МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Новосибирский НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ государственный университет» (нОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ, НГУ)

Факультет информационных технологий

Кафедра информационно-измерительных систем

1. Направление подготовки: 230100 Информатика и вычислительная техника

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

«РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

ГРУППЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РЫБ»

Липкин Евгений Олегович

**«К защите допущен» Научный руководитель**

Заведующий кафедрой, н.с. ИАиЭ СО РАН,

д.т.н. к.т.н.

Потатуркин О.И./………….. Куликов В.А./………...

(фамилия , И., О.) / (подпись, МП) (фамилия , И., О.) / (подпись, МП)

«……»………………2015г. «……»………………2015г.

Дата защиты: «……» ………………2015г.

Автор Липкин Е.О./………...

(фамилия, И., О.) / (подпись)

Новосибирск, 2015г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc419833703)

[ГЛАВА 1. Анализ задачи, требования к системе 4](#_Toc419833704)

[Анализ задачи 4](#_Toc419833705)

[Требования к системе 7](#_Toc419833706)

[Требования к аппаратной части системы 7](#_Toc419833707)

[Требования к программной части системы 7](#_Toc419833708)

[Сценарии работы программного обеспечения 8](#_Toc419833709)

[ГЛАВА 2. Проектирование системы 9](#_Toc419833710)

[Аппаратная часть системы 9](#_Toc419833711)

[Стойка для камер 9](#_Toc419833712)

[Система освещения 10](#_Toc419833713)

[Программная часть системы 10](#_Toc419833714)

[Построение фона 10](#_Toc419833715)

[Получение двухмерных координат объектов 11](#_Toc419833716)

[Получение трёхмерных координат объектов 12](#_Toc419833717)

[Визуализация объектов 13](#_Toc419833718)

[Программные средства 14](#_Toc419833719)

[ГЛАВА 3. Реализация 14](#_Toc419833720)

[Функциональность 14](#_Toc419833721)

[Калибровка 15](#_Toc419833722)

[Задача калибровки 15](#_Toc419833723)

[Задача поиска коэффициентов дисторсии изображения 15](#_Toc419833724)

[Задача взаимного ориентирования 15](#_Toc419833725)

[Построение фона 15](#_Toc419833726)

[Получение двухмерных координат объектов 16](#_Toc419833727)

[Метод триангуляции 16](#_Toc419833728)

[Сохранение и загрузка данных 16](#_Toc419833729)

[Разработка визуализации объектов в трёхмерном пространстве 16](#_Toc419833730)

[Визуализация данных 16](#_Toc419833731)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 16](#_Toc419833732)

[ЛИТЕРАТУРА 17](#_Toc419833733)

ВВЕДЕНИЕ

В современном понимании этология – наука о поведении животных. Необходимость проведения этологических исследований главным образом определена сходством в поведении животных и поведении людей, как автономных субъектов, обладающих индивидуальной психической мотивацией, а также как элементов толпы, или как носителей массовых инстинктов, коллективных устремлений и чувств.

Биологи нуждаются в автоматизации этологических экспериментов. Разные виды животных и разные виды экспериментов определяют сложность разработки универсальной системы для решения задач подобного рода.

В лаборатории цифровых методов обработки изображений ИАиЭ СО РАН разработана зарекомендовавшая себя на рынке система автоматизации этологических тестов EthoStudio, которая представляет собой аппаратно-программный комплекс, включающий в себя многофункциональную установку для тестирования животных и компьютер с программным обеспечением. Однако, в этой системе отсутствует инструментарий, позволяющий автоматизировать наблюдение за рыбами.

У ЛИН СО РАН существует задача автоматического отслеживания перемещения группы лабораторных рыб для изучения акустической чувствительности. Эта задача сводится к определению трёхмерных координат отдельных особей во время эксперимента.

На данный момент большинство систем, автоматизирующие этологические эксперименты, построены на использовании одной единственной камеры. Задача получения трёхмерных координат рыб решена только в виде системы, способной автоматизировать наблюдение лишь за одной лабораторной рыбой.

Рыбы двигаются в трёхмерном пространстве, поэтому требуется реализовать инструментарий получения трёхмерных координат объектов. Для решения задачи получения трёхмерных координат объекта используют 3D камеры, которые представляют собой пару камер, расположенных на фиксированном расстоянии друг от друга, для получения стереопары (пары изображений с 3D камеры), с помощью которой определяют координаты, используя алгоритм построения карты диспарантности или метод триангуляции.

Цель дипломной работы состоит в разработке инструментария получения трёхмерных координат лабораторных рыб.

Для достижения цели мной выделены следующие задачи:

* Проанализировать проблему;
* Выявить требования к системе;
* Разработать и сконструировать аппаратную часть системы;
* Реализовать программное обеспечение, способное вычислять трёхмерные координаты рыб;
* Разработать визуализацию перемещения рыб в трёхмерном пространстве.

В работе был создан программный модуль, определяющий трёхмерные координаты объектов методом триангуляции и позволяющий пользователю задавать параметры фильтра размытия по Гаусса, количество кадров и частота кадров для построения модели фона и границы площадей связных компонент для фильтрации случайных выбросов. Этот программный модуль позволяет системе EthoStudio автоматизировать этологические исследования с аквариумными рыбами.

Работа изложена в трёх главах. В первой главе описан анализ задачи и требования к системе. Во второй главе описано проектирование аппаратной и программной части системы. В третьей главе описана реализация аппаратной и программной частей системы.

Дипломная работа выполняется в лаборатории цифровых методов обработки изображений ИАиЭ СО РАН в рамках заказного проекта «Система автоматического отслеживания перемещения группы лабораторных рыб».

ГЛАВА 1. Анализ задачи, требования к системе

Анализ задачи

На текущий момент системы, автоматизирующие этологические эксперименты построены на использовании одной единственной камеры. Также, существуют отдельные системы, заточенные под решение определенной задачи. Задача получения трёхмерных координат рыб решена только в виде системы, способной автоматизировать наблюдения лишь за одной лабораторной рыбкой.

На мировом рынке системы автоматизации этологических исследований на аквариумных рыбах разрабатывает компания «ViewPoint». В России дистрибьютором продуктов этой компании является компания «Vivariy.com».

Компания «ViewPoint» разработала системы для отслеживания перемещения рыб «ZebraLab» и «ZebraLab3D». Эти системы специализируются на автоматическом определении координат взрослых особей вида данио-рерио. Система ZEBRALAB позволяет …

Решение задачи не нуждается в реконструкции трёхмерной структуры сцены, поэтому нет нужды в использовании алгоритма построения карты диспарантности. Оптимальнее будет использовать метод триангуляции для определения трёхмерных координат объектов.



Рисунок 1: Скриншот программы ZEBRALAB

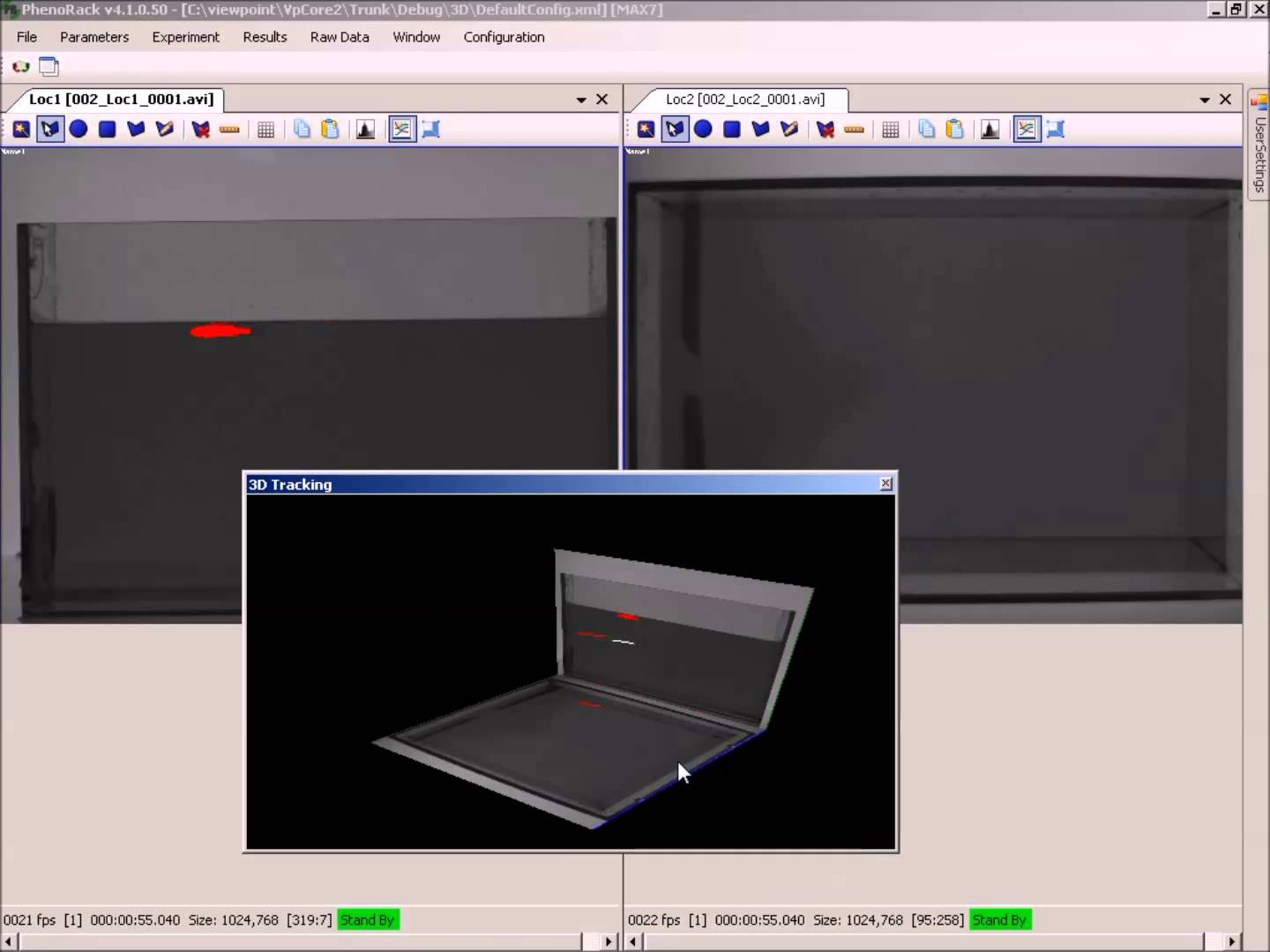


Рисунок 2: Скриншот программы ZEBRALAB3D

Для задач этологических исследований используют модельный организм биологии развития – вид данио-рерио(zebrafish). Её геном на 80% совпадает с человеческим. Благодаря тому, что биологи очень хорошо знают их внутреннее строение, этих рыбок многие биологи предпочитают использовать для своих экспериментов. Спектр решаемых задач достаточно широк: пищевое поведение, акустическое поведение, апробация медицинских препаратов, тестирование реакции на химические вещества (экология), бихевиоризм (лидерство, стадность) и другие различные типы экспериментов. Для данной задачи подойдут взрослые особи вида данио-рерио.

Биологи ЛИН СО РАН проводят исследования акустической чувствительности лабораторных рыб в аквариумах. Распространённым решением задачи получения трёхмерных координат объектов является стереоскопия. На основе двух кадров, сделанных камерой или камерами, можно определить относительное положение объектов. Так как нам необходимо отслеживать перемещение рыб, требуется работа с последовательностями кадров. Нам потребуется пара камер, расположенных на фиксированном расстоянии друг от друга.

Датчики глубины (в частности, Microsoft Kinect) не подходят для решения задачи по причине искажений инфракрасной сетки в среде аквариума.



Рисунок 3: Кадр с камеры глубины Microsoft Kinect



Рисунок 4: Шумы поверх кадра Microsoft Kinect

Задачу можно решить, используя алгоритм построения карты диспарантности или метод триангуляции. Так как нам не нужно работать с формами наблюдаемых объектов, а нужны только их трёхмерные координаты, то для решения задачи больше подойдёт метод триангуляции. Алгоритм построения карты диспарантности будет производить лишние операции, что скажется на скорости работы системы.

Требования к системе

Требования к аппаратной части системы

Выявлены следующие требования к аппаратной части системы:

* Аппаратная часть системы должна представлять собой установку, состоящую из стойки для камер, системы освещения, аквариума, оборудования для обеспечения жизнедеятельности в аквариуме и компьютера;
* Стойка для камер должна уметь регулировать положение камер для возможности калибровки камер под произвольный аквариум;
* Система освещения должна обеспечивать контрастность между фоном и наблюдаемыми объектами.



Рисунок 5, Модель макета аппаратной части системы

Требования к программной части системы

Программная часть системы должна представлять собой программное обеспечение, обладающее инструментарием для получения трёхмерных координат трёх взрослых особей вида данио-рерио и визуализацией их в трёхмерном пространстве. При пересечении наблюдаемых объектов на кадре, принимаем центр масс связной компоненты за их двухмерные координаты на изображении.

Получение трёхмерных координат объектов должно быть реализовано с помощью метода триангуляции. Система должна определять трёхмерные координаты объектов с точностью до 2 см.

Программа должна обеспечивать возможность выполнения перечисленных ниже функций:

* функции запуска отслеживания перемещения группы лабораторных рыб системой;
* функции остановки запуска отслеживания перемещения группы лабораторных рыб системой;
* функции визуализации данных о местоположении лабораторных рыб в произвольный момент времени на трёхмерной карте;
* функции сохранения данных о местоположении лабораторных рыб;
* функции загрузки данных о местоположении лабораторных рыб.

Пользовательский интерфейс программы должен обеспечивать возможность выполнения перечисленных функций.

Сценарии работы программного обеспечения

Основной сценарий работы программного обеспечения состоит из нескольких шагов:

* запускаем программу;
* запускаем алгоритм автоматического отслеживания перемещения;
* по истечению эксперимента останавливаем алгоритм отслеживания перемещения;
* выбираем визуализацию данных удобным нам образом;
* при надобности сохраняем полученный результат.

Другой сценарий работы алгоритма заключается в следующем:

* загружаем данные о перемещении группы лабораторных рыб;
* визуализируем удобным нам образом.

ГЛАВА 2. Проектирование системы

Аппаратная часть системы

Для тестовой системы мы используем следующее оборудование:

* Стол;
* Аквариум 700x250x400 мм3;
* Фильтр, компрессор, терморегулятор;
* Система освещения;
* Стойка для камер;
* Две камеры Point Grey FL3-U3-32S2 M-CS с кадровой частотой – 60 кадров в секунду и разрешаемой способностью – 1600x1200 пикселей;
* Компьютер.



Рисунок 6, Фотография системы

Стойка для камер

При сборке стойки для камер была использована система алюминиевых профилей для торгово-выставочного оборудования "Consta-Sib" компании ЗАО "СИБ.ПРОФИЛЬ", предназначенного для изготовления профильных конструкций. Был спроектирован и собран стенд, согласно проекту.

Система освещения

Была изготовлена система освещения, представляющая собой корпус из твёрдого ПВХ 700x400x100 мм3. Передняя панель системы освещения состоит из акрилового оргстекла. Весь корпус, не включая переднюю панель, обклеен изнутри фольгой. Поверх фольги по контуру корпуса изнутри размещена светодиодная сетка. Система освещения размещается за аквариумом для обеспечения контрастности между наблюдаемыми объектами и фоном.

Программная часть системы

Есть две камеры, с каждой берётся видеопоток. Для каждого видеопотока выполняется следующий алгоритм: находятся объекты и определяются двухмерные координаты этих объектов. Далее, методом триангуляции определяются трёхмерные координаты объектов и визуализируются в трёхмерном пространстве.



Рисунок 7, Алгоритм работы программы

Построение фона

Нам нужно выделить наблюдаемые объекты, для этого нужно построить фон. Фон строится следующим образом: Для каждой точки фона мы вычисляем медианный элемент последовательности из 50 кадров с частотой 5 кадров в секунду. Вычитая фон из исходного изображения, мы получаем изображение наблюдаемых объектов.



Рисунок 8, Исходное изображение с видеокамеры



Рисунок 9, Изображение наблюдаемых объектов

Получение двухмерных координат объектов

Следующий этап алгоритм – получение двумерных координат объектов. В качестве координат объектов мы используем центры масс связных компонент. Для того, чтобы получить центры масс связных компонент, нам нужно провести бинаризацию изображения наблюдаемых объектов. После этого мы проводим поиск связных компонент. Фильтруем связные компоненты по размерам, чтобы отсечь случайные выбросы. Центры масс связных компонент, прошедших фильтрацию, мы принимаем за двухмерные координаты объектов.



Рисунок 10, Бинаризованное изображение наблюдаемых объектов

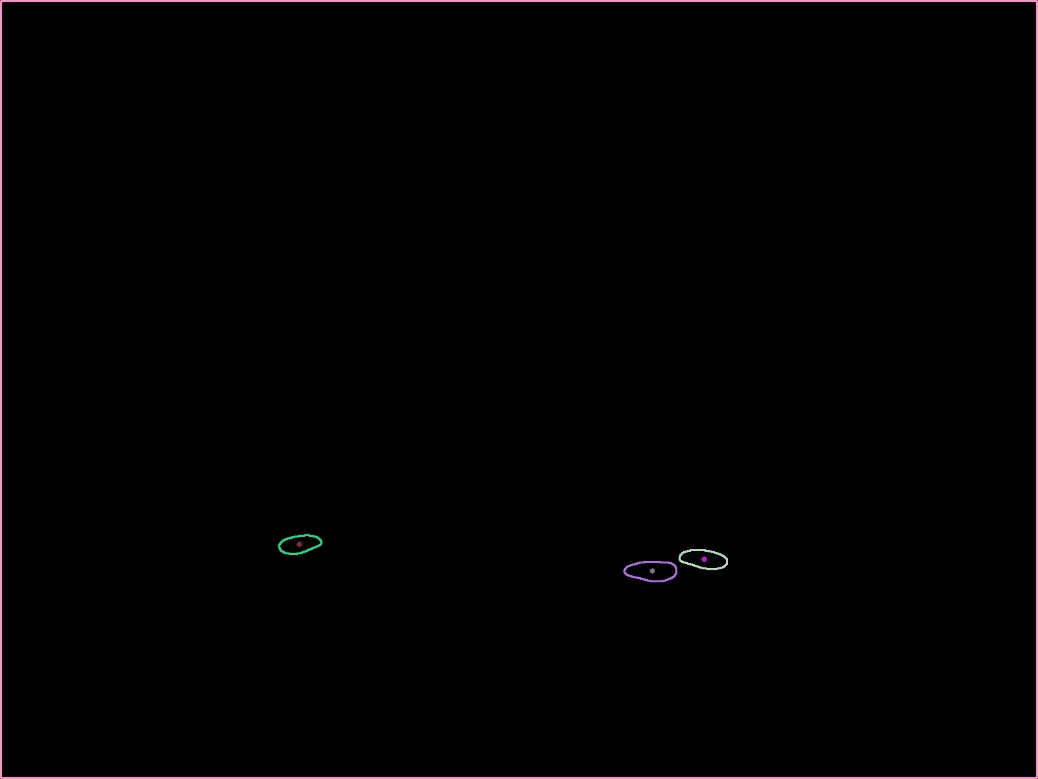


Рисунок 11, Связные компоненты и их центры масс

Получение трёхмерных координат объектов

Зная параметры камер и двухмерные координаты объектов, мы можем решить задачу триангуляции, которая сводится к решению системы линейных уравнений методом наименьших квадратов.

(P11-u1\*P31)\*X+(P12-u1\*P32)\*Y + (P13-u1\*P33)\*Z =(u1\*P34-P14)

(P21-v1\*P31)\*X+(P22-v1\*P32)\*Y + (P23-v1\*P33)\*Z =(v1\*P34-P24)

(P11-u1\*P31)\*X+(P12-u1\*P32)\*Y + (P13-u1\*P33)\*Z =(u1\*P34-P14)

(P21-v1\*P31)\*X+(P22-v1\*P32)\*Y + (P23-v1\*P33)\*Z =(v1\*P34-P24)

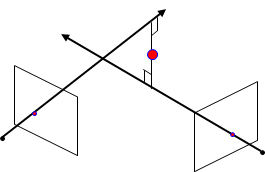


Рисунок 12, Схема триангуляции

Визуализация объектов

Результат триангуляции визуализируется программой в отдельном окне с помощью библиотеки OpenGL.

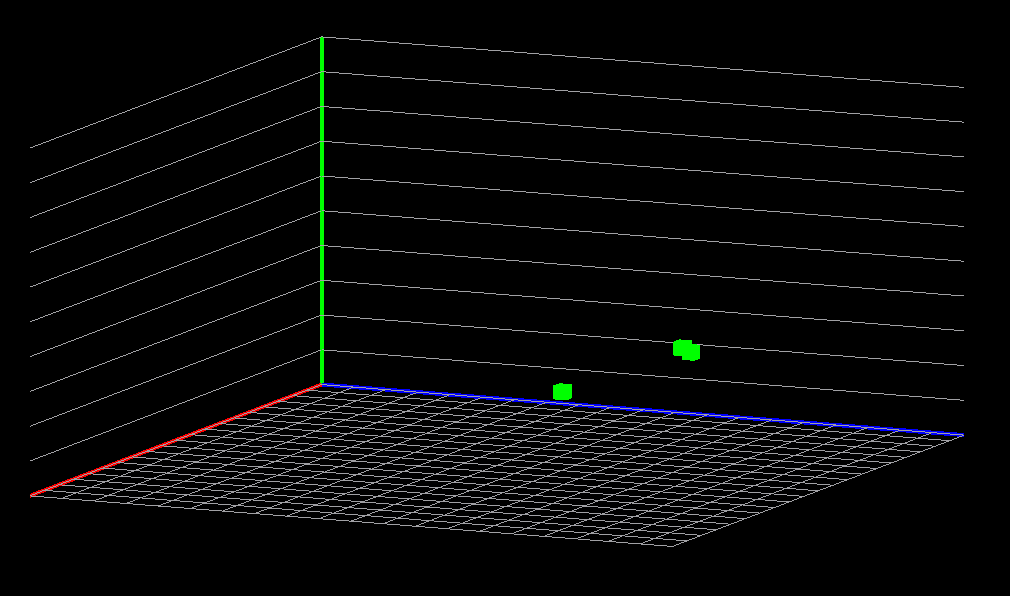


Рисунок 13, Кадр визуализации объектов

Алгоритмы

У нас есть две видеокамеры и калибровочные данные для каждой камеры. Алгоритм андисторсии точек изображения будем осуществлять с помощью алгоритма из библиотеки OpenCV.

*Построение фона*

Нам нужно выделить наблюдаемые объекты, для этого нужно построить фон. Фон строится следующим образом: Для каждой точки фона мы вычисляем медианный элемент последовательности из 50 кадров с частотой 5 кадров в секунду. Вычитая фон из исходного изображения, мы получаем изображение наблюдаемых объектов.

*Размытие фильтром Гаусса*

*Пороговая бинаризация*

*Поиск связных областей*

*Фильтрация связных областей по площади*

*Поиск центров масс связных областей*

*Андисторсия центров масс связных областей*

*Получение трёхмерных координат объектов*



Рисунок 14

Имеем пару камер. К каждой камере известны внутренние и внешние параметры . Тогда системы камер будет иметь свои параметры перехода:

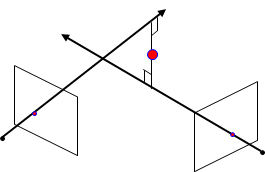


Рисунок 15

Имеем два луча из двух камер. Данные два луча образуют переопределённую систему, удовлетворяющую уравнению плоскости:

Здесь W – матрица из трёх столбцов и четырёх строк, в которую входят коэффициенты матрицы калибровки двух камер и координаты точек проекции, а вектор D – правая часть уравнения. Именно такой вид имеют уравнения для X, Y, Z.

Теперь подробнее:

В глобальной системе координат:

Программные средства

Для реализации программного обеспечения мы использовали следующие средства разработки:

* **C++98** - компилируемый статически типизированный язык программирования общего назначения.
* **Qt 5.2.1** - кроссплатформенный инструментарий разработки ПО на языке программирования C++.
* **OpenCV 2.4.10** - библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом. Реализована на C/C++.
* **Point Grey FlyCapture 2.0 SDK** - библиотека, разработанная специально для использования для работы с камерами Point Grey.
* **EthoStudio SDK** - система автоматизации этологических тестов EthoStudio представляет собой аппаратно-программный комплекс, включающий в себя многофункциональную установку для тестирования животных и компьютер с программным обеспечением. Реализована на C++ с использованием кроссплатформенной библиотеки Qt, библиотеки компьютерного зрения OpenCV и другого инструментария.
* **OpenGL 2.0** - спецификация, определяющая независимый от языка программирования платформонезависимый программный интерфейс для написания приложений, использующих двумерную и трёхмерную компьютерную графику.
* **Microsoft Visual C++ Compiler 10.0** - компилятор языка программирования C++ от компании Microsoft.

ГЛАВА 3. Алгоритмы

У нас есть калибровочные данные камер и стереопара

ГЛАВА 3. Реализация системы

Для реализации задачи было решено разработать программное обеспечение, позволяющее работать со стереопарой.

Функциональность

Возможность сохранение и загрузки калибровочных данных камеры. Загружать изображения, захватывать видеопотоки с камер. Применять к изображениям следующие алгоритмы: андисторсия, ректификация, построение карты диспаратнтности, метод триангуляции. Возможность из интерфейса программы регулировать параметры алгоритма построения карты диспарантности и метода триангуляции.

Калибровка

Камеры нуждаются в калибровке. Задачу калибровки можно разбить на несколько подзадач:

* задача калибровки;
* задача поиска коэффициентов дисторсии(искажения) изображения;
* задача взаимного ориентирования (стереокалибровка).

Задача калибровки

Задача калибровки заключается в нахождении матрицы внутренних параметров камеры, которая содержит параметры оптической системы и фотоприёмника камеры.

В системе EthoStudio разработан инструментарий, позволяющий получить матрицу внутренних параметров камеры, с помощью библиотеки OpenCV.

Задача поиска коэффициентов дисторсии изображения

Задача поиска коэффициентов дисторсии изображения заключается в нахождении трёх радиальных и двух тангенциальных коэффициентов дисторсии изображения.

В системе EthoStudio разработан инструментарий, позволяющий получить коэффициенты дисторсии камеры, с помощью библиотеки OpenCV.

Задача взаимного ориентирования

Задача взаимного ориентирования заключается в вычислении взаимного расположения камер в виде матрицы поворота **R** и вектора смещения **t**.

Эта задача решена следующим образом: в кадры видеокамер помещается специальная калибровочная доска таким образом, что полностью вся доска попадает в кадры обеих камер, методом *cv::findCirclesGrid* находятся координаты объектов калибровочной доски, и вычисляются матрица поворота одной камеры относительно другой и вектор смещения одной камеры относительно другой.

Реализация программной части системы

Построение фона

Нам нужно выделить наблюдаемые объекты, для этого нужно построить фон. Фон строится следующим образом: Для каждой точки фона мы вычисляем медианный элемент последовательности из 50 кадров с частотой 5 кадров в секунду. Вычитая фон из исходного изображения, мы получаем изображение наблюдаемых объектов.

Получение двухмерных координат объектов

После построения модели фона, вычитаем модель фона из исходного изображения методом *cv::absdiff*. Далее размываем изображение функцией Гаусса квадратным окном, с апертурой заданной в программе (по умолчанию, 10), методом *cv::blur* и бинаризуем изображение по порогу методом *cv::threshold*.

С помощью метода *cv::findContours* находим связные компоненты, фильтруем их по площади, которую определяем методом *cv::contourArea*. Находим центры масс связных компонент, прошедших фильтрацию методом /\*…\*/

Получение трёхмерных координат объектов

Реализуем метод триангуляции при помощи готовых алгоритмов библиотеки EthoStudio.

/\* На самом деле нет, позже подробно распишу\*/

Визуализация данных

Для визуализации будем использовать инструментарий OpenGL, который позволяет визуализировать трёхмерные объекты.

Сохранение и загрузка данных

Полученные трёхмерные координаты группы рыб мы будем сохранять и загружать в своём формате. В заголовке файла мы записываем параметры эксперимента: название, количество наблюдаемых объектов, длительность эксперимента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для достижения цели проделана следующая работа: проанализирована проблема, выявлены требования к системе, разработана и сконструирована аппаратная часть системы, реализовано программное обеспечение, позволяющее получать трёхмерные координаты объекта методом триангуляции, разработана визуализация перемещения рыб в трёхмерном пространстве. Работа получила диплом третьей степени на Международной научной студенческой конференции 2015 года.

В дальнейшем планируется оттестировать и отладить алгоритмы, внедрить систему в ЛИН СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gary Bradasky, Adrian Kaehler, Learning OpenCV: Computer Vision using the OpenCV Library
2. Richard Hartley, Andrew Zisserman, Multiple View Geometry in Computer Vision
3. Документация библиотеки OpenCV
4. Документация Point Grey FlyCapture 2.0 SDK