

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный институт
Кафедра строительных материалов и технологий строительства

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ И.Г. Енджиевская

« _____ » _____ 2020 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**Адаптивные системы управления процессами технического зрения
дорожного принтера**

08.04.01 "Строительство"

08.04.01.007 "Комплексная механизация и автоматизация строительства"

Научный

руководитель _____ проф., д-р., техн. наук Р.Т. Емельянов

Выпускник

_____ А.В. Гришин

Рецензент

_____ проф., д-р техн. наук В.И. Иванчура

Нормоконтролер

доц., канд. техн. наук Е.С. Турышева

Красноярск 2020

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «**Адаптивные системы управления процессами технического зрения дорожного принтера**» содержит 78 страниц текстового документа, 41 иллюстрация, 4 формулы, 81 использованный источник.

НАПОЛЬНЫЙ РИСУНОК, ДОРОЖНАЯ РАЗМЕТКА, ДОРОЖНЫЙ ПРИНТЕР, ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ

Объектом являются процесс нанесения напольных изображений с использованием программных средств автоматизации.

Предметом исследования являются алгоритмы, модели и технологии технического зрения роботизированного оборудования

Целью диссертационной работы является повышение эффективности технического зрения дорожного принтера

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

- 1) Разработать технологию технического зрения дорожного принтера с элементами дополненной реальности;
- 2) Усовершенствовать имитационные модели позиционирования дорожного принтера в среде Matlab*SIMULINK;
- 3) Создать 3D модели позиционирования принтера на дороге;
- 4) Определить трудозатраты на выполнение проекта от внедрения результатов работы.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.....	6
1.1 Анализ систем технического зрения.....	6
1.2 Технологии виртуальной и дополненной реальности.....	14
1.3 Рабочая гипотеза.....	21
2 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДОРОЖНОГО ПРИНТЕРА.....	24
2.1 Описание позиционирования дорожного принтера.....	24
2.2 Визуализация модели дорожного принтера.....	27
2.3 Имитационное моделирование позиционирования дорожного принтера.....	30
2.4 Моделирование системы позиционирования напольного принтера.....	38
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДОРОЖНОГО ПРИНТЕРА.....	48
3.1 Методика экспериментальных исследований	48
3.2 Результаты лабораторных исследований	52
4 РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ	56
4.1 Управление дорожным принтером с помощью технического зрения.....	56
4.2 Оценка эффективности применения технического зрения	57
Основные результаты и выводы.....	63
Список использованных источников	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	82
Приложение А. Перечень условных обозначений.....	72
Приложение Б. Публикации.....	74

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Современное развитие информационных технологий предопределило разработку и исследование технического зрения роботизированных систем. Чтобы промышленные роботы и другие системы автоматизации производства целенаправленно взаимодействовали с объектами и спокойно двигались в пространстве они должны иметь возможность видеть и анализировать окружающую среду. Это именно то, с чем компьютерные системы зрения могут помочь. Машинное зрение включает в себя анализ визуальной информации для дальнейшего принятия решений. Это помогает принять какое-либо действие в отношении объекта, который находится в фокусе. Исторически алгоритмы машинного зрения внедрялись в небольшом количестве в производство, так как это было очень затратно. Однако стоимость, производительность и потребление энергии в электронных системах, которые были достигнуты сегодня, проложили путь для широкого распространения машинного зрения в различных отраслях. Конечно, их реализация все еще сложна, но это уже стало намного проще - и дешевле, чем когда-либо. В данной работе технология машинного зрения была внедрена в систему управления дорожным принтером. Технология состоит в получении двумерного изображения изделия, благодаря USB-камерам. Далее происходит компьютерная обработка изображения и анализ, в ходе которой определяется принадлежность объекта тому или иному классу исходя из заданных признаков (форма, геометрические размеры, наличие надписей, цвет, маркировок, и др.).

Настоящая работа посвящена решению проблемы научной задачи по разработке алгоритмов и метода технического зрения роботизированных систем на основе программных средств автоматизации, которая отличается повышенной надежностью, точностью и качеством распознавания, возможностью визуализации синтезируемых сцен на мобильных вычислительных устройствах и возможностью управления. Существующие методы, алгоритмы и технологии технического зрения роботизированных

систем требуют определения движения по траектории. При разработке технологии технического зрения роботизированных систем использованы современные программные обеспечения «MATLAB с приложениям Simulink», «Autodesk с приложением Revit».

Степень разработанности. Проблемам совершенствования систем технического зрения оборудования посвящены работы авторов И. П. Норенкова, В. А. Камаева, В. А. Сойфера, Я. А. Фурмана, М. Н. Фаворской, М. В. Фурса, А. Г. Кравец и других российских ученых, а также зарубежных ученых, среди которых, Р. Вудс, У. Прэтт, Т. Павлидис, R. Azuma, D. Zhang, M. Fiala и многие другие. Их работы в значительной мере способствовали повышению эффективности технического зрения роботизированных систем.

Однако проведенный анализ существующих исследований выявил недостаточность теоретического описания алгоритмов и технологии технического зрения систем и экспериментальных исследований роботизированного оборудования.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности позиционирования дорожного робота на основе современных средств технического зрения.

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

- 1) Разработать технологию технического зрения дорожного принтера с элементами дополненной реальности;
- 2) Усовершенствовать имитационные модели позиционирования дорожного принтера в среде Matlab*SIMULINK;
- 3) Создать 3D модели позиционирования принтера на дороге;
- 4) Определить трудозатраты на выполнение проекта от внедрения результатов работы.

Объектом являются процесс ориентации дорожного принтера на основе современных средств технического зрения.

Предметом исследования являются алгоритмы, модели и технология ориентации дорожного принтера на основе современных средств технического зрения.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1 Анализ систем технического зрения

Техническое (машинное) зрение - это сфера применения компьютерного зрения в промышленности или производстве. В то время как компьютерное зрение является общим набором методов, позволяющих компьютерам видеть. Системы технического зрения (СТЗ) используют цифровые камеры, на данный момент всё чаще интеллектуальные камеры, а также прилагаемое к ним программное обеспечение, которое занимается обработкой полученного изображения. В большинстве случаев, в СТЗ используются последовательные сочетания различных методов обработки для выполнения полного и точного анализа.

Системы технического и компьютерного зрения могут обрабатывать изображений на равных с людьми, но системы обработки изображений обычно проектируются, чтобы выполнить одиночные, периодически повторяющиеся задачи, и, несмотря на значительный прогресс в этой области, никакая система технического или компьютерного зрения на данный момент еще не может соревноваться на равных с некоторыми возможностями человеческого зрения такими как терпимости к изменению освещения и ухудшению изображения, изменению частей и т.д.

На сегодняшний день большую популярность обретают СТЗ в качестве устройств определения положения координат дорожного принтера при нанесении фигурных знаков. при работе с манипуляционными роботами. Сенсор со встроенной системой 3D-стереокамер позволяет осуществлять 3D-восприятие в режиме реального времени и обеспечивает 3Dизмерение и позиционирование в пространстве. Таким образом, ориентация в пространстве и техническое зрение становятся реальностью (рисунок 1.1). [4]



Рисунок 1.1 – Стереосенсор KUKA_3D

Perception Стереосенсор KUKA_3D Perception распознает точно неструктурированное окружение в режиме реального времени и точно позиционирует объекты с разной кинематикой в пространстве. Это первый 3D-сенсор в мире, который наделяет роботов такими способностями. Результат этого прогрессивного решения: робот может фиксировать свое положение в пространстве с точностью до миллиметра и решать задачи еще быстрее и эффективнее. Благодаря интегрированной технологии KUKA_3D Perception обрабатывает данные изображения непосредственно в сенсоре и фиксирует текущее положение объекта с точностью до миллиметра. Массивы точек создаются очень просто. 3D-сенсор может распознавать свое окружение как в условиях естественного света, так и при недостаточном освещении. Даже при быстрых перемещениях обеспечивается надежная точность.

СТЗ применяется в качестве устройств определения положения координат полезного груза при работе с манипуляционными роботами. Простые представители подобных систем позволяют определять декартовы координаты x и y , а также угол ориентации R полезных грузов, находящихся в одной плоскости рабочего пространства манипуляционного робота, причем параметры этой плоскости должны быть заранее известны. Более сложные

решения позволяют определить три координаты x , y и z в рабочем пространстве. Комплексные решения позволяют определить все шесть координат x , y , z , φ , θ , ψ , но такие решения требуют особых функционирования, поэтому их область применения сильно ограничена; кроме того, во многих технологических процессах отсутствует необходимость определения полного набора координат полезных грузов, поэтому стоимость и используемый функционал для таких систем будут неоправданными. СТЗ позволяют без значительных затрат переконфигурировать рабочее место, так как система определения положения в значительной части настраивается на программном уровне. Как правило, одной камеры, входящей в состав СТЗ, достаточно для получения данных о рабочем пространстве большой площади [7, 8]. В случае изменения технологического процесса эту же камеру можно использовать для определения положения полезных грузов в новых условиях без необходимости вмешиваться в ее конструкцию или электрическую схему. Функциональные задачи СТЗ, характерные для роботехнических комплексов, условно подразделяются по уровню их относительной сложности. К простым задачам можно отнести: обнаружение наличия какого-либо объекта, измерение расстояния до него, вычисление его линейных и угловых перемещений, скорости; измерение геометрических параметров объекта (линейные и угловые размеры, площадь), определение физических характеристик излучения от объекта, подсчет числа объектов в кадре [6]. Манипулятор KR 40PA, показанный на рисунке 1.2.

KR 40 PA является самым маленьким и легким роботом для палетизации. Достигает высочайших уровней скорости и точности, специально разработан для задач, связанных с паллетизацией - идеально подходит для укладки европоддонов. KR 40 PA выбирает и упаковывает товары в рекордные сроки. Он может паллетизировать продукты весом до 40 килограммов и достигать чистой высоты штабелирования до 1,8 м; все в очень маленьком пространстве. Время цикла значительно сокращается благодаря его малой массе. [10]



Рисунок 1.2 – Манипулятор KR 40PA

Система управления KR C4 от KUKA является инновационной для автоматизации производства сегодняшнего и завтрашнего дня. Она позволяет сократить расходы на интеграцию, техническое обслуживание и уход.

KR C4 интегрирует в архитектуру вашего программного обеспечения Robot Control, PLC Control, Motion Control (например, KUKA.CNC) и Safety Control. Все системы управления имеют одну базу данных и инфраструктуру. Это позволяет упростить автоматизацию и сделать ее эффективней. [11] □ устройство видеозахвата, показанное на рисунке 1.3 (Microsoft Lifecam Cinema).



Рисунок 1.3 – Microsoft Lifecam Cinema

Веб-камера LifeCam Cinema предоставляет широкоформатное HDвидео с разрешением 720 пикселей. Камера автоматически увеличивает резкость изображения, для того чтобы видео было еще более четким, прецизионный стеклянный объектив повышает качество изображения даже при недостаточной освещенности [12].

Одним из наиболее распространенных программных обеспечений для реализации компьютерного зрения является OpenCV. OpenCV — библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом.[14] Реализована на C/C++, также существуют версии для Python, Java, Ruby, Matlab, Lua и других языков. Она разрабатывается с 1998 г., сначала в компании Intel, затем в Itseez при активном участии сообщества. Библиотека распространяется по открытой лицензии, что означает, что ее можно свободно и бесплатно использовать как в открытых проектах с открытым кодом, так и в закрытых, коммерческих проектах. Библиотеку не обязательно копировать целиком в свой проект, можно использовать куски кода. Единственное требование лицензии – наличие в сопровождающих материалах копии лицензии OpenCV. Из-за либеральной лицензии библиотека используется многими компаниями, организациями, университетами, например, NVidia, Willow Garage, Intel, Google, Stanford University. Компании NVidia и WillowGarage частично спонсируют ее разработку. Библиотека состоит из 16 модулей, реализовано около 1000 алгоритмов. Поддерживаются основные операционные системы: MS Windows, Linux, Mac, Android, iOS. Есть возможность использования сторонних библиотек, например, для работы с устройством Kinect (OpenNI), разработки параллельных программ (ТВВ) и др.

Основные модули библиотеки можно отнести к 4 группам (разделам):

- Модули Core, HighGUI, реализующие базовую функциональность (базовые структуры, математические функции, генераторы случайных чисел, линейная алгебра, быстрое преобразование Фурье, ввод/вывод изображений и видео,

- Модули Video, ObjDetect, Calib3D (калибровка камеры, анализ -движения и отслеживание объектов, вычисление положения в пространстве, построение карты глубины, детектирование объектов, оптический поток).

- Модуль ML, реализующий алгоритмы машинного обучения (метод ближайших соседей, наивный байесовский классификатор, деревья решений, бустинг, градиентный бустинг деревьев решений, случайный лес, машина опорных векторов, нейронные сети и др.).

На рисунке 1.4 представлена общая схема типичного приложения, предназначенного для решения той или иной задачи компьютерного зрения.



Рисунок 1.4 - Общая структурная схема приложения на OpenCV

Все начинается с захвата изображений (модуль HighGUI). Читается изображение из файла или видео с сетевой камеры через сетевой протокол. Далее осуществляется предварительная обработка (модуль ImgProc), такая, как устранение шума, выравнивание яркости, контраста, выделение и удаление бликов, теней. Например, один и тот же объект при разном освещении выглядит по-разному. В ярком свете красная машина, движение которой необходимо отслеживать, будет ярко-оранжевой. В пасмурную погоду та же машина будет выглядеть красно-розовой. В этом случае на изображении необходимо выполнить выравнивание цветов. Предобработка может быть, как простой, так и может заключать в себе целую сложную технологию.

Следующий этап – выделение особенностей (модули `ImgProc`, `Features 2D`). Например, в задаче слежения за объектом это может быть поиск специальных точек на объекте, за которыми легко наблюдать; для задачи детектирования (т. е. обнаружения на изображении) лица – вычисления описания каждого пиксела. Далее происходит детектирование интересующих нас объектов, выделение значимых частей, сегментация изображения (модули `ImgProc`, `ObjDetect`). Если, например, камера неподвижна, а изображение подвижное, можно использовать алгоритмы вычитания фона. После этого решается основная задача, такая, как вычисление расположения объекта в 3d, реконструкция 3d структуры, анализ структуры, регистрация и т. п. (модули `Calib3D`, `Contrib`, `Video`, `Stitching`, `Videostab`, `ML`). Например, в задаче склейки панорам изображений – это сопоставление частей разных кадров, определение нужного преобразования. В задаче видеонаблюдения это восстановление траекторий объектов и т. д. В конце происходит распознавание и принятие конкретных решений (модуль `ML`). Например, в системе видеонаблюдения: обнаружен ли нежелательный объект в кадре или нет. В задаче детектирования текста – детектирован ли текст, что именно за текст и т. д.

Для автоматизации процесса технического зрения применяется язык программирования Python. Python (в русском языке распространено название питон) — высокоуровневый язык программирования общего назначения, ориентированный на повышение производительности разработчика и читаемости кода. [13] Синтаксис ядра Python минималистичен. В то же время стандартная библиотека включает большой объём полезных функций. Разработка языка Python была начата в конце 1980-х годов сотрудником голландского института Гвидо ван Россумом. Для распределённой ОС Amoeba требовался расширяемый скриптовый язык, и Гвидо начал писать Python на досуге, позаимствовав некоторые наработки для языка ABC (Гвидо участвовал в разработке этого языка, ориентированного на обучение программированию). В феврале 1991 года Гвидо опубликовал исходный текст в группе новостей `alt.sources`. С самого начала Python проектировался как объектно-

ориентированный язык. 3 декабря 2008 года, после длительного тестирования, вышла первая версия Python 3000 (или Python 3.0, также используется сокращение Py3k). В Python 3000 устранены многие недостатки архитектуры с максимально возможным (но не полным) сохранением совместимости со старыми версиями Python. На сегодня поддерживаются обе ветви развития (Python 3.x и 2.x). Python поддерживает несколько парадигм программирования, в том числе структурное, объектно-ориентированное, функциональное, императивное и аспектно-ориентированное. Основные архитектурные черты — динамическая типизация, автоматическое управление памятью, полная интроспекция, механизм обработки исключений, поддержка многопоточных вычислений и удобные высокоуровневые структуры данных. Код в Python организовывается в функции и классы, которые могут объединяться в модули (они в свою очередь могут быть объединены в пакеты).

Эталонной реализацией Python является интерпретатор CPython, поддерживающий большинство активно используемых платформ. Он распространяется под свободной лицензией Python Software Foundation License, позволяющей использовать его без ограничений в любых приложениях, включая проприетарные. Есть реализации интерпретаторов для JVM (с возможностью компиляции), MSIL (с возможностью компиляции), LLVM и других. Проект PyPy предлагает реализацию Python с использованием JIT-компиляции, которая значительно увеличивает скорость выполнения Python-программ. Python — активно развивающийся язык программирования, новые версии (с добавлением/изменением языковых свойств) выходят примерно раз в два с половиной года. Вследствие этого и некоторых других причин на Python отсутствуют стандарт ANSI, ISO или другие официальные стандарты, их роль выполняет CPython. Обоснованием выбора данного языка программирования является его простота, низкий порог вхождения, большое количество обучающего материала в интернете и возможность работать с библиотекой OpenCV.

1.2 Технологии виртуальной и дополненной реальности

Виртуальная и дополненная реальности (VR и AR) – это современные и быстро развивающиеся технологии. Их цель – расширение физического пространства жизни человека объектами, созданными с помощью цифровых устройств и программ, и имеющими характер изображения (рисунок 1.5).



А)



Б)

Рисунок 1.5 - Технологии виртуальной (а) и дополненной реальности (б)

На рисунке 1.5 а показано изображение, которое видит пользователь через специальные очки виртуальной реальности (далее – VR). Изображение разделено на две отдельные картинки для каждого глаза и специально искажено, чтобы создать для глаз иллюзию трехмерного пространства. Если человек перемещается или просто поворачивает голову, то программа автоматически перестраивает изображение, что создает ощущение реального

физического присутствия. С помощью контроллеров (джойстиков и т.п.) пользователь может взаимодействовать с окружающими предметами, например, он может поднять камень и бросить его с горы – встроенная в программу физическая модель просчитает полет этого камня, что еще больше создаст иллюзию реального пространства.

На рисунке 1.5 б показано приложение, использующее технологии дополненной реальности (далее – AR). В этом приложении можно размещать изображения мебели на изображении с камеры телефона, но за счет их деформаций у пользователя создается впечатление, что он видит реальный предмет, располагающийся в комнате. Важно, то, что в этом случае реальность (комната) дополняется виртуальным креслом, и соответствующая технология будет называться дополненной реальностью. Создание дополненной реальности возможно не только с помощью смартфонов, но и других технических средств, например, посредством специальных очков. В этом случае, виртуальное изображение достраивается на поверхности линз очков.

В качестве устройств на данный момент используются: очки виртуальной и дополненной реальности, контроллеры, наушники, смартфоны, планшеты. Эти устройства позволяют человеку видеть и слышать цифровые объекты (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 - Устройства для VR и AR: очки с наушниками (а), контроллеры (б), смартфоны и планшеты (в)

В ближайшем будущем, ожидается появление перчаток с обратной связью, позволяющих человеку осязать цифровые объекты. Вследствие бурного

развития технологий, терминология постоянно изменяется. Однако, понятие реально-виртуального континуума (reality-virtuality continuum), предложенное в работе Милгрэма, Поула и др. (Milgram, Paul, et al.) [13] остается актуальным и по сей день и является основополагающим для последующих.

Все технологии, связанные с расширением реальности посредством цифровых объектов (возможно, что и не только цифровых), располагаются между двумя полярными вариантами возможных реальностей: реальностью (reality), в которой мы с вами живем, и виртуальной реальностью (virtual reality, VR). Реальность – это абсолютное отсутствие дополнительных объектов в физическом пространстве, т.е. само физическое пространство. Виртуальная реальность – это абсолютное отсутствие реальных объектов. Множество этих технологий называется смешанной реальностью (mixed reality, MR). На практике оно часто разбивается на подмножества. Двумя классическими подмножествами являются дополненная реальность (augmented reality, AR) и дополненная виртуальность (augmented virtuality, AV). В первом случае подразумеваются технологии, дополняющие реальность различными объектами, во втором, дополняющие виртуальную реальность реальными объектами.

В последнее время благодаря уменьшению стоимости устройств, технологии стали более доступны широкому кругу пользователей. Что, в свою очередь, привело к росту числа программ (приложений) по различным тематикам. Для VR это в основном игры от 1 лица в жанре шутер или записи камер 360 градусов (прыжки парашютистов, достопримечательности, дикая природа, подводный мир, динозавры и т.д.), для AR приложения для изменения лиц пользователей, измерения расстояний объектов реального мира, различные головоломки, а также обучающие программы (в основном, по анатомии и астрономии). Если говорить о применении в образовании, то для виртуальной реальности это изучение природы [15, 16], проведение лабораторных работ по физике [17], изучение динозавров [18], путешествие по планетам [19],

астрономии [20] и многое другое. Для AR это изучение анатомии [21], химии [22, 23], астрономии [24, 25].

Технологии VR и AR часто упоминаются в программах иммерсивного обучения (immersive education) [26-31]. Такие программы включают в себя использование современных информационных технологий в процессе обучения, который проходит внутри различных виртуальных миров и симуляций, причем часто в игровой форме. Такой вид обучения способствует повышению вовлеченности, коммуникаций между обучаемыми и интереса к предмету.

Возможность виртуальной реальности (VR) погружать человека в виртуальный мир определяет основное направление для ее развития в образовании. Все то, что не может быть создано в реальном мире по техническим, экономическим или физическим причинам, может быть создано в мире виртуальном. Возможность побывать там, где в реальности побывать трудно или невозможно. Увидеть электрические и магнитные поля, доисторических животных, подводные миры, древние страны, планеты и астероиды. Также эта технология может открывать некоторые вещи по-новому, к примеру, живопись, есть приложение, которое погружает вас в картину Ван Гога «Ночное Кафе» [33]. Такие приложения могут по-новому открыть живопись в веке кино и компьютерных игр.

В физике, эта технология может позволить проводить лабораторные работы в современных лабораториях. К примеру, почему бы не смоделировать наиболее известные исследовательские проекты последних лет: большой андронный коллайдер или детектор гравитационных волн и провести в них лабораторные работы? Это позволит заинтересовать обучаемых, показывая им современное состояние науки, а не то, при котором учились еще их деды и прадеды (что конечно, тоже имеет значение).

Дополненная реальность (AR) видится как визуализация фазовых диаграмм, в частности pvt-диаграммы (фазовой диаграммы) воды (рисунок 1.7). На диаграмме возможно отображение физических процессов: изобарного,

изохорного, изотермического, адиабатного и политропных процессов. Студент будет видеть полную картину процесса, а не проекции на определенные плоскости, интерактивно менять точки начала и окончания процесса, видеть дополнительную информацию о процессе (выделяемая/поглощаемая энергия, параметры в начале и конце).

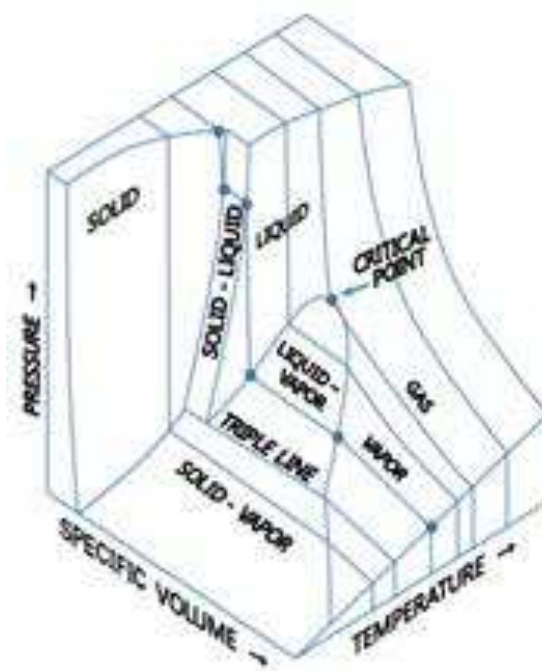


Рисунок 1.7 - Фазовая диаграмма воды

В машиностроении применяется визуализация моделей оборудования с возможностью воспроизведения анимации, показывающей принцип их работы. Так для насосов и турбин можно размещать рядом фазовую диаграмму среды с нанесенным на ней физическим процессом. На рисунке 1.8 показан снимок из AR приложения, где показана АЭС с реактором ВВЭР мощностью 1200 МВт. В приложении отображаются основные конструкции, оборудование и анимируется движение среды.

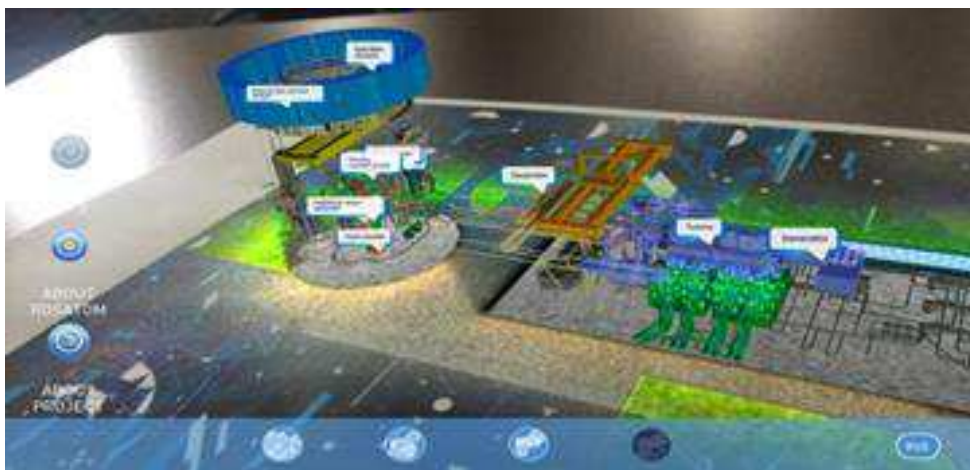


Рисунок 1.8 - AR приложение с АЭС ВВЭР 1200

Для визуализации объектов применяется программа Autodesk Inventor Professional. На рисунке 1.9 представлены примеры сложных деталей железнодорожного транспорта, помогают визуализировать объекты, увидеть при помощи 3D-анимации их принцип работы.

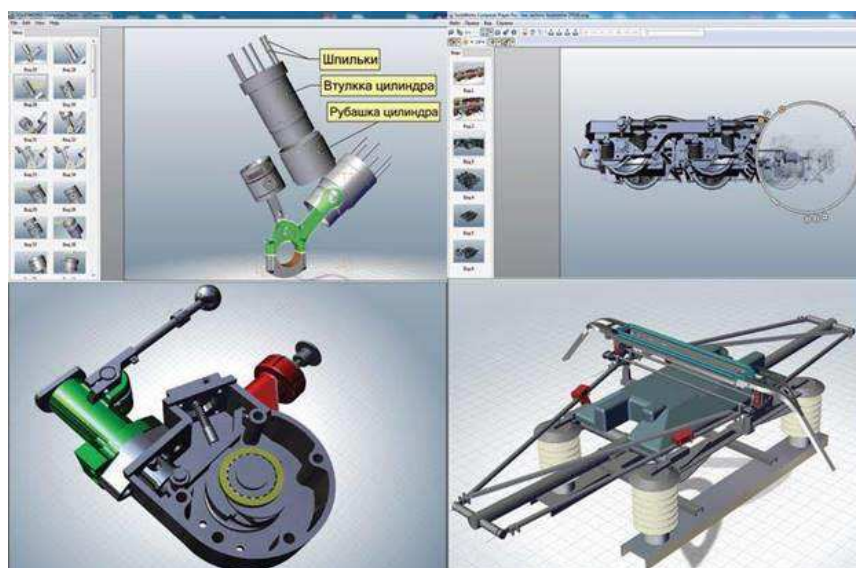


Рисунок 1.9 - Примеры 3D моделей, созданных в программе Autodesk Inventor Professional

Для создания 3D моделей применяется мобильное приложение CAD Assistant. Мобильное приложение CAD Assistant. Все модели были успешно сконвертированы для этого приложения.

На рисунке 1.10 представлены примеры использования созданных 3D-моделей в мобильном приложении.

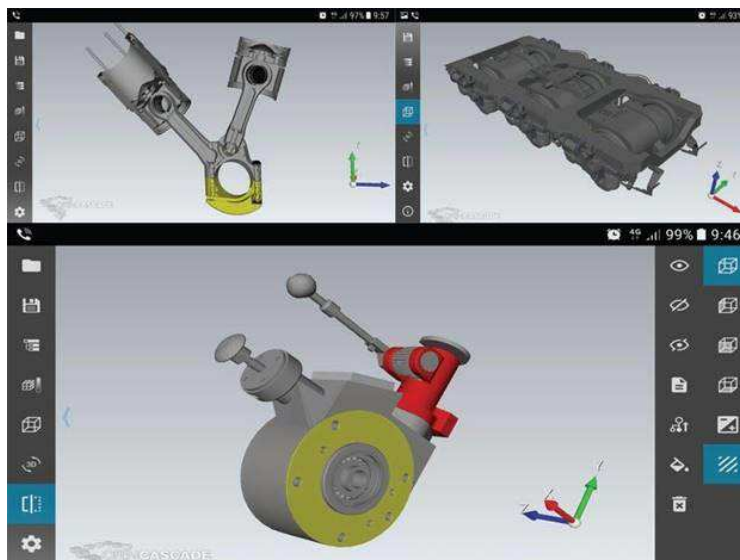


Рисунок 1.10 - Примеры использования созданных 3D моделей в мобильном приложении CAD Assistant

Следующим этапом следует перенос 3D-моделей в виртуальную реальность. Для этого использовано мобильное приложение ViewER-VR (рисунок 1.11).

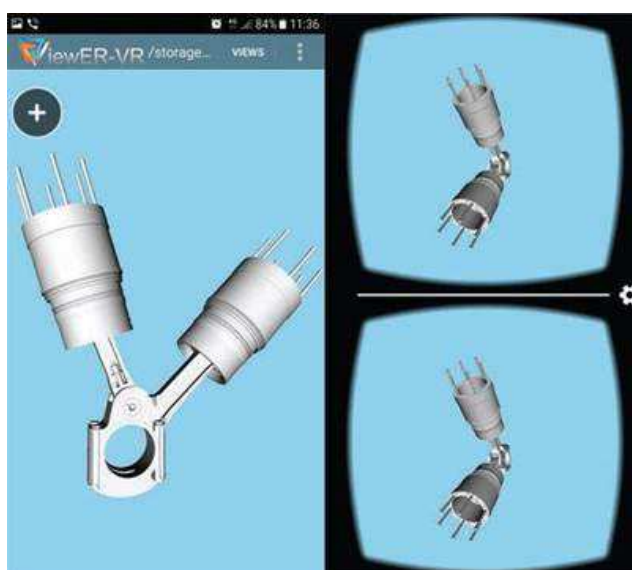


Рисунок 1.11 - Примеры использования созданных 3D моделей в мобильном приложении ViewER-A'R

Мобильные приложения для VR-очков дают возможность погружаться в мир, наполненный 360-градусными визуальными эффектами. Конвертировав наши 3D-модели в файлы, понятные для приложения, мы перенесли их в виртуальную реальность. Рынок дополненной реальности находится на начальной стадии. Основная проблема минимальное взаимодействие тех, кто разрабатывает технологии и тех, кто внедряет их в обучение. Пока технологии виртуальной и дополненной реальности наиболее активно используются в медицинском образовании. Существует множество программ, моделирующих внутреннее строение организма, нервную и кровеносную систему и др. Эффективность такого формата обучения доказана давно: человек быстрее воспринимает и лучше запоминает визуальные образы.

1.3 Рабочая гипотеза

На рисунке 1.12 приведена рабочая модель роботизированного оборудования с системой технического зрения. В соответствии с поставленной задачей разработан алгоритм печати фигурного рисунка дорожным принтером.

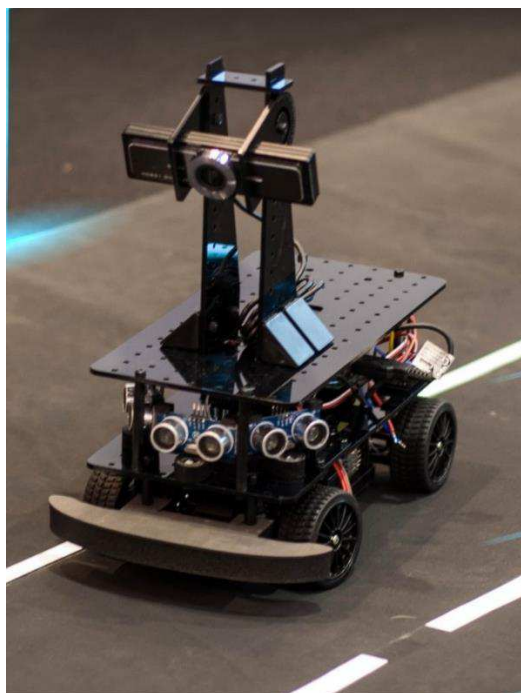


Рисунок 1.12 – Рабочая модель роботизированного оборудования с системой технического зрения

На рисунке 1.13 приведен алгоритм печати фигурного рисунка дорожным принтером.

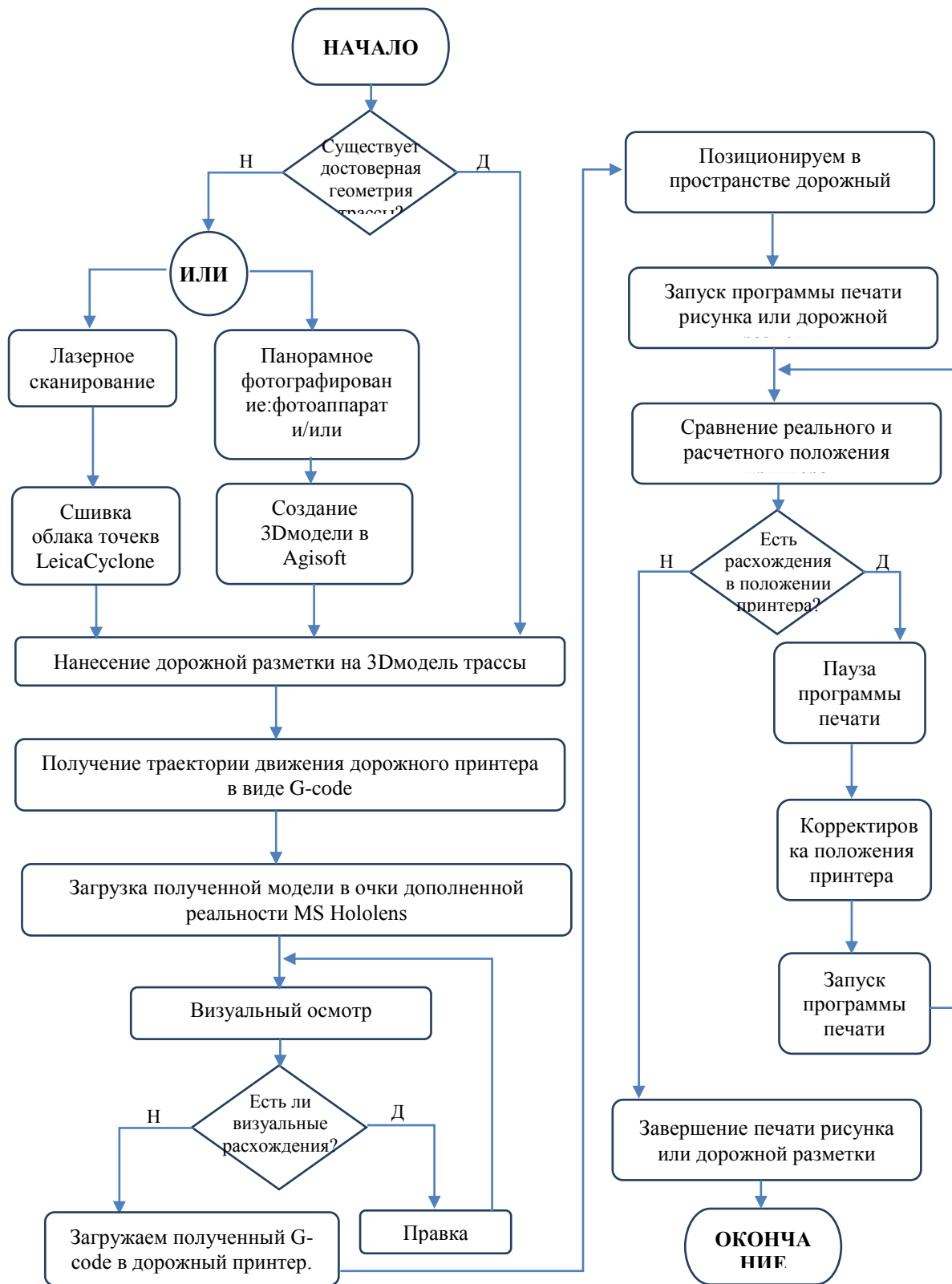


Рисунок 1.13 - Алгоритм печати фигурного рисунка

ВЫВОДЫ

Подводя итоги можно сделать вывод, технологии виртуальной и дополненной реальности применяются в различных сферах деятельности и представлены большим числом устройств и приложений. В будущем данные технологии станут неотъемлемой частью повседневной жизни человечества.

2 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДОРОЖНОГО ПРИНТЕРА

2.1 Описание позиционирования дорожного принтера

Точность позиционирования дорожного принтера определяется измерением отклонения реального положения точки позиционирования от расчетного, заданного программно. Она определяет возможность применения робота для автоматизации того или иного производственного процесса. Схема определения погрешностей позиционирования показана на рисунке 2.1.

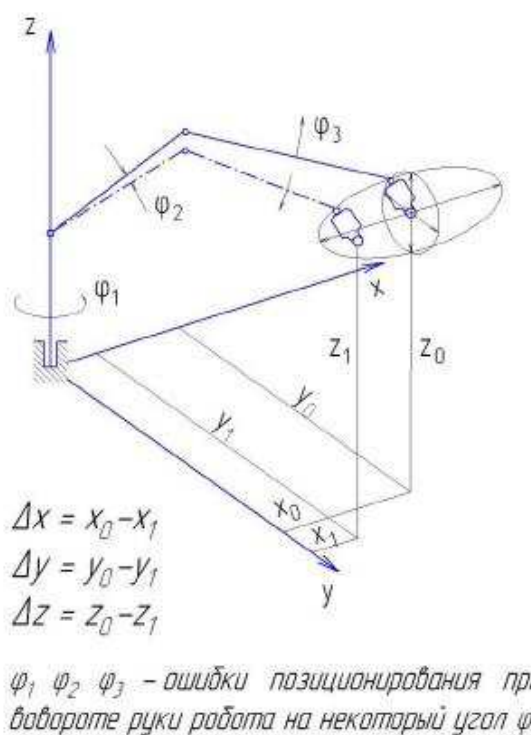


Рисунок 2.1 – Точность позиционирования дорожного принтера

Основными причинами ошибок позиционирования дорожного принтера - ошибки за счет устройств управления. Движение рабочего органа дорожного принтера в общем случае определяется работой устройства.

Основополагающую роль в развитии технологии нанесения фигурных рисунков имеет компьютерное зрение – научная дисциплина, изучающая теорию и базовые алгоритмы анализа изображений и сцен [8]. Алгоритмы

компьютерного зрения позволяют выделять ключевые особенности на изображении (углы, границы области), производить поиск фигур и объектов в реальном времени, выполнять 3D реконструкцию по нескольким фотографиям [114] и многое другое.

В области дополненной реальности алгоритмы компьютерного зрения используются для поиска в видеопотоке специальных маркеров. Поиск заданного объекта на видео в сущности сводится к поиску на статическом изображении, так как видеофайл представляет собой последовательность кадров (изображений), лишь с тем отличием, что он осуществляется многократно для некоторого количества кадров [39].

В зависимости от задачи в качестве маркера могут выступать как специально сформированные изображения, так и, например, лица людей. После нахождения маркера в видеопотоке и вычисления его местоположения, появляется возможность построения матрицы проекции и позиционирования виртуальных моделей. С их помощью можно наложить виртуальный объект на видеопоток с соблюдением ракурса и перспективы. Основная сложность состоит именно в том, чтобы найти маркер, определить его местоположение в кадре и спроецировать соответствующим образом виртуальную модель.

На сегодняшний день была создана обширная теоретическая база в сфере обработки изображений и поиска на нём различных объектов. Прежде всего, это касается методов контурного анализа, сопоставления по шаблону (template matching) [78], определения характерных черт (feature detection) [47, 50, 52] и генетических алгоритмов [83]. С точки зрения построения дополненной реальности зачастую используются последние два подхода [7].

Генетические алгоритмы – это эвристические алгоритмы поиска, используемые для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, напоминающих биологическую эволюцию.

В компьютерном зрении они используются для поиска объекта некоторого заданного класса на статическом изображении или видеопотоке [7].

Вначале необходимо провести обучение алгоритма при помощи двух различных наборов изображений: 1) «Хорошие» – содержат нужный объект. 2) «Плохие» – ложные изображения без искомого объекта. При этом для обучения используется большое число изображений, и чем их больше, тем успешнее будет работать алгоритм. Для каждой картинке производится выделение различных ключевых особенностей: границы, линии, центральные элементы. По ним производится построение статистической модели, которая затем и используется для поиска объекта на изображении.

Примером использования данного подхода может служить алгоритм распознавания лиц и глаз на видеопотоке [80, 38]. Постепенно обучая алгоритм, можно добиться высоких результатов нахождения заданного класса объектов. Однако необходимость обучения делает использование генетических алгоритмов достаточно проблематичным. Для корректной работы требуется существенное число различных изображений, и построение классификатора для каждого объекта может занимать продолжительное время.

Концепция определения характерных черт на изображении (feature detection) в компьютерном зрении относится к методам, которые нацелены на вычисление абстракций изображения и выделения на нём ключевых особенностей. В качестве особенностей могут быть использованы изолированные точки, кривые, различные связанные области. Не существует строгого определения того, что такое ключевая особенность изображения. Каждый алгоритм понимает под этим своё (углы, грани, области и т.п.) [7].

Зачастую для поиска маркеров используются алгоритмы, которые выполняют поиск и сравнение изображений по ключевым точкам. Ключевая точка – это некоторый участок картинке, который является отличительным для заданного изображения. Что именно принимается за данную точку – напрямую зависит от используемого алгоритма.

При реализации технологии дополненной реальности на современных потребительских устройствах на сегодняшний день нельзя в реальном времени реализовать сложные алгоритмы визуализации, учитывающие не прямое

освещение, такие как трассировка лучей. Во-первых, вычислительные ресурсы устройств не обладают должным уровнем производительности для расчёта изображений с интерактивной частотой кадров. Во-вторых, проблематично при наличии одной RGB-камеры в реальном времени восстановить окружающую обстановку для визуализируемого виртуального объекта.

2.2 Визуализация модели дорожного принтера

С целью ориентации модели дорожного принтера в пространстве создаем модуль ориентации в Simulink модели дорожного принтера (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 - Виртуальная модель дорожного принтера

Структурная схема ориентации в пространстве модели дорожного принтера в Simulink приведена на рисунке 2.3.

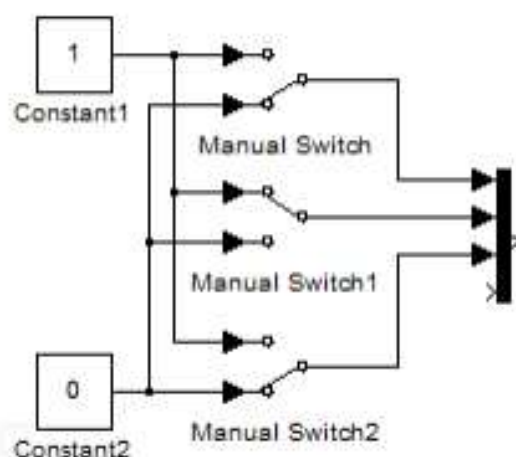


Рисунок 2.3 - Структурная схема ориентации в пространстве модели дорожного принтера

С целью реализации функций дорожного принтера формируем входы на VR Sink модуле. При моделировании используем 3 входа `vertushka rotation`, `vertushka_1.rotation` и `vertolet translation` (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 - Модуль VR Sink с тремя входами

Подключение модуля VR Sink к Simulink модели напольного принтера выполняем с помощью мастера связи файла модели с файлом визуализации (рисунок 2.5).

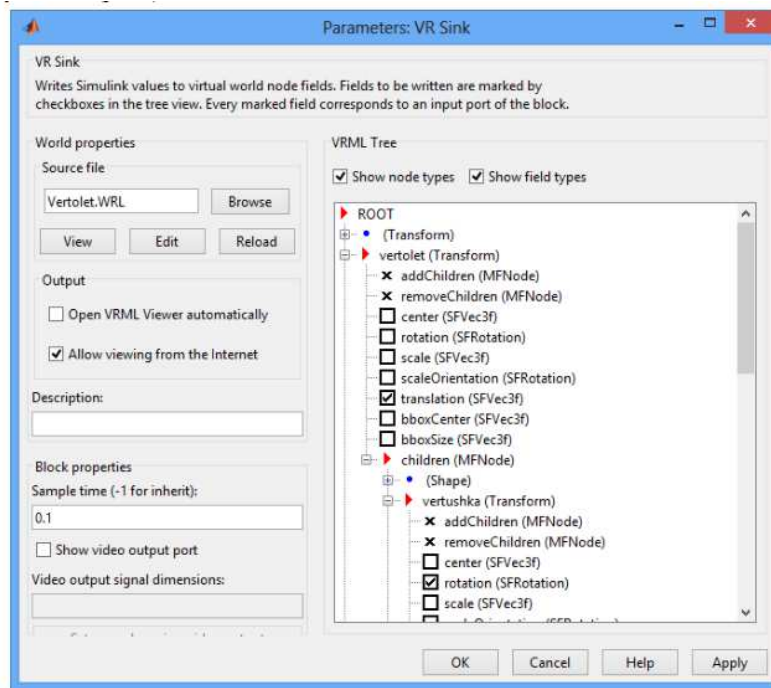


Рисунок 2.5 - Мастер связи файла модели с файлом визуализации

Для визуализации параметров принтера создаем S-функцию и подключаем ее к модели движителя, используя мультиплексор (рисунок 2.6). На экран визуализатора выводим напряжение питания якоря двигателя, ток якоря, угловую скорость и угол поворота ротора.

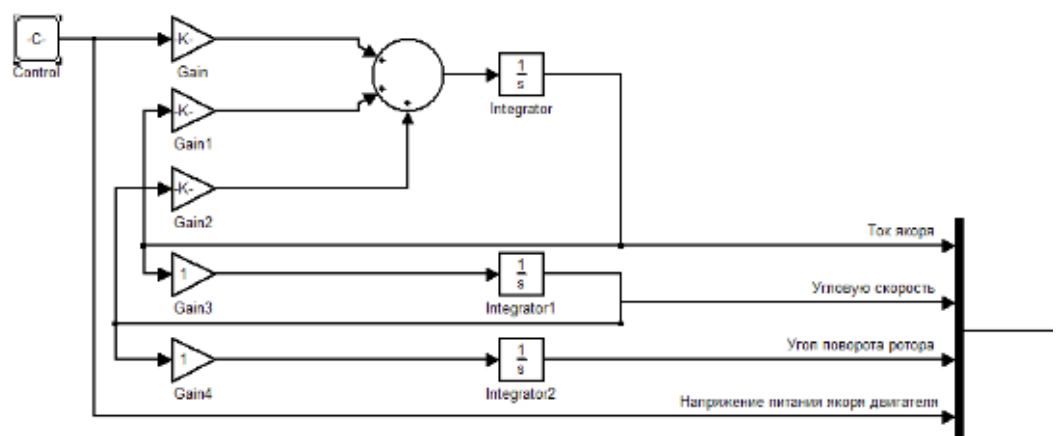


Рисунок 2.6- Структурная схема визуализации параметров принтера

Окно визуализатора представлено на рисунке 2.7.

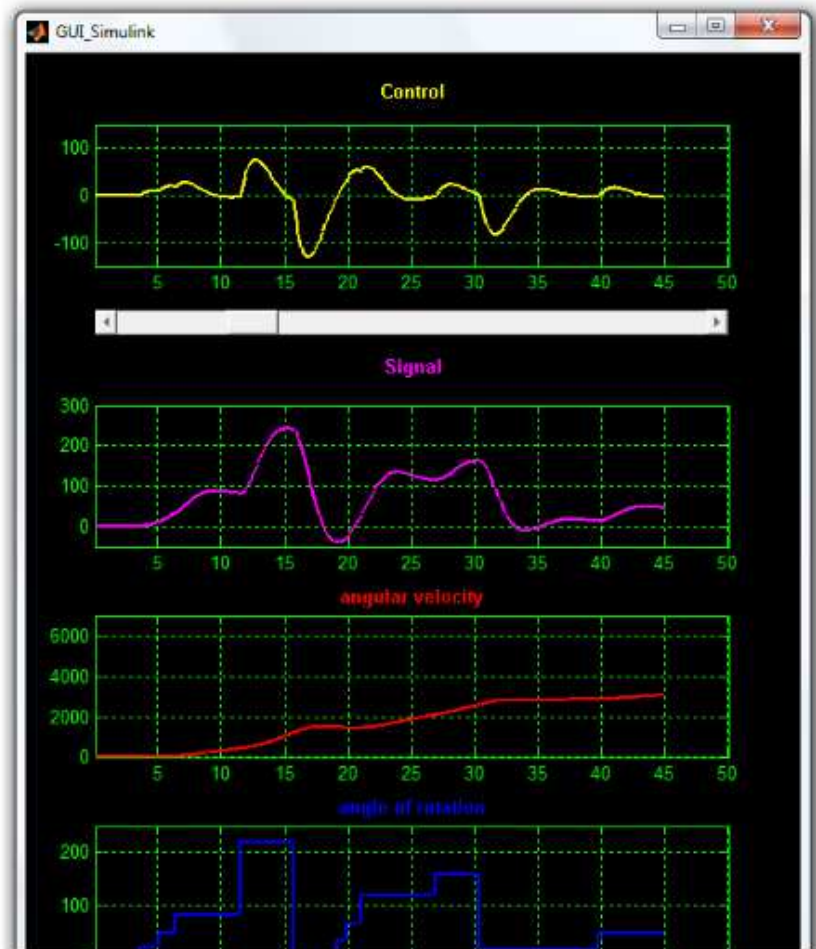


Рисунок 2.7 - Окно визуализатор, а параметров шагового двигателя

2.3 Имитационное моделирование позиционирования дорожного принтера

В современном проектировании к качеству и полноте информации об объекте предъявляются самые строгие требования. Особенно критично и трудновыполнимо соответствие этим требованиям в сложных проектах реконструкции и модернизации зданий и сооружений – одной из основных проблем является получение актуальной информации о текущем состоянии объекта. Во-первых, требуется проведение архитектурных обмеров. Но обмеры сложного объекта могут не просто затянуться на долгие недели, растягивая проектный бюджет и сроки, но и быть неточными и неполными, если доступ к определённым частям объекта был затруднен. Во-вторых, создание комплекта

чертежей, отражающих фактическое состояние конструкций – также длительный и трудоемкий процесс, особенно, если будут производиться домеры и последующие перерасчеты. Да, у объекта может быть действующая проектная документация, но она обычно далека от реальности. Эти проблемы успешно решаются современными технологиями обмерных работ, которые позволяют не только автоматизировать процесс сбора информации об объекте, но и предоставлять выходные данные в электронном формате. И наиболее точным из таких инструментов является лазерное сканирование.

На рисунке 2.8 приведен алгоритм создания 3D модели трассы, отличается от известных дополнением программного кода в среде Revit.

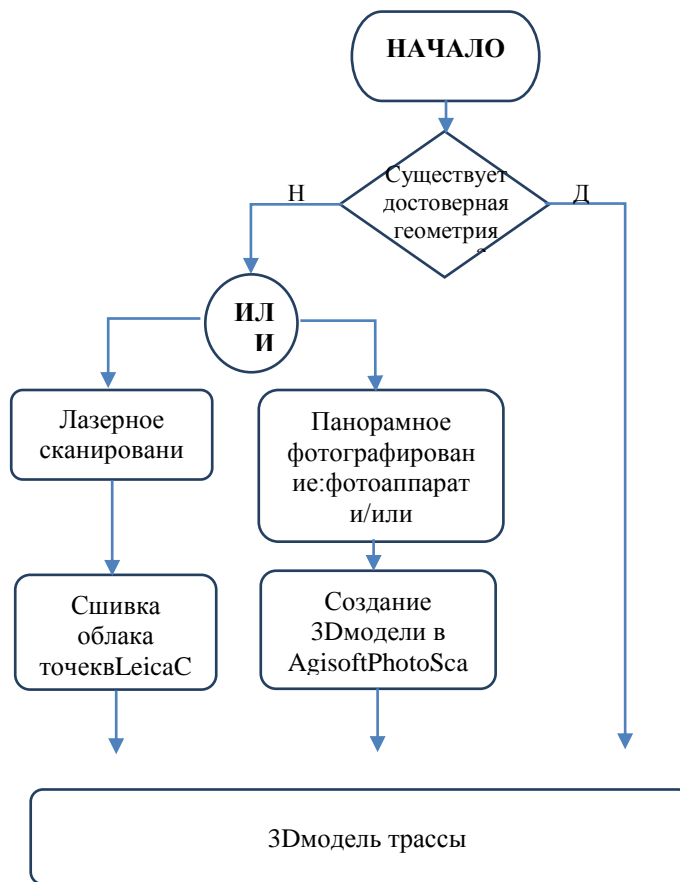


Рисунок 2.8 - Алгоритм создания 3D модели трассы

Программный код 3D модели трассы:

```

// Microsoft Visual C++ generated resource script.
//
#include <windows.h>
#include "resource.h"
#define APSTUDIO_READONLY_SYMBOLS
////////////////////////////////////
//
// Generated from the TEXTINCLUDE 2 resource.
//
#include "afxres.h"
////////////////////////////////////
#undef APSTUDIO_READONLY_SYMBOLS
////////////////////////////////////
// Russian resources
#if !defined(AFX_RESOURCE_DLL) || defined(AFX_TARG_RUS)
#ifdef _WIN32
//LANGUAGE LANG_RUSSIAN, SUBLANG_DEFAULT
#pragma code_page(1251)
#endif // _WIN32
////////////////////////////////////
//
// Dialog
//
/* DO NOT EDIT WITH RESOURCE EDITOR! */
IDD_MAINDLG DIALOGEX 0, 0, 217, 184
STYLE DS_SETFONT | DS_FIXEDSYS | DS_CENTER | WS_MINIMIZEBOX |
// DS_3DLOOK | WS_CLIPCHILDREN |
    WS_MAXIMIZEBOX | WS_CAPTION | WS_SYSMENU |
    WS_THICKFRAME
CAPTION "Панель управления PLCM-E3"

```


FONT 8, "MS Shell Dlg", 400, 0, 0x1

Для создания 3D модели трассы использовано лазерное сканирование – измерительная геодезическая технология, позволяющая создать цифровую трехмерную модель объекта, представив его множеством точек (обычно несколько миллионов) с пространственными координатами. Технология основана на использовании лазерного сканера, измеряющего координаты точек поверхности объекта. Полученный набор точек называется «облаком точек» и впоследствии может быть представлен в виде трехмерной модели объекта, плоского чертежа, набора сечений, поверхности и т.д. для экспорта и работы в BIM-технологиях. Сканирование территории проводилось лазерным сканером с определением пространственных координат точек объекта. Метод определения координат точек объекта в системе координат сканирования приведен на рисунке 2.9.

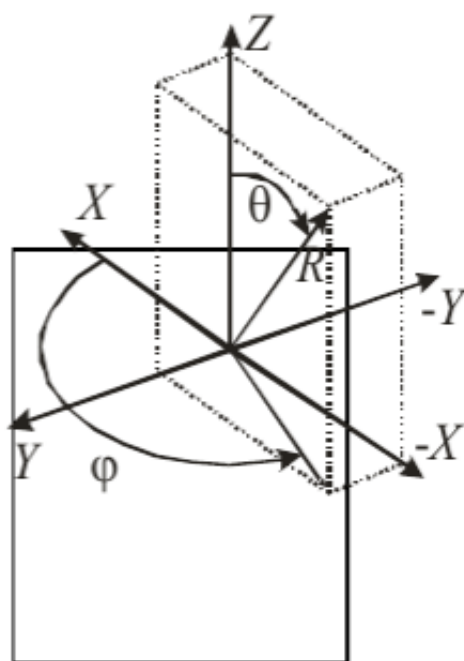


Рисунок 2.9 - Определение координат точек объекта в системе координат сканирования

В соответствии с расчетной схемой (рисунок 2.9) использовалась математическая модель оценки точности сканирования:

$$G(\Omega, T, K) = \int_0^{+\Omega} \int_0^{+T} \int_0^{+k} [(f_{инстр}(\omega, \tau) f_{окр.ск.}(\omega) f_{метр}(\omega) f_{ориен}(\omega, \tau, k) f_{обр}(\omega, \tau, k) + I(k) + (\eta(\omega, \tau, k))] d_{\omega} d_{\tau} d_k,$$

где $f_{инстр}(\omega, \tau, k)$, - функция, характеризующая инструментальную точность и скорость сканирования конкретного сканера;

$f_{окр.ск.}(\omega)$, - функция, описывающая влияние окружающей среды на точность проводимых измерений НЛС;

$f_{метрол}(\omega)$, - функция, описывающая влияние метрологических свойств объектов съемки на точность результатов сканирования;

$f_{обр}(\omega)$, - функция, характеризующая способ, режим и допуски при обработке данных наземного лазерного сканирования;

$f_{окр.ск.}(\omega)$, - функция, описывающая влияние окружающей среды на точность проводимых измерений НЛС;

I_k , - функция, отражающая информационную емкость данных наземного лазерного сканирования;

$\eta(\omega, \tau, k)$ - функция, учитывающая упрощения и округления результатов расчетов.

Для создания виртуального облака точек заложен алгоритм ICP (Итеративный алгоритм ближайших точек), описанный Besl and McKay [1].

Данный алгоритм состоит из трех основных шагов:

- 1) Для каждой точки в исходном облаке точек, находят ближайшую точку в облаке опорных точек (критерий ближайшего соседа);
- 2) Оценка параметров преобразования с помощью функции среднеквадратичной стоимости (вычисление преобразования (смещение +

поворот), которая наилучшим образом выровняет каждую исходную точку по ее совпадению, найденному на предыдущем шаге.

3) Применение рассчитанного преобразования по множеству и обновление среднеквадратичной ошибки.

Одной из основных проблем алгоритма ICP является ограничение области сходимости. Алгоритм работает только при условии, что облака точек не сильно сдвинуты друг относительно друга. Решением этой проблемы занимался Велижев А.Б., который предложил для трехмерных моделей, имеющих вексельное представление, дополнить исходный алгоритм следующими этапами [5]:

- оценка векторного сдвига;
- оценка матрицы угловой ориентации.

В настоящей работе разработана программа, реализующая совмещение нескольких сканов одного и того же объекта, а также проверка работоспособности алгоритма, приведенного в [5] при использовании различных исходных данных.

При разработке области сходимости использовать следующие программные средства:

- С++ – компилируемый, статически типизированный язык программирования, поддерживающий большинство парадигм программирования;
- кросс платформенная библиотека PCL(Point Cloud Library), позволяющая работать с 2D-и 3D-графикой, имеет большой пакет документации, работает с реализацией стандартного алгоритма ICP;
- библиотека OpenMP
- библиотека для языков программирования C, C++, позволяющая запускать параллельно участки кода на многопроцессорных системах.

Полученное плотное облако точек загружено в 3D редактор (ПО Autodesk Revit) на которое нанесено напольное изображение, (рисунок 2.10).



Рисунок 2.10 – Совмещение виртуального облака точек территории и напольного рисунка, полученного через программу Autodesk Revit

С точки зрения технологии проект был реализован за 3 шага:

- 1) Сканирование здания и получение облака точек
- 2) Формирование модели существующих конструкций
- 3) Непосредственно проект реконструкции

Для обработки, геопривязки и “сшивки” данных со станций сканирования был использован программный комплекс Cyclone-REGISTER от Leica Geosystems. Дополнительно, на этом этапе из полученного «облака точек» с помощью Leica TrueView была сформирована карта сферических панорам объекта. Она позволяет просматривать панорамы с любой станции сканирования, а также проводить замеры, оставлять аннотации и пр., что упрощает взаимодействие с заказчиком и командную работу в рамках проекта.

Полученное при помощи Cyclone-REGISTER «облако» было экспортировано в программный продукт Autodesk ReCap для дальнейшей обработки. Autodesk ReCap содержит множество настроек для управления «облаком» (удаление точек, подсвечивание, редактирование интенсивности цветового отображения и пр.) и позволяет добиться необходимого уровня детализации для построения BIM-модели.

Для построения модели облегченное облако точек было загружено в Autodesk Revit. Для упрощения работы применялся плагин Leica CloudWorx for Revit, который ускоряет моделирование объекта за счет инструментов распознавания конструкций, работы с фрагментами «облака точек» при создании 2D и 3D чертежей и др. Благодаря ему было сэкономлено время на построение многих объектов. Также применялось построение конструкций ориентируясь непосредственно на «облако» как на трехмерную подложку. Это наиболее простой и безотказный способ, хоть и более трудоемкий. Были построены обмерные чертежи всех фасадов здания, поэтажные планы, выполнены все необходимые разрезы по основным осям. Уникальной особенностью работы по «облаку» является отсутствие довыездов на объект и домеров. Все недостающие измерения проводились с помощью сферических панорам в Leica TrueView.

Для реконструкции в Autodesk Revit есть очень полезный инструмент «Стадии». Он позволяет задать в проекте ключевые этапы работ и привязывать к ним возведение и снос объектов. Таким образом, в одном файле формируется полноценная BIM-модель всех видов работ, с точной документацией, спецификациями и пр. Все существующие объекты получают стадию возведения «Существующие», и при необходимости демонтажа в свойствах указывается снос. Все возводимые объекты создаются на «Новой конструкции». Это дает возможность не только делать документацию на разные стадии, но и получать спецификации, трехмерные виды с любыми настройками отображения элементов.

Благодаря BIM-модели, полученной путем лазерного сканирования и обработки, можно производить реконструкцию и модернизацию с миллиметровой точностью. А использование новейших программных продуктов и методик работы позволило существенно увеличить производительность при ее создании. «Совместное использование лазерного сканирования и BIM-технологий — это не просто ускорение работы в несколько раз, это совершенно другой, качественно более высокий и

эффективный уровень проектирования и взаимодействия всех участников проекта, это работа с точнейшими данными и информационной моделью любого уровня детализации”

На рисунке 2.11 приведена 3D модель принтера, построенная в программе Autodesk Revit.

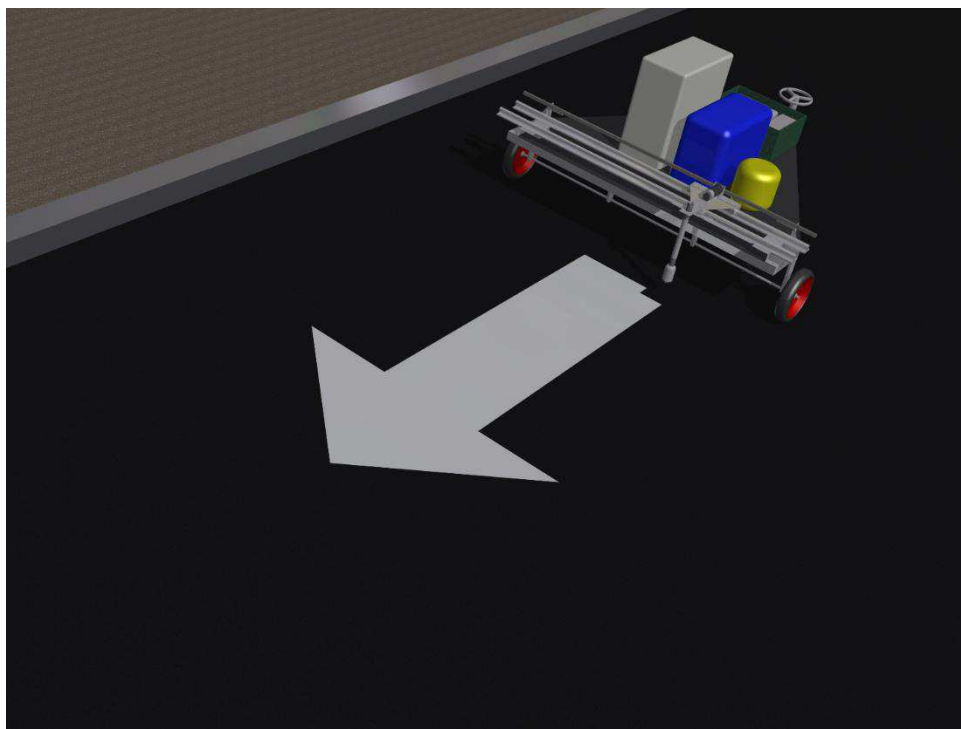


Рисунок 2.11 - 3D модель принтера, построенная в программе Autodesk Revit

2.4 Моделирование системы позиционирования напольного принтера

Позиционирование напольного принтера по изображению реализуется системой технического зрения с вперед смотрящей видеокамеры. Алгоритм обработки запоминает изображение при тестовом проезде, выполняемом в режиме ручного управления, а в дальнейшем, при автоматическом движении, сопоставляет сохранённые изображения и увиденные в момент перемещения, находя расхождения - корректирует путь движения, с целью максимального

приближения текущей траектории движения к ране пройденной. Реализация этого решения позволяет получать точность определения текущего местоположения с ошибкой отклонением от истинного, менее одного сантиметра. Управление принтером выполнялось по термальным маркерам.

Основные особенности навигации по ориентирам:

- а) навигация по природным маякам требовательна к постоянству окружающей обстановки;
- б) навигация по искусственным маякам – недорогая и может обладать дополнительными информационными кодерами;
- в) максимальное расстояние между роботом и ориентиром значительно меньше, чем в системах с активными маяками;
- г) точность позиционирования зависит от расстояния и угла между роботом и ориентиром;
- д) необходима большая вычислительная мощность, чем в системах с активными маяками;
- е) внешние условия (такие как освещенность) могут быть причиной ошибок таких как: ориентир не может быть распознан, или некоторый объект ошибочно принят за ориентир;
- ж) в навигации по ориентирам требуется, чтобы робот знал свое примерное начальное положение для того, чтобы он знал где искать ориентиры. Если это требование не выполнено, то, очень часто, в систему включают функцию «всеохватного» поиска;
- з) база данных маяков и их расположения в пространстве должна все время поддерживаться.

Алгоритм позиционирования принтера приведен на рисунке 2.12.

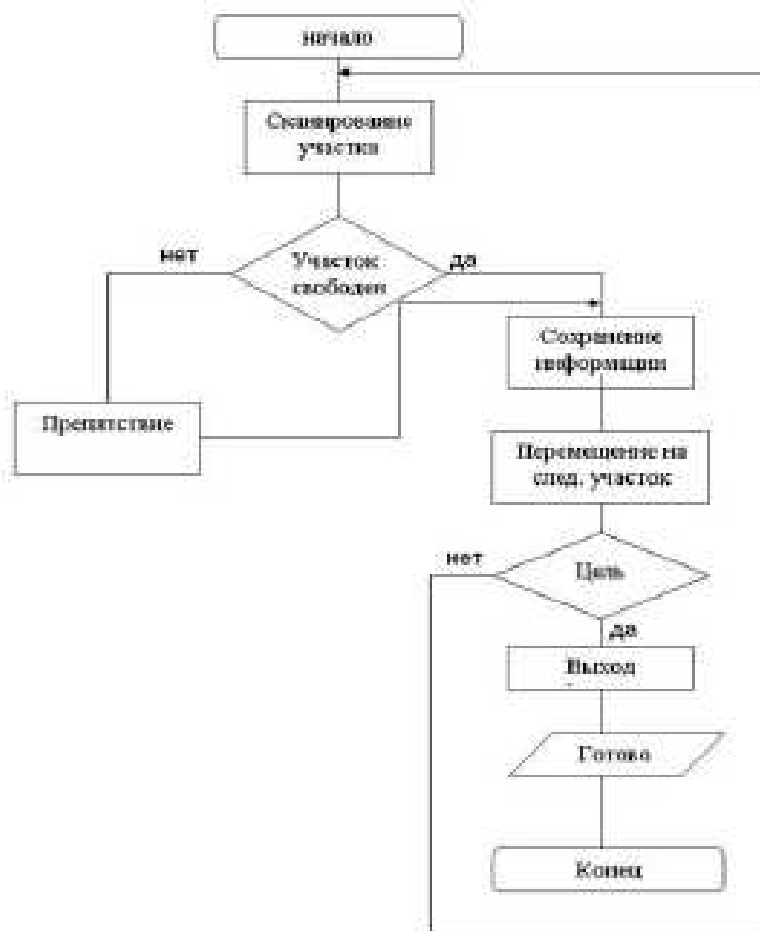


Рисунок 2.12 - Алгоритм позиционирования принтера

Метод позиционирования принтера основан на использовании технического зрения. Этот метод считается одним из самых перспективных методов, обеспечивающих преобразование данных, которые поступают с изображений метки по обочине дороги.

На рисунке 2.13 приведена схема позиционирования дорожного принтера в декартовых координатах.

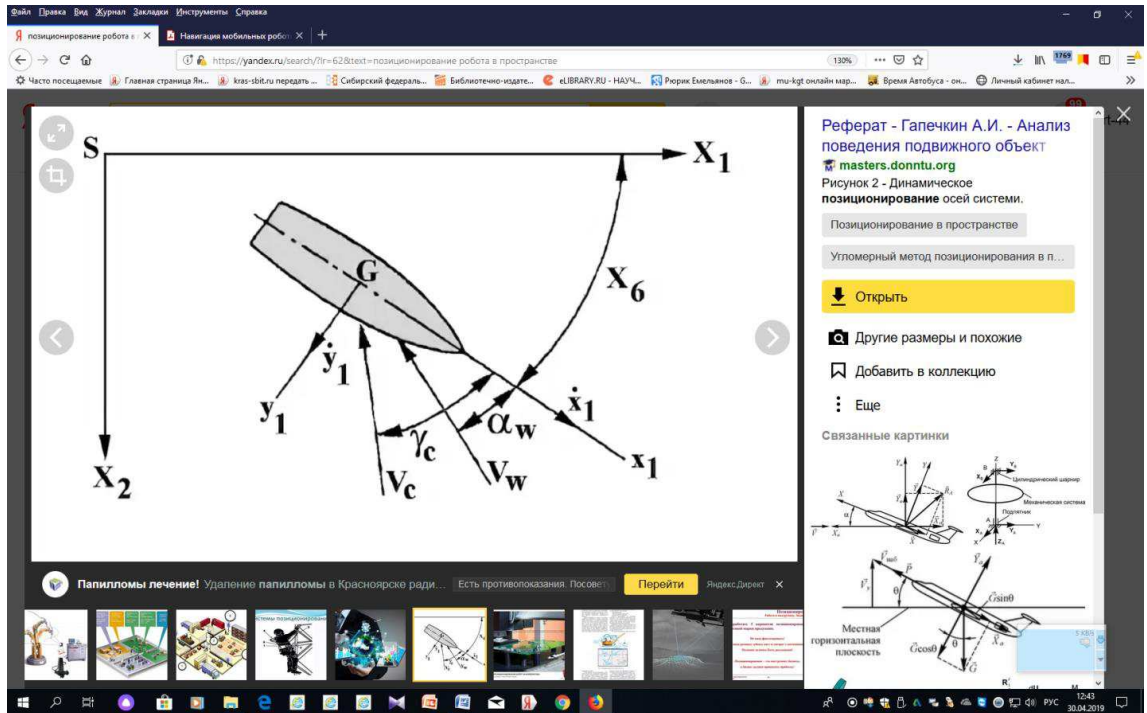


Рисунок 2.13 - Схема позиционирования дорожного принтера в декартовых координатах.

На современном этапе особенно широкое развитие получили методы автоматического построения символического представления изображений в различных системах для распознавания изображений и совершенствования компьютерного зрения на основании применения способов машинного обучения. Прогресс в сфере компьютерного зрения определяют двумя факторами: развитием теории и совершенствованием методов, а также развитием аппаратного обеспечения. Если компьютерным зрением называют общий набор определённых методов, которые позволяют компьютерам видеть, то область интереса системы технического зрения являются различные цифровые устройства для вывода либо ввода и компьютерные сети, которые предназначены для совершенствования контроля за производимыми процессами.

Техническое зрение связано со сферой вычислительной техники, оптики, машиностроения и промышленной автоматизации. Особенности систем

технического зрения состоят в их запрограммированности на узкоспециализированные задачи, которые сложно выполнять людям из-за их однообразия. Техническое зрение является процессом применения технического и компьютерного зрения в дорожном строительстве и разметке дорог, а также при определении степени их износа. Типичные современные решения систем технического зрения в процессе контроля износа дорожной разметки включают в себя обычно такие компоненты, как:

- 1) Цифровые или аналоговые камеры с необходимой оптикой, обеспечивающей получение изображений;
- 2) Интерфейс, изготавливающий изображения для обработки;
- 3) Процессор;
- 4) Система программного обеспечения технического зрения;
- 5) Оборудование для вывода и ввода или же каналы связи, отображающие полученные результаты;
- 6) «Умная» камера;
- 7) Объективы для фокусирования требуемого поля зрения на формирователи изображений;
- 8) Наличие специализированных источников света;
- 9) Приложения систем программного обеспечения, обеспечивающие обработку изображений и обнаружение соответствующих свойств;
- 10) Датчик по синхронизации различных частей обнаружения, захватывающий и обрабатывающий;
- 11) Изображения;
- 12) Различные приводы определенных форм.

Формально модель системы визуального управления определяется следующим образом (рисунок 2.14.).

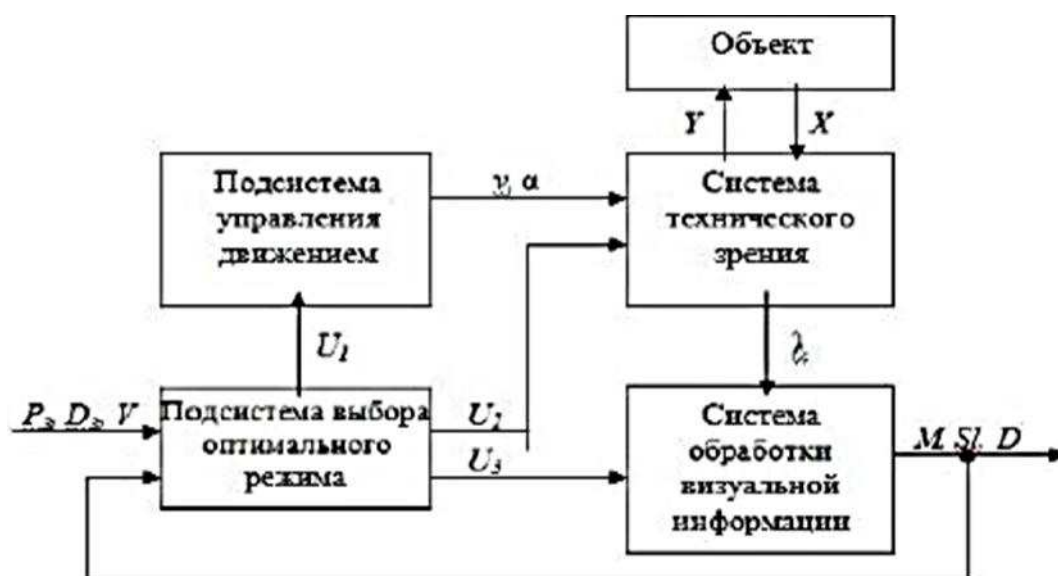


Рисунок 2.14 - Схема управления процессом технического зрения для напольного принтера при выполнении дорожной разметки

Как видно из рисунка 2.14 в состав модели входят:

- объект управления (работ);
- общая система компьютерного и технического зрения работа;
- подсистема выбора оптимального режима управления;
- система обработки визуальной информации;
- подсистема управления движением.

СВХ с помощью камеры получает информацию об объектах рабочей зоны работа. Система обработки визуальной информации обеспечивает определение расстояние объектов рабочей зоны работа и их отдельные характеристики (линейные размеры, центры масс и т.д.)

Данная сфера еще недостаточно изучена в области процесса нанесения дорожной разметки, а именно роботизация данного процесса, возможно проведя дополнительные исследования можно будет обстоятельно использовать данную технологию при непосредственном нанесении дорожной разметки.

Типы схем управления представлены на рисунок 2.15.

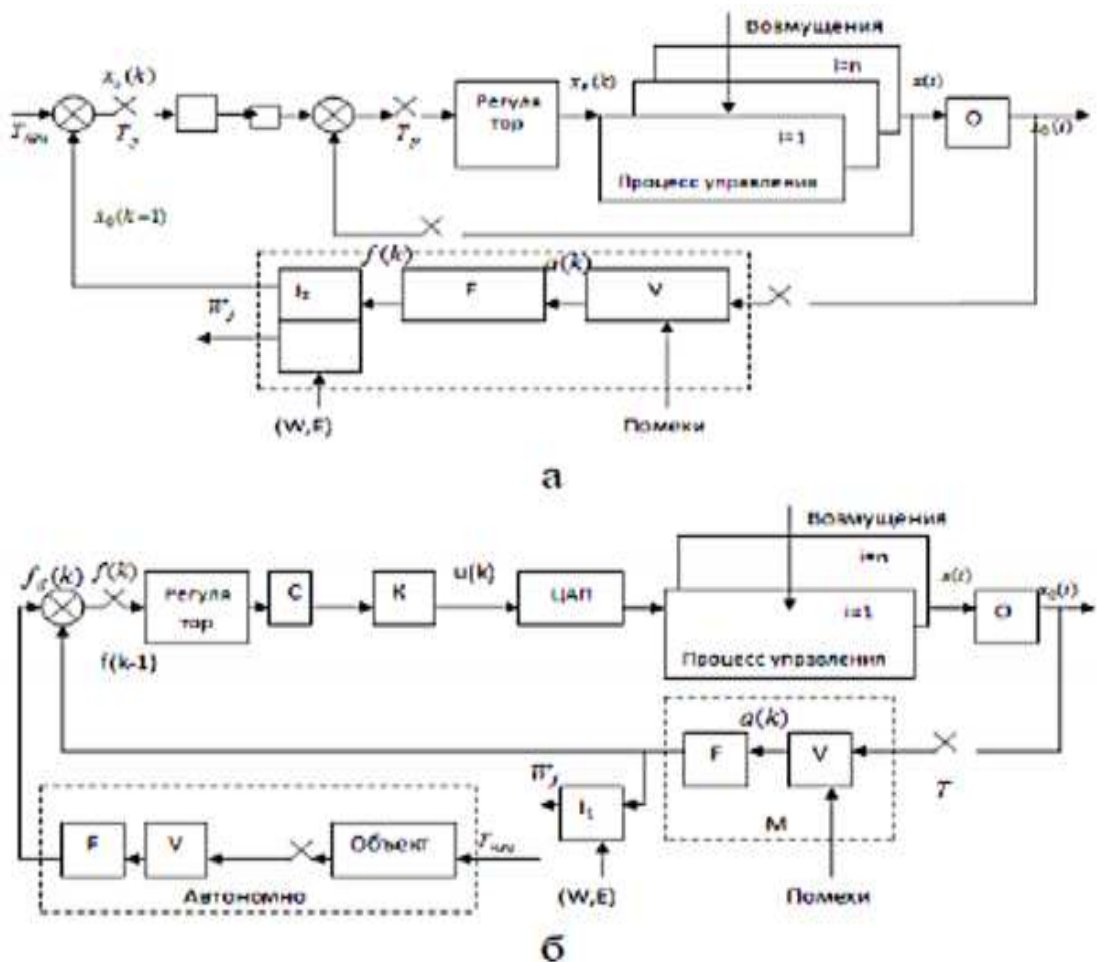


Рисунок 2.15 – Типы схем управления: а) статистического – по принципу «наблюдение – перемещение»; б) визуального – согласно обратной связи по образу.

Характерной для принтера является задача перемещения с начальной точки рабочего пространства в конечную. Задача решается с учётом положения принтера в пространстве. Так как принтер может менять свое положение, - это может негативно влиять на выполнение поставленных задач, поскольку на пути движения могут возникать неровности, которые влияют на точность позиционирования. Определение таких участков возможно с помощью компьютерного зрения. Таким образом, на основании визуальной информации принтер вычисляет место позиционирования.

Перед адаптивной визуальной системой ставятся следующие задачи:

- определение местоположения принтера в начальной позиции и при

перемещении;

- ориентация принтера в пространстве и относительно начальной точки;
- определение маркерных участков.

Практически данный подход будет реализован таким образом. Пусть имеется гибкий участок дороги, при этом над рабочей зоной работа расположена система технического зрения (web-камера) рисунок 2.16.

Задачей работы является перемещение из одной точки рабочей зоны в другую. С помощью СМС определяется расположение принтера, его ориентация определяется расположением объектов рабочей зоны, где оказываются посторонние предметы, а также появляются неровности участка траектории. Анализ рабочей зоны позволяет выбирать оптимальный путь движения принтера для достижения конечной точки.

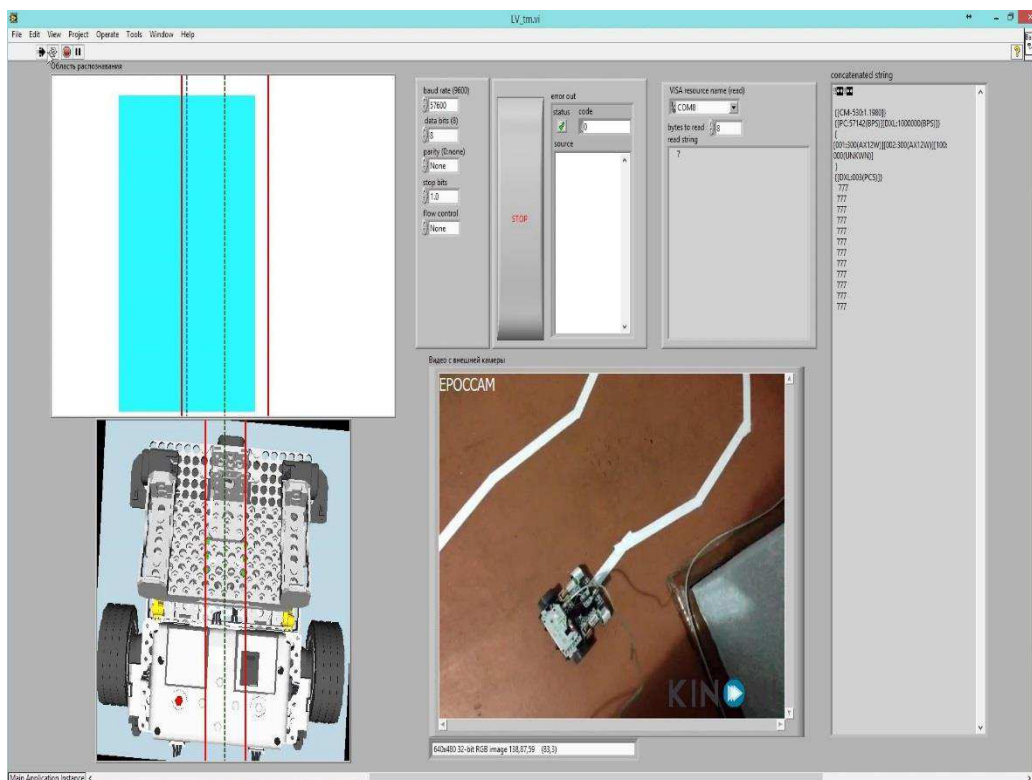


Рисунок 2.16 - Условная схема рабочей зоны

Характеристика движения модели представлена на рисунке 2.17

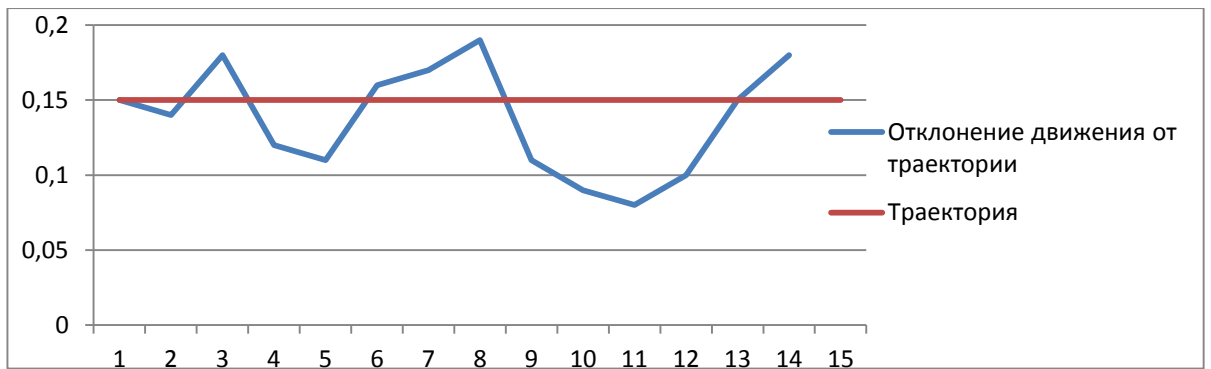


Рисунок 2.17 – Характеристика движения принтера

При движении принтера возможно проскальзывание колеса. Излом при проскальзывании колеса может быть вызван плохим сцеплением или препятствием в виде камней (рисунок 2.18).

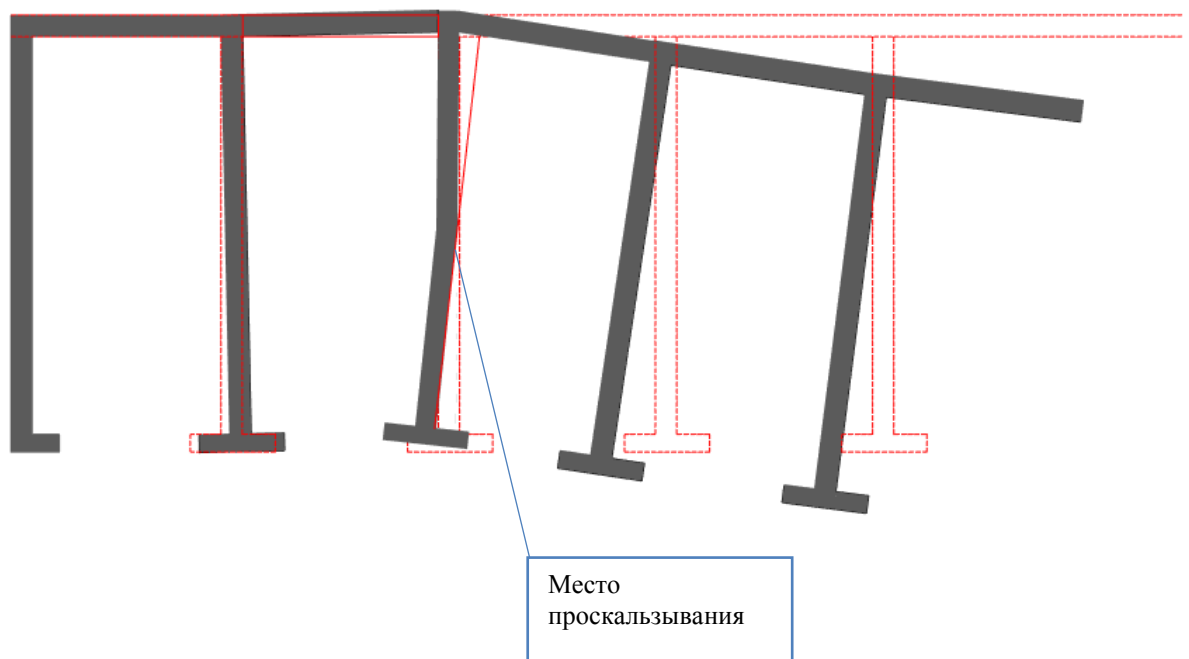


Рисунок 2.18 – Проскальзывание колеса принтера

Для получения траектории движения дорожного принтера необходимо разработать программу позиционирования в виде G-Code:

close all

clear all

```
RGB = imread('arrow.png');  
I = rgb2gray(RGB);  
level = graythresh(I);  
BW = im2bw(I);  
figure, imshow(BW)  
[n, m] = size(BW);
```

Выводы

Результаты проведенных исследований движения макета принтера по заданной траектории имеет отклонение менее 5% от эталона на 0,1 м пройденного пути, что говорит о перспективности внедрения.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДОРОЖНОГО ПРИНТЕРА

Целью экспериментальных исследований является определение действительных значений параметров принтера для нанесения дорожной разметки, оценки статистических характеристик возмущающих воздействий оборудования и подтверждения математических моделей рабочих процессов агрегата.

Основные задачи заключались в определении динамических характеристик колебательного процесса агрегата, силового взаимодействия шаговых двигателей с рабочим оборудованием принтера. Эти параметры определялись при варьировании величин внешней нагрузки и конструктивных решений узлов принтера.

3.1 Методика экспериментальных исследований

Исследование рабочих процессов дорожного принтера проводилось путем:

- проведения лабораторных испытаний автоматизированной системы управления дорожным принтером;
- экспериментальных исследований процесса нанесения дорожной разметки.

Лабораторные испытания проводились на агрегате, приведенном на рисунке 3.1. Новизна дорожного принтера защищена патентом № 474486 [2].

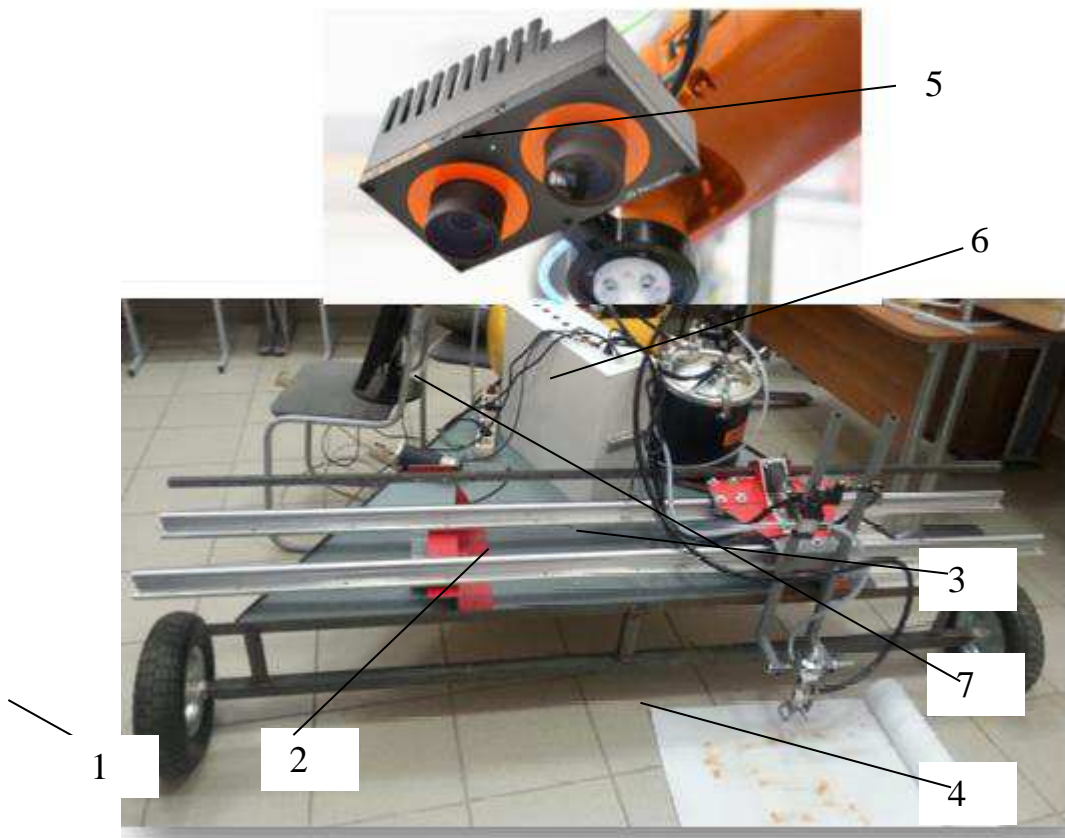


Рисунок 3.1 – Общий вид лабораторного оборудования:

1 – ходовая тележка; 2 – направляющие; 3 – подвижная каретка; 4 – форсунка; 5 – веб камера; 6 – емкость с краской; 7 – устройство управления

На рисунке 3.2 приведена функциональная схема управления дорожным принтером.

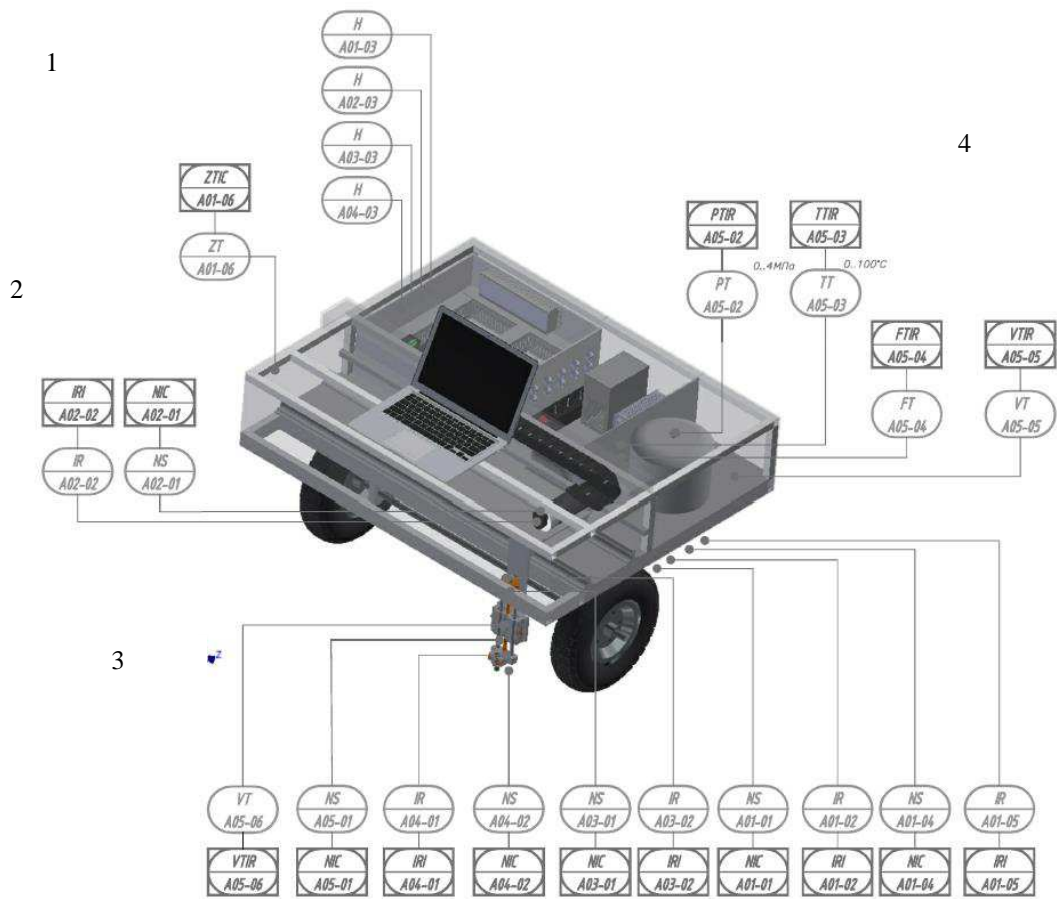


Рисунок 3.2 – Функциональная схема управления принтером: 1 – тележка; 2 – каретка; 3 –форсунка; 4 – подача краски

В таблице 3.1 приведены параметры измеряемых систем.

Таблица 3.1 – Измеряемые параметры

<i>Позиция</i>	<i>Измеряемые параметры</i>	<i>Диапазон</i>	<i>Единица измерения</i>	<i>Описание</i>
A01-01	NS			Управление шаговым двигателем движения
A01-02	IR			Измерение силы тока шагового двигателя движения
A01-03	H			Включение шаговых двигателей движения и поворота колеса
A01-04	NS			Управление шаговым двигателем поворота колеса
A01-06	ZT			Контроль положения GPS
A02-01	NS			Управление шаговым двигателем каретки
A02-02	IR			Регистрация силы тока шагового двигателя каретки
A02-03	H			Включение шагового двигателя каретки
A03-01	NS			Управление шаговым двигателем регулирования высоты головки
A03-02	IR			Измерение силы тока шагового двигателя регулирования высоты головки
A03-03	H			Включение шагового двигателя регулирования высоты головки
A04-01	IR			Измерение силы тока шагового двигателя поворота головки
A04-02	NS			Управление шаговым двигателем поворота головки
A04-03	H			Включение шагового двигателя поворота головки
A05-01	NS			Управление клапаном подачи краски
A05-02	PT	0..4	МПа	Измерение давления краски
A05-03	TT	0..100	°C	Измерение температуры краски
A05-04	FT			Измерение расхода краски
A05-05	VT			Измерение вибрации корпуса
A05-06	VT			Вибрация головки

Для измерения колебаний тележки принтера применялся акселерометр (рисунок 3.3).

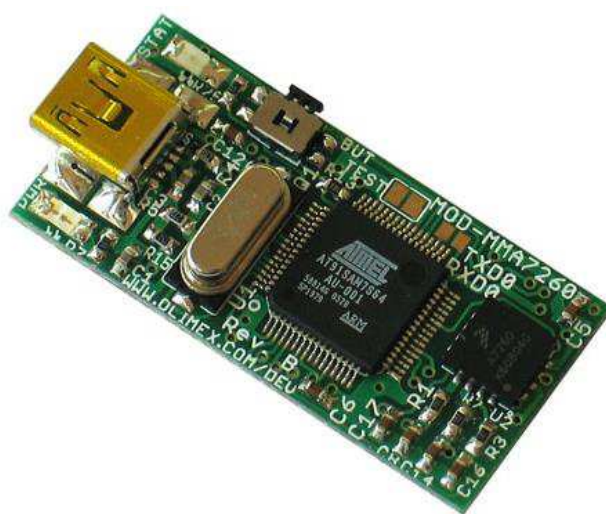


Рисунок 3.3 - Цифровой акселерометр Analog Devices USB серии ADXL326

3.2 Результаты лабораторных исследований

Структурно-логическая схема лабораторных исследований приведена на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Структурно-логическая схема экспериментальных исследований

В таблице 3.2 приведена матрица испытаний напольного принтера

Таблица 3.2 – Матрица испытаний

Номер эксперимента	Двигатель хода	Двигатель печати	Питание контроллера к которому подключены датчики	Примечание
Двигатели на холостом ходу				
А - датчик вибрации на двигателе хода				
<u>A1</u>	откл	откл	Компьютер	
<u>A1.1</u>	откл	откл	БП	
<u>A2</u>	вкл	откл	Компьютер	
<u>A2.1</u>	вкл	откл	БП	
<u>A3</u>	откл	вкл	Компьютер	
<u>A3.1</u>	откл	вкл	БП	
<u>A4</u>	вкл	вкл	Компьютер	
<u>A4.1</u>	вкл	вкл	БП	
Б - датчик вибрации на корпусе принтера				
<u>B1</u>	откл	откл	Компьютер	
<u>B1.1</u>	откл	откл	БП	
<u>B2</u>	вкл	откл	Компьютер	
<u>B2.1</u>	вкл	откл	БП	
<u>B3</u>	откл	вкл	Компьютер	
<u>B3.1</u>	откл	вкл	БП	
<u>B4</u>	вкл	вкл	Компьютер	
<u>B4.1</u>	вкл	вкл	БП	
В - датчик вибрации на двигателе печати				
<u>V1</u>	откл	откл	Компьютер	
<u>V1.1</u>	откл	откл	БП	
<u>V2</u>	вкл	откл	Компьютер	
<u>V2.1</u>	вкл	откл	БП	
<u>V3</u>	откл	вкл	Компьютер	
<u>V3.1</u>	откл	вкл	БП	
<u>V4</u>	вкл	вкл	Компьютер	
<u>V4.1</u>	вкл	вкл	БП	

Окончание таблицы 3.2

Двигатели в движении				
Г	откл	вкл	компьютер	Площадка печати перемещалась в пределах от 0-45см Датчик вибрации установлен на площадке печати
Д	вкл	откл	компьютер	Принтер двигался Датчик вибрации установлен на двигателе хода
Е	вкл	вкл	компьютер	Запущена программа печати стрелки

На рисунках 3.5 – 3.7 приведены графики исследований вибрации напольного принтера.

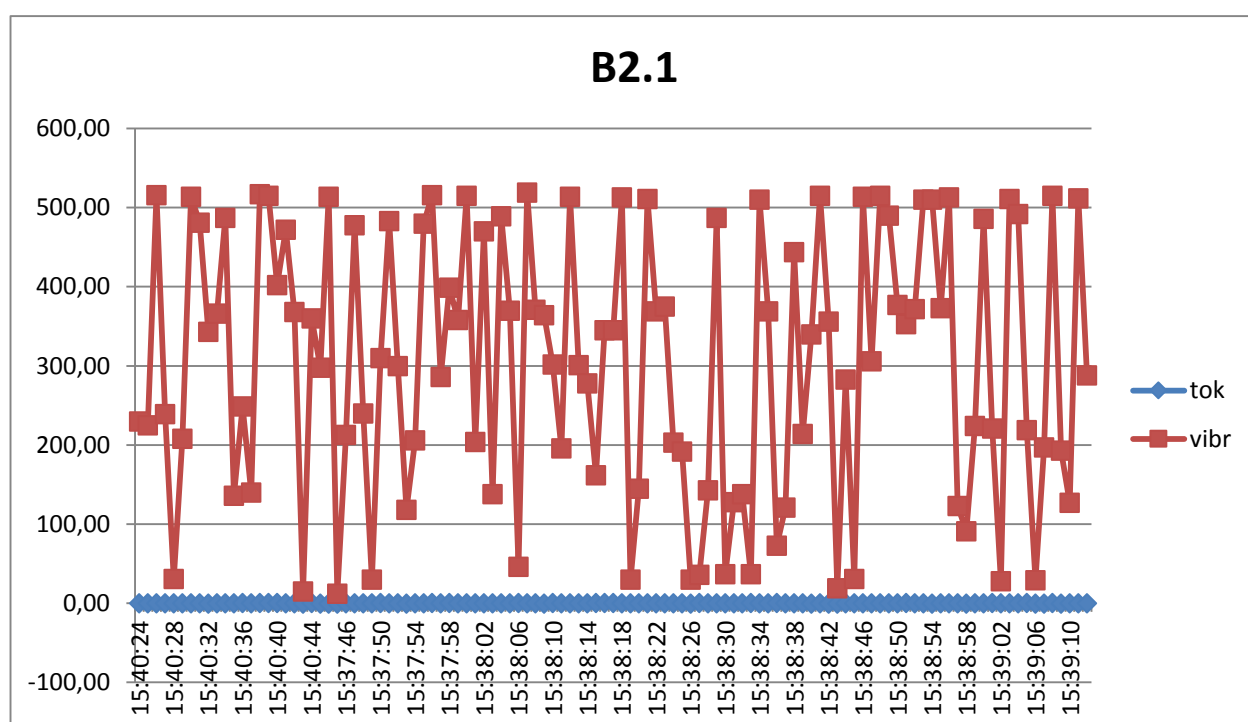


Рисунок 3.5 – График вибрации напольного принтера:
датчик на печати, ход выключен

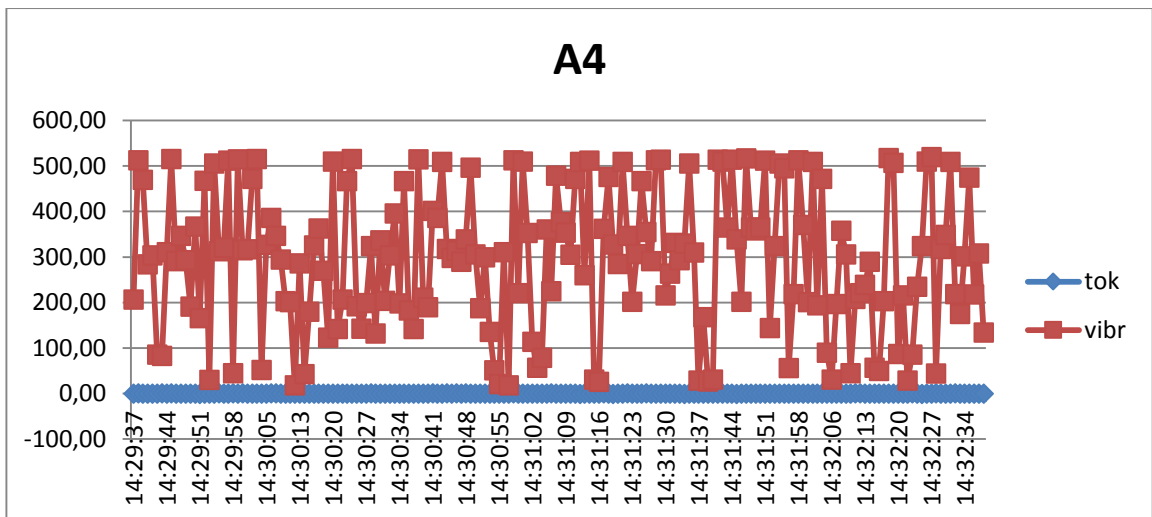


Рисунок 3.6 – График вибрации напольного принтера:
ход и печать включены

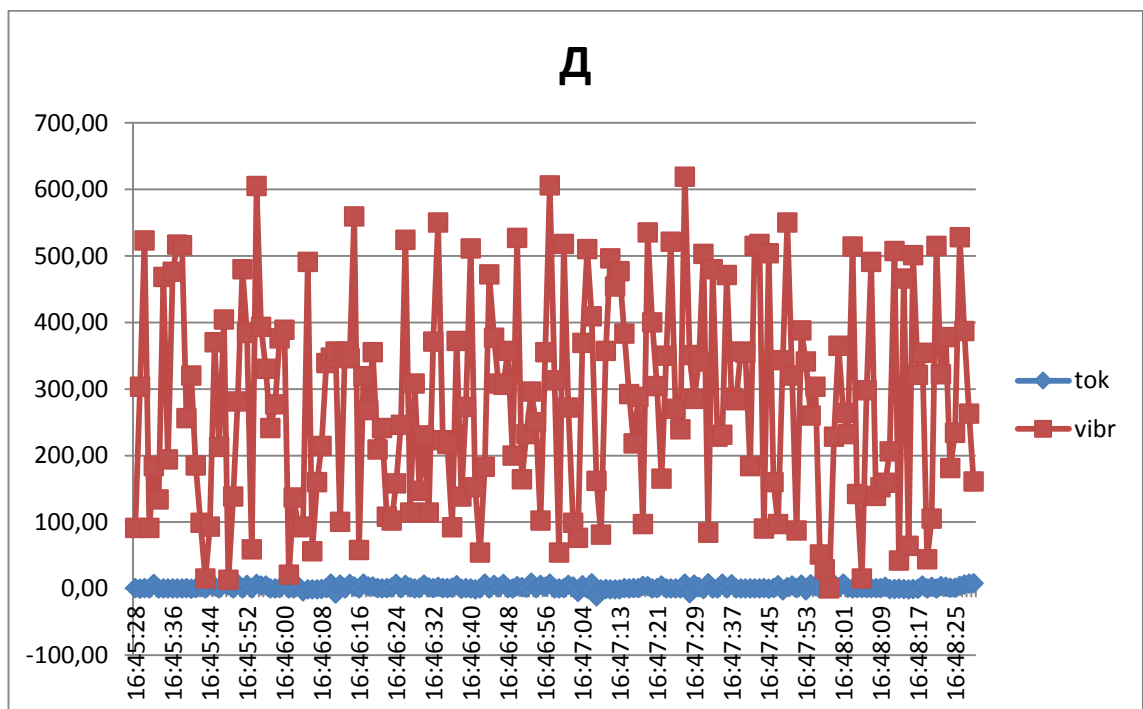


Рисунок 3.7 – График вибрации напольного принтера:
датчик на ходовой тележке, ходовая тележка перемещалась вперед, и ставилась
назад

Выводы

Результаты проведенных лабораторных исследований напольного принтера подтвердили адекватность математической модели с расхождением результатов не более 10%.

4 РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Управление дорожным принтером с помощью технического зрения

Полученная с помощью технического зрения информация используется для управления роботом в соответствии с одним из двух следующих принципов. Первый базируется на непрерывном (или квазинепрерывном) поступлении видеосигнала обратной связи для коррекции траектории движения рабочего органа робота. По этому принципу действуют сервосистемы, минимизирующие отклонения текущего состояния рабочего органа от желаемого, которое определяется по данным визуального наблюдения за целевым объектом. Второй принцип основан на вводе информации в устройство управления робота дискретными порциями. Каждая такая порция служит для выработки программных движений на очередной интервал времени, в течение которого робот перемещается в следующее целевое положение «вслепую», т. е. без непрерывной визуальной обратной связи. Каждый из указанных принципов использования видеоинформации для управления роботами имеет свою сферу применения. Так, адаптивные сварочные роботы, визуально определяя стык свариваемых деталей, корректируют движение головки вдоль шва при непрерывном поступлении сигнала обратной связи. Такой способ находит применение при взятии движущихся деталей с конвейера, слежении за полосой, направляющей движения мобильного робота и т. п. Хотя такие системы несомненно, перспективны, до сих пор намного шире распространены СТЗ, основанные на втором из описанных выше принципов «целуказании». Рассмотрим несколько подробнее методы использования зрительной информации в таких системах. В простейшем случае по результатам работы СТЗ на основании априорно указанных условий принимается решение только о запуске или останове (прерывании) заранее заданной программы действий робота, уходе на ту или иную жесткую

подпрограмму, изменении последовательности выполнения команд управляющей программы, полная информация о каждой из которых должна быть внесена в управляющее устройство еще до начала работы робота. В работе используется передача данных, основанная на втором принципе (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 –Функциональная схема передачи данных

4.2 Оценка эффективности применения технического зрения

Для оценки процесса реализации проекта необходимо составить линейный график, исполнителями являются научный руководитель (НР) и студент (С). Для каждого из выделенных этапов определим его исполнителей и долю участия каждого из исполнителей в его выполнении. Полученные результаты сведем в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Перечень выполняемых работ с указанием доли участия исполнителей

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей, %
Постановка целей и задач исследований	Научный руководитель, студент	70/30
Анализ новых технических решений	Научный руководитель, студент	30/70
Разработка и утверждение технического задания	Научный руководитель, студент	30/70
Изучение основ программирования и технического зрения	Студент	
Подбор используемого оборудования	Студент	100
Разработка календарного плана	Научный руководитель, студент	20/80
Составление алгоритма работы	Научный руководитель	30/70
Выбор методов технического зрения	Студент	100
Оформление расчетно-пояснительной записки	Студент	100
Подведение итогов	Научный руководитель	100

Первым этапом является анализ предметной области, с последующими выводами о том, какие цели и задачи нужно поставить. Так же производится четкое распределение нагрузки и обязанностей между научным руководителем и студентом. По окончании изучения всех предложенных материалов, необходимых для достижения поставленной цели, студент просматривает дополнительные источники и предлагает максимально детальный план работ. Данный план корректируется и подтверждается в последствие научным руководителем. Основными пунктами данного плана являются задачи, прописанные предварительно студентом. Второй этап подразумевает просмотр уже реализованных проектов, в данной области. Сравнение реализованных решений помогает более взвешенно подобрать оборудование, программное

обеспечение и выбрать алгоритмы работы системы. Результатом третьего этапа станут технические требования к разрабатываемой системе управления, в частности к её функционалу. Так же обоснование целесообразности и актуальности разработки. Результатом выполнения четвертого этапа является глубокое понимание вопроса по изучаемой тематике, подбор нужного материала для исследования, выбор необходимого программного обеспечения и определение направления последующей работы. Результатом выполнения пятого этапа является подбор необходимого оборудования. В данном случае осуществляется выбор камеры по таким параметрам, как фокусировка и разрешение объектива. Результатом выполнения шестого этапа будет календарный план, в котором содержится расписание выполнения всех видов деятельности по достижению цели - разработки технического зрения для системы управления сортировочным роботом. В седьмом этапе происходит формирование основных концепций и идей, закладываемых в создаваемую систему управления. Результатом выполнения является готовый алгоритм работы системы, который показывает, как происходит взаимодействие методов технического зрения с работой манипулятора. В восьмом этапе происходит подбор методов технического зрения и связывание их воедино. Результатом выполнения является программная реализация выбранных методов и отладка готовой программы. Девятый этап направлен на оформление всего изученного, смоделированного и изготовленного материала в текстовом формате для защиты и так же для продолжения исследований в данном направлении. На десятом этапе студент предоставляет свои результаты на оценку руководителю и получает обратную связь о проделанной им работе.

Произведем оценку минимального и максимального времени выполнения каждого из этапов. Рассчитаем ожидаемое время выполнения работ, воспользовавшись формулой

$$t_{ож} = \frac{2t_{max} + 3t_{min}}{5}$$

где $t_{ож}$ – ожидаемое время выполнения i -го этапа работ в чел.-дн.,
 t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.; t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.

Ожидаемое, минимальное и максимальное время исполнения в предложенной выше формуле, оцениваются в рабочих днях на человека. Произведем перевод этих величин в календарные дни, воспользовавшись следующей формулой

$$T_{ож} = T_{к} * T_{рд}$$

где $T_{рд}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{к}$ - коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле

$$T_{к} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вд} - T_{пд}}$$

где $T_{кал}$ – календарные дни ($T_{кал} = 365$);

$T_{вд}$ – выходные дни ($T_{вд} = 52$);

$T_{пд}$ – праздничные дни ($T_{пд} = 10$).

$$T_{к} = 1,48.$$

В свою очередь рабочие дни рассчитываются по следующей формуле

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} * K_{д}$$

Квн – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{вн} = 1$;

Кд – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{д} = 1– 1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Результаты расчетов представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Расчет трудозатрат на выполнение проекта

Этап	Исполнитель	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
		t_{min}	t_{max}	$t_{ср}$	$T_{рд}$		$T_{кд}$	
					НР	С	НР	С
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Постановка целей и задач исследования	НР, С	2	4	2,8	1,96	0,84	2,9008	1,2432
2. Анализ готовых технических решений (ТЗ)	НР, С	2	4	2,8	0,84	1,96	1,2432	2,9008
3. Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	С	4	7	5,2	1,56	3,64	2,3088	5,3872
4. Изучение основ проектирования и программирования систем автоматического управления	НР, С	40	50	44	0	44	0	65,12
5. Подбор используемого оборудования	НР, С	2	3	2,4	0	2,4	0	3,552
6. Разработка календарного плана выполнения работ	НР, С	2	4	2,8	0,56	2,24	0,8288	3,3152
7. Составление алгоритма работы системы управления	НР, С	10	15	12	3,6	8,4	5,328	12,432
8. Выбор методов технического	НР, С	14	20	16,4	0	16,4	0	24,272
9. Оформление расчетно-пояснительной	С	12	18	14,4	0	14,4	0	21,312
10. Подведение итогов	НР, С	3	5	3,8	3,8	0	5,624	0
Итого:				106,6	12,32	94,28	18,2336	139,5344

На основе данной таблице составим линейный график работ, представленный в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Линейный график работ

Этап	НР	С	Январь			Февраль			Март			Апрель			Май		
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	1120	130	140	150
1	2,91	1,24	■														
2	1,24	2,9	■	■													
3	2,31	5,39	■	■													
4	0	65,12		■													
5	0	3,55															
6	0,83	3,31															
7	5,33	12,43															
8	0	24,27															
9	0	21,31															
10	5,62	0															

НР – ■ С – ■

Выводы

В результате исследования была создана недорогостоящая и простая система Управления с использованием методов технического зрения, способная находить изделие в пространстве и производить его классификацию по определенно заданным признакам.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Диссертационная работа является законченной научно–исследовательской работой, содержащей научное обоснование, теоретические разработки и внедрение технических средств, обеспечивающих решение важной проблемы. Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

- 1) Разработана технология технического зрения дорожного принтера с элементами дополненной реальности;
- 2) Усовершенствованы имитационные модели позиционирования дорожного принтера в среде Matlab*SIMULINK;
- 3) Созданы 3D модели позиционирования принтера на дороге;
- 4) Определены трудозатраты на выполнение проекта от внедрения результатов работы.

Результаты исследований опубликованы в печати.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Ronald T. Azuma A Survey of Augmented Reality // In Presence: Teleoperators and Virtual Environments. – 1997. – № 4. – P. 355–385.
- 2 Visuohaptic Simulation of Bone Surgery for Training and Evaluation / Dan Morris, Christopher Sewell, Federico Barbagli // IEEE Computer Graphics and Applications. – 2006. – Vol. 26, № 6. – P. 48–57.
- 3 Evaluating the Benefits of Augmented Reality for Task Localization in Maintenance of an Armored Personnel Carrier Turret / Steve Henderson, Steve Feiner // Proceeding of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '09). – 2009. – P. 135–144.
- 4 Exploring Visuo-Haptic Mixed Reality/ Christian Sandor, Tsuyoshi Kuroki, Shinji Uchiyama, Hiroyuki Yamamoto // IEIC Technical Report (Institute of Electronics, Information and Communication Engineers). – 2007. – Vol. 106, №470. – P. 31–36.
- 5 Yan Guo, Qingyun Du, Yi Luo, Weiwei Zhang, Lu Xu Application of augmented reality GIS in architecture // International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2008. – Vol XXXVII, Part B5, Commission V. – P. 331–336.
- 6 Eric Foxlin Head-tracking relative to a moving vehicle or simulator platform using differential inertial sensors // Proceedings of Helmet and Head-Mounted Displays V, SPIE. – 2000. – Vol. 4021. – P. 133–144.
- 7 Гостев И.М. Методы идентификации графических объектов на основе геометрической корреляции // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2010. – Т. 41, вып. 1. – С. 49–94.
- 8 Bovik A.C. Handbook of Image and Video Processing. Academic Press, 2005.
- 9 E. Davies Machine Vision: Theory, Algorithms and Practicalities, Academic Press, 1990, Chap. 3.
- 10 R. Gonzalez and R. Woods Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, 1992, p 191.

- 11 Rosenthaler L. Digital Image Processing / Introduction, Digital representation of images, Histogram, Arithmetical operations, Geometrical transformations, Neighborhood operations.
- 12 Burdick H.E. Mc Graw-Hill Digital Imaging: Theory and Applications. 1997.
- 13 Xiang Zhang, Stephan Frönz, Nassir Navab. Visual Marker Detection and Decoding in AR Systems: A Comparative Study
- 14 <http://www2.layar.com>
- 15 <http://arnext.ru/dopolnennaya-realnost>
- 16 <http://yvek.ru/гаджеты/дополненная-реальность-google-glass/>
- 17 <http://zillion.net/ru/blog/236/dopolniennaia-rieal-nost-prostranstvo-miezhdu-rieal-nost-iu-i-virtual-nost-iu>
- 18 <http://venture-biz.ru/informatsionnye-tekhnologii/173-dopolnennaya-realnost>
- 19 <http://www.tusur.ru/filearchive/reports-magazine/2010-1-2/161-165.pdf>
- 20 <http://www.kursiv.kz/news/details/kompanii/Skolko-mozhet-zarabotat-Google-na-Glass/>
- 21 <http://www.xakep.ru/post/52409/>
- 22 [http://www.ideas-world.com/ru/news/show?title=Есть+ли+будущее+у+\"дополненной+реальности\"+%3F](http://www.ideas-world.com/ru/news/show?title=Есть+ли+будущее+у+\)
- 23 http://www.augmentedrealitytrends.com/augmented-reality/medical-augmented-reality.html?utm_source=feedburner&utm_medium=email&utm_campaign=Feed%3A+artrends+%28Augmented+Reality+Trends%29
- 24 Емельянов Р.Т. Дорожный принтер / А.С.Климов. А.В. Закурдаев, Л.В. Скурихин, О.Л. Климова, Е.С. Турышева / Патент на полезную модель №.153211 опубл. 10.06.2015, Бюл. №19.
- 25 Скурихин Л.В. Выбор шагового двигателя для дорожного принтера /Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных. Молодёжь и наука: проспект Свободный, Электронный ресурс <http://conf.sfu-kras.ru/mn2015/?q=направления-и-секции/строительство->

- формирование-среды-для-жизни-механизация-и-автоматизация.
- 26 Kohtz D. Messen, Steuern und Regeln mit PIC-Mikrocontrollern / D. Kohtz. – 4. Auflage. – Franzis Verlag GmbH, 2003. – 191 s.
- 27 Дискретный электропривод с шаговыми двигателями / Б.А. Ивоботенко и др. Под общ. ред. М.Г. Чиликина. – М.: Энергия, 1971. – 624 с.
- 28 Кобринский, А.А. Манипуляционные системы роботов / А.А. Кобринский, А.Е. Кобринский. – М.: Наука. глав. ред. физ.-мат. лит., 1985. – 344 с.
- 29 Остром, К. Системы управления с ЭВМ: Пер. с англ. / К. Остром, Б. Виттенмарк. Под ред. С.П. Чеботарева. – М.: Мир, 1987. – 480 с.
- 30 Jost R. Experimente mit Programmierbarer Logik / R. Jost. – Franzis Verlag GmbH, 2006. – 312 s.
- 31 Тихонов А.О., Цывинский М.М. Эволюция приводов на базе шаговых двигателей [Электронный документ] (<http://www.servotechnica.ru/catalog/>).
- 32 Bendjedia, M.; Ait-Amirat, Y.; Walther, B.; Berthon, A., "Sensorless control of hybrid stepper motor," Power Electronics and Applications, 2007 European Conference on , vol., no., pp.1,10, 2-5 Sept. 2007 doi: 1109/EPE.2007.4417444.
- 33 Bendjedia, M.; Ait-Amirat, Y.; Walther, B.; Berthon, A., "Position Control of a Sensorless Stepper Motor," Power Electronics, IEEE Transactions on , vol.27, no.2, pp.578,587, Feb. 2012 doi: 10.1109/TPEL.2011.2161774.
- 34 Конаков А.С. Алгоритм адаптивного двухшагового расширенного фильтра Калмана в задаче совместной оценки навигационного вектора и смещения нулей датчика МЭМС в слабосвязанной комплексированной навигационной системе // А.С. Конаков, В.В. Шаврин, Д.О. Ноздреватых, А.А. Савин, В.И. Тисленко // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники – № 4 (30), 2013. – С. 23-30.
- 35 Einicke G. A. Smoothing, Filtering and Prediction-Estimating the past, present and future // New York: InTech. – 2012. – 276 pp.
- 36 Ferdinando, H.; Khoswanto, H.; Purwanto, D., "Embedded Kalman Filter for Inertial Measurement Unit (IMU) on the ATmega8535," Innovations in Intelligent Systems

- and Applications (INISTA), 2012 International Symposium on , vol., no., pp.1,5, 2-4 July 2012.
- 37 Fatykhov Yu.A. Podkhod k postroyeniyu sistemy avtomaticheskogo upravleniya rabochimi organami razdelochno-filetirovochnogo oborudovaniya (Chast II. Realizatsiya pryamogo tsifrovogo upravleniya shagovym privodom) : Yu.A. Fatykhov, O.V. Ageyev, A.V. Shlemin, O.P. Ponomarev : Nauchny zhurnal KubGAU [Electronic resource]. – Krasnodar: KubGAU, 2007. – №34(10).
- 38 Tikhonov A.O., Shcherbakov V.L., Universalny servoprivod SPSH10 [Electronic document] (<http://www.servotechnica.ru/catalog/type/article/index.pl?id=39>). Checked 12.02.2014.
- 39 A.A. Degtyaryov, Sh. Tayl, Elementy teorii adaptivnogo rasshirennogo filtra Kalmana : Preprint IPM im. M.V.Keldysha RAN. – M., 2003. – №26. – 35 p.
- 40 Kohtz D. Messen, Steuern und Regeln mit PIC-Mikrocontrollern / D. Kohtz. – 4. Auflage. – Franzis Verlag GmbH, 2003. – 191 s.
- 41 Jost R. Experimente mit Programmierbarer Logik / R. Jost. – Franzis Verlag GmbH, 2006. – 312 s.
- 42 Bendjedia, M.; Ait-Amirat, Y.; Walther, B.; Berthon, A., "Sensorless control of hybrid stepper motor," Power Electronics and Applications, 2007 European Conference on , vol., no., pp.1,10, 2-5 Sept. 2007 doi: 10.1109/EPE.2007.4417444.
- 43 Einicke G. A. Smoothing, Filtering and Prediction-Estimating the past, present and future // New York: InTech. – 2012. – 276 pp.
- 44 Ferdinando, H.; Khoswanto, H.; Purwanto, D., "Embedded Kalman Filter for Inertial Measurement Unit (IMU) on the ATmega8535," Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA), 2012 International Symposium on , vol., no., pp.1,5, 2-4 July 2012.
- 45 Ferdinando, H.; Khoswanto, H.; Purwanto, D., "Embedded Kalman Filter for Inertial Measurement Unit (IMU) on the ATmega8535," Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA), 2012 International Symposium on , vol., no., pp.1,5, 2-4 July 2012.

- 46 Фатыхов Ю.А. Подход к построению системы автоматического управления рабочими органами разделочно-филетировочного оборудования (Часть II. Реализация прямого цифрового управления шаговым приводом) / Ю.А. Фатыхов, О.В. Агеев, А.В. Шлемин, О.П. Пономарев // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2007. – №34(10).
- 47 А.А. Дегтярёв, Ш. Тайль, Элементы теории адаптивного расширенного фильтра Калмана / Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. – М., 2003. – №26. – 35 с. A.V. Vorisevich¹, D.V. Glebko².
- 48 Джафари Хенджани Сейед Моджтаба Математическая модель автоматизированного электропривода на базе линейного шагового двигателя / Джафари Хенджани Сейед Моджтаба, Б. Г. Любарский, Е. С. Рябов, В. П. Северин, В. Ф. Чернай, Д. И. Якунин // «Электроинформ» - 2009. Тем. вып. «Проблемы автоматизованого электроприводу. Теорія і практика» С. 88– 91 751. Дьяконов В. MATLAB 6: учебный курс. – СПб.: Питер, 2001. – 592 с. 8. <http://femm.berlios.de>.
- 49 Khoshnevis B. Automated construction by contour crafting – Related robotics and information technologies, *Automation in Construction.*, vol.13, 2004, 5-19.
- 50 Khoshnevis B., Yuan X., Zahiri B., Jing Z., Xia B. Construction by contour crafting using sulfur concrete with planetary applications, *Rapid Prototyping Journal*, vol.22, 2016, 5-6.
- 51 Tikhonov A.O., Tsivinskiy M.M. Evolyutsiya privodov na baze shagovykh dvigateley [Electronic document] (<http://www.servotechnica.ru/catalog/type/article/index.pl?id=42>). Checked 11.02.2014.
- 52 Bendjedia, M.; Ait-Amirat, Y.; Walther, B.; Berthon, A., "Sensorless control of hybrid stepper motor," *Power Electronics and Applications*, 2007 European Conference on , vol., no., pp.1,10, 2-5 Sept. 2007 doi:1109/EPE.2007.4417444.

- 53 Bendjedia, M.; Ait-Amirat, Y.; Walther, B.; Berthon, A., "Position Control of a Sensorless Stepper Motor," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol.27, no.2, pp.578,587, Feb. 2012 doi: 10.1109/TPEL.2011.2161774.
- 54 Konakov A.S. Algoritm adaptivnogo dvukhshagovogo rasshirennogo filtra Kalmana v zadache sovmestnoy otsenki navigatsionnogo vektora i smeshcheniya nuley datchika MEMS v slabosvyazannoy kompleksirovannoy navigatsionnoy sisteme : A.S. Konakov, V.V. Shavrin, D.O. Nozdrevatykh, A.A. Savin, V.I. Tislenko : Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki – № 4 (30), 2013, – p. 23-30.
- 55 Einicke G. A. Smoothing, Filtering and Prediction-Estimating the past, present and future // New York: InTech. – 2012. – 276 pp.
- 56 Ferdinando, H.; Khoswanto, H.; Purwanto, D., "Embedded Kalman Filter for Inertial Measurement Unit (IMU) on the ATMega8535," *Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA), 2012 International Symposium on*, vol., no., pp.1,5, 2-4 July 2012.
- 57 Fatykhov Yu.A. Podkhod k postroyeniyu sistemy avtomaticheskogo upravleniya rabochimi organami razdelochno-filetirovochnogo oborudovaniya (Chast II. Realizatsiya pryamogo tsifrovogo upravleniya shagovym privodom) : Yu.A. Fatykhov, O.V. Ageyev, A.V. Shlemin, O.P. Ponomarev : Nauchny zhurnal KubGAU [Electronic resource]. – Krasnodar: KubGAU, 2007. – №34(10).
- 58 Ridiko L.I., "Raz shazhok, dva shazhok..."// Magazine "Osnovy skhemotekhniki" – №6-9/2001.
- 59 Tikhonov A.O., Shcherbakov V.L., Universalny servoprivod SPSh10 [Electronic document] (<http://www.servotechnica.ru/catalog/type/article/index.pl?id=39>). Checked 12.02.2014.
- 60 A.A. Degtyaryov, Sh. Tayl, Elementy teorii adaptivnogo rasshirennogo filtra Kalmana : Preprint IPM im. M.V.Keldysha RAN. – M., 2003. – №26. – 35 p.

- 61 Вихман О.А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Основы проектирования. Ч. 1. -Новосибирск: Новосибирский гос. технический ун-т, 2007. –146 с.
- 62 Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» №116-ФЗ от 21.07.97.
- 63 Лыков А. В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. – М.: Гос. изд. техн.-теорет. лит., 1954.
- 64 Лякишев Н. П. Диаграммы состояния двойных металлических систем. – М.: Машиностроение. – Т. 2. – 1997.
- 65 Харанжевский Е. В., Ипатов А. Г. Структура и топография поверхностных слоёв, полученных лазерным высокоскоростным спеканием порошков Fe-C-Ni, Fe-C-Cu //Вестник Удмуртского Университета. Физика. Химия. –2010. – № 1. – С. 76–85.
- 66 Abe F., Osakada K., Shiomi M. et al. The manufacturing of hard tools from metallic powders by selective laser melting // J. Mater. Process. Technol. – 2001. – V. 111., № 1–3. – P. 210.
- 67 Bird R., Stewart W. E., Lightfoot E. N. Transport phenomena. – New York: Wiley, 2002.
- 68 Deckard C. R., Beaman J. J. Recent advances in selective laser sintering // Proceedings of the 14th Conference on Production Research and Technology, Michigan, 1987. –P. 447—451.
- 69 Galenko P. K., Danilov D. A. Local no equilibrium effect on rapid dendritic growth in a binary alloy melt // Phys. Lett. A. – 1997. – V. 235. – P. 271–280.
- 70 Kruth J. P. Selective laser melting of iron-based powder // J. Mater. Process. Technol. – 2004. – V. 149. – P. 616—622.
- 71 Горбунов А.Л., Нечаев Е.Е., Теренци Г. Дополненная реальность в авиации // Прикладная информатика. – 2012 – № 4 (40).
- 72 Авдошин А.С., Забержинский Б.Э., Головин К.Ю. Анализ возможностей и перспектив использования дополненной реальности в теории и на практике //

Актуальные проблемы науки, экономики и образования XXI века: матер. II Международной научно-практ. конф., 5 марта – 26 сент. 2012 г. – Самара : Самарский ин-т (фил.) РГТЭУ, 2012

- 73 Дополненная реальность: военные оценили – теперь мы! [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://myprojector.ru/blog/320.html>.
- 74 Автомобили Lada могут оснастить навигатором с проекцией на лобовое стекло [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.kolesa.ru/news/avtomobili-lada-mogut-osnastit-navigatorom-s-proekciej-na-lobovloe-steklo-2015-06-10>.
- 75 Дополненная реальность: новый шлем даст лётчикам возможность управлять взглядом [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://tvzvezda.ru/news/forces/content/201508250744-nmu5.htm>.
- 77 Gartner: использование смарт-очков может сэкономить бизнесу миллиард долларов в год [Электронный ресурс] // Режим доступа : <http://arnext.ru/news/gartner-smartochki-8969>.
- 78 Пути использования технологии дополненной реальности для бизнеса [Электронный ресурс] // Режим доступа : <http://www.mate-expo.ru/ru/content/puti-ispolzovaniya-tehnologii-dopolnennoy-realnosti-dlya-biznesa>.
- 79 Возможности дополненной реальности в медицине [Электронный ресурс] // Режим доступа : <http://ar-conf.ru/ru/news/vozmognosti-dopolnennoy-realnosti-v-meditisine>.
- 80 Дополненная реальность в медицине – уже сейчас! [Электронный ресурс] // Режим доступа : <http://epson.ru/publication/healthcare/1123696/>.
- 81 Global mobile augmented reality (AR) market size in 2013 and 2018 (in millions of users) [Электронныйресурс] // Режимдоступа : <http://www.statista.com/statistics/282453/mobile-augmented-reality-market-size/>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Перечень условных обозначений

$f_{инстр}(\omega, \tau, k)$, - функция, характеризующая инструментальную точность и скорость сканирования конкретного сканера;

$f_{окр.ск.}(\omega)$, - функция, описывающая влияние окружающей среды на точность проводимых измерений НЛС;

$f_{метрол}(\omega)$, - функция, описывающая влияние метрологических свойств объектов съемки на точность результатов сканирования;

$f_{обр}(\omega)$, - функция, характеризующая способ, режим и допуски при обработке данных наземного лазерного сканирования;

$f_{окр.ск.}(\omega)$, - функция, описывающая влияние окружающей среды на точность проводимых измерений НЛС;

I_k , - функция, отражающая информационную емкость данных наземного лазерного сканирования;

$\eta(\omega, \tau, k)$ - функция, учитывающая упрощения и округления результатов расчетов.

$t_{ож}$ – ожидаемое время выполнения i -го этапа работ в чел.-дн., t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.; t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.

ТКД – продолжительность выполнения этапа в календарных днях; ТК - коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных

ТКД – продолжительность выполнения этапа в календарных днях; ТК - коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных

Квн – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{вн} = 1$; Кд – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{д} = 1-1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ПУБЛИКАЦИИ

УДК 472. 75

Гришин А.А. Студент, Сибирский федеральный университет, Россия, Красноярск

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Р.Т. Емельянов

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПО ТРАЕКТОРИИ

Аннотация

Ключевые слова. Техническое зрение, визуальное управление модель, робот

Введение. Техническое зрение считается одним из самых перспективных методов, обеспечивающих автоматизацию действий при применении робототехники и компьютерных технологий в процессе контроля процесса нанесения и степени износа дорожной разметки. При помощи систем технического зрения осуществляется преобразование данных, которые поступают с устройств захвата изображений, продолжая выполнением на основе полученных данных дальнейших операций.

Процесс технического зрения применяется и в робототехнике, предназначенной как для нанесения дорожной разметки, так и для контроля за степенью её износа. В сфере искусственного интеллекта интерес к проблемам совершенствования компьютерного, или технического, зрения, возник, наряду с важнейшими задачами, - такими, как возможности автоматического доказательства теорем и развитие интеллектуальных игр, одним из первых.

Техническое зрение связано со сферой вычислительной техники, оптики, машиностроения и промышленной автоматизации. Особенности систем

технического зрения состоят в их запрограммированной на узкоспециализированные задачи, которые сложно выполнять людям из-за их однообразия. Техническое зрение является процессом применения технического и компьютерного зрения в дорожном строительстве и разметке дорог, а также при определении степени их износа.

Материалы и методы. Модель системы визуального управления приведена на рисунке 1.

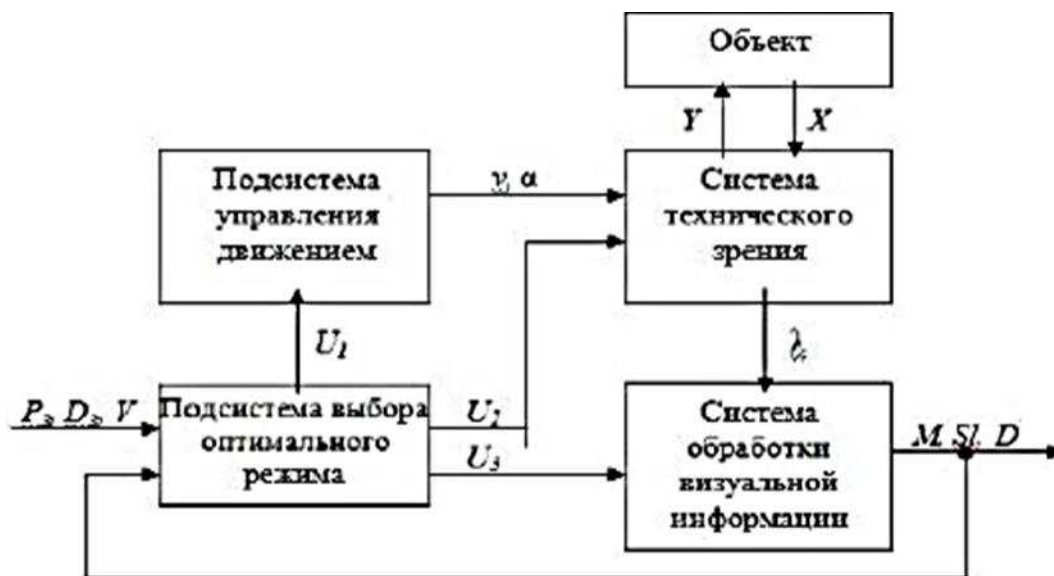


Рисунок 1 – Модель адаптивной системы управления процессом технического зрения для мобильного робота при выполнении дорожной разметки

В состав модели входят:

- объект управления (работ);
- общая система компьютерного и технического зрения работа;
- подсистема выбора оптимального режима управления;
- система обработки визуальной информации;
- подсистема управления движением.

СВХ с помощью камеры получает информацию об объектах рабочей зоны работа. Система обработки визуальной информации обеспечивает

определение расстояние объектов рабочей зоны работа и их отдельные характеристики (линейные размеры, центры масс и т.д.)

Результаты. В технологии нанесения дорожной разметки применяются схемы управления процессом, представление на рисунке 2.

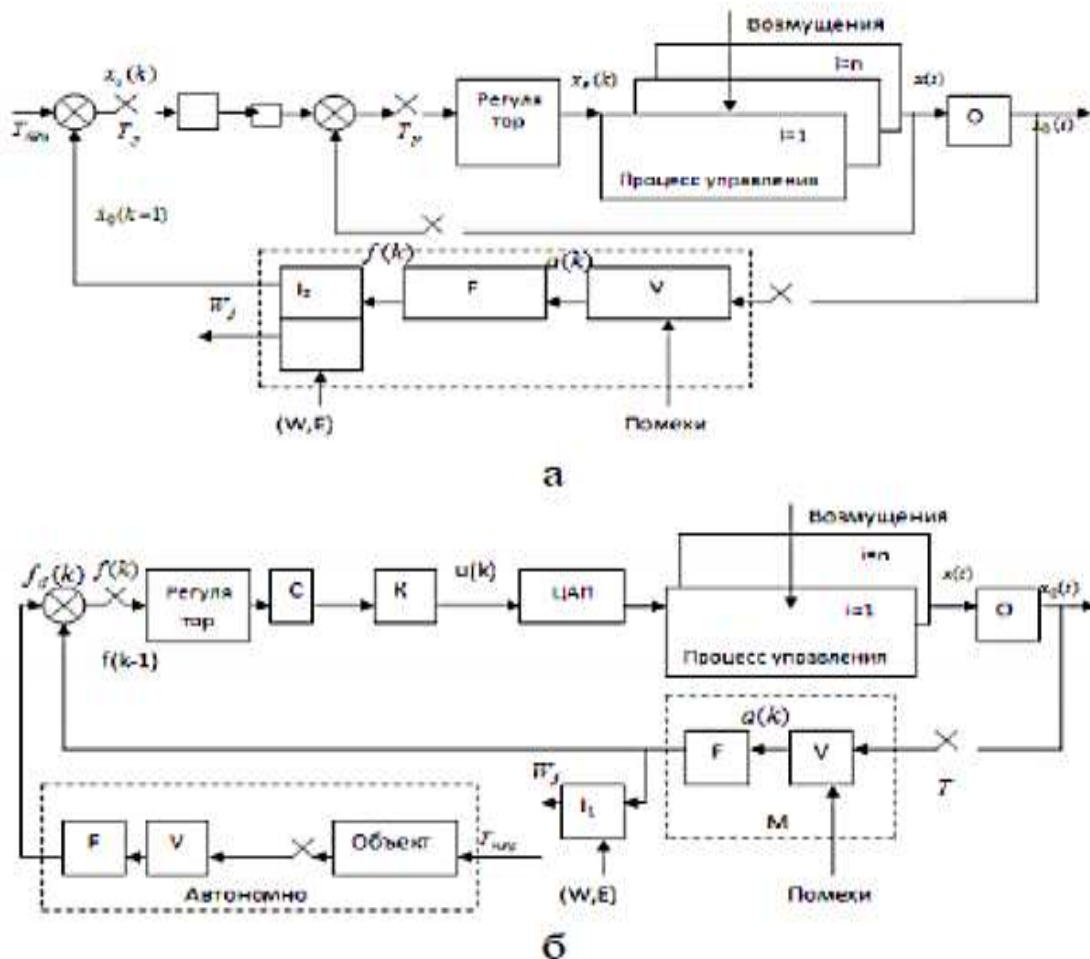


Рисунок 2 – Типы схем управления:

- а) статистического – по принципу «наблюдение – перемещение»;
- б) визуального – согласно обратной связи по образу.

Характерной для роботизированного производства является задача перемещения с начальной точки рабочего пространства в конечную. Задача решается с учётом положения объектов в пространстве. Так как динамические объекты могут менять свое положение, - это может негативно влиять на выполнение роботом поставленных задач, поскольку на пути движения робота могут возникать недостаточно свободные или проходимые участки.

Определение таких участков возможно с помощью бортовых и глобальных систем как технического, так и компьютерного зрения. Таким образом, на основании визуальной информации робот вычисляет оптимальный маршрут движения.

Перед адаптивной визуальной системой ставятся следующие задачи:

- определение местоположения робота в начальной позиции и при перемещении;
- ориентация робота в пространстве и относительно начальной точки;
- определение и слежения за объектами, находящимися в рабочем пространстве;
- выделение непроходимых участков.

Пример навигации робота заключается в следующем. Есть рабочее пространство, модель которого можно разбить на сегменты, одинаковые по своей длине и ширине. Это позволит нам судить о том, в каких из них находятся объекты и сам робот. Робот может передвигаться только по свободным сегментам (ячейкам), следовательно, если на пути перемещения робота из одной точки в другую, сегменты будут заняты (могут возникнуть непроходимые участки), то блок адаптации будет менять путь передвижения робота таким образом, чтобы он не попадал в занятые клетки.

Практически данный подход будет реализован таким образом. Пусть имеется гибкий участок дороги, при этом над рабочей зоной робота расположена система технического зрения (web-камера) рисунок 3.

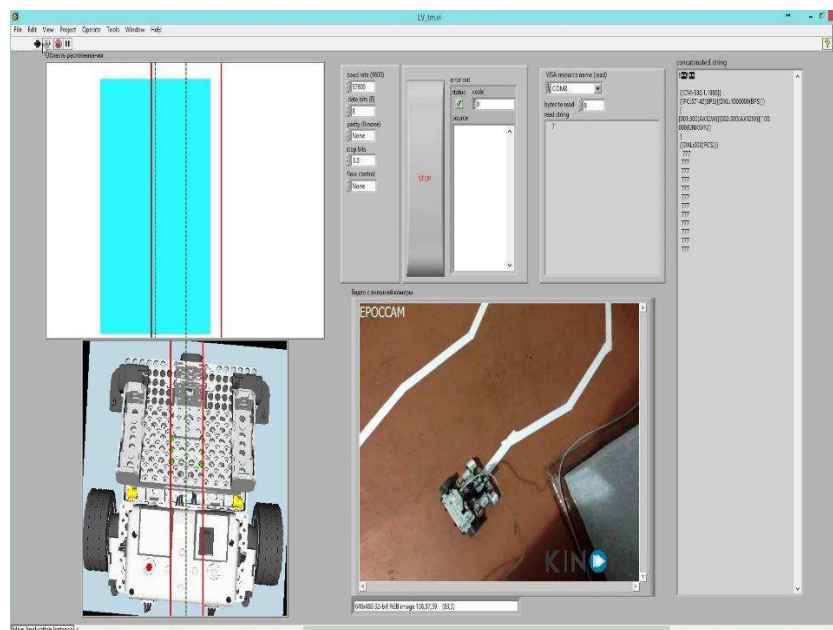


Рисунок 3 – Условная схема рабочей зоны

Задачей работы является перемещение из одной точки рабочей зоны в другую. С помощью СМС определяется расположение работа, его ориентация определяется расположением объектов рабочей зоны, где оказываются посторонние предметы, а также появляются непроходимые участки траектории. Анализ рабочей зоны позволяет выбирать оптимальный путь движения робота для достижения конечной точки.

Выводы

Результаты проведенных исследований движения макета принтера по заданной траектории имеет отклонение менее 5% от эталона на 0,1 м пройденного пути, что говорит о перспективности внедрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Коробицын Т.Г. Особенности и проблемы финансирования автодорожного строительства в Российской Федерации // Молодой ученый. Экономика и управление. 2011. №4:<https://moluch.ru/archive/27/2926/>
- [2] Гавриш В. В. Экономика дорожного строительства. Часть 1. Учебное пособие. – Издательство «Проспект», 2015.
- [3] Паршин Д.Я. Основы автоматизации и роботизации / Паршин Д.Я. — Ростов н/Д : Ростовский гос. строит. ун-т, 2003. — 141 с

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный институт
Кафедра строительных материалов и технологий строительства

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 И.Г. Енджиевская

« 09 » 07 2020 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Адаптивные системы управления процессами технического зрения

дорожного принтера»

08.04.01 "Строительство"

08.04.01.007 "Комплексная механизация и автоматизация строительства"

Научный
руководитель


подпись

проф, д-р., техн. наук
ученая степень

Р.Т.Емельянов
И.О. Фамилия

Выпускник


подпись

СФ18-07М,
номер гр., зачетной книжки

А.В. Гришин
И.О. Фамилия

Рецензент


подпись

докт. техн. наук, проф.
ученая степень

В.И. Иванчура
И.О. Фамилия

Нормоконтролер


подпись

канд. техн. наук, доцент
ученая степень

Е.С. Турышева
И.О. Фамилия

Красноярск 2020