ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЩОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО**»

Институт машиностроения, материалов и транспорта

Высшая школа автоматизации и робототехники

**Отчет о прохождении производственной практики**

По направлению подготовки: 15.03.06 – «Мехатроника и робототехника»

Место прохождения практики: «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики»

Сроки практики: 10.06.2023 – 08.07.2023

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Руководитель практики: |  | Уланов В. Н. |
| Научный руководитель: | Оценка:\_\_\_\_ | Громошинский Д. А. |
| Выполнил студент гр. 3331506/00401 |  | Поздняков С. А. |
| Дата:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |  |  |

Санкт-Петербург

2023

Оглавление

[Введение 3](#_Toc138284779)

[Задание 4](#_Toc138284780)

[Основные возможности библиотеки OpenCV 5](#_Toc138284781)

[Чтение изображения из файла 5](#_Toc138284782)

[Чтение видеозаписи из файла 6](#_Toc138284783)

[Вывод видеоизображения с подключенной видеокамеры 7](#_Toc138284784)

[Обработка данных с камеры в OpenCV 8](#_Toc138284785)

[Геометрия формирования изображения 8](#_Toc138284786)

[Глобальная система координат 8](#_Toc138284787)

[Локальная система координат камеры 9](#_Toc138284788)

[Система координат изображения 10](#_Toc138284789)

[Калибровка камеры с помощью OpenCV 12](#_Toc138284790)

[Стереовидение и оценка глубины в OpenCV 14](#_Toc138284791)

[Использование библиотеки PCL для работы с облаками точек 16](#_Toc138284792)

[Заключение 18](#_Toc138284793)

[Приложение 18](#_Toc138284794)

[Список литературы 19](#_Toc138284795)

# Введение

Компьютерное зрение – это одна из самых востребованных областей на современном этапе развития цифровых компьютерных технологий. Оно требуется на производстве, при управлении роботами, при автоматизации процессов, в медицинских и военных приложениях, при наблюдении со спутников и при работе с персональными компьютерами, в частности поиске цифровых изображений.[1] Системы технического зрения (СТЗ) призваны и во многих случаях уже решают задачи по дополнению и даже замене человека в областях деятельности, связанных со сбором и анализом зрительной информации. Уровень их использования в прикладных областях является одним из наиболее наглядных показателей уровня развития высоких технологий. Цель компьютерного зрения заключается в формировании полезных выводов относительно объектов и сцен реального мира на основе анализа изображений, полученных с помощью датчиков (камер).[2]

# Задание

*Построение трехмерной поверхности рабочей зоны манипулятора по двум кадрам с видеокамеры робота при известном начальном приближении положения камеры относительно базы робота.*

Для реализации поставленной задачи было необходимо получить основные навыки работы с операционной системой Linux (Ubuntu 20.04) и особенностями взаимодействия с данной системой, изучить библиотеку OpenCV. OpenCV (Opensource computer vision library) – библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом. Для выполнения данного задания был использован язык программирования C++, но также возможно использование данной библиотеки с такими языками программирования, как Python, Java, MATLAB со своими особенностями для каждого.

Для работы была установлена библиотека OpenCV 4.6.0 и использовались основные её модули:

* opencv\_core – основные структуры, вычисления, математические функции, линейная алгебра, ввод/вывод;
* opencv\_highgui – ввод/вывод изображений и видео;
* opencv\_video – анализ движения и отслеживания объектов;
* opencv\_imgproc – обработка изображений (фильтрация, геометрические преобразования, преобразование цветовых пространств);
* opencv\_objdetect – обнаружение объектов на изображении.

# Основные возможности библиотеки OpenCV

## Чтение изображения из файла

Чтение изображения из файла осуществляется по его полному адресу (расположению). Применение такого алгоритма возможно для поиска изображений с особыми необходимыми параметрами, поскольку адрес изображения может быть представлен переменной и изменять свое значение, в связи с чем будет меняться обрабатываемое изображение. Имя задается переменной типа string, но при использовании нумерации изображений, формирующих необходимый набор исследуемых материалов возможно обращение к последующему изображению путем инкрементирования адреса и перевода из типа данных unsigned int в string. Пример программы, реализующий данный метод, и результат её работы представлены на рисунке 1 и рисунке 2.

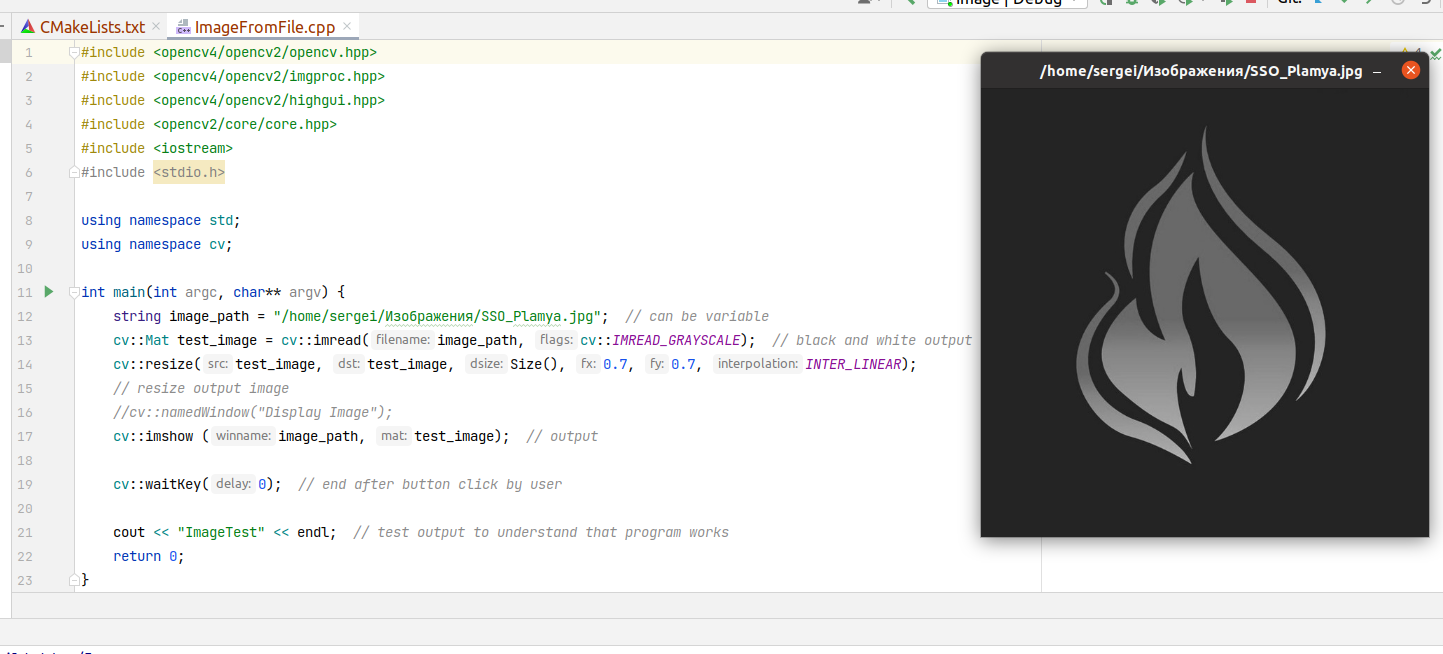


Рисунок 1

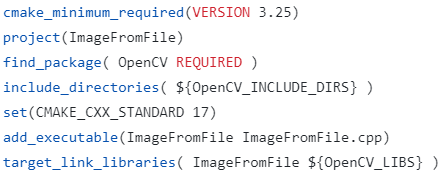


Рисунок 2 — CMake file

## Чтение видеозаписи из файла

Чтение видеозаписи из файла осуществляется по его полному адресу и возможно для детектирования объектов. Данный способ может быть применен для набора видеозаписей, поскольку имя может быть задано переменной типа string. Пример программы, реализующей такую функцию, и результат её работы представлены на рисунке 3 и рисунке 4.

Изображение выглядит как текст, небо, лодка, снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 3

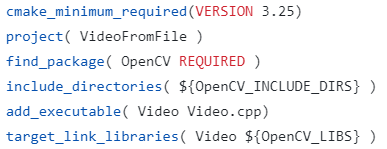


Рисунок 4 — CMake file

## Вывод видеоизображения с подключенной видеокамеры

Получение видеоизображения производится с помощью команды VideoCapture capture.open(idx) по индексу камеры, подключенной к компьютеру. Для встроенное видеокамеры будет idx = 0, для сторонних, подключенных через имеющиеся интерфейсы – «1», «2» и т. д. Данный способ может бы применен для детектирования требуемых объектов в режиме реального времени (например наличие средств индивидуальной защиты у работников на строительном объекте или определение номера автомобиля). Пример программы, реализующей такую функцию, и результат её работы представлены на рисунке 5 и рисунке 6.

Изображение выглядит как текст, Человеческое лицо, снимок экрана, очки

Автоматически созданное описание

Рисунок 5

Изображение выглядит как текст, Шрифт, снимок экрана, число

Автоматически созданное описание

Рисунок 6 — CMake file

# Обработка данных с камеры в OpenCV

## Геометрия формирования изображения

Перед началом работы с изображениями, полученными с помощью камеры, следует изучить способ получения изображения и перехода из глобальной системы координат в систему координат камеры для определения координат искомых точек. Рассмотрим глобальную систему координат, связанную с тремя измерениями комнаты, и локальную систему координат камеры.

Задача: учитывая трехмерную точку **P** в комнате необходимо найти координаты пикселей (*u, v*) данной трехмерной точки на двумерном изображении, полученном камерой.

### Глобальная система координат

Изображение выглядит как линия, диаграмма, текст, скат

Автоматически созданное описание

Рисунок 7 – Связь глобальной и локальной систем координат

Глобальная система координат и система координат камеры связаны поворотом и переносом. За данные преобразования отвечают 3 параметра для поворота и 3 для переноса. Данные параметры называются внешними параметрами камеры. Начало координат глобальной системы задается точкой (0, 0, 0), например в углу комнаты, а оси проходят по ребрам правильного параллелепипеда. Трехмерные координаты каждой точки пространства могут быть заданы тремя координатами в глобальной системе координат, назовем их ().

### Локальная система координат камеры

Изображение в комнате получено с помощью камеры, расположенной в произвольной точке данного пространства, поэтому для определения координат точки на снимке требуется знать координаты камеры (центр локальной системы координат относительно глобальной). Пусть камера расположена в точке (). Помимо переноса локальная система координат может быть повернута относительно глобальной. Для математического представления локальной системы координат поворот представляется матрицей вращения 3х3. Глобальная и локальная системы координат связаны матрицей вращения **R** и вектором переноса **t**. Следовательно если точка имела координаты , то в системе камеры будет иметь координаты . Данные значения координат связаны следующим соотношением:

Вектор переноса и матрица поворота формируют внешнюю матрицу **P**:

### Система координат изображения

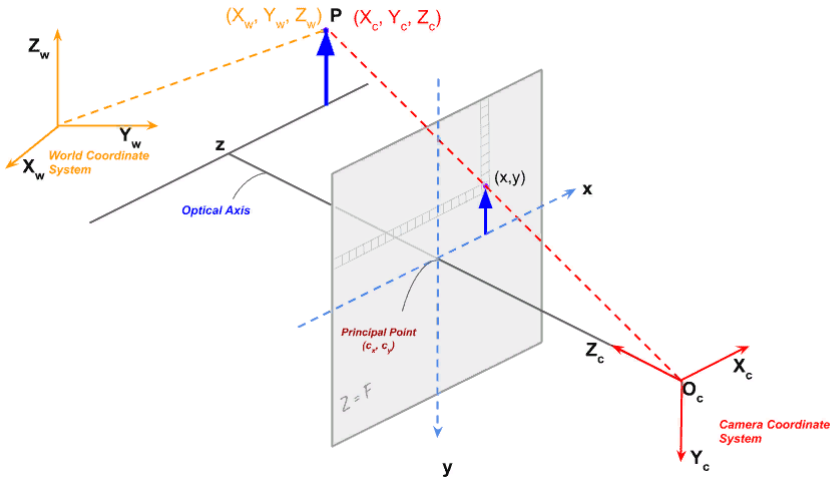


Рисунок 8 – Проекция точки P на плоскость изображения

После получения координат точки в локальной системе камеры необходимо спроецировать искомую точку на плоскость изображения, чтобы получить местоположение точки на изображении. Плоскость изображения расположена на фокусном расстоянии *f* от оптического центра камеры. Из подобия треугольников нетрудно заметить, что проекционное изображение (*x, y*) трехмерной точки получается следующим образом:

Ниже представлены данные уравнения в матричной форме:

Поскольку оптический центр может не совпадать с центром локальной системы координат, а фокусные расстояния по осям могут отличаться, то следует внести изменения в запись матрицы ***K***:

Изображение выглядит как диаграмма, линия, График, скат

Автоматически созданное описание

Рисунок 9 – Центр двумерной системы координат изображения не лежит на оптической оси камеры

В приведенном выше уравнении координаты точки на изображении указаны относительно центра, но в случае, представленном на рисунке 9, следует применить следующее преобразование:

где

Алгоритм вычисления координаты точки на изображении:

1. Трехмерная точка преобразуется из глобальной системы координат в локальную путем применения внешней матрицы поворота и переноса;
2. Полученная точка проецируется на плоскость изображения с использованием встроенной матрицы, состоящей из внутренних параметров камеры, таких как фокусное расстояние, координаты оптического центра.

## Калибровка камеры с помощью OpenCV

Калибровка – процесс оценки параметров камеры, требуемых для точной взаимосвязи между точкой в пространстве и соответствующей ей точкой на изображении. Для получения более точных сведений о камере для дальнейшего взаимодействия необходимо определить:

* Внутренние параметры камеры, такие как фокусной расстояние, координаты оптического центра, коэффициенты радиального искажения объектива;
* Внешние параметры, связанные с ориентацией (поворотом и переносом) системы координат камеры относительно глобальной системы координат.

Где **P** – матрица проекции 3х4, состоящая из внутренней матрицы **K** и внешней матрицы [**R|t**].

Цель процесса калибровки – нахождение внутренней матрицы, матрицы поворота и вектора переноса для известных трехмерных точек и соответствующие им координаты изображения . Камера считается полностью откалиброванной, если известны значения внешних и внутренних параметров. Входные данные: изображения с точками, координаты которых известны. Выходные данные: собственная матрица камеры, матрица поворота и переноса каждого изображения. Процесс калибровки производится в соответствии с блок схемой, представленной ниже:

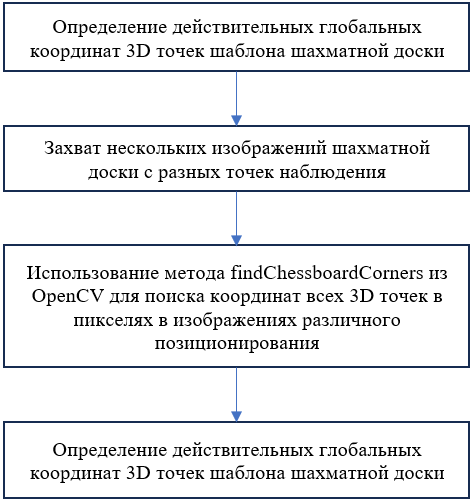


Рисунок 10

Клетки шахматной доски легко различимы на изображении. Угла клеток подходят для локализации, потому что имеют резкие градиенты в двух направлениях, находятся на пересечении линий доски.

OpenCV имеет встроенную функцию findChessboardCorners для поиска координат углов клеток шахматной доски. Данная функция имеет логический тип данных и результатом её работы является значение true или false в зависимости от того, был ли обнаружен шаблон доски. Заключительный этап калибровки состоит в том, чтобы передать 3D точки в глобальных координатах и их 2D координаты в метод calibrateCamera. Пример результата работы программы, реализующей калибровку камеры, представлен на рисунках 11 и 12:

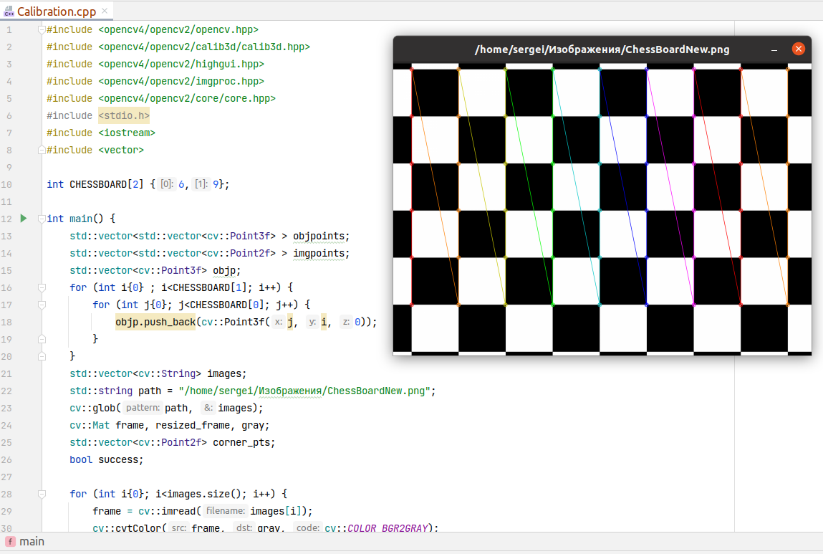


Рисунок 11

Изображение выглядит как текст, Шрифт, снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 12 – Вычисленные коэффициенты матриц

Полный код программы, реализующий калибровку камеры, представлен в репозитории GitHub в папке Calibration по ссылке из приложения.

## Стереовидение и оценка глубины в OpenCV

Для применения данных, полученных с камеры, для ориентации в пространстве и перемещении необходима информация о расстоянии до объектов, находящихся в поле видимости используемой камеры. Для получения данной информации используется карта глубины, построенная по данным с камеры. Карта глубины – это изображение, на котором каждый пиксель содержит информацию о расстоянии от поверхности объекта до точки обзора. Обычные камеры захватывают изображение таким образом, что информация о глубине в явном виде не представлена, поскольку она преобразует 3D-сцену в 2D-изображение. Сопоставление двух изображений, сдвинутых друг относительно друга, называется стереовидением и позволяет получить информацию о расстоянии до объектов на них. Оценка глубины – процесс определения расстояния любого объекта от камеры или расстояния одного объекта от другого в зависимости от того, находятся ли объекты ближе или дальше от камеры или друг друга.

Изображение выглядит как линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 13

Из-за смещения одного изображения относительно другого появляется такое свойство, как несоответствие:

Глубина точки в сцене обратно пропорциональна расстоянию между соответствующими точками изображения и их центрами камер, откуда можно рассчитать глубину всех пикселей.

В библиотеке OpenCV несоответствие изображения определяется с помощью функции StereoSGBM. Пример работы программы, выполняющей построение карты глубины по двум входным изображениям, представлен на рисунке 14, полный код данной программы представлен в репозитории GitHub в папке Deep\_Image по ссылке из приложения.

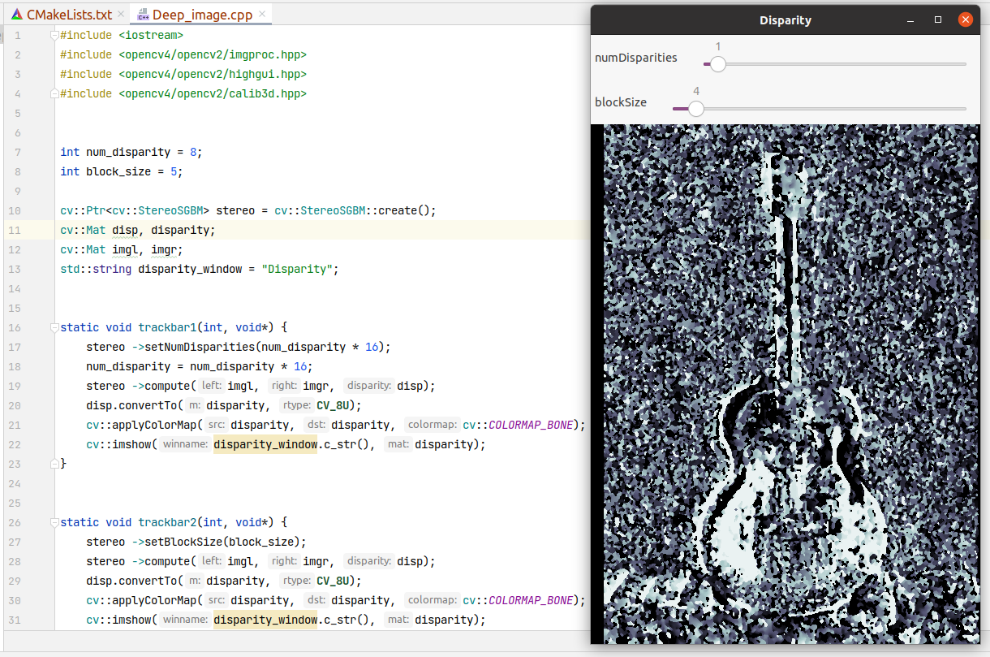


Рисунок 14

## Использование библиотеки PCL для работы с облаками точек

Для получения трехмерного изображения по двумерным входным данным применяется библиотека PCL (Point Cloud Library). PCL – библиотека алгоритмов для задач обработки облаков точек и обработки 3D-геометрии в трехмерном компьютерном зрении. Пример применения библиотеки OpenCV для вывода облака точек представлен на рисунке 15. Облако точек выводится в поле pcl\_viewer.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, компьютер, программное обеспечение

Автоматически созданное описание

Рисунок 15

# Заключение

В ходы выполнения задания, выданного для прохождения производственной практики

# Приложение

https://github.com/sergei-pozd25/PozdnyakovSergei/tree/main/OpenCV\_RTC

# Список литературы

1. Форсайт, Девид А., Понс, Жан Компьютерное зрение. Современный подход – Издательский дом «Вильямс», 2004. – 928 с.
2. Л. Шапиро, Дж. Стокман Компьютерное зрение – Лаборатория знаний, 2020. – 763 с.
3. R. Hartley, A. Zisserman – Multiple View Geometry in computer vision. – 2nd edition, – Cambridge University Press, 2003. – 673 pg.
4. A. Kaehler, G. Bradski – Learning OpenCV 3: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library, – O’Reilly Media, 2016. – 1024 pg.
5. Opencv.org, Camera calibration and 3D reconstruction [Электронный ресурс]. – <https://docs.opencv.org/4.x/d9/d0c/group__calib3d.html>.
6. Opencv.org, Installation on Linux [Электронный ресурс]. –

<https://docs.opencv.org/4.x/d7/d9f/tutorial_linux_install.html>.

1. GitHub.com OpenCV [Электронный ресурс]. –

<https://github.com/opencv/opencv/tree/4.7.0>.

1. LearnOpenCV.com Geometry of Image Formation [Электронный ресурс].– <https://learnopencv.com/geometry-of-image-formation/>.
2. LearnOpenCV.com Camera Calibration Using OpenCV [Электронный ресурс]. – <https://learnopencv.com/camera-calibration-using-opencv/>.
3. LearbOpenCV.com Stereo Camera Dept Estimation with OpenCV (Python, C++) [Электронный ресурс]. – https://learnopencv.com/depth-perception-using-stereo-camera-python-c/.