|  |  |
| --- | --- |
| Gerb-BMSTU_01 | **Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  **высшего образования**  **«Московский государственный технический университет**  **имени Н.Э. Баумана**  **(национальный исследовательский университет)»**  **(МГТУ им. Н.Э. Баумана)** |

ФАКУЛЬТЕТ «Робототехника и комплексная автоматизация»

КАФЕДРА «Теория механизмов и машин»

**РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

***К НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ***

***НА ТЕМУ:***

***Методика экспериментальной оценки кинематических параметров плоских рычажных механизмов современными средствами видеосъёмки***

Студент РК2-41М **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ О.В.Зудина**

(Подпись, дата)

Руководитель **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ С.А.Воротников**

(Подпись, дата)

Консультант **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Д.В.Сащенко**

(Подпись, дата)

*2020 г.*

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**

**высшего образования**

**«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана**

**(национальный исследовательский университет)»**

**(МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой РК2

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Г.А. Тимофеев

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение научно-исследовательской работы**

по теме «Методика экспериментальной оценки кинематических параметров плоских рычажных механизмов современными средствами видеосъёмки»

Студент группы РК2-41М

Зудина Ольга Владимировна

Направленность НИР (учебная, исследовательская, практическая, производственная, др.)

исследовательская

Источник тематики (кафедра, предприятие, НИР) кафедра

График выполнения НИР: 25% к \_\_\_ нед., 50% к \_\_\_ нед., 75% к \_\_ нед., 100% к \_\_\_ нед.

Техническое задание: провести анализ лабораторного практикума дисциплины «Теория механизмов и машин», провести обзор существующих методов определения кинематических характеристик плоских рычажных механизмов, провести исследование операторов и алгоритмов компьютерного зрения.

***Оформление научно-исследовательской работы:***

Расчетно-пояснительная записка на 24 листах формата А4.

Дата выдачи задания « \_\_\_ » \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Руководитель НИР**  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ **С.А. Воротников**

(Подпись, дата)

**Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ О.В. Зудина**

(Подпись, дата)

Примечание: Задание оформляется в двух экземплярах: один выдается студенту, второй хранится на кафедре.

РЕФЕРАТ

Отчет по преддипломной практике содержит 24 страницы машинописного текста, 2 рисунка, 1 таблицу, 11 источников.

ПЛОСКИЙ РЫЧАЖНЫЙ МЕХАНИЗМ, КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ, ОБРАБОТКА ВИДЕОПОТОКА, РАСПОЗНАВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ.

В рамках научно-исследовательской работы была поставлена цель обзора проводимых лабораторных работ в рамках дисциплины «Теория механизмов и машин» и анализ существующих методов исследования кинематических характеристик плоских рычажных механизмов. Были рассмотрены различные алгоритмы и операции компьютерного зрения. Объектом исследования является обработка видеопотока полного цикла работы механизма.

СОДЕРЖАНИЕ

[ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ, СИМВОЛОВ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕРМИНОВ 6](#_Toc42633931)

[ВВЕДЕНИЕ 8](#_Toc42633932)

[1 Лабораторные работы кафедры РК2 9](#_Toc42633933)

[1.1 Структурный и кинематический анализ рычажных механизмов 9](#_Toc42633934)

[1.2 Индикаторная диаграмма и механические характеристики поршневого компрессора 9](#_Toc42633935)

[1.3 Исследование КПД редуктора 10](#_Toc42633936)

[1.4 Исследование влияние параметров станочного зацепления на геометрию зубчатого колеса 10](#_Toc42633937)

[1.5 Динамическая балансировка ротора 10](#_Toc42633938)

[1.6 Синтез четырехзвенных рычажных механизмов 11](#_Toc42633939)

[1.7 Структурный и кинематический анализ манипулятора 11](#_Toc42633940)

[1.8 Исследование процесса трения в поступательной КП 11](#_Toc42633941)

[1.9 Выводы 12](#_Toc42633942)

[2 Плоские рычажные механизмы 13](#_Toc42633943)

[2.1 Классификация плоских рычажных механизмов 13](#_Toc42633944)

[2.2 Обзор существующих методов определения кинематических характеристик 14](#_Toc42633945)

[2.2.1 Аналитические методы 14](#_Toc42633946)

[2.2.2 Графоаналитические методы 15](#_Toc42633947)

[2.2.3 Экспериментальный метод 16](#_Toc42633948)

[2.2.4 Выводы 16](#_Toc42633949)

[3 Компьютерное зрение 17](#_Toc42633950)

[3.1 Алгоритмы распознавания изображений 18](#_Toc42633951)

[3.2 Алгоритмы фильтрации изображений 18](#_Toc42633952)

[3.3 Библиотеки для компьютерного зрения 19](#_Toc42633953)

[3.3.1 OpenCV 19](#_Toc42633954)

[3.3.2 CCV 20](#_Toc42633955)

[3.3.3 Tensorflow 20](#_Toc42633956)

[3.3.4 Сравнение библиотек 21](#_Toc42633957)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 22](#_Toc42633958)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 23](#_Toc42633959)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ 24](#_Toc42633960)

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ, СИМВОЛОВ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕРМИНОВ

Траектория — множество точек, представляющее путь движения тела или точки.

Кинематические характеристики — мера положения, отображение формы и характера механических движений объекта.

Кинематический анализ — определение кинематических характеристик механизма.

Аналог линейной скорости — первая производная линейной функции положения точки по обобщенной координате.

Аналог ускорения — вторая производная линейной функции положения точки по обобщенной координате.

Мобильное устройство — любое небольшое устройство, которое содержит дисплей и клавиатуру.

Видеозапись — электронная технология записи на физической носитель визуальной информации, представленной в форме видеосигнала или цифрового потока видеоданных.

Компьютерное зрение — научное направление в области искусственного интеллекта и связанные с ним технологии получения изображений объектов реального мира, их обработки и использования полученных данных для решения различных прикладных задач без полного или частичного участия человека.

Машинное зрение — применение компьютерного зрения в задачах робототехники, промышленности и производства.

Пиксель — pixel (pictures element) — наименьший логический элемент двухмерного цифрового изображения в растровой графике или элемент матрицы дисплеев, формирующих изображение.

RGB-изображение — red, green, blue — цветовая модель, описывающая способ кодирования цвета с помощью трех цветов.

HSV-изображение — hue, saturation, value — цветовая модель, в которой координатами цвета являются цветовой тон, насыщенность и яркость.

Дедупликация — метод сжатия массива данных, использующий в качестве алгоритма сжатия исключение дублирующих копий повторяющихся данных.

ВВЕДЕНИЕ

Практические занятия по дисциплине «Теория механизмов и машин» кафедры РК2 подразумевают под собой закрепление студентами теоретических основ. Это важный этап в становлении на путь специалиста в этой области [1].

Лабораторный практикум [2] данной дисциплины сформировался в нынешнем виде более 30 лет назад. На данный момент эти занятия проводят на классических, но довольно старых стендах с оборудованием. Этот факт в современном мире доставляет ряд неудобств, таких как: ограниченная пропускная способность каждого стенда, большие занимаемые объемы этим оборудованием, большая стоимость каждого вида оборудования, что влечет за собой повышенную осторожность при работе с ним.

Одним из возможных решений этой задачи может стать внедрение современных технологий в обучающие и контролирующие знания процессы. Например, замена громоздких стендов компьютерными программами, с которыми студент сможет работать на собственной технике (персональный компьютер, мобильное устройство) или кафедральном аналоге. Данное решение сможет облегчить и ускорить работу как обучающим, так и контролирующим преподавателям, потому что в этом случае студент может не контактировать с оборудованием напрямую.

Разработка мобильного приложения является одной из подзадач, решаемых в рамках создания новой лабораторной работы кафедры РК2, посвященной исследованию кинематических характеристик плоских рычажных механизмов. Разрабатываемое приложение должно удовлетворять всем функциональным требованиям для выполнения лабораторной работы и быть доступно для студентов и преподавателей.

Лабораторные работы кафедры РК2

Лабораторные работы направлены на получение практических навыков студентов в области теории механизмов и машин [2]. В настоящее время из восемнадцати разработанных лабораторных работ на кафедре РК2 в рамках дисциплины «Теория механизмов и машин» проводится только восемь [3]. В данном разделе выпускной квалификационной работы рассмотрены лабораторные работы, проводимые для студентов МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Структурный и кинематический анализ рычажных механизмов

Данная лабораторная является вводной работой. Рассматриваются плоские рычажные механизмы, звенья, первичный механизм и структурный анализ по классификации Ассура.

В рамках лабораторной работы студентам необходимо ознакомиться с заданной моделью рычажного механизма, вычертить структурную схему и обозначить звенья и кинематические пары. Далее проводится определение подвижностей на плоскости и в пространстве и анализ движений звеньев механизма, рассчитываются избыточные связи.

Индикаторная диаграмма и механические характеристики поршневого компрессора

Исследование динамики машинного агрегата на примере одноцилиндрового поршневого компрессора и определение его силовых характеристик с помощью индикаторной диаграммы. Целью лабораторной является получение с помощью индикаторного механизма механической характеристики одноцилиндрового компрессора — индикаторную диаграмму и её обработка для дальнейшего получения приведенного момента от силы сопротивления. Лабораторная работа выполняется с помощью экспериментальной установки с механическим индикатором.

Исследование КПД редуктора

Экспериментальное определение КПД редуктора, исследование в однофакторном эксперименте его зависимость от момента сопротивления на выходном валу. Эксперимент проводят на установке ДП-4, которая включает в себя редуктор, электродвигатель, порошковый электромагнитный тормоз, тахометр для измерения частоты вращения двигателя и крутящих моментов на валу двигателя и тормоза, потенциометр регулятора частоты вращения двигателя и потенциометр регулятора момента тормоза.

Исследование влияние параметров станочного зацепления на геометрию зубчатого колеса

С помощью установки ТММ-42, состоящей из диска, основания и ползуна с инструментальной рейкой, студенты изучают геометрию станочного зацепления. В данной работе необходимо построить и проанализировать профили трех зубчатых колес с отрицательным, нулевым и положительным смещением. В рамках данной работы проводится моделирование эвольвентного зубчатого колеса с помощью программного комплекса.

Динамическая балансировка ротора

Данная лабораторная работа позволяет на практике изучить способ балансировки ротора путем установки корректирующих масс. С помощью установки экспериментально определяются углы дисбалансов ротора, влияющие на работу механизма. Эксперимент проводится с помощью балансировочного станка рамного типа ТММ-1А, состоящего из основания, рамы, упругого элемента, стрелочного индикатора и ротора с двумя дисками.

Синтез четырехзвенных рычажных механизмов

Решение задачи метрического синтеза для четырехзвенных рычажных механизмов по трем положениям выходного звена, экспериментальная проверка точности выполнения заданной функции положения на модели механизма. В рамках данной лабораторной работы рассматриваются графический и аналитический методы синтеза механизма. В качестве экспериментальных моделей рассматриваются шарнирный четырехзвенник и кривошипно-ползунный механизм.

Структурный и кинематический анализ манипулятора

Данная работа схожа с вводной лабораторной работой «Структурный и кинематический анализ рычажных механизмов». Отличие заключается в определении параметров структуры и особенностей кинематики пространственных механизмов — манипуляторов промышленных роботов, одной из задач является изображение структурной схемы пространственных механизмов. Студенты изучают отличительные характеристики рассматриваемых механизмов, системы координат «руки» манипулятора, структурные схемы кисти и выполняют структурный и кинематический анализ манипулятора.

Исследование процесса трения в поступательной КП

Экспериментальная фиксация процесса фрикционных автоколебаний, возникающего в паре трения чугун-сталь. Получение характеристики этих автоколебаний вместе с коэффициентами трения покоя и скольжения. Эксперимент проводится с помощью установки, включающей мотор-редуктор, платформу с плитой из исследуемого материала, груз с образцом из второго исследуемого материала.

Выводы

Из всех проводимых лабораторных работ на кафедре РК2 в рамках дисциплины «Теория механизмов и машин», ни одна в полном объеме не содержит изучения кинематических характеристик плоских рычажных механизмов, таких как аналоги линейных скорости и ускорения. Выполнение разрабатываемой лабораторной работы позволит студентам освоить экспериментальное определение кинематических характеристик механизмов.

Плоские рычажные механизмы

Плоские рычажные механизмы включают в себя только низшие кинематические пары, а звенья находятся в одной или параллельных плоскостях. Такие механизмы просты в эксплуатации и долговечны, нашли широкое применение в станкостроении, приборостроении, робототехнике, насосах, компрессорах, двигателях внутреннего сгорания и других машинах. К недостаткам относится сложность реализации точной кинематики в ограниченном числе звеньев.

Классификация плоских рычажных механизмов

Структурная классификация плоских рычажных механизмов основана на методе образования механизмов путем последовательного наложения кинематических цепей, сформулированного Л.В. Ассуром. Синтез механизмов представлен последовательным присоединением групп Ассура к начальному звену и стойке. Группа Ассура представляет простейшую кинематическую цепь с нулевой степенью свободы относительно звеньев, к которым такая цепь присоединяется. Данные структурные группы классифицируются по числу звеньев, по числу поводков в группе и по числу замкнутых контуров. Класс и порядок плоских рычажных механизмов определяются классом и порядком самой сложной из входящих в него групп. Классификация Ассура распространялась на плоские рычажные шарнирные механизмы, впоследствии И.И. Артоболевский дополнил и расширил данную классификацию на плоские механизмы с поступательными кинематическими парами.

Механизм первого класса является самым простым и состоит из двух звеньев. Одно из звеньев неподвижно и является стойкой, подвижное звено образует низшую кинематическую пару. Разновидности таких механизмов приведены на рисунке 1.

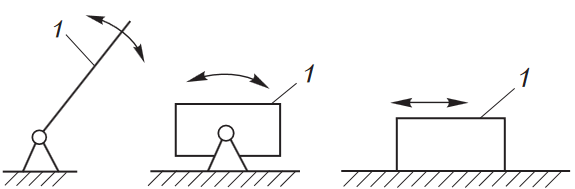


Рисунок . Механизмы первого класса

Любой механизм класса выше состоит из механизма первого класса и присоединенных к нему групп Ассура с нулевой степенью подвижности.

Обзор существующих методов определения кинематических характеристик

В современной теории механизмов и машин существует большое количество методов определения кинематических характеристик плоских рычажных механизмов с использованием различных инструментов. Кинематическими характеристиками называют производные от функции положения во времени. Рассматривают первую производную, описывающую скорость, и вторую, описывающую ускорение.

В данном разделе рассматриваются следующие группы методов:

* аналитические методы;
* графоаналитические методы;
* экспериментальные методы.

Аналитические методы

Аналитические методы включают в себя:

* метод векторных контуров;
* координатный метод;
* матричный метод.

Метод векторных контуров основан на замене кинематической схемы механизма эквивалентным векторным контуром и последующем проецировании полученного контура.

Для координатного метода необходимо определение функций положения точек плоского рычажного механизма.

Преимущества матричного или метода преобразования координат проявляются при кинематическом анализе манипуляторов. Положение выходного звена определяется путем перехода из системы, в которой это положение известно, ту в систему, где его требуется определить. Данный переход осуществляется перемножением матриц перехода.

Графоаналитические методы

К графоаналитическим методам относятся:

* построение планов положений, скоростей и ускорений;
* метод кинематических диаграмм;
* метод особых точек Ассура;
* метод ложных положений.

От кинематической схемы механизма в исследуемом положении переходят к масштабному графическому изображению, называемом планом механизма. План скоростей и план ускорений представляются чертежами, на которых изображены векторы, равные по модулю и направлению скоростям и ускорениям точек механизма в исследуемом положении соответственно.

Метод кинематических диаграмм используется в случаях, когда функции положения, скорости, ускорения невозможно проинтегрировать или продифференцировать в аналитической форме. При решении задачи нахождения кинематических характеристик по заданной функции положения используют графическое дифференцирование с помощью касательных или с помощью хорд.

Для определения кинематических характеристик механизмов III класса используют метод особых точек Ассура. Особыми точками являются точки пересечения продолженных линий поводков трехповодковой группы.

Метод ложных положений основан на свойстве подобных многоугольников: если n-1 сходственных вершин движутся по прямым, то и n-ая вершина движется по прямой [4].

Экспериментальный метод

В рамках экспериментального метода определения кинематики механизма кинематические характеристики точек и звеньев механизма фиксируются с помощью различных датчиков, используя физические эффекты для преобразования кинематических параметров в электрические сигналы. Классифицировать данные методы можно по виду используемых датчиков.

Выводы

Из рассмотренных методов исследования кинематических характеристик плоских рычажных механизмов рамках дисциплины «Теория механизмов и машин» кафедры РК2 изучаются следующие методы:

* метод векторных контуров;
* координатный метод;
* метод преобразования контуров;
* метод кинематических диаграмм;
* построение планов скоростей и ускорений;
* экспериментальный метод с использованием датчиков.

# Компьютерное зрение

Компьютерное зрение [5-6] является активно развивающимся научным направлением в области искусственного интеллекта. Также включает технологии получения изображений объектов реального мира, их обработки и использования полученных данных для решения различных прикладных задач без полного или частичного участия человека.

Компьютерное зрение включает в себя несколько разделов:

* Обработка изображений (image processing, на входе и выходе изображения);
* Анализ изображений (image analysis, работа с 2D-изображениями);
* Распознавание образов (pattern recognition, распознавание, обучение на абстрактных числовых величинах, полученных в том числе и из изображений);
* Компьютерное зрение (computer vision, восстановление 3D-структуры по 2D-изображениям, принятие решений о физических объектах, основываясь на их изображениях);
* Фотограмметрия (photogrammetry, измерение расстояний между объектами по 2D-изображениям);
* Машинное зрение (machine vision, решение промышленных и производственных задач).

Таким образом, с помощью компьютерного зрения можно решить задачу построения траекторий некоторых заданных точек плоского рычажного механизма по видеопотоку полного цикла работы. Применение данного направления позволит оптимизировать процесс получения множества точек траекторий и автоматизировать процесс расчета кинематических характеристик механизмов.

## Алгоритмы распознавания изображений

В данной работе был рассмотрен один из самых часто применяемых способов распознавания изображений, состоящий из двух этапов. Первый этап заключается в фильтрации графического файла. Под фильтрацией понимают выделение областей, которые могут быть интересны для анализатора объектов. Обычно алгоритмы фильтрации представляют собой применение единого преобразования на все точки изображения. Анализ и обработка полученных на первом этапе данных представляют собой второй этап распознавания. Результатами второго этапа являются свойства объектов или сами объекты, графические файлы которых были представлены в виде исходных данных

Алгоритмы фильтрации изображений

Ниже рассмотрены некоторые методы выделения областей на изображениях. Данные методы применяют единое математическое преобразование ко всем точкам изображения. Точкой может являться один пиксель или группа пикселей. В качестве входных данных алгоритмов фильтрации являются гистограммы изображений (рис. 2).



Рисунок . Гистограмма изображения

Гистограмма отображает количество пикселей изображения, соответствующих определенному уровню яркости.

На этапе фильтрации анализ областей не производится, но точки, прошедшие фильтрацию, являются входными данными для этапа анализа и распознавания объектов.

Библиотеки для компьютерного зрения

### OpenCV

Open Source Computer Vision Library [7] является библиотекой компьютерного зрения с открытым исходным кодом. Содержит реализации множества алгоритмов обработки изображений, численных алгоритмов и алгоритмов компьютерного зрения. Основными языками программирования данной разработки являются C/C++ [8], но существует большое количество инструментов, позволяющих интегрировать OpenCV с различными языками программирования: Java, Python [9], Ruby, Matlab и других. Также библиотека поддерживает большое количество платформ: Microsoft Windows, Linux, Mac OS, Android, iOS.

OpenCV содержит несколько модулей, каждый из которых отвечает за определенную задачу:

* Модуль основной функциональности, включает базовые структуры, вычисления и линейную алгебру;
* Обработка изображений, фильтрация, преобразования цветов;
* Модуль ввода и вывода изображений и видео;
* Модели машинного обучения;
* Распознавание плоских примитивов;
* Обнаружение объектов на изображении;
* Анализ движения и отслеживание объектов;
* Модуль поиска ближайших соседей;
* Модуль калибровки камеры, обработка трехмерных данных;
* Модуль ускорения с применением CUDA.

CCV

Библиотека ccv [10] написана на языке C и позиционируется как легкая и компактная альтернатива OpenCV, реализующая только основные алгоритмы распознавания изображений. Данная библиотека предназначена не для экспериментов с разными алгоритмами, а для практического использования в конкретных прикладных задачах.

В библиотеке ccv представлены следующие алгоритмы:

* Быстрый алгоритм распознавания неподвижных объектов, основанный на пороге яркости;
* Алгоритм «Хищник»;
* Алгоритм распознавания текста, основанный на преобразовании ширины линий;
* Алгоритм обнаружения наборов точек;
* Алгоритм распознавания сложных деформируемых объектов;
* Алгоритм каскадного обнаружения устойчивых признаков объектов;
* Обнаружение объектов в видеопотоке.

Данная библиотека поддерживает использование REST-API с использованием протокола HTTP, использует прозрачный кэш для дедупликации данных, присутствует возможность классификации данных с применением глубоких сверточных нейронных сетей.

Tensorflow

Программная библиотека Tensorflow [11] используется для машинного зрения, но не позволяет распознавать объекты на изображении, а применяется на этапе обучения для построения, обучения и тренировки нейронных сетей, решает задачу классификации образов. Подходит для автоматизированной аннотации изображений. Реализована на языках C++ и Python с использованием CUDA, с 2015 года является библиотекой с открытым исходных кодом.

Сравнение библиотек

В данном разделе представлено сравнение библиотек для компьютерного зрения, рассмотренных выше.

Таблица 1. Сравнение библиотек компьютерного зрения

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Библиотека для компьютерного зрения | OpenCV | ccv | Tensorflow |
| Возможность распознавания маркеров стандартными методами | + | + | - |
| Возможность распознавания нескольких маркеров на одном изображении | + | + | - |
| Возможность распознавания объектов в видеопотоке | + | + | - |
| Язык программирования, на котором реализована библиотека | C/C++ | C | C++, Python |
| Открытый исходный код | + | + | + |
| Возможность интеграции с операционной системой Android | + | - | + |
| Версия последнего обновления | 4.1.2 | 0.7 | 2.1.0 |
| Дата последнего обновления | 11.12.2019 | 23.12.2014 | 11.12.2019 |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной научно-исследовательской работы были проведены следующие исследования:

* анализ проводимых лабораторных работ в рамках дисциплины «Теория механизмов и машин»;
* исследование существующих методов определения кинематических характеристик плоских рычажных механизмов;
* обзор алгоритмов и операций компьютерного зрения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Теория механизмов и машин. Под ред. К. В. Фролова. – М.: Высшая школа, 1987.
2. Попов С. А., Тимофеев Г.А. Курсовое проектирование по теории механизмов и механике машин. – М.: Высшая школа, 1999.
3. Тарабарин В. Б., Кузенков В. В., Фурсяк Ф. И. Лабораторный практикум по теории механизмов и машин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 80 с., ил.
4. Левитский Н.И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука, 1979.
5. Е.А. Власова. Ряды. Математика в техническом университете. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006.
6. Рейнхард Клетте. Компьютерное зрение. Теория и алгоритмы. – М.: ДМК-Пресс, 2019.
7. OpenCV Documentation [Электронный ресурс]. – 2019. – URL: http://docs.opencv.org/ (дата обращения: 23.12.2019).
8. C++ Documentation [Электронный ресурс]. – 2019. – URL: https://docs.microsoft.com/ru-ru/cpp (дата обращения: 23.12.2019).
9. Python3 Documentation [Электронный ресурс]. – 2019. – URL: https://docs.python.org/3/ (дата обращения: 23.12.2019).
10. ccv Documentation [Электронный ресурс]. – 2014. – URL: http://libccv.org/doc/ (дата обращения: 23.12.2019).
11. Tensorflow Documentation [Электронный ресурс]. – 2019. – URL: https://www.tensorflow.org/versions (дата обращения: 23.12.2019).

# СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

1. Microsoft® Office Word 2010
2. Mathcad 15
3. MATLAB R2019b
4. CLion 2019.2.2
5. OpenCV 4.1.2
6. ccv 0.7
7. Tensorflow 2.1.0
8. Android Studio 3.6
9. Umlet 14.3.0