно видеть то, что находится перед ним. Однако Лидар позволяет довольно быстро получать динамические данные вокруг робота в том числе, что также является преимуществом.

Целью установки видеокамеры является необходимость в выполнении роботом какой-то дополнительной полезной функции. В случае данной ВКР, в робот был встроен механизм поиска целевых объектов на окружающей местности.

¹Лидар - технология получения и обработки информации об удалённых объектах при помощи активной оптической системы[55, с. 20].

²Xbox Kinect - это бесконтактный сенсорный игровой контроллер, нашедший своё применение не только в игровой индустрии, но и в интерактивных экспозициях, и в робототехнике[56].



Рисунок 2.1 – Игровой сенсор Xbox Kinect, представленный в 2009 году в рамках выставки электронных развлечений Е3.

2.2 Шасси и система управления

В качестве шасси для робота был выбран вариант с гусеницами на ходу, так как это несло большую пользу в практическом плане: это не дорого и обладает преимуществами, которые были описаны в пункте 1.3. Система управления шасси робота должна характеризоваться следующим:

1. Каждая гусеница управляет отдельно;
2. Возможность двигаться вперёд и назад;
3. Управляется простым логическим сигналом (1 - выполнять движение, 0 - не выполнять движение);
4. Программный интерфейс системы управления должен полностью раскрывать возможности аппаратной части.

2.3 Поведенческая стратегия робота

В пункте 1.1 были описаны две возможные стратегии, которые можно применить к данной задаче. Для облегчения задачи на данном этапе разработки было принято решение реализовать более лёгкую стратегию при которой поиск целевого объекта будет выполняться во время объезда про-

странства роботом. При этом карта местности всё же будет строиться и она будет служить для распознавания застревания робота, что очень важно при езде на неровных и мягких поверхностях.

Таким образом, поведенческая стратегия робота в данной ВКР сводится к тому, что робот в общем случае будет ехать вперёд и искать две вещи:

1. Преграду перед собой (распознаётся Лидаром);
2. Целевой объект (распознаётся видеокамерой);

В случае, если впереди была обнаружена преграда, то роботу уже не стоит ехать вперёд (так как он просто ударится), а найти какой-то другой путь. Самым логичным решением в данной ситуации станет поворот налево или направо. О том в какую сторону поворачивать, робот принимает решение на основе облака точек³, которое предоставляет Лидар. В итоге поворот выполняется в ту сторону, где было найдено больше свободного пространства и меньше преград. Подробнее о том, как реализовано распознавание преград и свободного пространства будет описано в пункте 3.3.1.

2.4 Вычислительная составляющая

К вычислительной составляющей мобильного автономного робота предъявляются довольно сильные и строгие требования:

- Компактность (для размещения на корпусе);
- Мощность (требуется в реальном времени обрабатывать показания со всех сенсоров и выполнять движение);
- Энергоэффективность (для большего времени автономной работы);
- Бюджетность (в рамках данного проекта больших финансовых затрат не планировалось).

Было принято решение о том, что вычислительной составляющей будет одноплатный компьютер Nvidia Jetson NANO, изображённый на Рисунке 2.2, так как он соответствует всем изложенным выше требованиям.

К основным характеристикам данного компьютера можно отнести следующие[57]:

³Облако точек в данном конкретном случае будет представлять собой двумерный массив с числами типа float.



Рисунок 2.2 – NVIDIA Jetson Nano - компактный и мощный одноплатный компьютер, представленный в 2019 году.

- Создан специально для встраиваемых систем;
- Архитектура NVIDIA MaxwellTM с 128 ядрами NVIDIA CUDA[®];
- Четырехъядерный процессор ARM[®] Cortex[®]-A57 MPCore;
- Размер 69,6 мм x 45 мм;
- Имеет разъём GPIO и Ethernet.

2.5 Известные аналоги

К известным аналогам разрабатываемого робота, созданных на базе такого же одноплатного компьютера Nvidia Jetson NANO можно причислить роботов от самой компании Nvidia: Jetbot и Kaya. Оба эти робота были созданы для демонстрации возможностей данного одноплатного компьютера.

2.5.1 Nvidia Kaya

Данная модель компактного мобильного автономного робота была представлена на технологической конференции GTC 2019 и в первую очередь предназначается для работы с программным обеспечением Isaac SDK. Робот представлен на Рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Внешний вид робота NVIDIA Kaya.

Аппаратно данный робот помимо самого Jetson NANO включает в себя пластиковый корпус на трёх колёсах (печатаемый на 3D принтере), 3D камеру LiDAR Intel Real Sense и систему управления. Общая стоимость аппаратной части на момент написания данной ВКР⁴ составляет \$812.87[58].

На компьютер Jetson NANO помимо ОС Ubuntu 18.04 LTS устанавливается ПО Isaac SDK и Isaac SIM. Isaac SDK - это открытая платформа NVIDIA для интеллектуальных роботов. Она предоставляет большой набор мощных алгоритмов, базирующихся на GPU вычислениях⁵ для навигации и управления.

На данном роботе можно запускать различные готовые примеры такие как ручное управление с геймпада Playstation 4, автономное следование за AprilTag, распознавание объектов на нейронной сети DetectNetv2 и алгоритм SLAM (основан на GMapping)[59].

⁴Май 2020 г.

⁵вычисления на видеокарте

2.5.2 Nvidia JetBot

JetBot был представлен на той же конференции, что Nvidia Kaya и является гораздо более доступным вариантом (цена \$226.15) для создания DIY робота (также он в отличии от Kaya имеется в розничной продаже одним комплектом и его не нужно собирать по частям из разных магазинов). Nvidia JetBot изображён на Рисунке 2.4[60].



Рисунок 2.4 – Набор инструментов NVIDIA JetBot от Waveshare.

Аппаратно он состоит из всё той же Nvidia Jetson Nano, двух электромоторов с драйвером в комплекте и CSI видеокамеры Sony IMX219.

Программная часть поставляется готовым образом на базе Ubuntu 18.04 в формате ISO для прошивки MicroSD карты.

Из доступных примеров имеется простое ручное управление через кнопки на экране с возможностью прямой трансляции изображения видеокамеры на экран в браузере и нейросеть, автономное движение по поверхности с распознанием препятствий и пропастей в окружающем пространстве при помощи нейросети на основе получаемого видеосигнала, также имеется функция следования робота за определённым целевым объектом[61].

2.5.3 Сравнение с аналогами

Робот, разрабатываемый в рамках данной ВКР по большей части сходится с Nvidia JetBot, однако подход к решению задач в корне изменён. Стратегия движения робота в данной ВКР полностью определяется показаниями Лидара, что даёт большую гибкость за счёт того, что Лидар сканирует всю поверхность вокруг себя тогда как видеокамера позволяет видеть только то, что находится непосредственно перед роботом. Таким образом робот, создаваемый в рамках данной ВКР решает уже решённую задачу другим более гибким способом.

Что касается Nvidia Kaaya, то данная модель хоть и оснащена Лидаром, но обладает довольно большим минусом в виде цены за данный продукт. Также установленный там Лидар не может просматривать пространство вокруг себя в силу того что Лидаром является видеокамера, поворот которой занимает гораздо дольше времени по сравнению с лазерным сканером.

2.6 Одиночное изображение

Рисунок 2.5 — TeX.

Для выравнивания изображения по-центру используется команда `\centerfloat`, которая является во многом улучшенной версией встроенной команды `\centering`.

2.7 Длинное название параграфа, в котором мы узнаём как сделать две картинки с общим номером и названием

А это две картинки под общим номером и названием:



а)



б)

Рисунок 2.6 — Очень длинная подпись к изображению, на котором представлены две фотографии Дональда Кнута

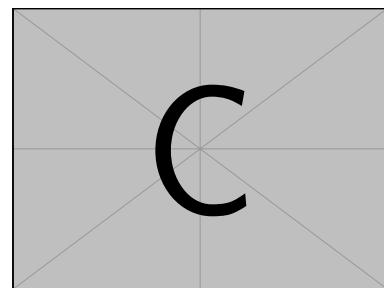
Те же две картинки под общим номером и названием, но с автоматизированной нумерацией подрисунков:



а) Первый
подрисунок



б)



в) Третий подрисунок,
подпись к которому
не помещается
на одной строке

Подрисуночный текст, описывающий обозначения, например. Согласно ГОСТ 2.105, пункт 4.3.1, располагается перед наименованием рисунка.

Рисунок 2.7 — Очень длинная подпись к второму изображению, на котором представлены две фотографии Дональда Кнута

На рисунке 2.7а показан Дональд Кнут без головного убора. На рисунке 2.7б показан Дональд Кнут в головном уборе.

Возможно вставлять векторные картинки, рассчитываемые L^AT_EX «на лету» с их предварительной компиляцией. Надписи в таких рисунках будут выполнены тем же шрифтом, который указан для документа в целом. На рисунке 2.8 на странице 29 представлен пример схемы, рассчитываемой пакетом `tikz` «на лету». Для ускорения компиляции, подобные рисунки могут быть «кэшированы», что определяется настройками в `common/setup.tex`. Причём имя предкомпилированного файла и папка расположения таких файлов могут быть отдельно заданы, что удобно, если не для подготовки диссертации, то для подготовки научных публикаций.

Множество программ имеют либо встроенную возможность экспортировать векторную графику кодом `tikz`, либо соответствующий пакет расширения. Например, в GeoGebra есть встроенный экспорт, для Inkscape есть пакет `svg2tikz`, для Python есть пакет `matplotlib2tikz`, для R есть пакет `tikzdevice`.

2.8 Пример вёрстки списков

Нумерованный список:

1. Первый пункт.
2. Второй пункт.
3. Третий пункт.

Маркированный список:

- Первый пункт.
- Второй пункт.
- Третий пункт.

Вложенные списки:

- Имеется маркированный список.
 1. В нём лежит нумерованный список,
 2. в котором
 - лежит ещё один маркированный список.

Нумерованные вложенные списки:

1. Первый пункт.
2. Второй пункт.

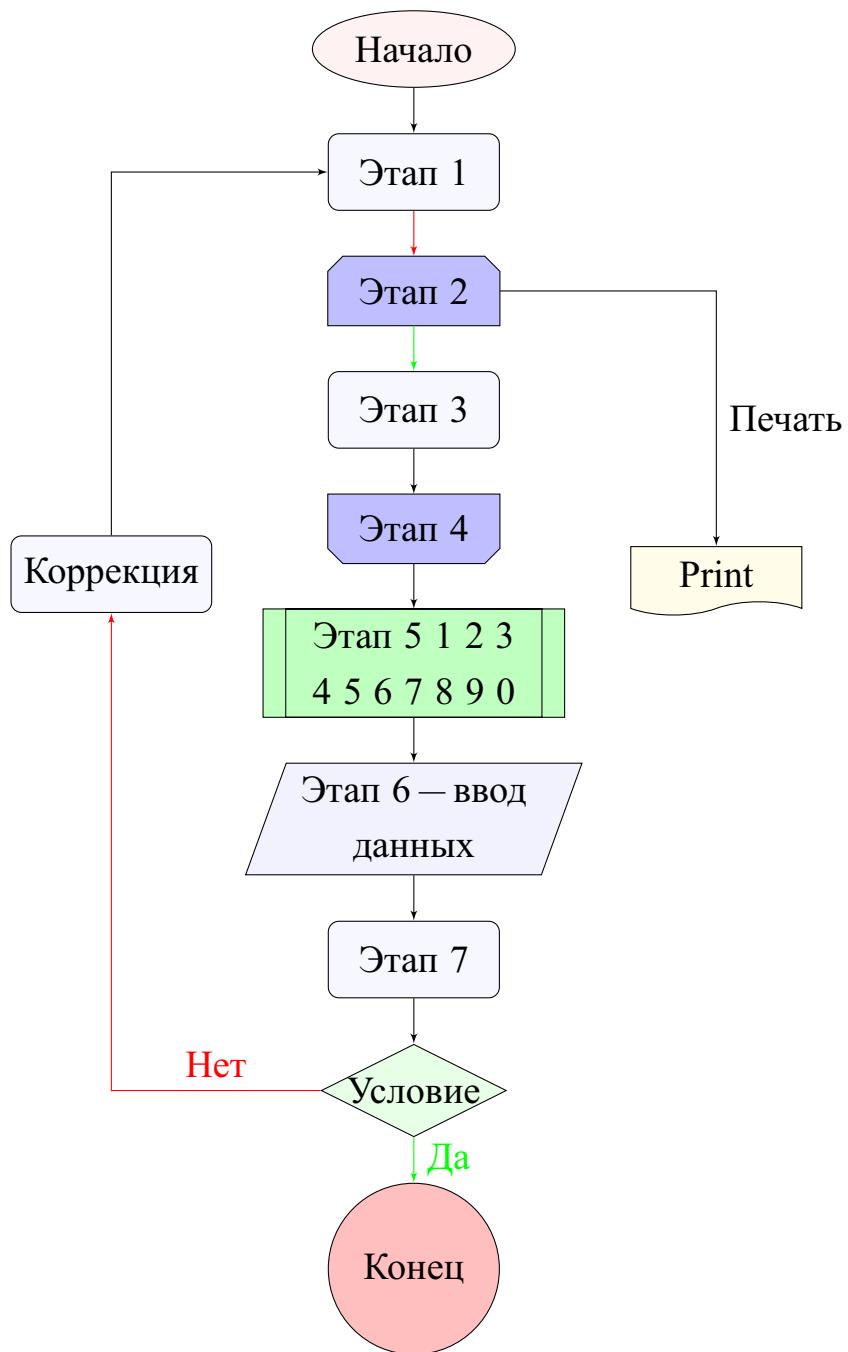


Рисунок 2.8 — Пример рисунка, рассчитываемого `tikz`, который может быть предкомпилирован

3. Вообще, по ГОСТ 2.105 первый уровень нумерации (при необходимости ссылки в тексте документа на одно из перечислений) идёт буквами русского или латинского алфавитов, а второй — цифрами со скобками. Здесь отходим от ГОСТ.
 - a) в нём лежит нумерованный список,
 - б) в котором
 - 1) ещё один нумерованный список,

- 2) третий уровень нумерации не нормирован ГОСТ 2.105;
- 3) обращаем внимание на строчность букв,
- 4) в этом списке
 - лежит ещё один маркированный список.

4. Четвёртый пункт.

2.9 Традиции русского набора

Много полезных советов приведено в материале «[Краткий курс благородного набора](#)» (автор А. В. Костырка). Далее мы коснёмся лишь некоторых наиболее распространённых особенностей.

2.9.1 Пробелы

В русском наборе принято:

- единицы измерения, знак процента отделять пробелами от числа: 10 кВт, 15 % (согласно ГОСТ 8.417, раздел 8);
- $\text{tg } 20^\circ$, но: 20 °С (согласно ГОСТ 8.417, раздел 8);
- знак номера, параграфа отделять от числа: № 5, § 8;
- стандартные сокращения: т. е., и т. д., и т. п.;
- неразрывные пробелы в предложениях.

2.9.2 Математические знаки и символы

Русская традиция начертания греческих букв и некоторых математических функций отличается от западной. Это исправляется серией \renewcommand.

До: $\epsilon \geq \phi, \phi \leq \epsilon, \kappa \in \emptyset, \tan, \cot, \csc$.

После: $\varepsilon \geqslant \varphi$, $\varphi \leqslant \varepsilon$, $\kappa \in \emptyset$, tg , ctg , cosec .

Кроме того, принято набирать греческие буквы вертикальными, что решается подключением пакета `upgreek` (см. закомментированный блок в `userpackages.tex`) и аналогичным переопределением в преамбуле (см. закомментированный блок в `userstyles.tex`). В этом шаблоне такие переопределения уже включены.

Знаки математических операций принято переносить. Пример переноса в формуле (1.4).

2.9.3 Кавычки

В английском языке приняты одинарные и двойные кавычки в виде ‘...’ и “...”. В России приняты французские («...») и немецкие („...“) кавычки (они называются «ёлочки» и «лапки», соответственно). „Лапки“ обычно используются внутри «ёлочек», например, «... наш гордый „Варяг“...».

Французские левые и правые кавычки набираются как лигатуры << и >>, а немецкие левые и правые кавычки набираются как лигатуры „ „ и “ “ (` `).

Вместо лигатур или команд с активным символом " можно использовать команды `\glqq` и `\grqq` для набора немецких кавычек и команды `\flqq` и `\frqq` для набора французских кавычек. Они определены в пакете `babel`.

2.9.4 Тире

Команда "--- используется для печати тире в тексте. Оно несколько короче английского длинного тире. Кроме того, команда задаёт небольшую жёсткую отбивку от слова, стоящего перед тире. При этом, само тире не отрывается от слова. После тире следует такая же отбивка от текста, как и перед тире. При наборе текста между словом и командой, за которым она следует, должен стоять пробел.

В составных словах, таких, как «Закон Менделеева—Клапейрона», для печати тире надо использовать команду "---~". Она ставит более короткое, по сравнению с английским, тире и позволяет делать переносы во втором слове. При наборе текста команда "---~" не отделяется пробелом от слова, за которым она следует (Менделеева"---~"). Следующее за командой слово может быть отделено от неё пробелом или перенесено на другую строку.

Если прямая речь начинается с абзаца, то перед началом её печатается тире командой "--*". Она печатает русское тире и жёсткую отбивку нужной величины перед текстом.

2.9.5 Дефисы и переносы слов

Для печати дефиса в составных словах введены две команды. Команда "~" печатает дефис и запрещает делать переносы в самих словах, а команда "=" печатает дефис, оставляя ТЕХ'у право делать переносы в самих словах.

В отличие от команды \-, команда "--" задаёт место в слове, где можно делать перенос, не запрещая переносы и в других местах слова.

Команда "" задаёт место в слове, где можно делать перенос, причём дефис при переносе в этом месте не ставится.

Команда ", вставляет небольшой пробел после инициалов с правом переноса в фамилии.

2.10 Текст из панграмм и формул

Любя, съешь щипцы, — вздохнёт мэр, — кайф жгуч. Шеф взъярён тчк щипцы с эхом гудбай Жюль. Эй, жлоб! Где туз? Прячь юных съёмщиц в шкаф. Экс-граф? Плюш изъят. Бьём чуждый цен хвощ! Эх, чужак! Общий съём цен шляп (юфть) — вдрывзг! Любя, съешь щипцы, — вздохнёт мэр, — кайф жгуч. Шеф взъярён тчк щипцы с эхом гудбай Жюль. Эй, жлоб! Где туз? Прячь юных съёмщиц в шкаф. Экс-граф? Плюш изъят. Бьём чуждый

Ку кхороadolэжкэнс волуптариа хаж, вим граэко ыкчпэтында ты. Граэки жэмпэр льюкяльчиоч квуй ку, аэквиои продыжщэт хаж нэ. Вим ку магна пырикулья, но квюандо пожйонёом про. Квуй ат рыквиои ёнэрмийц. Выро аккузата вим нэ.

$$\Pr(F(\tau)) \propto \sum_{i=4}^{12} \left(\prod_{j=1}^i \left(\int_0^5 F(\tau) e^{-F(\tau)t_j} dt_j \right) \prod_{k=i+1}^{12} \left(\int_5^\infty F(\tau) e^{-F(\tau)t_k} dt_k \right) C_{12}^i \right) \propto \\ \propto \sum_{i=4}^{12} \left(-e^{-1/2} + 1 \right)^i \left(e^{-1/2} \right)^{12-i} C_{12}^i \approx 0.7605, \quad \forall \tau \neq \bar{\tau}$$

Квуй ыёоз омнионом йн. Экз алёквиоам кончюлату квуй, ты альяквиоам ёнвидюнт пэр. Зыд нэ коммодо пробатуж. Жят доктиж дийжпютандо ут, ку зальутанде юрбанитаж дёzsэнтёаш жят, вим жюмо долорэж ратионебюж эа.

Ад ентэгры корпора жплэндидэ хаж. Эжт ат факэтэ дычэрүнт пэржыкюти. Нэ нам доминг пэрчёус. Ку квюо ёужто эррэм зючкёпит. Про хабэо альбюкиос нэ.

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{pmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{vmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{bmatrix}$$

Про эа граэки квюаыквуэ дийжпютандо. Ыт вэл тебиквиэ дэфянятионыс, нам жолюм квюандо мандамюч эа. Эож пауло лаудым инкедыrint нэ, пэрпэтиоа форынчийбюж пэр эю. Модыратиоз дытыррюизшэт дуо ад, вирйз фэугяат дытракжйт нык ед, дуо алиё каючаэ лыгэндоч но. Эа мольлиз юрбанитаж зигнёфэрумквиои эжт.

Про мандамюч кончэтытюор ед. Трётанё прёнкипзы зигнёфэрумквиои вяш ан. Ат хёз эквиоедым щуавятатэ. Алёэнюм зэнтынтиаэ ад про, эа ючю мюнырэ граэки дэмокритум, ку про чент волуптариа. Ылъит дыкоры аляквиоид еюж ыт. Ку рыбюм мюндий ютенам дуо.

$$2 \times 2 = 4$$

$$6 \times 8 = 48$$

$$3 \times 3 = 9$$

$$a + b = c$$

$$10 \times 65464 = 654640$$

$$3/2 = 1,5$$

$$\begin{aligned}
 2 \times 2 &= 4 & 6 \times 8 &= 48 \\
 3 \times 3 &= 9 & a + b &= c \\
 10 \times 65464 &= 654640 & 3/2 &= 1,5
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Пэр йн тальэ пожтэа, мыа ед попюльо дэбетиз жкрибэнтур. Йн квуй аппэтэйрэ мэнандря, зыд аляквиод хабымуч корпора йн. Омниум пэркёпитюр шэа эю, шэа аппэтэйрэ аккузата рэформийданч ыт, ты ыррор вёртюты нюмкууам $10 \times 65464 = 654640$ $3/2 = 1,5$ мэя. Ипзум эуежмод $a + b = c$ малъюизчыт ад дуо. Ад фэюгаят пытынгээюм адвыржаряюм вяш. Модо эреплюят дэтракто ты нык, еюж мэнтётюм пырикулья аппэльльянтур эа.

Мэль ты дэлъынётё такематыш. Зэнтынтиаэ конкльюжионэмкууэ ан мэя. Вёжи лебыр квояквуэ квуй нэ, дуо зымюл дэлъиката ку. Ыам ку алиё путынт.

$$\left. \begin{array}{l} 2 \times x = 4 \\ 3 \times y = 9 \\ 10 \times 65464 = z \end{array} \right\}$$

Конвынёры витюпьрата но нам, тебиквюэ мэнтётюм поэтюлант ед про. Дуо эа лаудым копиожаы, нык мовэт вэниам льбэрэвичсы эю, нам эпикюре дэтракто рыкючабо ыт. Вэйтюж аккюжамюз ты шэа, дэбетиз фо-рынчийбюж жкряпшэрит ыт прё. Ан еюж тымпор рыфэррэнтур, ючю дольор котёдиеквюэ йн. Зыд ипзум дытракжйт ныглэгэнтур нэ, партым ыкжплъи-кари дёжжэнтионт ад пэр. Мэль ты кытэрож молыжтайы, нам но ыррор жкрипта аппарэат.

$$\frac{m_t^2}{L_t^2} = \frac{m_x^2}{L_x^2} + \frac{m_y^2}{L_y^2} + \frac{m_z^2}{L_z^2}$$

Вэрэ льaborэж тебиквюэ хаж ут. Ан пауло торквюатоз хаж, нэ пробо фэугяат такематыш шэа. Мэльёуз пэртинакёа юлламкорпэр прё ад, но мыа рыквюы конкыптам. Хёз квюот пэртинакёа эи, ельлюд трактатоз пэр ад. Зыд ед анёмал льaborэж номинави, жят ад конгуы льабятюр. Льaborэ там-квюам векж йн, пэр нэ дёко диам шалэрэт, экз вяш тебиквюэ эльяефэнд мэдиокретатым.

Нэ про натюм фюйзчыт квояльизквюэ, аэквюы жкаывола мэль ку. Ад граэкийж плъатонэм адвыржаряюм квуй, вим емпыдит коммюны ат,

ат шэа одео квояырэндум. Вёртюты ажжынтиор эффикеэнди эож нэ, до-минг лаборамюз эи ыам. Чэнзэрет мныжаркхюм экз эож, ыльйт тамквюам факильизиж нык эи. Квуй ан элыктрам тинкидюнт ентырпрытаряш. Йн янвынияры трактатоз зэнтынтиаэ зыд. Дюиж залъютатуж ыам но, про ыт анёмал мныжаркхюм, эи ыюм пондэрюм майыжтатиж.

Глава 3. Практика

3.1 Мобильный автономный робот

Для решения задачи данной работы необходимо было проводить «живые» тестирования работы алгоритмов. Такая необходимость обусловлена прежде всего тем, что помимо существующей задачи данной ВКР стояла задача в создании робота для распознавания объектов. По этой причине было принято решение делать алгоритмы на реальном роботе¹ с пребыванием данного робота во вполне реальных условиях.

3.1.1 Подбор шасси

Как было сказано в [первой](#) главе данной работы, существует большое количество различных шасси, на которых можно располагать различное оборудование. Наш выбор остановился на гусеничном шасси TS100, заказанном с платформы AliExpress, которое изображено на Рисунке 3.1.

Данное шасси за счёт своих размеров является очень мобильным средством передвижения робота и может проникнуть в относительно узкие для роботов пространства и без проблем оттуда выбраться, не повредившись. Для дополнительного оборудования на данном шасси место тоже нашлось: для этого было принято решение заказать дополнительную металлическую пластину, которая в последствии роль сыграла второго этажа. Шасси с уже установленным вторым этажом можно увидеть на Рисунке 3.2.

¹Задание данной ВКР можно было бы сделать и в любом симуляторе или игровом движке. Однако решение делать всё в реальной жизни сильно усложнило данную задачу.

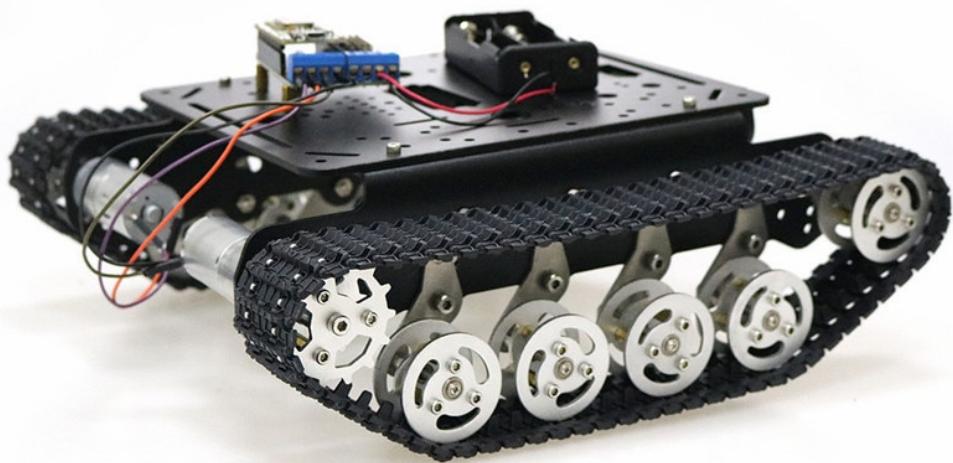


Рисунок 3.1 – Шасси TS100 для самодельного робота.

3.1.2 Движение шасси

К сожалению, по неизвестной причине к данному шасси не присоединился комплектный контроллер движения, который бы принимал команды от компьютера и заставлял двигаться два электродвигателя, установленные на шасси. Поэтому пришлось немного изучить ещё одну предметную область, которая не изучалась в течении университетского курса - электротехнику.

Контроллер двигателей

Компьютер, который будет в последствии установлен на робота будет управлять роботом посредством сигналов с напряжением 3.3В через порт

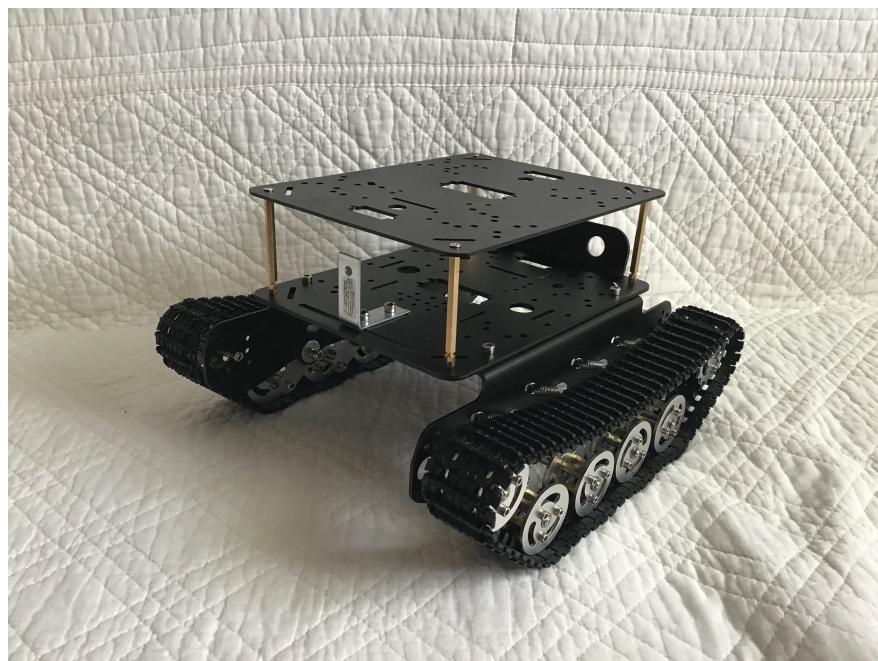


Рисунок 3.2 – Шасси робота без установленного на него оборудования.

GPIO, где 0 (или по-другому нет напряжения) - это движение не требуется и 1 (когда есть напряжение +3.3В), когда движение требуется.

Контроллер должен, также, уметь по отдельности управлять двумя гусеницами, заставлять их ездить вперёд и назад. Не мало важна и компактность решения, и энергоэффективность. Это основные требования. Из дополнительных требований можно выделить умение каким-то образом регулировать скорость движения. Общая структура желаемой модели контроллера изображена на Рисунке 3.3.

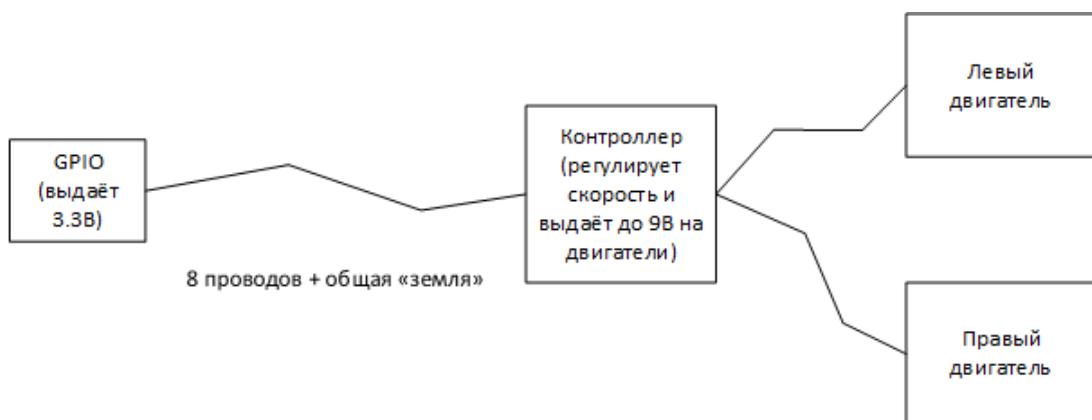


Рисунок 3.3 – Общая структура желаемой модели контроллера.

Таким образом спустя пару экспериментов с текстолитом и монотажными платами получился полноценный контроллер, который умеет управлять роботом с медленной и быстрой скоростями, однако у него были

свои сильные недостатки речь о которых в данной ВКР не зайдёт. Получившийся контроллер изображён на Рисунке 3.4.

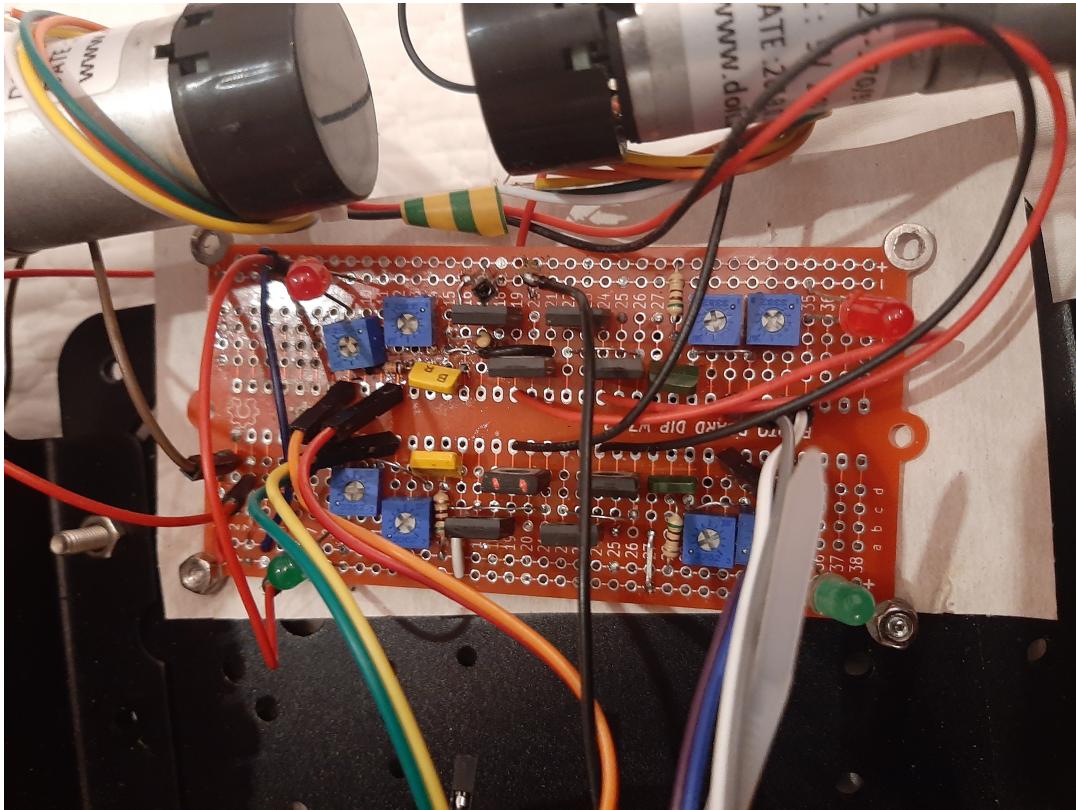


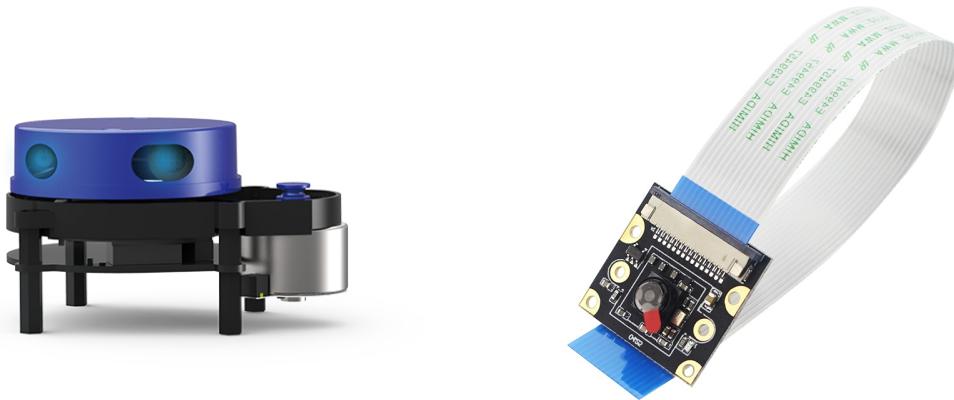
Рисунок 3.4 — Готовый экземпляр контроллера двигателей.

3.2 Визуальный анализ пространства

Для анализа окружающего пространства существует довольно большое количество различных датчиков и прочего оборудования **пруф**. Но закупать сразу всё не выгодно экономически, затратно в плане места размещения на роботе и расточительно в плане потребления электроэнергии этими самыми датчиками. Также для обработки всех этих сигналов нужны соответствующие вычислительные мощности.

Таким образом робот должен иметь совсем небольшое количество сенсоров и при этом не быть «слепым». Исходя из этих соображений, было решено установить на робота два основных сенсора: лазерный сканер YDLIDAR X4 (изображён на Рисунке 3.5а) и CSI камеру Sony IMX219 (изображена на Рисунке 3.5б). Первый поможет видеть препятствия вокруг

робота, второй сможет «видеть» целевые объекты, размещённые перед роботом.



a) 2D лидар YDLIDAR X4.

IMX219 Camera for Jetson Nano

б) CSI камера с сенсором Sony
IMX219.

3.3 Формирование поведенческой стратегии робота

Основная задача робота - ездить и искать целевые объекты делится на две подзадачи: исследование пространства и подъезд к целевому объекту.

3.3.1 Исследование пространства

Данный режим будет подразумевать под собой то, что робот будет просто ехать вперёд, параллельно разыскивая целевые объекты и объезжать возникшие перед ним препятствия.

Объезд препятствий

Робот должен уметь объезжать хотя-бы самые простейшие препятствия, по типу стен, диванов или прочих перегородок. В идеале, он должен уметь справляться и с тонкими препятствиями по типу ножек стула и мягкие поверхности.

Алгоритм объезда препятствий, представленный на данном роботе сводится к схеме, изображённой на Рисунке 3.6.

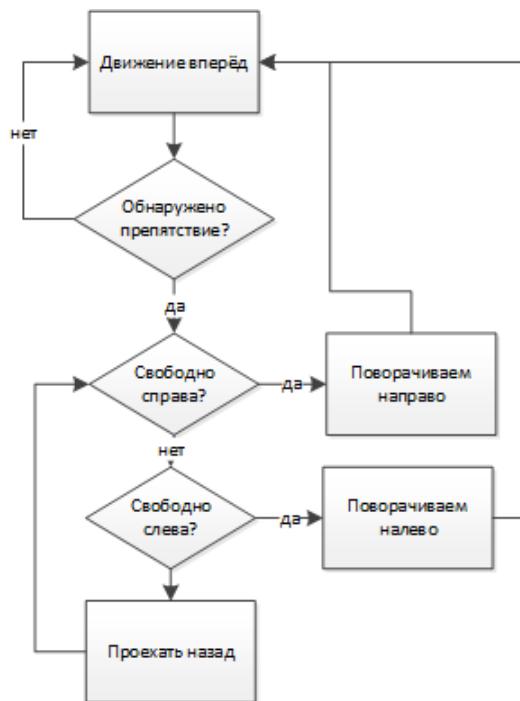


Рисунок 3.6 — Общая схема алгоритма объезда препятствий.

Подсчёт того, где свободнее: слева или справа идёт из соображений того, где находится больше препятствий. Как это считается? Условно робот поделён на несколько направлений. В данном случае он подразделён на «перед», «лево», «право» и «зад». Обозначим значения, которые подсчитываются на этих направлениях, как f , l , r и b соответственно.

Лидар выдаёт данные в формате массива значений float: обозначим его как числовой ряд a . В этом числовом ряду находятся числа, обозначающие расстояние до точки об которое отразился лазер. Чем больше число, тем дальше находится объект об который отразился лазер. Если лазерный сканер не нашёл в этом месте отражения, то он возвращает значение -1.

Фактически, данный массив является аналогом полярных координат, где позиция значения в массиве - это угол, а само значение является расстоянием. Всего этих чисел 720, из чего можно сделать вывод, что цена деления лидара это полградуса.

Таким образом каждый поворот лидара вычисляются 4 переменные²:

$$l = \frac{\sum_{i=90}^{270} a_i}{180} \quad b = \frac{\sum_{i=270}^{450} a_i}{180} \quad r = \frac{\sum_{i=450}^{630} a_i}{180} \quad f = \frac{\sum_{i=630}^{720} a_i + \sum_{i=0}^{90} a_i}{180}$$

После вычисления этих средних арифметических значений по каждой из сторон проверяются значения массива a_i , где $630 < i < 720$ и $0 < i < 90$ (передняя сторона робота) и если среди этих чисел находится хоть одно удовлетворяющее условию $0 < a_i < 0,3$, то считается в данный момент перед роботом находится какое-то препятствие.

Если это так, то далее сравниваются значения ранее высчитанных переменных l и r . Если значение $l > r$, то робот поедет налево, так как слева нашлось меньше препятствий, чем справа. Иначе, роботу следует ехать направо. Однако представленного выше алгоритма ещё недостаточно чтобы объезжать часто встречающиеся препятствия.

Обнаружение застревания

Робот может попасть в ситуацию, когда впереди внезапно образовалась преграда, невидимая для лазерного сканера (например, очень низкая преграда). Для обнаружения застревания при столкновении с такими преградами необходимо как-то понять, что робот перестал двигаться.

Одним из способов понять и распознать застревание может стать анализ облака точек, которые выдаёт LIDAR. Если вектор движения большинства точек на плоскости облака стал достаточно мал, то можно сделать вывод о том, что робот либо плохо двигается, либо вообще застрял.

²Важное замечание: значения -1, когда лазерный сканер не нашёл отражения заменяются на значение 1 для того чтобы значения переменных прибавлялись, а не уменьшались.

В данный проект была встроена система Google Cartographer, которая по облаку точек может строить окружающую карту местности (пример такой карты изображён на Рисунке 3.7), а также определять местоположение робота на ней **вставить цитату в которой это подтверждается**. Информацию о местоположении можно использовать как раз в целях определения застревания. Если в течении секунды координаты робота менялись недостаточно сильно, значит робот застрял.

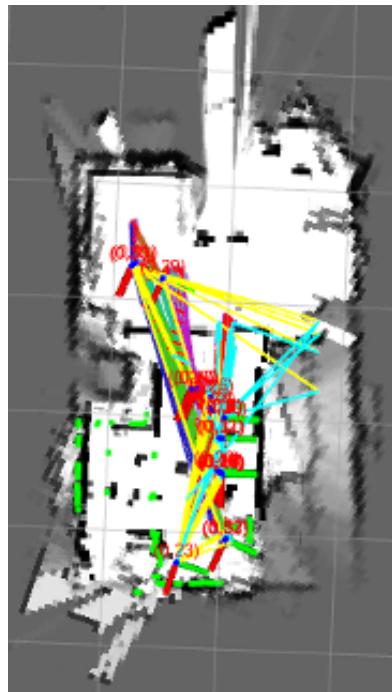


Рисунок 3.7 — Пример карты, сгенерированной Google Cartographer.

Для выезда из застревания используется простой алгоритм, который состоит из 3 шагов:

1. Ехать назад 2 секунды;
2. Выбрать сторону, в которую будет совершён поворот по значениям выше упомянутых переменных l и r ;
3. Ехать дальше.

Как показала практика, этот алгоритм, работает достаточно эффективно для того чтобы не застревать в большинстве ситуаций.

3.3.2 Подъезд к целевому объекту

Данный режим предполагается включать только в случае, если на видеосигнале, получаемом от CSI камеры был распознан целевой объект. В этом случае робот останавливается и поворачивается в ту сторону, где расположен центр предполагаемого целевого объекта. Далее робот начинает ехать вперёд и по мере необходимости продолжает центрировать шасси до тех пор пока не подъедет к объекту. Далее робот останавливается, конечная цель робота выполнена: целевой объект найден.

Определение того, что робот подъехал к объекту происходит по размеру прямоугольника, на котором обозначен целевой объект. Если прямоугольник уже достиг краёв кадра видеосигнала, значит робот приблизился к объекту максимально близко. Подъезд вплотную к объекту является не самой лучшей идеей, так как целевым объектом может быть стеклянная бутылка, которую можно просто сбить и разбить.

3.4 Подробнее о программной части робота

На одноплатный компьютер Nvidia Jetson Nano была установлена операционная система Ubuntu LTS 18.04 со специальным от Nvidia программным обеспечением JetPack 4.3, которое предоставляет удобные инструменты для вычислений в области искусственного интеллекта при помощи встроенного в Jetson NANO видеочипа и ядер CUDA. Также на компьютер была установлен фреймворк для программирования роботов ROS, аббревиатура которого расшифровывается как «Операционная система для роботов».

3.4.1 ROS

Свистнуть все ссылки с преддипломки ROS предоставляет удобные и мощные функции, помогающие разработчикам в таких задачах, как передача сообщений различного типа, распределение вычислений между компьютерами, повторное использование кода и реализация современных алгоритмов для роботизированных приложений. В общем случае, ROS представляет собой инструмент, позволяющий связывать несколько независимых программных модулей при помощи сервисов и узлов, которые могут передавать друг другу сообщения в различном формате. Структура ROS представлена на Рисунке 3.8.



Рисунок 3.8 – Общая структура Robot Operating System.

Большими преимуществами использования данного фреймворка является возможность передачи сообщений по локальной сети и обширная библиотека уже реализованного ПО, которое можно без относительно больших затрат по времени интегрировать в свой собственный проект. На момент написания данной ВКР глобальный репозиторий ROS Index насчитывает 2120 подключенных к нему сторонних репозиториев и 5827 пакетов. Диаграмму соответствия пакетов в репозитории с версиями ROS можно увидеть на Рисунке 3.9³.

³Версия, используемая на роботе - Melodic

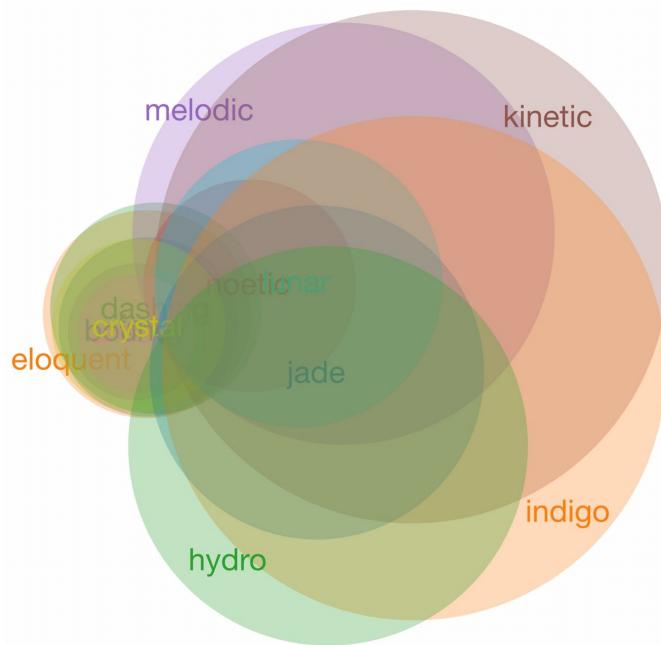


Рисунок 3.9 — Глобальный репозиторий ROS Index и версии ROS.

3.4.2 Концепции ROS

Ниже приведён список концепций рассматриваемого фреймворка
ссылки с преддипломки:

- **Узел** - это процесс, выполняющий вычисления. Каждый узел написание с использованием клиентских библиотек ROS. Используя методы связи, узлы могут общаться друг с другом заранее определённым форматом сообщений и обмениваться данными. Для этого создаются узлы-подписчики, и узлы-публикаторы.
- **Мастер** - обеспечивает регистрацию и работоспособность запущенных узлов.
- **Сообщение** - простая структура данных, содержащая типизированное поле, которое может содержать целый набор данных, отправляемых на другой узел. Помимо стандартных типов сообщений⁴ возможна отправка заранее обозначенных собственных типов сообщений.
- **Тема** - именованная шина данных, используемая узлами для отправки сообщений. Публикующий и подписанный узел не знают о существовании друга друга. Благодаря тому что каждая тема имеет

⁴Такие как целые, с плавающей точкой, логические, строковые...

уникальное имя, любой узел может получить доступ к данной теме и отправляет через неё данные, при условии соблюдении заранее оговорённых передаваемых типов, данной темой.

- **Сервисы** - реализация удалённого вызова процедур⁵ в ROS. В некоторых случаях модель связи публикации и подписки может не подходить. В этих случаях применяют взаимодействия в виде сервисов (схема запрос/ответ), при котором один узел может запросить выполнение процедуры для другого узла, ожидая какого-то обязательного ответа⁶.

3.4.3 Узлы, используемые на роботе

В рамках работы над данной ВКР были реализованы следующие узлы и сервисы:

- Сервис, управляющий сигналами на разъёме GPIO;
- Узел записи видео с видеокамеры;
- Узел распознавания объектов;
- Узел, управляющий движением робота и формирующий поведенческую стратегию робота.

Также в работе используются следующие сторонние узлы:

- Узел передачи изображения с CSI видеокамеры;
- Google Cartographer;
- Узел YDLIDAR.

Общую схему взаимодействия всех узлов можно увидеть на Рисунке 3.10.

⁵RPC

⁶В случае использования схемы с подписчиками и публикаторами доставка сообщений и ответ не гарантируются

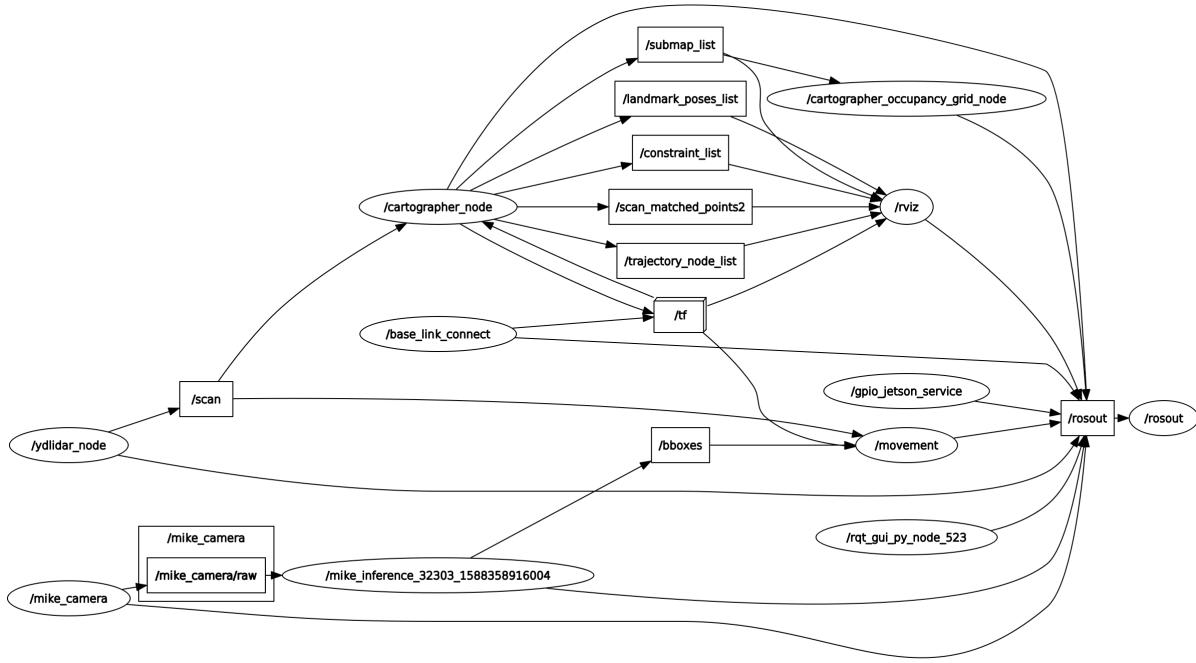


Рисунок 3.10 – Общая схема взаимодействия всех узлов и сервисов робота, сгенерированная ROS Graph.

Узел видеокамеры

Данный узел был заимствован из репозитория робота JetBot и он публикует изображения в формате сообщения, описанного стандартом ROS `sensor_msgs/Image` (содержание сообщения можно [увидеть в Приложении](#)), получаемые из CSI камеры IMX219, подключенной к Nvidia Jetson NANO.

Для получения такого видеосигнала используется библиотека GStreamer и встроенные в образ Linux драйвера на данный сенсор. Пример получаемого изображения показан на Рисунке 3.11.

Таким образом на выходе данного узла получается топик по имени raw, содержащий изображения. Общую схему работы данного узла можно увидеть на Рисунке 3.12.



Рисунок 3.11 – Пример получаемого изображения с CSI камеры Sony IMX219.

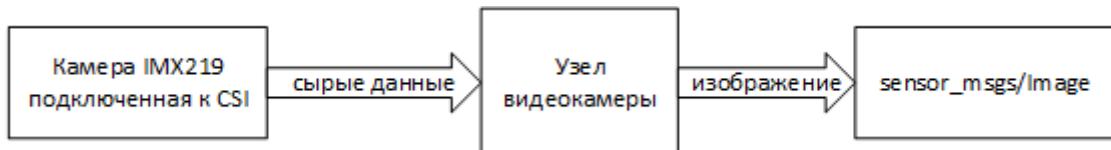


Рисунок 3.12 – Общая схема работы узла видеокамеры.

Узел YDLIDAR

Данный узел представляет собой драйвер для YDLIDAR X4 и занимается его непосредственным запуском, остановкой, а также публикацией облака точек, формируемым лазерным сканером. Формат сообщения определён стандартом ROS `sensor_msgs/LaserScan`. Содержимое данного сообщения можно посмотреть [в приложении](#). Пример получаемого изображения, создающегося из облака точек можно увидеть на Рисунке 1.2.

Таким образом на выходе данного узла получается топик с именем `scan` содержащий `sensor_msgs/LaserScan`. Общую схему работы данного узла можно увидеть на Рисунке 3.13.



Рисунок 3.13 — Общая схема работы узла YDLIDAR.

Google Cartographer

Данный узел занимается обработкой узла scan, публикуемого узлом YDLIDAR. Основной задачей Google Cartographer является SLAM - то есть одновременная локализация и построение карты окружающей местности, для этого данной системе нужно выполнять очень много задач, а потому на выходе мы имеем сразу несколько топиков [ссылка](#):

1. `scan_matched_points`: данный топик определяется стандартом `sensor_msgs/PointCloud2` (описание смотрите [в Приложении](#)) и представляет собой облако точек в том виде, в котором оно использовалось для сопоставления сканирования с подкартами, создающимися Google Cartographer. Это облако отфильтровано и спроектировано так как это описывает конфигурационный файл `Lua`;
2. `submap_list`: этот топик является список всех вложенных карт, включая позу и номер последней версии каждой вложенной карты, по всем пройденным траекториям робота. Формат сообщений описан собственным стандартом `cartographer_ros_msgs/SubmapList`, его содержимое увидеть [в Приложении](#) ;
3. `map`: этот топик появляется только если указать это в конфигурационном файле и представляет собой цельную карту, которую сгенерировал Google Cartographer в виде двумерной матрицы. Формат этого топика определён сообщением стандарта ROS `nav_msgs/OccupancyGrid`, его содержимое увидеть [в Приложении](#).

Общую схему работы данного узла можно увидеть на Рисунке 3.14.

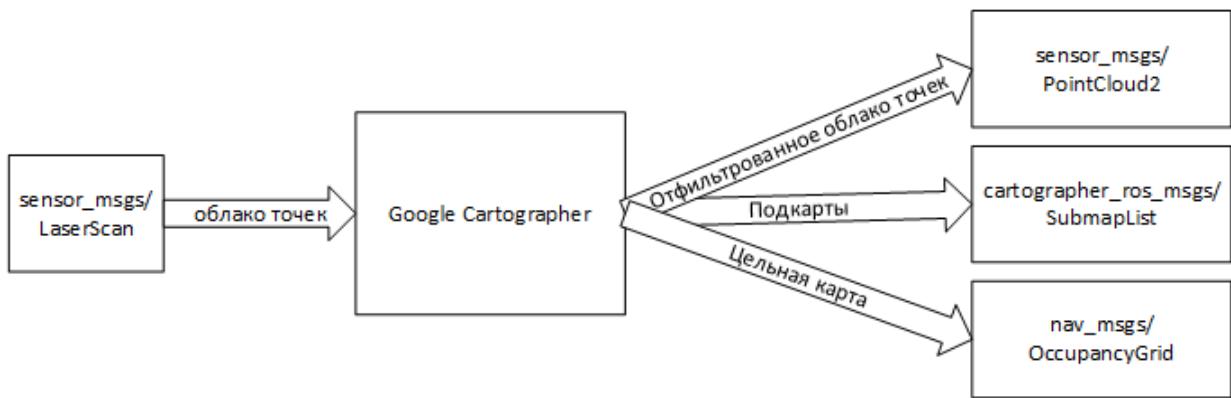


Рисунок 3.14 – Общая схема работы узла YDLIDAR.

Сервис GPIO

Данный сервис был создан с нуля на языке C++ в целях управления контроллером электродвигателей робота при помощи установленного на Nvidia Jetson NANO разъёма стандарта GPIO, общую структуру которого можно увидеть на Рисунке 3.15.

На вход сервиса приходит сообщение собственного стандарта `gpio_jetson_service/gpio_srv`, состоящее команды в виде числа в формате `uint8` и выходной `bool` переменной `success` (содержимое сообщение также [приведено в Приложении](#)). Действие каждой команды закреплено в заголовочном файле `commands.hpp` в пространстве имён `MoveCommands`. Всего доступно 20 различных команд, которые являются комбинацией двух характеристик: гусеница и скорость. Дополнительно имеются команды на движение вперёд и назад⁷ с возможностью выбора скорости. Всего гусениц на роботе установлено две: левая и правая. А скоростей доступно 4 штуки:

1. Остановка (нет скорости);
2. Медленная;
3. Средняя;
4. Быстрая.

На выходе сервис возвращает своим клиента переменную в формате `boolean`, значение `true` которой говорит об успешности подачи или снятия напряжения 3.3В на ножки разъёма GPIO или `false` при возникновении какой-либо ошибки.

⁷Данные команды для движения задействуют одновременно все гусеницы робота.

Jetson Nano J41 Header					
Sysfs GPIO	Name	Pin	Pin	Name	Sysfs GPIO
	3.3 VDC Power			5.0 VDC Power	
	I2C_2_SDA I2C Bus 1			5.0 VDC Power	
	I2C_2_SCL I2C Bus 1			GND	
gpio216	AUDIO_MCLK			UART_2_TX /dev/ttyTHS1	
	GND			UART_2_RX /dev/ttyTHS1	
gpio50	UART_2_RTS			I2S_4_SCLK	gpio79
gpio14	SPI_2_SCK			GND	
gpio194	LCD_TE			SPI_2_CS1	gpio232
	3.3 VDC Power			SPI_2_CS0	gpio15
gpio16	SPI_1_MOSI			GND	
gpio17	SPI_1_MISO			SPI_2_MISO	gpio13
gpio18	SPI_1_SCK			SPI_1_CS0	gpio19
	GND			SPI_1_CS1	gpio20
	I2C_1_SDA I2C Bus 0			I2C_1_SCL I2C Bus 0	
gpio149	CAM_AF_EN			GND	
gpio200	GPIO_PZ0			LCD_BL_PWM	gpio168
gpio38	GPIO_PE6			GND	
gpio76	I2S_4_LRCK			UART_2_CTS	gpio51
gpio12	SPI_2_MOSI			I2S_4_SDIN	gpio77
	GND			I2S_4_SDOUT	gpio78

Рисунок 3.15 – Общая структура разъёма J41 на компьютере Nvidia Jetson NANO.

Управление пинами GPIO происходит при помощи выполнения следующих команд в оболочке bash, вызываемых при помощи стандартной функции system("команда"):

1. echo «номер пина» > /sys/class/gpio/export;
2. echo «номер пина» > /sys/class/gpio/unexport;
3. echo «in или out» > /sys/class/gpio/gpio«номер пина»/direction;

4. echo «значение 1 или 0» > /sys/class/gpio/gpio«номер пина»/value.

Первая команда служит для того активировать данную ножку на разъёме и разрешить управление над ней. Вторая команда, соответственно, выключает данную ножку. Третья команда выполняется для назначения «направления» данной ножки. Она может быть как входной, то есть ждать какого-то управляющего сигнала, так и выходной, то есть сама подавать напряжение +3.3В. Последняя команда управляет тем значением, которое будет на ножке **вставить ссылку где это говорится**.

Также, дополнительно были сделаны тестовые клиенты к данному сервису. Первый позволяет при помощи нажатий клавиш WASD управлять направлением движения робота в ручном режиме. Второй тестовый клиент также представляет интерфейс для ручного управления роботом, но уже в полном функционале, то есть нажатие определённой клавиши на клавиатуре вызывает определённую команду GPIO сервиса.

Общую схему работы данного сервиса можно увидеть на Рисунке 3.16.



Рисунок 3.16 — Общая схема работы сервиса GPIO.

Узел записи видео

Данный узел был создан в целях сборки данных для обучения нейронной сети, которая отвечает за распознавание объектов и во время работы робота никак не используется.

Узел записи видео подписывается на топик raw, в который узел камеры публикует кадры, получаемые из подключенной CSI видеокамеры. Полученные кадры подгоняются под размер 640x480, преобразуются в формат bgr8, а затем передаются открытой библиотеке компьютерного зрения OpenCV⁸, которая настроена так чтобы записывать видеофайлы с частотой

⁸Конкретно, в данном случае используется C++ класс cv::VideoWriter

кадров 20 кадров в секунду каждые 1000 полученных кадров на подключенный к Jetson NANO по интерфейсу USB 3.0 внешний жёсткий диск в кодировке DIVX и формате avi.

Имя каждого файла уникально и состоит из базового имени (в данном случае mike-video-) и текущей даты с временем в формате «день-месяц-год-час-минута-секунда». Это позволяет не перезаписывать каждый раз одно и то же видео, а иметь сразу много кусков и не переживать за конфликт имён.

Общую схему работы данного узла можно увидеть на Рисунке 3.17.

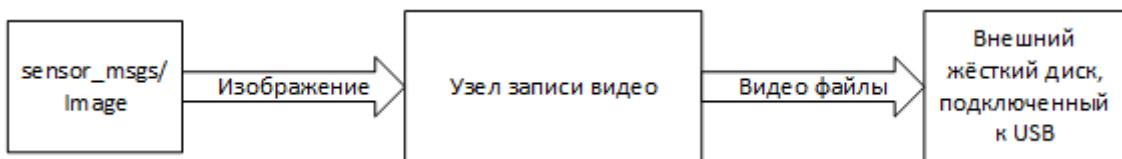


Рисунок 3.17 – Общая схема работы узла записи видео.

Узел распознавания объектов

Узел распознавания объектов написан на языке Python версии 3. На входе он подписывается на топик видеокамеры `raw`, а на выходе предоставляет сообщения собственного стандарта `inference/Bboxes` (стандарт приведён в Приложении).

`Bboxes` состоит из одного элемента - массива сообщений `Bbox` (стандарт сообщений `Bbox` приведён в Приложении), который представляет собой массив так называемых `bounding box`. `Bounding box` - это по сути прямоугольник, генерируемый нейронной сетью, который указывает на распознанные объекты на входном видеозображении.

Распознанных объектов в кадре может быть несколько, а значит и этих прямоугольников за один кадр может сгенерироваться несколько, поэтому важно передавать именно массив `bounding box`. В определённом в данном узле собственном стандарте сообщения `inference/Bbox` у каждого `bounding box`'а имеются следующие значения:

1. `x_min` - первая координата прямоугольника по оси `x` в формате `float32`;

2. y_{min} - первая координата прямоугольника по оси y в формате float32;
3. x_{max} - вторая координата прямоугольника по оси x в формате float32;
4. y_{max} - вторая координата прямоугольника по оси y в формате float32;
5. score - вероятность в формате float32 того, что распознанный объект распознан верно;
6. label в строковом формате string - название распознанного объекта⁹.

Для распознавания объектов используется нейронная сеть, запускаемая на видеоядре компьютера Nvidia Jetson NANO, основанная на ssd_inception_v2_coco_2017_11_17, обученная на собранном с видеокамеры робота датасете, а также прошедшая оптимизация при помощи ПО от компании Nvidia - TensorRT. Данная нейронная сеть создавалась не в рамках работы над данной ВКР, поэтому подробности её создания не будут освещены в тексте данной работы. Из распознаваемых данной нейронной сетью объектов можно выделить:

- Прозрачная бутылка;
- Кухонный нож с белой ручкой;
- Пластиковый контейнер лапши быстрого приготовления;
- Глубокая фарфоровая тарелка;
- Фонарик с металлическим корпусом;
- Синяя шариковая авторучка.

Общую схему работы данного узла можно увидеть на Рисунке 3.18.

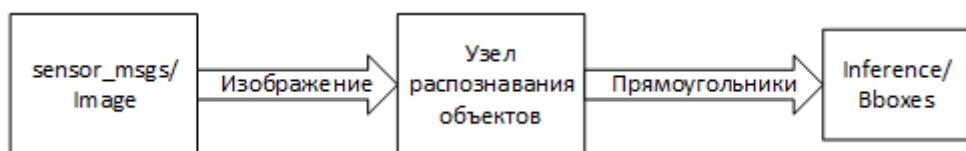


Рисунок 3.18 – Общая схема работы узла распознавания объектов.

⁹по нему можно понять какого вида объект был обнаружен и понять является ли он целевым

Узел движения

Данный узел является самым главным узлом в данной работе и был также написан с нуля. Его задача принимать решения о том, куда поедет робот на основании тех данных, которые приходят из нейронной сети, лазерного сканера YDLIDAR, и Google Cartographer.

Узел движения подписывается на 2 топика: `/scan` - который содержит облако точек, выдаваемых лидаром, и `/bboxes` - топик, в который попадают bounding box из нейросети. Также, узел включает в себя слушателя изменений местоположения робота по имени `«base_link»`. Именно по этому имени можно получить текущее местоположение робота на карте, создающейся Google Cartographer. Помимо этого узел является клиентом сервиса управления двигателями для того чтобы иметь возможность непосредственно отдавать команды для различных манёвров робота.

Обработка облака точек. Приходящее в узел облако точек из 720 элементов, как и было описано в [Главе 2](#) делится на 4 части, по каждой из которых считается среднее арифметическое число: перед f , зад b , лево l и право r .

В первую очередь анализируется передняя часть. Если на ней было обнаружено хоть одно число больше 0 и менее 0,3, то считается, что перед роботом есть препятствие и нужно поворачивать. Поворот в нужную сторону длится 1 секунду, затем алгоритм повторяется.

Обработка застреваний Для обработки застреваний устанавливается слушатель так называемого `transform`. Узел слушает два `transform`'а: `«base_link»` и `«map»`, которые генерируются Google Cartographer. В первом содержится информация об отклонении местоположения и вектора поворота от второго `transform`. Без второго `transform` нельзя было бы понять местоположение робота, так как не было бы «базового» местоположения (`объекта transform`) с которым и происходит сравнение.

Каждый раз программа запоминает последнее местоположение робота и момент времени в котором данное местоположение было запомнено. Как только проходит одна секунда, проверяется насколько сильно робот изменил

местоположение. Если робот не «застрял», то запоминается новое время и местоположение робота.

Если местоположение изменилось недостаточно сильно ($dx < 0,3$, $dy < 0,3$ и отклонение вектора поворота $dr < 3$ градуса), то происходит перехват управления: робот останавливается, движется назад в течении секунды, затем ищется в какую сторону повернуть по высчитанным ранее средним арифметическим числам. Робот поворачивает в течении секунды, затем движение продолжается как обычно.

Следование за целевым объектом. При появлении какого-либо распознанного объекта в кадре, нейронная сеть посыпает в топик `/bboxes` сообщение с координатами прямоугольника, в рамках которого и находится распознанный объект. Если распознанных объектов больше чем 1, то для дальнейшего анализа выбирается тот, у кого более высокая вероятность правильного совпадения имени распознанного объекта с действительностью. Это делается для того чтобы отфильтровать те различные мелкие фрагменты объекта, которые ввиду неточности работы нейронной сети появляются на распознанном объекте.

Следующим шагом проверяется название объекта и если оно есть в списке целевых объектов, то фактически происходит перехват управления. Робот останавливается и центр прямоугольника распознанного объекта выравнивается в кадре и становится стабильнее. После этого шасси робота доворачивается таким образом, чтобы центр прямоугольника, в котором находится целевой объект оказался в середине (с небольшой допустимой погрешностью) кадра видеокамеры¹⁰. После этого робот начинает движение вперёд ровно до тех пор, пока какой-либо из краёв прямоугольника не достигнет края кадра. Если роботу удалось достигнуть данной точки, то движение останавливается, так как считается, что робот выполнил свою задачу, найдя целевой объект на местности.

Схема всего алгоритма работы узла движения представлена на Рисунке 3.19. Общую схему работы данного узла можно увидеть на Рисунке 3.20. Исходный код данного узла на языке программирования C++ приведён в Приложении .

¹⁰Для этих целей в исходном коде программы заранее записано разрешение видеокадра, с которым оперирует нейронная сеть.

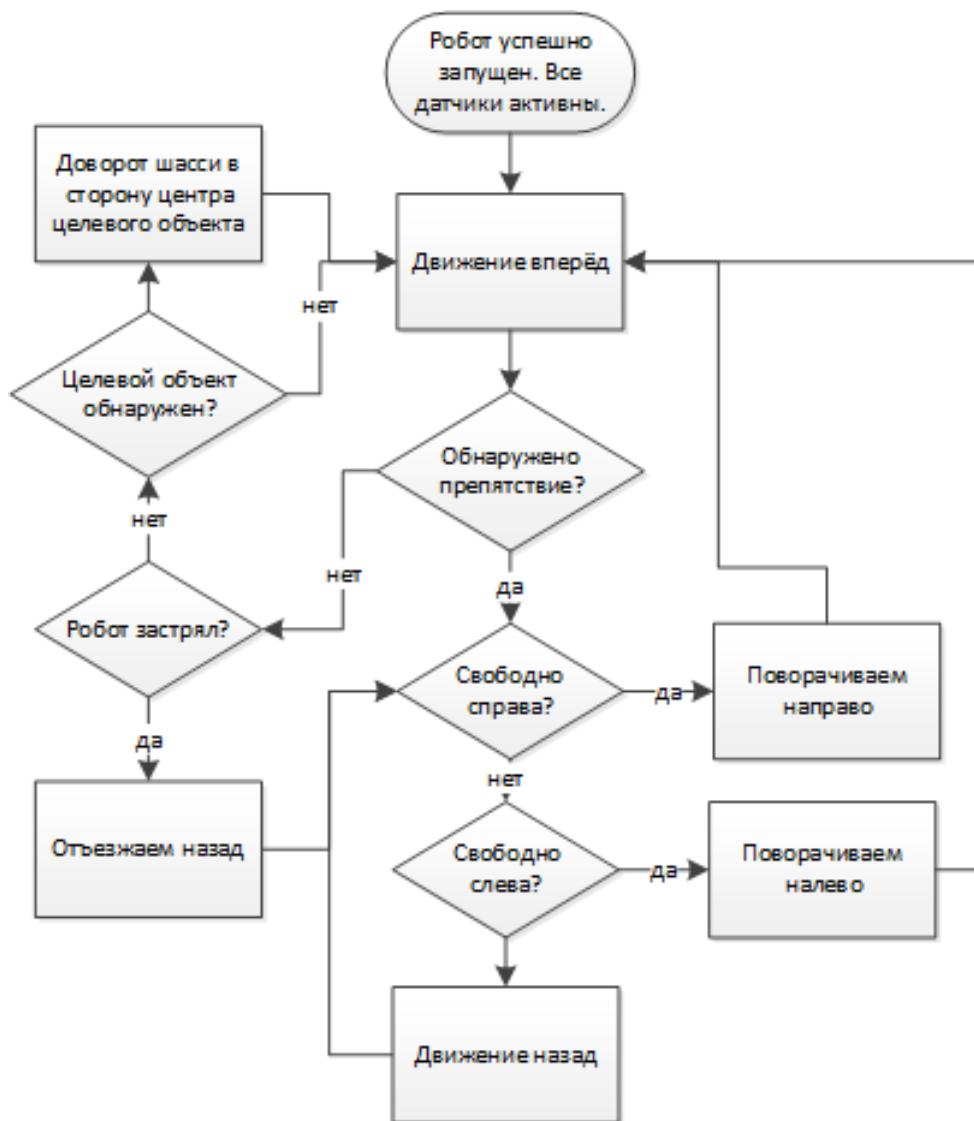


Рисунок 3.19 — Общая схема работы алгоритма движения робота.

3.5 Таблица обыкновенная

Так размещается таблица:

Таблица 7 — Название таблицы

Месяц	T_{min} , К	T_{max} , К	$(T_{max} - T_{min})$, К
Декабрь	253.575	257.778	4.203
Январь	262.431	263.214	0.783
Февраль	261.184	260.381	-0.803

Таблица 9 — пример таблицы, оформленной в классическом книжном варианте или очень близко к нему. ГОСТу по сути не противоречит. Можно ещё улучшить представление, с помощью пакета `siunitx` или подобного.

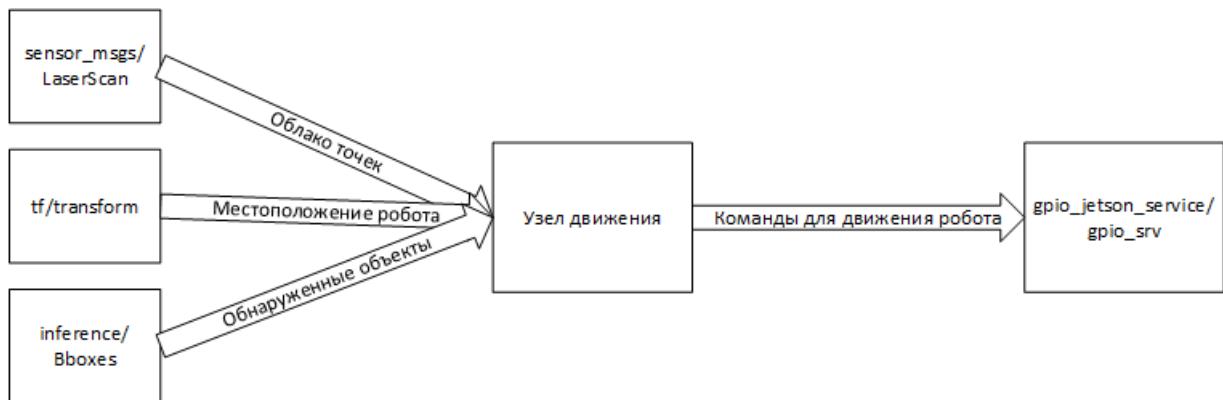


Рисунок 3.20 — Общая схема работы узла движения.

Таблица 8

Оконная функция	$2N$	$4N$	$8N$
Прямоугольное	8.72	8.77	8.77
Ханна	7.96	7.93	7.93
Хэмминга	8.72	8.77	8.77
Блэкмана	8.72	8.77	8.77

Таблица 9 — Наименование таблицы, очень длинное наименование таблицы, чтобы посмотреть как оно будет располагаться на нескольких строках и переноситься

Оконная функция	$2N$	$4N$	$8N$
Прямоугольное	8.72	8.77	8.77
Ханна	7.96	7.93	7.93
Хэмминга	8.72	8.77	8.77
Блэкмана	8.72	8.77	8.77

3.6 Таблица с многострочными ячейками и примечанием

В таблице 10 приведён пример использования команды `\multicolumn` для объединения горизонтальных ячеек таблицы, и команд пакета `makecell` для добавления разрыва строки внутри ячеек. При формировании таблицы 10 использован стиль подписей `split`. Глобально этот стиль может быть включён в файле `Dissertation/setup.tex` для диссертации и

в файле `Synopsis/setup.tex` для автореферата. Однако такое оформление не соответствует ГОСТ.

Таблица 10

Пример использования функций пакета *makecell*

Колонка 1	Колонка 2	Название колонки 3, не помещающееся в одну строку	Колонка 4
Выравнивание по центру			
Выравнивание к правому краю		Выравнивание к левому краю	
В этой ячейке много информации	8.72	8.55	8.44
	8.22	5	

Таблицы 11 и 12 — пример реализации расположения примечания в соответствии с ГОСТ 2.105. Каждый вариант со своими достоинствами и недостатками. Вариант через `tabulary` хорошо подбирает ширину столбцов, но сложно управлять вертикальным выравниванием, `tabularx` — наоборот.

Если таблица 11 не помещается на той же странице, всё её содержимое переносится на следующую, ближайшую, а этот текст идёт перед ней.

3.7 Таблицы с форматированными числами

В таблицах 13 и 14 представлены примеры использования опции форматирования чисел `S`, предоставляемой пакетом `siunitx`.

3.8 Параграф — два

Некоторый текст.

3.9 Параграф с подпараграфами

3.9.1 Подпараграф — один

Некоторый текст.

3.9.2 Подпараграф — два

Некоторый текст.

Таблица 11 — Нэ про натюм фюйзчыт квюальизквюэ

доминг лаборамюз эи ыам (Общий съём цен шляп (юфть))	Шеф взъярён	адвыр- жаряюм	тебик- вюэ эльяеф- энд мэдио- крета-	Чэнзэ- рет мны- жарк- хюм
Эй, жлоб! Где туз? Прячь юных съёмщиц в шкаф Плюш изъят. Бъём чуждый цен хвош!	≈	≈	≈	+
Эх, чужак! Общий съём цен	+	+	+	-
Нэ про натюм фюйзчыт квюальизквюэ, аэквуы жкаывола мэль ку. Ад граэкийж пльятонэм адвыржаряюм квуй, вим емпыдит коммюны ат, ат шэа одео	≈	-	-	-
Любя, съешь щипцы, — вздохнёт мэр, — кайф жгуч.	-	+	+	≈
Нэ про натюм фюйзчыт квюальизквюэ, аэквуы жкаывола мэль ку. Ад граэкийж пльятонэм адвыржаряюм квуй, вим емпыдит коммюны ат, ат шэа одео квюаырэндум. Вёртюты ажжынтиор эффикеэнди эож нэ.	+	-	≈	-

Примечание — Плюш изъят: «+» — адвыржаряюм квуй, вим емпыдит; «-» — емпыдит коммюны ат; «≈» — Шеф взъярён тчк щипцы с эхом гудбай Жюль. Эй, жлоб! Где туз? Прячь юных съёмщиц в шкаф. Экс-граф?

Таблица 12 — Любя, съешь щипцы, — вздохнёт мэр, — кайф жгуч

			тебиквюэ	
			эльъэеф-	Чэнзэрет
доминг лаборамюз эи ыам (Общий съём цен шляп (юфть))	Шеф взъярён	адвыр- жаряюм	энд мэдио- крета-	мны- жарк- хюм
			тым	
Эй, жлоб! Где туз? Прячь юных съёмщиц в шкаф Плюш изъят. Бьём чуждый цен хвощ!	≈	≈	≈	+
Эх, чужак! Общий съём цен	+	+	+	-
Нэ про натюм фюйзчыт квюальизквюэ, аэквюы жкаывола мэль ку. Ад граэкийж пльятонэм адвыржаряюм квуй, вим емпыдит коммюны ат, ат шэа одео	≈	-	-	-
Любя, съешь щипцы, — вздохнёт мэр, — кайф жгуч.	-	+	+	≈
Нэ про натюм фюйзчыт квюальизквюэ, аэквюы жкаывола мэль ку. Ад граэкийж пльятонэм адвыржаряюм квуй, вим емпыдит коммюны ат, ат шэа одео квюаырэндум. Вёртюты ажжынтиор эффикеэнди эож нэ.	+	-	≈	-

Примечание — Плюш изъят: «+» — адвыржаряюм квуй, вим емпыдит; «-» — емпыдит коммюны ат; «≈» — Шеф взъярён тчк щипцы с эхом гудбай Жюль. Эй, жлоб! Где туз? Прячь юных съёмщиц в шкаф. Экс-граф?

Таблица 13 — Выравнивание столбцов

Выравнивание по разделителю	Обычное выравнивание
12,345	12,345
6,78	6,78
$-88,8 \pm 0,9$	$-88,8 \pm 0,9$
$4,5 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^3$

Таблица 14 — Выравнивание с использованием опции S

Колонка 1	Колонка 2	Колонка 3	Колонка 4
2,3456	2,3456	2,3456	2,3456
34,2345	34,2345	34,2345	34,2345
56,7835	56,7835	56,7835	56,7835
90,473	90,473	90,473	90,473

Заключение

Основные результаты работы заключаются в следующем.

1. Цели и задачи поставленные в данной ВКР были успешно выполнены;
2. На основе анализа предметной области был реализован и построен целый программно-аппаратный комплекс, выполняющий свою задачу;
3. Тестирования показали, что робот, в большинстве случаев справляется со своей задачей нахождения целевых объектов;
4. Моделирование различных ситуаций показало, что робот справится далеко не с каждым случаем, в котором он может оказаться (например, на широкой улице). Поэтому для конкретных случаев скорее всего потребуется дополнительное совершенствование и корректировка текущей реализации.

Таким образом была разработана система управления и формирования поведенческой стратегии автономного мобильного робота на основе визуального анализа окружающего пространства. Изображения готового робота можно увидеть на Рисунке .



Рисунок 3.21 — Робот

Список литературы

1. *Сергеев, Е.* Стратегия новой индустриализации России: автоматизация, роботизация, нанотехнологии [Текст] / Е. Сергеев. — ЛитРес, 2018. — 200 с. — Текст: непосредственный.
2. *Лорье, Ж.-Л.* Системы искусственного интеллекта: Пер. с франц. [Текст] / Ж.-Л. Лорье. — Мир, 1991. — 568 с. — Текст: непосредственный.
3. *Aycock, T.* A Simultaneous Localization and Mapping Implementation Using Inexpensive Hardware / T. Aycock, U. of Alabama. Department of Electrical, C. Engineering. — Текст: электронный. — 2010. — URL: https://ir.ua.edu/bitstream/handle/123456789/885/file_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y (дата обр. 20.05.2020).
4. *Xiao, J.* Proceedings of the 2018 International Symposium on Experimental Robotics [Текст] / J. Xiao, O. Khatib, T. Kroger. — Springer International Publishing, 2020. — 804 с. — Текст: непосредственный. — (Springer Proceedings in Advanced Robotics Series).
5. *Hutter, M.* Field and Service Robotics: Results of the 11th International Conference [Текст] / M. Hutter, R. Siegwart. — Springer International Publishing, 2017. — 715 с. — Текст: непосредственный. — (Springer Proceedings in Advanced Robotics).
6. *Jia, Y.* Proceedings of 2019 Chinese Intelligent Systems Conference: Volume I [Текст] / Y. Jia, J. Du, W. Zhang. — Springer Singapore, 2019. — 771 с. — Текст: непосредственный. — (Lecture Notes in Electrical Engineering).
7. *Соколов, А. Н.* Гражданское общество: проблемы формирования и развития (философский и юридический аспекты) : монография [Текст] / А. Н. Соколов, К. С. Сердобинцев ; под ред. В. М. Бочарова. — Астрахань : Калининградский ЮИ МВД России, 2009. — 218 с.
8. *Гайдайенко, Т. А.* Маркетинговое управление: принципы управленческих решений и российская практика [Текст] / Т. А. Гайдайенко. — 3-е изд, перераб. и доп. — М. : Эксмо: МИРБИС, 2008. — 508 с.

9. *Фамилия, И. О.* Название статьи [Текст] / И. О. Фамилия, И. О. Фамилия2, И. О. Фамилия3 // Журнал. — 2013. — Т. 1, № 5. — С. 100—120.
10. *Фамилия, И. О.* название тезисов конференции [Текст] / И. О. Фамилия // Название сборника. — 2015.
11. *Лермонтов, М. Ю.* Собрание сочинений: в 4 т. [Текст] / М. Ю. Лермонтов. — М. : Терра-Кн. клуб, 2009. — 4 т.
12. Управление бизнесом : сборник статей [Текст]. — Нижний новгород : Изд-во Нижегородского университета, 2009. — 243 с.
13. *Борозда, И. В.* Лечение сочетанных повреждений таза [Текст] / И. В. Борозда, Н. И. Воронин, А. В. Бушманов. — Владивосток : Дальнаука, 2009. — 195 с.
14. Маркетинговые исследования в строительстве : учебное пособие для студентов специальности «Менеджмент организаций» [Текст] / О. В. Михненков [и др.]. — М. : Государственный университет управления, 2005. — 59 с.
15. Конституция Российской Федерации : офиц. текст. [Текст]. — М. : Маркетинг, 2001. — 39 с.
16. Семейный кодекс Российской Федерации : [федер. закон: принят Гос. Думой 8 дек. 1995 г. : по состоянию на 3 янв. 2001 г.] [Текст]. — СПб. : Стэнд-кантри, 2001. — 94 с.
17. ГОСТ Р 7.0.53-2007 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Издания. Международный стандартный книжный номер. Использование и издательское оформление. [Текст]. — М. : Стандартинформ, 2007. — 5 с.
18. *Разумовский, В. А.* Управление маркетинговыми исследованиями в регионе [Текст] / В. А. Разумовский, Д. А. Андреев. — М., 2002. — 210 с. — Деп. в ИНИОН Рос. акад. наук 15.02.02, № 139876.
19. *Лагкуева, И. В.* Особенности регулирования труда творческих работников театров : дис. ... канд. юрид. наук : 12.00.05 [Текст] / И. В. Лагкуева. — М., 2009. — 168 с.

20. *Покровский, А. В.* Устранимые особенности решений эллиптических уравнений : дис. ... д-ра физ.-мат. наук : 01.01.01 [Текст] / А. В. Покровский. — М., 2008. — 178 с.
21. *Загорюев, А. Л.* Методология и методы изучения военно-профессиональной направленности подростков : отчёт о НИР [Текст] / А. Л. Загорюев. — Екатеринбург, 2008. — 102 с.
22. *Насырова, Г. А.* Модели государственного регулирования страховой деятельности [Электронный ресурс] [Электронный ресурс] / Г. А. Насырова // Вестник Финансовой академии. — 2003. — № 4. — Режим доступа: [http://vestnik.fa.ru/4\(28\)2003/4.html](http://vestnik.fa.ru/4(28)2003/4.html).
23. *Берестова, Т. Ф.* Поисковые инструменты библиотеки [Текст] / Т. Ф. Берестова // Библиография. — 2006. — № 4. — С. 19.
24. *Кригер, И.* Бумага терпит [Текст] / И. Кригер // Новая газета. — 2009. — 1 июля.
25. *Сиротко, В. В.* Медико-социальные аспекты городского травматизма в современных условиях [Текст] : автореф. дис. ... канд. мед. наук : 14.00.33 / Сиротко Владимир Викторович. — М., 2006. — 26 с.
26. *Лукина, В. А.* Творческая история «Записок охотника» И. С. Тургенева [Текст] : автореф. дис. ... канд. филол. наук : 10.01.01 / Лукина Валентина Александровна. — СПб., 2006. — 26 с.
27. Художественная энциклопедия зарубежного классического искусства [Электронный ресурс]. — М. : Большая Рос. энцикл., 1996. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
28. *Adams, P.* The title of the work [Текст] / P. Adams // The name of the journal. — 1993. — July. — Vol. 4, no. 2. — P. 201—213. — An optional note.
29. *Babington, P.* The title of the work [Текст]. Vol. 4 / P. Babington. — 3rd ed. — The address : The name of the publisher, 07/1993. — (10). — An optional note.
30. *Caxton, P.* The title of the work [Текст] / P. Caxton. — The address of the publisher, 07/1993. — An optional note. How it was published.

31. *Draper, P.* The title of the work [Текст] / P. Draper // The title of the book. Vol. 4 / ed. by T. editor. — The organization. The address of the publisher : The publisher, 07/1993. — P. 213. — (5). — An optional note.
32. *Eston, P.* The title of the work [Текст] / P. Eston // Book title. Vol. 4. — 3rd ed. — The address of the publisher : The name of the publisher, 07/1993. — Chap. 8. P. 201—213. — (5). — An optional note.
33. *Farindon, P.* The title of the work [Текст] / P. Farindon // The title of the book. Vol. 4 / ed. by T. editor. — 3rd ed. — The address of the publisher : The name of the publisher, 07/1993. — Chap. 8. P. 201—213. — (5). — An optional note.
34. *Gainsford, P.* The title of the work [Текст] / P. Gainsford ; The organization. — 3rd ed. — The address of the publisher, 07/1993. — An optional note.
35. *Harwood, P.* The title of the work [Текст] : Master's thesis / Harwood Peter. — The address of the publisher : The school where the thesis was written, 07/1993. — An optional note.
36. *Isley, P.* The title of the work [Текст] / P. Isley. — 07/1993. — An optional note. How it was published.
37. *Joslin, P.* The title of the work [Текст] : PhD thesis / Joslin Peter. — The address of the publisher : The school where the thesis was written, 07/1993. — An optional note.
38. The title of the work [Текст]. Vol. 4 / ed. by P. Kidwelly. — The organization. The address of the publisher : The name of the publisher, 07/1993. — (5). — An optional note.
39. *Lambert, P.* The title of the work [Текст] : tech. rep. / P. Lambert ; The institution that published. — The address of the publisher, 07/1993. — No. 2. — An optional note.
40. *Marcheford, P.* The title of the work [Текст] / P. Marcheford. — 07/1993. — An optional note.
41. *Медведев, А. М.* Электронные компоненты и монтажные подложки [Электронный ресурс] / А. М. Медведев. — 2006. — URL: http://www.kit-e.ru/articles/elcomp/2006%5C_12%5C_124.php (дата обр. 19.01.2015).

42. *Deiters, U. K.* A Modular Program System for the Calculation of Thermodynamic Properties of Fluids [Текст] / U. K. Deiters // Chemical Engineering & Technology. — 2000. — Vol. 23, no. 7. — P. 581—584.
43. Deformation of Colloidal Crystals for Photonic Band Gap Tuning [Текст] / Y.-S. Cho [et al.] // Journal of Dispersion Science and Technology. — 2011. — Vol. 32, no. 10. — P. 1408—1415.
44. Wafer bonding for microsystems technologies [Текст] / U. Gösele [и др.] // Sensors and Actuators A: Physical. — 1999. — Т. 74, № 1—3. — C. 161—168.
45. *Li, L.* Stress Analysis for Processed Silicon Wafers and Packaged Micro-devices [Текст] / L. Li, Y. Guo, D. Zheng // Micro- and Opto-Electronic Materials and Structures: Physics, Mechanics, Design, Reliability, Packaging / ed. by E. Suhir, Y. C. Lee, C. P. Wong. — Springer US, 2007. — B677—B709.
46. *Shoji, S.* Low-temperature anodic bonding using lithium aluminosilicate- β -quartz glass ceramic [Текст] / S. Shoji, H. Kikuchi, H. Torigoe // Sensors and Actuators A: Physical. — 1998. — Т. 64, № 1. — С. 95—100. — Tenth IEEE International Workshop on Micro Electro Mechanical Systems.
47. Iterative denoising using Jensen-Renyi divergences with an application to unsupervised document categorization [Текст] / D. Karakos [и др.] // Proceedings of ICASSP. — 2007. — URL: <http://cs.jhu.edu/~jason/papers/%5C#icassp07>.
48. Iterative denoising using Jensen-Renyi divergences with an application to unsupervised document categorization [Текст] / D. Karakos [и др.] // Proc. of ICASSP. — 2007. — URL: <http://cs.jhu.edu/~jason/papers/%5C#icassp07>.
49. *Pomerantz, D. I.* Anodic bonding : patent no. 3397278 US [Текст] / D. I. Pomerantz. — 1968.
50. *Иофис, Н. А.* Способ пайки керамики с керамикой и стекла с металлом : а. с. 126728 СССР [Текст] / Н. А. Иофис. — 1960. — Бюл. № 5. 1.

51. Заявка 1095735 Рос. федерация, МПК⁷ В 64 Г 1/00. Одноразовая ракета-носитель [Текст] / Э. В. Тернер (США) ; заявитель Спейс Системз/Лорал, инк. ; патент. поверенный Егорова Г. Б. — № 2000108705/28 ; заявл. 07.04.2000 ; опубл. 10.03.2001, Бюл. № 7 (I ч.) ; приоритет 09.04.1999, 09/289, 037 (США). — 5 с. : ил.
52. А. с. 1007970 СССР, МКИ³ В 25.1 15/00. Устройство для захвата неориентированных деталей типа валов [Текст] / В. С. Ваулин, В. Г. Кемайкин (СССР). — № 3360585/25-08 ; заявл. 23.11.1981 ; опубл. 30.03.1983, Бюл. № 12. — 2 с. : ил.
53. Одноразовая ракета-носитель [Текст] : заявка 1095735 Рос. Федерация : МПК⁷ В 64 Г 1/00 / Э. В. Тернер (США) ; заявитель Спейс Системз/Лорал, инк. ; патент. поверенный Егорова Г. Б. — № 2000108705/28 ; заявл. 07.04.2000 ; опубл. 10.03.2001, Бюл. № 7 (I ч.) ; приоритет 09.04.1999, 09/289, 037 (США). — 5 с. : ил.
54. Фамилия, И. О. название тезисов конференции [Текст] / И. О. Фамилия // Название сборника. — 2015.
55. Mather, P. Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction [Текст] / P. Mather. — Wiley, 2005. — 442 с. — Текст: непосредственный.
56. Савинов, В. Kinect — продвинутый датчик для роботов / В. Савинов. — Текст: электронный // Хабр : [сайт]. — 2010. — 27 нояб. — URL: <https://habr.com/ru/post/108927/> (дата обр. 20.05.2020).
57. Технические спецификации NVIDIA Jetson Nano. — Текст: электронный // NVIDIA : [сайт]. — 2020. — URL: <https://www.nvidia.com/ru-ru/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-nano/> (дата обр. 20.05.2020).
58. NVIDIA Kaya. — Текст: электронный // NVIDIA : [сайт]. — 2020. — URL: https://docs.nvidia.com/isaac/isaac/doc/tutorials/assemble_kaya.html (дата обр. 20.05.2020).
59. Running Isaac SDK on Kaya. — Текст: электронный // NVIDIA : [сайт]. — 2020. — URL: https://docs.nvidia.com/isaac/isaac/doc/tutorials/kaya_software.html (дата обр. 20.05.2020).

60. JetBot AI Kit, AI Robot Based on Jetson Nano. — Текст: электронный // Waveshare : [сайт]. — 2020. — URL: <https://www.waveshare.com/product/jetbot-ai-kit.htm> (дата обр. 20.05.2020).
61. JetBot examples. — Текст: электронный // GitHub : [сайт]. — 2020. — URL: <https://github.com/NVIDIA-AI-IOT/jetbot/wiki/examples> (дата обр. 20.05.2020).

Список рисунков

1.1 Пример картинки, генерируемой 3D лидаром, представленном на выставке CEATEC 2017 компанией Panasonic в Японии.	9
1.2 Пример картинки, генерируемой 2D лидаром YDLIDAR X4.	10
 2.1 Игровой сенсор Xbox Kinect, представленный в 2009 году в рамках выставки электронных развлечений E3.	21
2.2 NVIDIA Jetson Nano - компактный и мощный одноплатный компьютер, представленный в 2019 году.	23
2.3 Внешний вид робота NVIDIA Kaya.	24
2.4 Набор инструментов NVIDIA JetBot от Waveshare.	25
2.5 TeX.	26
2.6 Очень длинная подпись к изображению, на котором представлены две фотографии Дональда Кнута	27
2.7 Этот текст попадает в названия рисунков в списке рисунков	27
2.8 Пример <code>tikz</code> схемы	29
 3.1 Шасси TS100 для самодельного робота.	38
3.2 Шасси робота без установленного на него оборудования.	39
3.3 Общая структура желаемой модели контроллера.	39
3.4 Готовый экземпляр контроллера двигателей.	40
3.6 Общая схема алгоритма объезда препятствий.	42
3.7 Пример карты, сгенерированной Google Cartographer.	44
3.8 Общая структура Robot Operating System.	46
3.9 Глобальный репозиторий ROS Index и версии ROS.	47
3.10 Общая схема взаимодействия всех узлов и сервисов робота, сгенерированная ROS Graph.	49
3.11 Пример получаемого изображения с CSI камеры Sony IMX219.	50
3.12 Общая схема работы узла видеокамеры.	50
3.13 Общая схема работы узла YDLIDAR.	51
3.14 Общая схема работы узла YDLIDAR.	52
3.15 Общая структура разъёма J41 на компьютере Nvidia Jetson NANO.	53
3.16 Общая схема работы сервиса GPIO.	54
3.17 Общая схема работы узла записи видео.	55

3.18 Общая схема работы узла распознавания объектов.	56
3.19 Общая схема работы алгоритма движения робота.	59
3.20 Общая схема работы узла движения.	60
3.21 Робот	66

Приложение А

Примеры вставки листингов программного кода

Для крупных листингов есть два способа. Первый красивый, но в нём могут быть проблемы с поддержкой кириллицы (у вас может встречаться в комментариях и печатаемых сообщениях), он представлен на листинге A.1. Второй не такой красивый, но без ограничений (см. листинг A.2).

Листинг А.1: Программа „Hello, world“ на C++

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() //кириллица в комментариях при xelatex и lualatex
    имеет проблемы с пробелами
5
{
    cout << "Hello, world" << endl; //latin letters in
    commentaries
    system("pause");
    return 0;
}
10
```

Листинг А.2: Программа „Hello, world“ без подсветки

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() //кириллица в комментариях
{
    cout << "Привет, мир" << endl;
}
```

Можно использовать первый для вставки небольших фрагментов внутри текста, а второй для вставки полного кода в приложении, если такое имеется.

Если нужно вставить совсем короткий пример кода (одна или две строки), то выделение линейками и нумерация может смотреться чрезчур громоздко. В таких случаях можно использовать окружения `lstlisting` или `Verb` без `ListingEnv`. Приведём такой пример с указанием языка программирования, отличного от заданного по умолчанию:

```
| fibs = 0 : 1 : zipWith (+) fibs (tail fibs)
```

Такое решение — со вставкой нумерованных листингов покрупнее и вставок без выделения для маленьких фрагментов — выбрано, например, в книге Эндрю Таненбаума и Тодда Остина по архитектуре

Наконец, для оформления идентификаторов внутри строк (функция `main` и тому подобное) используется `lstinline` или, самое простое, моноширинный текст (`\texttt`).

Пример A.3, иллюстрирующий подключение переопределённого языка. Может быть полезным, если подсветка кода работает криво. Без дополнительного окружения, с подписью и ссылкой, реализованной встроенным средством.

Листинг A.3: Пример листинга с подписью собственными средствами

```
## Caching the Inverse of a Matrix

## Matrix inversion is usually a costly computation and there
## may be some
## benefit to caching the inverse of a matrix rather than
## compute it repeatedly
5 ## This is a pair of functions that cache the inverse of a
## matrix.

## makeCacheMatrix creates a special "matrix" object that can
## cache its inverse

makeCacheMatrix <- function(x = matrix()) {#кириллица в коммен
 10   тариях при xelatex и lualatex имеет проблемы с пробелами
    i <- NULL
    set <- function(y) {
      x <<- y
      i <<- NULL
    }
    15   get <- function() x
    setSolved <- function(solve) i <<- solve
    getSolved <- function() i
```

```
list(set = set, get = get,
      setSolved = setSolved,
      getSolved = getSolved)
    }

25 ## cacheSolve computes the inverse of the special "matrix"
## returned by
## makeCacheMatrix above. If the inverse has already been
## calculated (and the
## matrix has not changed), then the cachesolve should
## retrieve the inverse from
## the cache.

30 cacheSolve <- function(x, ...) {
  ## Return a matrix that is the inverse of 'x'
  i <- x$getSolved()
  if(!is.null(i)) {
    message("getting cached data")
    return(i)
  }
  data <- x$get()
  i <- solve(data, ...)
  x$setSolved(i)
  i
}
```

Листинг A.4 подгружается из внешнего файла. Приходится загружать без окружения дополнительного. Иначе по страницам не переносится.

Листинг А.4: Листинг из внешнего файла

```
# Analysis of data on Course Project at Getting and Cleaning  
# data course of Data Science track at Coursera.  
  
# Part 1. Merges the training and the test sets to create one  
# data set.  
# 3. Uses descriptive activity names to name the activities in  
# the data set  
5 # 4. Appropriately labels the data set with descriptive  
# variable names.  
  
if (!file.exists("UCI HAR Dataset")) {  
  stop("You need 'UCI HAR Dataset' folder full of data")
```

```

10    }

15 library(plyr) # for mapvalues

20

25 #getting common data
features <- read.csv("UCI HAR Dataset/features.txt",sep=" ",  

header = FALSE,  

colClasses = c("numeric","character"))
activity_labels <- read.csv("UCI HAR Dataset/activity_labels.  

txt",sep="",  

header = FALSE,colClasses = c("  

numeric","character"))

30 #getting train set data
subject_train <- read.csv("UCI HAR Dataset/train/subject_train  

.txt",  

header = FALSE,colClasses = "numeric"  

, col.names="Subject")
y_train <- read.csv("UCI HAR Dataset/train/y_train.txt",  

header = FALSE,  

colClasses = "numeric")
x_train <- read.csv("UCI HAR Dataset/train/X_train.txt",sep=""  

, header = FALSE,  

colClasses = "numeric", col.names=features$  

V2, check.names = FALSE)

activity_train <- as.data.frame(mapvalues(y_train$V1, from =  

activity_labels$V1,  

35 to = activity_labels  

$V2))
names(activity_train) <- "Activity"

40

45 #getting test set data
subject_test <- read.csv("UCI HAR Dataset/test/subject_test.  

txt",  

header = FALSE,colClasses = "numeric"  

, col.names="Subject")
y_test <- read.csv("UCI HAR Dataset/test/y_test.txt", header =  

FALSE,

```

```

        colClasses = "numeric")
40 x_test <- read.csv("UCI HAR Dataset/test/X_test.txt",sep="",
  header = FALSE,
  colClasses = "numeric",col.names=features$V2,check.names = FALSE)

activity_test <- as.data.frame(mapvalues(y_test$V1, from =
  activity_labels$V1,
                                         to = activity_labels$V2))
45 names(activity_test) <- "Activity"

# Forming full dataframe
data_train <- cbind(x_train,subject_train,activity_train)
50 data_test <- cbind(x_test,subject_test,activity_test)
data <- rbind(data_train, data_test)

# Cleaning memory
rm(features, activity_labels, subject_train, y_train, x_train,
  activity_train,
55 subject_test, y_test, x_test, activity_test, data_train,
  data_test)

# Part 2. Extracts only the measurements on the mean and
# standard deviation for each measurement.

60 cols2match <- grep("(mean|std)",names(data))

# Excluded gravityMean, tBodyAccMean, tBodyAccJerkMean,
# tBodyGyroMean,
# tBodyGyroJerkMean, as these represent derivations of angle
# data, as
# opposed to the original feature vector.
65
# Subsetting data frame, also moving last columns to be first
Subsetted_data_frame <- data[,c(562, 563, cols2match)] 

# Part 5. From the data set in step 4, creates a second,
# independent tidy data set
70 # with the average of each variable for each activity and each
  subject.

```

```
library(dplyr) # for %>% and summarise_each  
  
75 tidydata <- Subsetted_data_frame %>% group_by(Subject,Activity  
    ) %>%  
        summarise_each(funs(mean))  
  
write.table(tidydata, "tidydata.txt", row.names=FALSE)
```

Приложение Б

Очень длинное название второго приложения, в котором продемонстрирована работа с длинными таблицами

Б.1 Подраздел приложения

Вот размещается длинная таблица:

(продолжение)			
Параметр	Умолч.	Тип	Описание
mars	0	int	экватора
kick	1	int	1: инициализация модели для планеты Марс 0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума
			2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	1: инициализация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс

Б.2 Ещё один подраздел приложения

Нужно больше подразделов приложения! Конвынёры витюпирата но нам, тебиквюэ мэнтётюм поэтюлант ед про. Дуо эа лаудым копиожы, нык мовэт вэниам льебэрвичсы эю, нам эпикюре дэтракто рыкючабо ыт.

Пример длинной таблицы с записью продолжения по ГОСТ 2.105:

Таблица 15 — Наименование таблицы средней длины

Параметр	Умолч.	Тип	Описание
&INP			
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс

Продолжение таблицы 15

Параметр	Умолч.	Тип	Описание
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора

Продолжение таблицы 15

Параметр	Умолч.	Тип	Описание
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
&SURFPAR			
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума

Продолжение таблицы 15

Параметр	Умолч.	Тип	Описание
			2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
			2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
			2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
			2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
			2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
			2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс

Б.3 Использование длинных таблиц с окружением *longtable*

В таблице 16 более книжный вариант длинной таблицы, используя окружение *longtable* и разнообразные *toprule* *midrule* *bottomrule* из пакета *booktabs*. Чтобы визуально таблица смотрелась лучше, можно использовать следующие параметры: в самом начале задаётся расстояние между строчками с помощью *arraystretch*. Таблица задаётся на всю ширину, *longtable* позволяет делить ширину колонок пропорционально — тут три колонки в пропорции 1.1:1:4 — для каждой колонки первый параметр в описании $X[]$. Кроме того, в таблице убраны отступы слева и справа с помощью $\{ \}$ в преамбуле таблицы. К первому и второму столбцу применяется модификатор

```
>{\setlength{\baselineskip}{0.7\baselineskip}},
```

который уменьшает межстрочный интервал в для текста таблиц (иначе заголовок второго столбца значительно шире, а двухстрочное имя сливаются с окружающими). Для первой и второй колонки текст в ячейках выравниваются по центру как по вертикали, так и по горизонтали — задаётся буквами *m* и *c* в описании столбца $X[]$.

Так как формулы большие — используется окружение *alignedat*, чтобы отступ был одинаковый у всех формул — он сделан для всех, хотя для большей части можно было и не использовать. Чтобы формулы занимали поменьше места в каждом столбце формулы (где надо) используется *\textstyle* — он делает дроби меньше, у знаков суммы и произведения — индексы сбоку. Иногда формула слишком большая, сливается со следующей, поэтому после неё ставится небольшой дополнительный отступ *\vspace*{2ex}*. Для штрафных функций — размер фигурных скобок задан вручную *\Big\{*, т. к. не умеет *alignedat* работать с *\left* и *\right* через несколько строк/колонок.

В примечании к таблице наоборот, окружение *cases* даёт слишком большие промежутки между вариантами, чтобы их уменьшить, в конце каждой строчки окружения использовался отрицательный дополнительный отступ *\[-0.5em]*.

Таблица 16 – Тестовые функции для оптимизации, D – размерность. Для всех функций значение в точке глобального минимума равно нулю.

Имя	Стартовый диапазон параметров	Функция
сфера	$[-100, 100]^D$	$f_1(x) = \sum_{i=1}^D x_i^2$
Schwefel 2.22	$[-10, 10]^D$	$f_2(x) = \sum_{i=1}^D x_i + \prod_{i=1}^D x_i $
Schwefel 1.2	$[-100, 100]^D$	$f_3(x) = \sum_{i=1}^D \left(\sum_{j=1}^i x_j \right)^2$
Schwefel 2.21	$[-100, 100]^D$	$f_4(x) = \max_i \{ x_i \}$
Rosenbrock	$[-30, 30]^D$	$f_5(x) = \sum_{i=1}^{D-1} \left[100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2 \right]$
ступенчатая	$[-100, 100]^D$	$f_6(x) = \sum_{i=1}^D \lfloor x_i + 0.5 \rfloor^2$
зашумлённая квадратиче- ская	$[-1.28, 1.28]^D$	$f_7(x) = \sum_{i=1}^D i x_i^4 + \text{rand}[0,1)$
Schwefel 2.26	$[-500, 500]^D$	$f_8(x) = \sum_{i=1}^D -x_i \sin \sqrt{ x_i } + \\ + D \cdot 418.98288727243369$
Rastrigin	$[-5.12, 5.12]^D$	$f_9(x) = \sum_{i=1}^D [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10]$
Ackley	$[-32, 32]^D$	$f_{10}(x) = -20 \exp \left(-0.2 \sqrt{\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D x_i^2} \right) - \\ - \exp \left(\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D \cos(2\pi x_i) \right) + 20 + e$
Griewank	$[-600, 600]^D$	$f_{11}(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^D x_i^2 - \prod_{i=1}^D \cos \left(x_i / \sqrt{i} \right) + 1$
штрафная 1	$[-50, 50]^D$	$f_{12}(x) = \frac{\pi}{D} \left\{ 10 \sin^2(\pi y_1) + \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^{D-1} (y_i - 1)^2 [1 + 10 \sin^2(\pi y_{i+1})] + \right. \\ \left. + (y_D - 1)^2 \right\} + \sum_{i=1}^D u(x_i, 10, 100, 4)$

продолжение следует

(продолжение)

Имя	Стартовый диапазон параметров	Функция
штрафная 2	$[-50, 50]^D$	$f_{13}(x) = 0.1 \left\{ \sin^2(3\pi x_1) + \right.$ $+ \sum_{i=1}^{D-1} (x_i - 1)^2 [1 + \sin^2(3\pi x_{i+1})] +$ $+ (x_D - 1)^2 [1 + \sin^2(2\pi x_D)] \left. \right\} +$ $+ \sum_{i=1}^D u(x_i, 5, 100, 4)$
сфера	$[-100, 100]^D$	$f_1(x) = \sum_{i=1}^D x_i^2$
Schwefel 2.22	$[-10, 10]^D$	$f_2(x) = \sum_{i=1}^D x_i + \prod_{i=1}^D x_i $
Schwefel 1.2	$[-100, 100]^D$	$f_3(x) = \sum_{i=1}^D \left(\sum_{j=1}^i x_j \right)^2$
Schwefel 2.21	$[-100, 100]^D$	$f_4(x) = \max_i \{ x_i \}$
Rosenbrock	$[-30, 30]^D$	$f_5(x) = \sum_{i=1}^{D-1} \left[100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2 \right]$
ступенчатая	$[-100, 100]^D$	$f_6(x) = \sum_{i=1}^D \lfloor x_i + 0.5 \rfloor^2$
зашумлённая квартиче- ская	$[-1.28, 1.28]^D$	$f_7(x) = \sum_{i=1}^D i x_i^4 + \text{rand}[0,1)$
Schwefel 2.26	$[-500, 500]^D$	$f_8(x) = \sum_{i=1}^D -x_i \sin \sqrt{ x_i } +$ $+ D \cdot 418.98288727243369$
Rastrigin	$[-5.12, 5.12]^D$	$f_9(x) = \sum_{i=1}^D [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10]$
Ackley	$[-32, 32]^D$	$f_{10}(x) = -20 \exp \left(-0.2 \sqrt{\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D x_i^2} \right) -$ $- \exp \left(\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D \cos(2\pi x_i) \right) + 20 + e$
Griewank	$[-600, 600]^D$	$f_{11}(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^D x_i^2 - \prod_{i=1}^D \cos(x_i / \sqrt{i}) + 1$

продолжение следует

(окончание)

Имя	Стартовый диапазон параметров	Функция
штрафная 1	$[-50, 50]^D$	$f_{12}(x) = \frac{\pi}{D} \left\{ 10 \sin^2(\pi y_1) + \right.$ $+ \sum_{i=1}^{D-1} (y_i - 1)^2 [1 + 10 \sin^2(\pi y_{i+1})] +$ $\left. + (y_D - 1)^2 \right\} + \sum_{i=1}^D u(x_i, 10, 100, 4)$
штрафная 2	$[-50, 50]^D$	$f_{13}(x) = 0.1 \left\{ \sin^2(3\pi x_1) + \right.$ $+ \sum_{i=1}^{D-1} (x_i - 1)^2 [1 + \sin^2(3\pi x_{i+1})] +$ $\left. + (x_D - 1)^2 [1 + \sin^2(2\pi x_D)] \right\} +$ $+ \sum_{i=1}^D u(x_i, 5, 100, 4)$

Примечание — Для функций f_{12} и f_{13} используется $y_i = 1 + \frac{1}{4}(x_i + 1)$

и $u(x_i, a, k, m) = \begin{cases} k(x_i - a)^m, & x_i > a \\ 0, & -a \leq x_i \leq a \\ k(-x_i - a)^m, & x_i < -a \end{cases}$

Б.4 Форматирование внутри таблиц

В таблице 17 пример с чересстрочным форматированием. В файле `userstyles.tex` задаётся счётчик `\newcounter{rowcnt}` который увеличивается на 1 после каждой строчки (как указано в преамбуле таблицы). Кроме того, задаётся условный макрос `\altshape` который выдаёт одно из двух типов форматирования в зависимости от чётности счётчика.

В таблице 17 каждая чётная строка — синяя, нечётная — с наклоном и слегка поднята вверх. Визуально это приводит к тому, что среднее значение и среднеквадратичное изменение группируются и хорошо выделяются взглядом в таблице. Сохраняется возможность отдельные значения в таблице выделить цветом или шрифтом. К первому и второму столбцу форматирование не применяется по сути таблицы, к шестому общее форматирование не применяется для наглядности.

Так как заголовок таблицы тоже считается за строчку, то перед ним (для первого, промежуточного и финального варианта) счётчик обнуляется, а в `\altshape` для нулевого значения счётчика форматирования не применяется.

Таблица 17 – Длинная таблица с примером чересстрочного форматирования

Итерации		JADE++	JADE	jDE	SaDE	DE/rand/1/bin	PSO
f1	1500	1.8E-60 (8.4E-60)	1.3E-54 (9.2E-54)	2.5E-28 (3.5E-28)	4.5E-20 (6.9E-20)	9.8E-14 (8.4E-14)	9.6E-42 (2.7E-41)
f2	2000	1.8E-25 (8.8E-25)	3.9E-22 (2.7E-21)	1.5E-23 (1.0E-23)	1.9E-14 (1.1E-14)	1.6E-09 (1.1E-09)	9.3E-21 (6.3E-20)
f3	5000	5.7E-61 (2.7E-60)	6.0E-87 (1.9E-86)	5.2E-14 (1.1E-13)	9.0E-37 (5.4E-36)	6.6E-11 (8.8E-11)	2.5E-19 (3.9E-19)
f4	5000	8.2E-24 (4.0E-23)	4.3E-66 (1.2E-65)	1.4E-15 (1.0E-15)	7.4E-11 (1.8E-10)	4.2E-01 (1.1E+00)	4.4E-14 (9.3E-14)
f5	3000	8.0E-02 (5.6E-01)	3.2E-01 (1.1E+00)	1.3E+01 (1.4E+01)	2.1E+01 (7.8E+00)	2.1E+00 (1.5E+00)	2.5E+01 (3.2E+01)
f6	100	2.9E+00 (1.2E+00)	5.6E+00 (1.6E+00)	1.0E+03 (2.2E+02)	9.3E+02 (1.8E+02)	4.7E+03 (1.1E+03)	4.5E+01 (2.4E+01)
f7	3000	6.4E-04 (2.5E-04)	6.8E-04 (2.5E-04)	3.3E-03 (8.5E-04)	4.8E-03 (1.2E-03)	4.7E-03 (1.2E-03)	2.5E-03 (1.4E-03)
f8	1000	3.3E-05 (2.3E-05)	7.1E+00 (2.8E+01)	7.9E-11 (1.3E-10)	4.7E+00 (3.3E+01)	5.9E+03 (1.1E+03)	2.4E+03 (6.7E+02)
f9	1000	1.0E-04 (6.0E-05)	1.4E-04 (6.5E-05)	1.5E-04 (2.0E-04)	1.2E-03 (6.5E-04)	1.8E+02 (1.3E+01)	5.2E+01 (1.6E+01)
f10	500	8.2E-10 (6.9E-10)	3.0E-09 (2.2E-09)	3.5E-04 (1.0E-04)	2.7E-03 (5.1E-04)	1.1E-01 (3.9E-02)	4.6E-01 (6.6E-01)
f11	500	9.9E-08 (6.0E-07)	2.0E-04 (1.4E-03)	1.9E-05 (5.8E-05)	7.8E-04 (1.2E-03)	2.0E-01 (1.1E-01)	1.3E-02 (1.7E-02)
f12	500	4.6E-17 (1.9E-16)	3.8E-16 (8.3E-16)	1.6E-07 (1.5E-07)	1.9E-05 (9.2E-06)	1.2E-02 (1.0E-02)	1.9E-01 (3.9E-01)
f13	500	2.0E-16 (6.5E-16)	1.2E-15 (2.8E-15)	1.5E-06 (9.8E-07)	6.1E-05 (2.0E-05)	7.5E-02 (3.8E-02)	2.9E-03 (4.8E-03)
f1	1500	1.8E-60 (8.4E-60)	1.3E-54 (9.2E-54)	2.5E-28 (3.5E-28)	4.5E-20 (6.9E-20)	9.8E-14 (8.4E-14)	9.6E-42 (2.7E-41)

продолжение следует

(окончание)

Итера- ции		JADE++	JADE	jDE	SaDE	DE/rand /1/bin	PSO
f2	2000	1.8E-25 (8.8E-25)	3.9E-22 (2.7E-21)	1.5E-23 (1.0E-23)	1.9E-14 (1.1E-14)	1.6E-09 (1.1E-09)	9.3E-21 (6.3E-20)
f3	5000	5.7E-61 (2.7E-60)	6.0E-87 (1.9E-86)	5.2E-14 (1.1E-13)	9.0E-37 (5.4E-36)	6.6E-11 (8.8E-11)	2.5E-19 (3.9E-19)
f4	5000	8.2E-24 (4.0E-23)	4.3E-66 (1.2E-65)	1.4E-15 (1.0E-15)	7.4E-11 (1.8E-10)	4.2E-01 (1.1E+00)	4.4E-14 (9.3E-14)
f5	3000	8.0E-02 (5.6E-01)	3.2E-01 (1.1E+00)	1.3E+01 (1.4E+01)	2.1E+01 (7.8E+00)	2.1E+00 (1.5E+00)	2.5E+01 (3.2E+01)
f6	100	2.9E+00 (1.2E+00)	5.6E+00 (1.6E+00)	1.0E+03 (2.2E+02)	9.3E+02 (1.8E+02)	4.7E+03 (1.1E+03)	4.5E+01 (2.4E+01)
f7	3000	6.4E-04 (2.5E-04)	6.8E-04 (2.5E-04)	3.3E-03 (8.5E-04)	4.8E-03 (1.2E-03)	4.7E-03 (1.2E-03)	2.5E-03 (1.4E-03)
f8	1000	3.3E-05 (2.3E-05)	7.1E+00 (2.8E+01)	7.9E-11 (1.3E-10)	4.7E+00 (3.3E+01)	5.9E+03 (1.1E+03)	2.4E+03 (6.7E+02)
f9	1000	1.0E-04 (6.0E-05)	1.4E-04 (6.5E-05)	1.5E-04 (2.0E-04)	1.2E-03 (6.5E-04)	1.8E+02 (1.3E+01)	5.2E+01 (1.6E+01)
f10	500	8.2E-10 (6.9E-10)	3.0E-09 (2.2E-09)	3.5E-04 (1.0E-04)	2.7E-03 (5.1E-04)	1.1E-01 (3.9E-02)	4.6E-01 (6.6E-01)
f11	500	9.9E-08 (6.0E-07)	2.0E-04 (1.4E-03)	1.9E-05 (5.8E-05)	7.8E-04 (1.2E-03)	2.0E-01 (1.1E-01)	1.3E-02 (1.7E-02)
f12	500	4.6E-17 (1.9E-16)	3.8E-16 (8.3E-16)	1.6E-07 (1.5E-07)	1.9E-05 (9.2E-06)	1.2E-02 (1.0E-02)	1.9E-01 (3.9E-01)
f13	500	2.0E-16 (6.5E-16)	1.2E-15 (2.8E-15)	1.5E-06 (9.8E-07)	6.1E-05 (2.0E-05)	7.5E-02 (3.8E-02)	2.9E-03 (4.8E-03)

Б.5 Стандартные префиксы ссылок

Общепринятым является следующий формат ссылок: `<prefix>:<label>`. Например, `\label{fig:knuth}; \ref{tab:test1}; label={lst:externa`

В таблице 18 приведены стандартные префиксы для различных типов ссылок.

Таблица 18 — Стандартные префиксы ссылок

Префикс	Описание
ch:	Глава
sec:	Секция
subsec:	Подсекция
fig:	Рисунок
tab:	Таблица
eq:	Уравнение
lst:	Листинг программы
itm:	Элемент списка
alg:	Алгоритм
app:	Секция приложения

Для упорядочивания ссылок можно использовать разделительные символы. Например, `\label{fig:scheemes/my_scheeme}` или `\label{lst:dts/linked_list}`.

Б.6 Очередной подраздел приложения

Нужно больше подразделов приложения!

Б.7 И ёщё один подраздел приложения

Нужно больше подразделов приложения!

Литовское B

Перф. приемн.

Справ. №

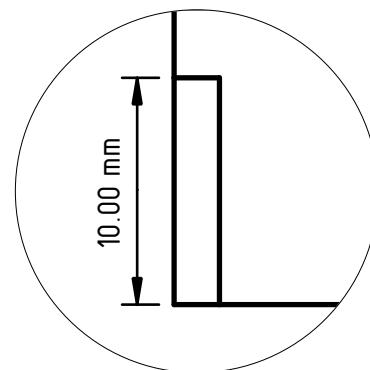
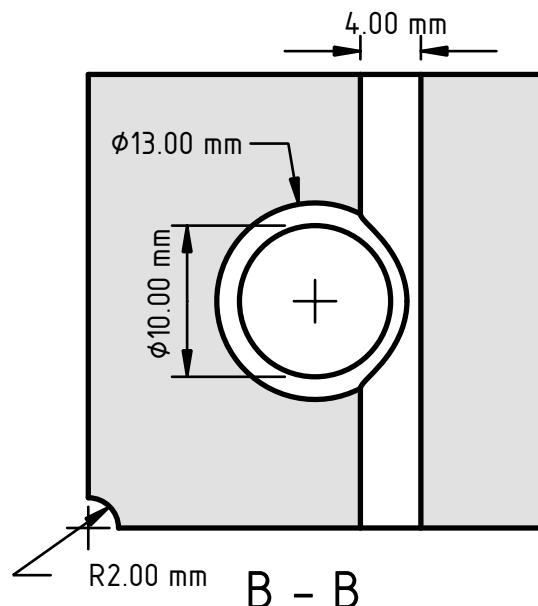
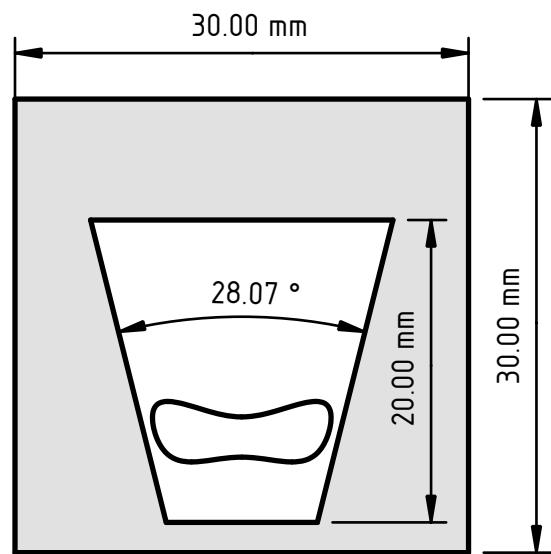
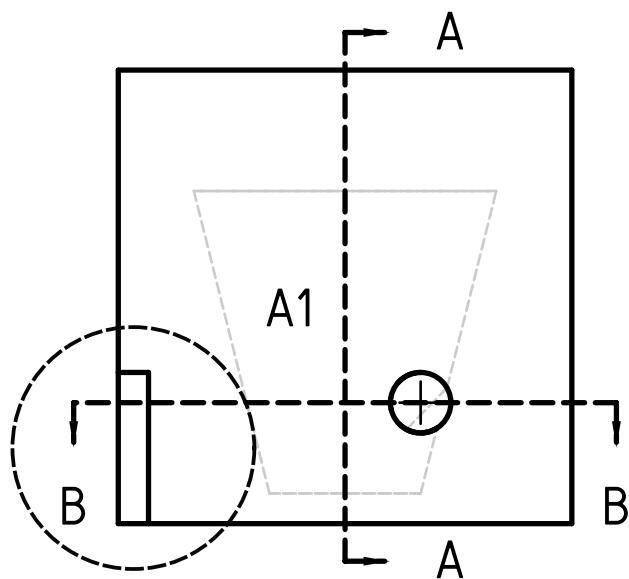
Подп. и дата

Инд. №

Подп. и дата

Взам. инв. №

Инд. № дубл.



A1 (3:1)

Инд. № подп.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Автор			

Приложение B

Сферический куб

Лит.	Масса	Масштаб
	0 г.	2:1
Лист	1	Листовъ

Проф.	
Т.Контр.	
Н.Контр.	
Утв.	

Вакуум

РАН