

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО»  
ИММиТ, кафедра «Мехатроника и роботостроение» при ЦНИИ РТК

---

**Отчет о прохождении производственной практики**

Сафронов Никита Антонович  
(Ф.И.О. обучающегося)

3 курс, группа 33335/2  
(номер курса обучения и учебной группы)

**Направление подготовки 15.03.06, «Мехатроника и робототехника»**  
(Направление подготовки (код и наименование))

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

Россия, 194064, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр. д.21

**Сроки практики: 05.07.2019г. – 02.08.2019г.**

**Руководитель практики от ФГАОУ ВО «СПбПУ»:**

*Габриель А.С., ст. преподаватель*

**Руководитель практики от профильной организации:**

*Лунев С.М., заведующий лабораторией*

Оценка:

Научный руководитель-консультант:

Руководитель практики  
от ФГАОУ ВО «СПбПУ»

Габриель А.С.

Дата:

# Оглавление

1	Введение	3
2	Рассмотрение вариантов решения	4
3	Разработка алгоритма	5
4	Результирующее решение	6
5	Выводы	8

# 1 Введение

Задача 3D-реконструкции сцены - довольно популярная современного компьютерного зрения. Можно выделить две основных подзадачи в 3D-реконструкции: построение карты с целью ориентирования (например, мобильным роботом) и создание цифровой 3D-модели предмета, здания или ландшафта (используется в картографии, гейм-дизайне и др).

Задача 3D реконструкции многогранна и ее сложность зависит от того, какая информация известна и каковы требования к результату.

Даже по одному изображению возможно построить карту глубин, которая затем легко преобразуется в трехмерное облако точек. Обычно для этого необходимо либо делать предположения о форме измеряемых объектов или помещения для съемки, либо использовать структурированную подсветку.

Структурированной подсветкой может быть просто источник света - тогда делается несколько кадров, где свет светит с разных сторон. Этот метод называется фотометрическим стерео. Правда, он требует несколько снимков, но камера при этом остается неподвижной.

Также можно проецировать на сцену паттерн при помощи лазера или проектора. Одним из ограничений данного метода является трудность его применения в солнечную погоду на улице из-за того, что паттерн от недостаточно мощного источника становится неразличим

Методы реконструкции по нескольким изображениям с разных ракурсов более распространены. Сформулируем 3 задачи 3D реконструкции по нескольким изображениям:

1. Известны положения камер, их матрицы искажений.

- Решается простой триангуляцией с помощью эпиполярной геометрии.

- Достаточно 2 снимков, остальные позволяют повысить точность и снизить влияние искажений

1.1 Упрощенная задача: оптические оси снимков параллельны

- Расстояние до объекта пропорционально линейному смещению точки между изображениями.

2. Известны матрицы камер и положения 3 и более точек на изображениях.

- По известным точкам определяется положение камер

- Зная положения камер, можем решать задачу 1

3. Неизвестно ничего, либо что-то известно, но данных недостаточно, либо точность значений параметров недостаточна для обеспечения требуемой точности 3D реконструкции. Имеется большое кол-во изображений сцены с разных ракурсов

- Используется комплекс методов фотограмметрии

Для фотограмметрии требуется специальное программное обеспечение, такое, как Agisoft Photoscan (хотя есть и открытые библиотеки). Ее плюсы: высокая детализация, определение цветов вокселей (трехмерных пикселей). Минусы: требуется много фотографий с разных ракурсов, расчет сцены требует много вычислительных ресурсов - real-time почти что невозможен.

## 2 Рассмотрение вариантов решения

В приложении к нашей реализации мы будем рассматривать только методы, связанные со съемкой с разных ракурсов. Будем стремиться решать либо задачу 1 (в идеале 1.1), либо 2.

Имеется:

- Робот

- 1 камера, закрепленная на манипуляторе

- точность позиционирования манипулятора невелика

Варианты:

1. Добавить вторую камеру, неподвижную относительно первой. Тогда задача сведется к 1.1

2. Превратить камеру в стереокамеру путем добавления к ней оптического сплиттера (технически сложный путь)

3. Добавить механизм для точного параллельного переноса камеры (1.1)

4. Разместить на корпусе робота неподвижные метки, которые всегда будут попадать в кадр и перемещать манипулятор (2)

5. Добавить механизм точного поворота камеры относительно оси, не проходящей через ее центр (1) (и параллельной оптической оси (1.1)).

6. Перемещая манипулятор, сделать более 2 снимков (1/1.1, повышение точности)

В результате проработки вышеописанных вариантов стало ясно, что:

1. Добавить вторую камеру не получится, так как имеющаяся камера - специально защищенная и изготовить вторую будет проблематично. Кроме того, нежелательны изменения конструкции робота
2. Установка оптического сплиттера невозможна по причине 1.
3. Точный синхронный поворот шарниров манипулятора, позволяющий обеспечить параллельный перенос камеры, невозможен из-за недостаточно гибкой системы управления манипулятором
4. В большинстве случаев корпус робота не попадает в кадр, поэтому размещение меток на корпусе не подходит.
5. В итоге было принято решение поворачивать только один шарнир робота на установленный угол ( $10^\circ$ ) и делать 2 снимка.
6. Можно делать больше 2 снимков с шагом в  $10^\circ$ , если будет такая необходимость

### 3 Разработка алгоритма

Алгоритм будет реализован на языке программирования Python 3 с использованием открытой библиотеки компьютерного зрения OpenCV.

1. При помощи шахматной доски была проведена калибровка камеры, результатом которой стали матрица камеры и матрица искажений.
2. Найти матрицу переноса камеры вычислительным методом по стереопарам не удалось из-за недостаточного количества снимков, поэтому матрица переноса была записана вручную с учетом предположения о том, что угол поворота между снимками составляет  $10^\circ$ .
3. Результаты шагов 1 и 2, были использованы для нахождения преобразования входных изображений в карты смещений (disparity maps). Последние отличаются тем, что соответствующие друг другу пиксели находятся в одинаковых строках, а смещение этих пикселей по столбцам обратно пропорционально расстоянию от камеры до их трехмерного оригинала.
4. Карты смещений подаются на вход объекта OpenCV StereoBM, которая на их основе рассчитывает карту глубин. Этот объект имеет множество настраиваемых параметров, для которых необходимо подобрать оптимальные значения.
5. Настроенный StereoBM позволяет получить сырую карту глубин. Полу-

ченную карту необходимо сгладить, обрезать края (так как область пересечения кадров меньше размера кадра), а также интерполировать пустые места методом OpenCV inpaint.

6. Для того, чтобы по карте глубин построить облако точек, необходимо знать масштаб карты (преобразование величин в сантиметры), угловое расстояние между пикселями по вертикали и горизонтали, а также координаты центра карты.

7. После этого полученное облако точек необходимо привести к системе координат, связанной с левым положением камеры и сконвертировать в формат .pcd (в соответствии с требованиями заказчика).

## 4 Результирующее решение

В итоге была создана программа, запускаемая локально через systemd, которая принимает http POST запрос со стереопарой (левый и правый кадры) (в виде путей к изображениям), а также рядом опциональных параметров, после чего создает облако точек, сохраняет в файл и в ответе возвращает путь к данному файлу.

При запуске программа подгружает сохраненные значения калибровки камеры, стереокалибровки и настройки StereoBM из файлов. Таким образом, шаги вышеописанного алгоритма 1-4 выполняются однократно, а шаги 5-7 выполняются при каждом запросе.

Пример работы алгоритма. Визуализирована промежуточная стадия - построение карты глубин:

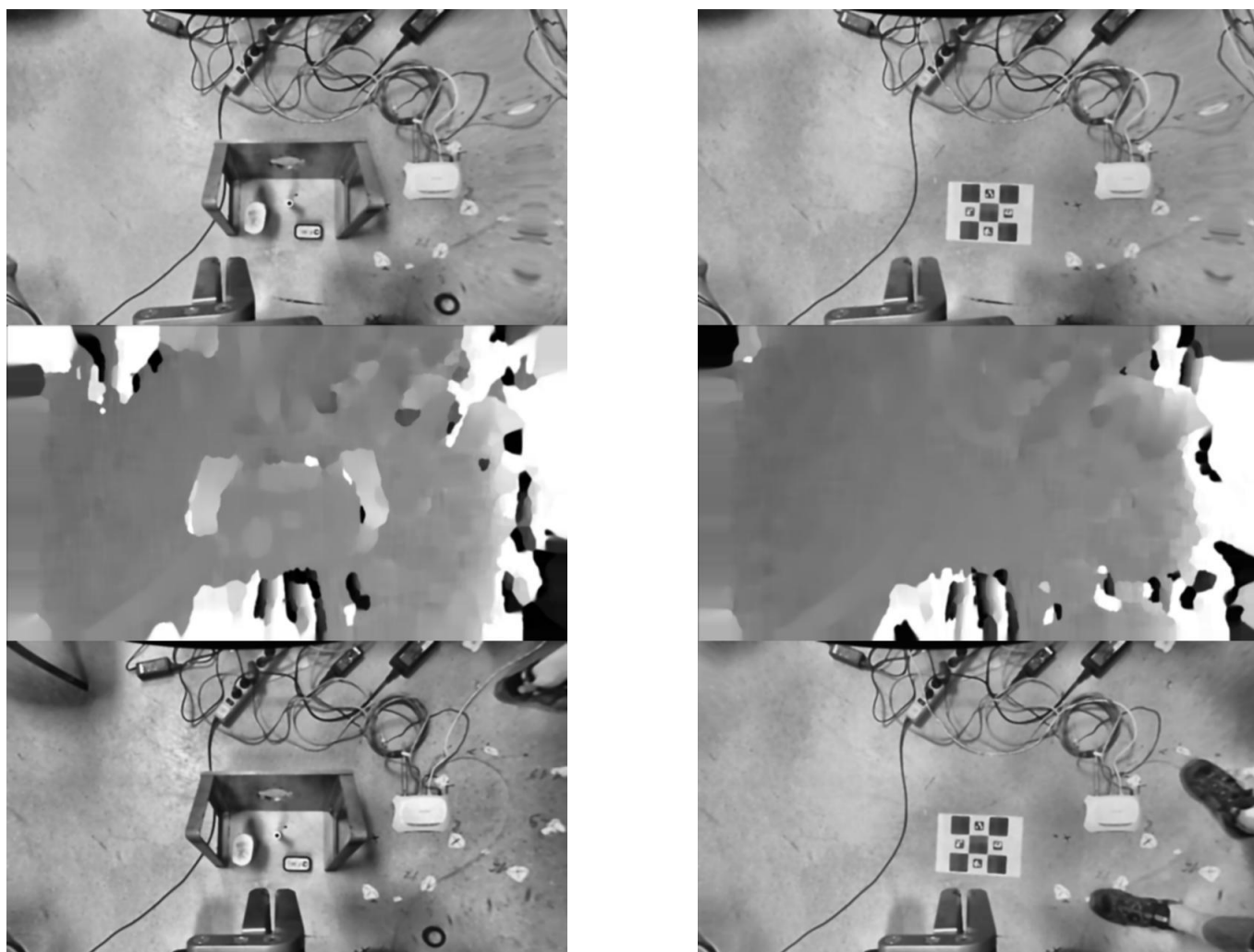
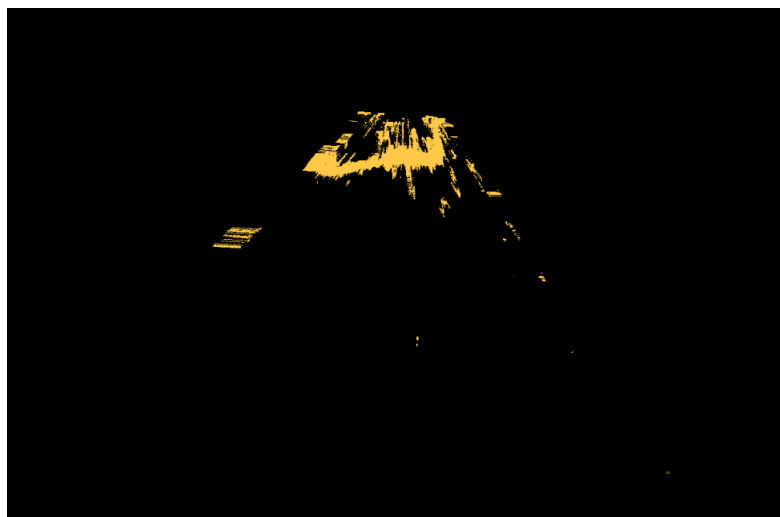


Рис. 1: На изображениях сверху вниз: левый кадр, карта глубин, правый кадр

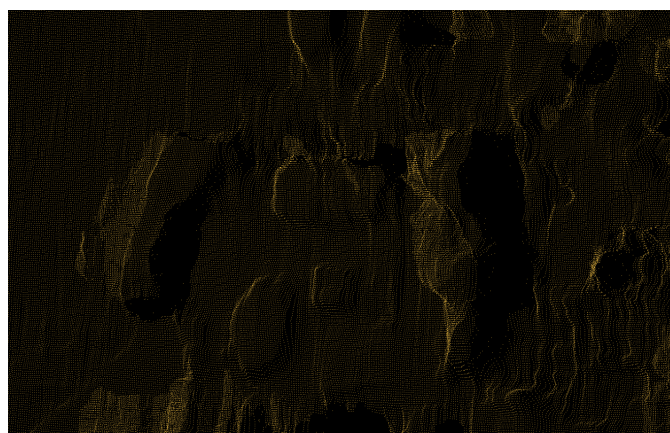
Как видно, в области схвата манипулятора на карте глубин виден шум, так как, в отличие от остального изображения, схват остается неподвижным относительно обоих кадров. В принципе, эту область можно было бы вырезать, однако форма этой области может меняться в зависимости от степени открытия схвата, поэтому мне бы не хотелось вырезать область, которая в некоторых случаях может содержать адекватные значения.

Кроме того, по краям изображений видны искажения, вызванные недостаточной калибровкой матрицы искажений камеры. Изображения старые, на данный момент эта проблема исправлена.

А вот результат как облако точек. Это вид сбоку. Видно, что все точки лежат внутри пирамиды, образованной углами обзора камеры:



Место на изображении и его представление на облаке точек:



## 5 Выводы

Поставленная задача выполнена. Мною получен опыт разработки системы стереозрения при помощи библиотеки OpenCV. По результатам выполнения летней практики составлен отчет.