

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)**  
**Кафедра МО ЭВМ**

**отчет**  
**по научно-исследовательской практике**  
**Тема: Обзор статьи «Mesh Reconstruction from Aerial Images for Outdoor**  
**Terrain Mapping Using Joint 2D-3D Learning»**

Студент гр. 0304	_____	Алексеев Р.В.
Студент гр. 0304	_____	Жиглов Д.С.
Студент гр. 0304	_____	Петров Д.Д.
Руководитель	_____	Иванов Д.В.

Санкт-Петербург  
2023

## ЗАДАНИЕ НА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ПРАКТИКУ

Студент Алексеев Р.В.

Студент Жиглов Д.С.

Студент Петров Д.Д.

Группа 0304

Тема практики: Обзор статьи «Mesh Reconstruction from Aerial Images for Outdoor Terrain Mapping Using Joint 2D-3D Learning»

Задание на практику:

В рамках научно-исследовательской практики необходимо выполнить подробный обзор статьи «Mesh Reconstruction from Aerial Images for Outdoor Terrain Mapping Using Joint 2D-3D Learning», результатом которого является отчет.

Сроки прохождения практики: 20.02.2023 — 24.04.2023

Дата сдачи отчета: 20.04.2023

Дата защиты отчета: 20.04.2023

Студент	_____	Алексеев Р.В.
Студент	_____	Жиглов Д.С.
Студент	_____	Петров Д.Д.
Руководитель	_____	Иванов Д.В.

## **АННОТАЦИЯ**

Цель научно-исследовательской практики — это получение навыков анализа научных статей и написания отчетов с обзорами на них.

Целью исследования в статье «Реконструкция сетки по аэрофотоснимкам для картографирования местности на открытом воздухе с использованием совместного 2D-3D обучения» является разработка нового совместного 2D-3D метода обучения для реконструкции сетки на кадрах полученных с беспилотных летательных аппаратов, чтобы по ним восстановить изменения высоты поверхности.

## **SUMMARY**

The purpose of the research practice is to acquire the skills of analyzing scientific articles and writing reports with reviews on them.

The aim of the research in the article "Reconstruction of the grid from aerial photographs for outdoor mapping using collaborative 2D-3D learning" is to develop a new collaborative 2D-3D learning method for reconstructing the grid on frames obtained from unmanned aerial vehicles in order to restore changes in surface height from them.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	5
1.	Поставленная цель и задачи	6
2.	Тематика статьи	8
3.	Методы обоснования	9
4.	Характеристика экспериментальной части	10
4.1	Методы проведения эксперимента	10
4.2	Используемые данные и их характеристики	10
4.3	Способы обработки измерений	10
4.4	Правомерность выводов по итогам эксперимента	10
5.	Характеристика выводов	11
5.1	Сравнение поставленных задач и достигнутых результатов	11
5.2	Раскрытие результатов по каждой из поставленных задач	11
5.3	Направления для дальнейших исследований	11
6.	Качество списка литературы в статье	12
7.	Качество иллюстративного материала	13
8.	Достигнутый результат	14
8.1	Чем является результат	14
8.2	Особенность результата	14
8.3	Характеристики результата	14
8.4	Границы применимости результата и степень его универсальности	14
8.5	Технические ограничения	14
8.6	Недостатки полученного решения	15
8.7	Нераскрытые вопросы	15
	Заключение	16
	Список использованных источников	17

## **ВВЕДЕНИЕ**

В связи с развитием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) появилась возможность применять их для аэрофотосъемки поверхности для дальнейшего составления карт местности, мониторинга окружающей среды, помощи в сельском хозяйстве и охране и т.д. Благодаря достижениям в областях процессоров, систем хранения и связи стало возможным производить сложные вычисления сразу на борту БПЛА, что может позволить ускорить обработку информации, получаемой с различных датчиков, установленных на БПЛА.

В данной статье рассматривается метод решения задачи построения модели местности в виде сетки с использованием последовательности RGB изображений, полученных с БПЛА. Это позволяет точнее восстанавливать ландшафт местности, т.е. изменения высот, изображенной на снимках.

## **1. ПОСТАВЛЕННАЯ ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ**

Основной целью статьи является разработка метода для построения 3D сетки на основе RGB-изображений, а также сравнение разработанного метода с уже существующими.

Задачи каждого из разделов статьи:

### **1. Введение.**

В данном разделе производится определение предметной области, а также краткое описание существующих методов и обоснование необходимости разработки нового метода.

### **2. Сопутствующая работа.**

В этом разделе подробнее описываются этапы работы метода: прогнозирование глубины RGB изображения и реконструкция сетки. Также кратко описываются различия уже существующих решений для обоих этапов и отличия разработанного метода от них.

### **3. Формулировка проблемы.**

Этот раздел посвящен описанию проблем уже существующих решений. Помимо этого дается краткое описание подхода к решению этих проблем в разработанном алгоритме.

### **4. Функция потерь для восстановления сетки.**

В данном разделе авторы описывают несколько функций потерь для измерения ошибки между сеткой и изображением глубины, а также предлагают свои функции потерь.

### **5. 2D-3D обучение для реконструкции сетки.**

Этот раздел разделен на несколько подразделов посвященных инициализации сетки и уточнению сетки. В каждом из подразделов описывается реализация решения подзадачи, которой посвящен подраздел, в предложенном методе построения сетки.

### **6. Эксперименты.**

В этом разделе приводятся результаты тестирования предложенного метода на наборах аэрофотоснимков с различными характеристиками.

Также сравниваются результаты полученные при помощи обработки одинаковых наборов изображений разными методами.

## 7. Заключение

В данном разделе авторы подводят итоги их работы, говоря, что разработанный ими метод превосходит существующие, обладает лучшей устойчивостью к шумам. Также авторы обозначают направление дальнейших разработок.

## **2. ТЕМАТИКА СТАТЬИ**

Темой статьи является построение 3D сетки местности на основе набора RGB изображений, получаемых с борта БПЛА. Это позволяет установить измененеия высот ландшафта, что может быть полезно изучения окружающей среды, сельском хозяйстве и т. д, а также это может быть полезно в различных науках, изучающих окружающую среду, поверхность земли. Сама статья затрагивает такие области науки, как компьютерное зрение, машинное обучение для обработки изображений, робототехника, т. к. предполагается использование БПЛА.



### **3. МЕТОДЫ ОБОСНОВАНИЯ**

В качестве методов обоснования достигнутых результатов в статье приводятся:

1. Эксперименты на наборах данных.
2. Сравнения результатов экспериментов при различных настройках методов:
  - RGB, т. е. только RGB изображения.
  - RGB+RD, т. е. RGB изображения и глубина отрисовки.
  - RGB+RD+EDT, т. е. RGB изображения, глубина отрисовки, а также преобразование евклидового расстояния.
3. Сравнение с существующим решением.

## **4. ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ**

### **4.1 Методы проведения эксперимента**

Для проведения эксперимента использовался набор из аэрофотоснимков, полученных на основе трехмерной цифровой модели поверхности.

### **4.2 Используемые данные и их характеристики**

В эксперименте были использованы следующие данные:

- RGB изображения местности, сделанные на основе модели поверхности с высоты полета БПЛА.
- Global Positioning System (GPS) – для получения координат БПЛА, и Inertial Measurement Unit (IMU) – для ориентации БПЛА в пространстве.

### **4.3 Способы обработки измерений**

Были сгенерированы 20 последовательностей траекторий камеры, на 14 из которых происходило обучение, на 2 проверка и на 4 эксперимент. Также были использованы 500, 1000 и 2000 измерений глубины изображений с шумами и без шумов. На основании полученных результатов были вычислены величины ошибок между сеткой и изображением глубины, величины этих ошибок сравнивались между собой.

### **4.4 Правомерность выводов по итогам эксперимента**

При проведении эксперимента использовались наборы данных из изображений полученных из цифровой модели поверхности, что исключает влияние погодных явлений и дефектов оборудования на результаты эксперимента. Также для разных подходов к реконструкции сетки метод обучался на одинаковых количествах измерений глубины – 1000, и вершин сетки – 1024, что позволяет быть уверенными в одинаковости условий при разных подходах. Таким образом можно сделать вывод, что полученные результаты правомерны.

## **5. ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫВОДОВ**

### **5.1 Сравнение поставленных задач и достигнутых результатов**

Целью статьи было описание нового метода построения сетки, а также его сравнение с уже существующими для обоснования того, почему реализованный метод лучше. В последнем разделе авторы отмечают, что по результатам эксперимента их метод превосходит существующий.

По словам авторов их метод более устойчив к шумам в отличие от существующего. Под шумами авторы понимают неровности поверхности которые имеют естественные объекты, например неровности краев, небольшие изменения высот, различная плоскость мелких объектов, в отличие от искусственных объектов, имеющих четкие поверхности. Устойчивости получается добиться благодаря регуляризации сетки при её уточнении и инициализации, а также при уточнении сетки из изображения извлекается информация о ландшафте и структуре местности. Для проверки устойчивости к шумам в качестве данных были использованы изображения с шумами и без них, в результате сравнения величин ошибок методов при обработке таких изображений, было выявлено преимущество разработанного алгоритма при работе с RGB изображениями с шумами перед базовым алгоритмом.

### **5.2 Раскрытие результатов по каждой из поставленных задач**

Был описан реализованный метод и произведено его сравнение, в разделе с выводами авторы указали, что разработанный метод превосходит базовый алгоритм на основе результатов описанных в 6 разделе, т.е. задача создания нового метода, превосходящего базовый, раскрыта.

### **5.3 Направления для дальнейших исследований**

В качестве направлений для дальнейших исследований авторы статьи указывают объединение метода с алгоритмом SLAM (Simultaneous Localization And Mapping), а также объединение мультимодальных наблюдений в карту.

## **6. КАЧЕСТВО СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ В СТАТЬЕ**

В статье использовано 24 источника, опубликованных между 2004 и 2020 годами, одним из источников является github-репозиторий. Медианное значение возраста источников— 5 лет, а медианное значение индекса Хирша для изданий — 221.

## **7. КАЧЕСТВО ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА**

В качестве иллюстративного материала использовано 7 рисунков:

1. Результат реконструкции 3D сетки и измерения глубины.
2. Иллюстрация функции потерь и сравнение ошибок.
3. Схема этапов метода с промежуточными результатами.
4. Иллюстрация связи объекта на земле с вершиной сетки.
5. Построение сетки на разных шагах.
6. Построенные сетки.
7. Модель окружающей среды, построенная на основе сеток для изображений с 12 камер.

Также в статье приведена одна таблица с результатами эксперимента.

Иллюстративный материал покрывает все вопросы статьи, облегчая понимание информации для человека малознакомого с темой. Таблица позволяет самостоятельно сравнить результаты эксперимента, чтобы убедиться в правомерности выводов.

## **8. ДОСТИГНУТЫЙ РЕЗУЛЬТАТ**

### **8.1 Чем является результат**

Результат является методом построения 3D сетки местности на основе набора RGB-изображений, получаемых с борта БПЛА.

Для построения сетки в методе используется 2D-3D подход. Его суть заключается в том, что БПЛА, пролетая над местностью, делает аэрофотоснимки с разных ракурсов, что позволяет заметить перепады высот на 2D изображениях, далее, при помощи метода реконструкции сетки строятся точки глубины местности, тем самым получается трехмерная сетка, демонстрирующая изменения высот. RGB изображения соединяются с 3D сеткой и растягиваются в необходимых местах, т. е. в местах изменения высот, чтобы получить модель местности.

### **8.2 Особенность результата**

Результат является прикладным, т. к. его можно применить для построения моделей местности на основе аэрофотоснимков с БПЛА.

### **8.3 Характеристика результата**

По информации из статьи их модель сетки должна хранить 3D координаты 1024 вершин, вместо 512x512 значений при глубинном изображении. Также сказано, что инициализация сетки занимает 3 с/кадр при использовании компьютера с графическим процессором NVIDIA 1080Ti, а шаг уточнения сетки требует 10 мс/кадр. Однако авторы замечают, что шаг инициализации сетки можно ускорить, если рассматривать одно из уравнений, как линейную систему.

### **8.4 Границы применимости результата и степень его универсальности**

Разработанный метод может применяться в различных областях, где возможно использование БПЛА и аэрофотосъемка с их борта, например в мониторинге окружающей среды, сельском хозяйстве, охране и т.д.

## **8.5 Технические ограничения**

Производительность оборудования на борту БПЛА, т. к. авторы предполагают построение моделей сразу на борту, устойчивость спутниковой связи для работы GPS, качество фотооборудования.

## **8.6 Недостатки полученного решения**

На моделях, полученных в ходе работы метода, видны сильные неровности, в результате чего эти модели являются только примерным представлением рельефа местности, по которому можно судить о выраженных перепадах высот, например зданий. Также из-за ограничения в 1024 точек поверхность моделей получается достаточно грубой и угловатой.

## **8.7 Нераскрытые вопросы**

При анализе статьи возникли следующие вопросы:

1. Насколько хорошо метод будет работать при различных погодных условиях?

Т.к. авторы тестировали его на снимках модели с хорошими условиями.

2. Насколько метод чувствителен к качеству аэрофотоснимков?

Например смазанным, низкого разрешения, очень темным или светлым и т. д.

3. Как метод будет обрабатывать снимки с большим количеством объектов и перепадов высот?

Т.к. метод ограничен 1024 точками в сетке.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе научно-исследовательской практики были получены навыки работы с научными статьями и произведен разбор статьи «Mesh Reconstruction from Aerial Images for Outdoor Terrain Mapping Using Joint 2D-3D Learning».

В результате разбора можно сделать выводы, что авторам удалось разработать новый метод для построения 3D сетки местности на основе набора снимков с БПЛА. Авторами был проведен эксперимент, в котором использовались снимки модели местности, в результате сравнения полученных результатов было установлено, что новый метод превосходит базовый.



## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Feng Q., Atanasov N. «Mesh Reconstruction from Aerial Images for Outdoor Terrain Mapping Using Joint 2D-3D Learning», IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) 2021.