

Санкт-Петербургский государственный университет

Математическое обеспечение и администрирование информационных  
систем

Ярков Иван Сергеевич

Цифровая стабилизация видео при  
сложном движении с использованием  
МЭМС-датчиков

Курсовая работа

Научный руководитель:  
ст. преп. кафедры системного программирования СПбГУ Я. А. Кириленко

Санкт-Петербург  
2018

# Оглавление

<b>Введение</b>	<b>3</b>
<b>1. Постановка задачи</b>	<b>5</b>
<b>2. Обзор</b>	<b>6</b>
2.1. Математическая модель гироскопа . . . . .	6
2.2. Математическая модель акселерометра . . . . .	7
2.3. Фильтр Гаусса и сглаживание сигналов . . . . .	7
2.4. Алгоритм стабилизации локальной тряски . . . . .	9
2.5. Данные для тестирования . . . . .	9
2.6. Обзор существующего решения . . . . .	10
<b>3. Алгоритм стабилизации видео</b>	<b>11</b>
3.1. Стабилизация сложного движения . . . . .	11
3.2. Устранение крена при панорамной съёмке . . . . .	14
3.3. Оценка задержки при стабилизации . . . . .	15
<b>Заключение</b>	<b>16</b>
<b>Список литературы</b>	<b>17</b>

# Введение

Одной из основных причин дискомфорта при просмотре видео является тряска камеры. Данная проблема может возникать в различных областях, как при любительской съёмке со смартфона, так и, например, при съёмке с управляемых дронов, различных летательных аппаратов, подвергаемых сильной тряске. Сглаживание видео может быть основано на механических, оптических или цифровых методах стабилизации.

Наиболее универсальным среди данных методов является цифровая стабилизация видео, так как не требует внешнего дорогостоящего и габаритного устройства. Но существующие алгоритмы цифровой стабилизации требуют больших вычислительных ресурсов, так как основываются на сопоставлении особых точек для определения движения камеры. Наряду с такими алгоритмами ведутся исследования в области применения информации с датчиков движения к цифровой стабилизации видео. Современные системы, которые могут записывать видео, часто имеют интегрированные микроэлектромеханические системы-датчики или МЭМС-датчики, такие как гироскоп и акселерометр.

За последние годы число таких систем, которые выдают показания МЭМС-датчиков во время записи видео, существенно увеличилось. На сегодняшний день существует проект, выполняемый в рамках выпускной квалификационной работы на кафедре системного программирования, который использует показания датчиков для локальной стабилизации видео. По полученным показаниям датчиков определяется относительная ориентация камеры в пространстве, необходимая для преобразования кадра, в котором эффект движения относительно начального кадра устранён. Результаты указанной работы применимы только в случае небольших локальных движений камеры, что далеко не всегда покрывает желания потребителя.

В большинстве случаев необходимо сохранить основное движение камеры и основную композицию съёмки, убрав при этом локальные шумы, например, при съёмке с летающего квадрокоптера, съёмке на экшн-камеру или просто в случае съёмки на любительскую камеру при

ходьбе или повороте. Именно поэтому задача стабилизации произвольного движения остаётся актуальной.

Также в рамках данной работы был выделен специфичный случай съёмки — панорамная съёмка. В таком случае остаётся проблема определения абсолютной ориентации камеры, которая представляет интерес в стабилизации панорманого видео.

Данная работа предлагает решение этих задач в рамках упомянутого проекта. Проблема стабилизации сложного движения опирается на представленный алгоритм локальной тряски с некоторыми модификациями.

# 1. Постановка задачи

Целью данной курсовой работы является разработка и реализация алгоритма цифровой стабилизации видео при произвольном движении камеры в течении съёмки с использованием МЭМС-датчиков. Были поставлены следующие задачи.

1. Разработать и реализовать алгоритм цифровой стабилизации видео при произвольном движении камеры.
2. Разработать и реализовать алгоритм устранения крена видео при панорамной съёмке.

## 2. Обзор

В данном разделе описана математическая модель показаний гироскопа и акселерометра, а также их сглаживания с помощью фильтра Гаусса. Представлено краткое описание алгоритма локальной стабилизации, на который опирается настоящая работа.

### 2.1. Математическая модель гироскопа

Датчик гироскопа [2] предоставляет возможность получать показания с указанной частотой в течении съёмки видео. Частота выбирается так, чтобы поиск ближайшего показания к кадру был наиболее точный. Показание представляет собой три числа с плавающей точкой, которые являются угловыми скоростями по каждой оси, и одно целочисленное значение, являющееся относительным показанием времени получения сигнала. Данные угловые скорости можно использовать для определения относительной ориентации камеры в трёхмерном пространстве. Представив их в виде функции, они могут быть проинтегрированы, и затем получены значения углов, на которые повернулась камера, относительно начальных показаний, для каждого кадра по всем трём осям. [Рис.1](#) демонстрирует зависимость угла от времени по каждой из осей.

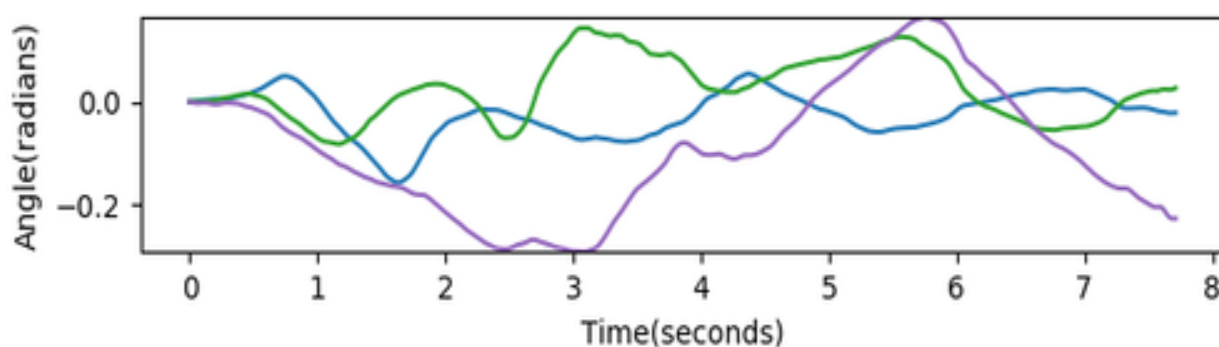


Рис. 1: Показания гироскопа

## 2.2. Математическая модель акселерометра

Датчик акселерометра [1] предоставляет возможность получать показания с указанной частотой в течении съёмки видео. Обычно используемая частота меньшая, чем в гироскопе, т.к. используются только первые значения и погрешность может достигать несколько кадров. Показание представляет собой три числа, которые являются координатами вектора гравитации, и одно целочисленное значение, являющееся относительным показанием времени получения сигнала. В данной работе интерес предоставляют только начальные показания, так как показания будут использоваться только для удаления крена видео при панорамной съёмке. Формула для вычисления угла крена имеет вид:

$$\alpha = \arccos \frac{a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2 + a_3 \cdot b_3}{|a| \cdot |b|}$$

$a = (a_1, a_2, a_3)$  — вектор ориентации камеры в пространстве

$b = (b_1, b_2, b_3)$  — вектор гравитации

При предположении, что на начало съёмки панорамы устройство перпендикулярно земле, вектор ориентации камеры в пространстве будет иметь вид:

$$a = (1, 0, 0)$$

Итоговая формула будет иметь вид:

$$\alpha = \arccos \frac{b_1}{|b|}$$

## 2.3. Фильтр Гаусса и сглаживание сигналов

В цифровой обработке сигналов встречается проблема удаления нежелательных колебаний, например, шумов. В данной работе, сигнал представляет собой список показаний угла для конкретной оси в каждый момент времени. Одним из методов решения данной проблемы является фильтр Гаусса [6]. Данный фильтр представляет собой метод удаления

небольших колебаний, используя одномерную функцию Гаусса:

$$P(x) = e^{-x^2/2\sigma^2}$$

Фильтр оперирует понятием свертки – это операция вычисления нового значения сигнала, учитывающая значения близких показаний. Количество близких значений, которое будет взято в результате свёртки называется длиной окна фильтра Гаусса и вычисляется по формуле:

$$\tau = \lceil \sigma \cdot \alpha \rceil$$

$\sigma$  — стандартное отклонение функции Гаусса

$\alpha$  — величина влияющая на длину окна

Параметр  $\sigma$  устанавливает значимость соседних показаний при операции свёртки. Высокие значения  $\sigma$  приводят к увеличению воздействия близких значений на итоговый результат, а также увеличивают размер окна. Параметр  $\alpha$  оказывает влияние только на размер окна.

Алгоритм фильтра Гаусса генерирует целочисленный список от  $-\tau$  до  $\tau$ , затем к каждому элементу применяется функция Гаусса с уже заданным параметром  $\sigma$ . Полученный список нормируется делением каждого элемента на сумму всех элементов списка. Полученный список представляет собой список весов операции свёртки длины  $2\tau$ . Алгоритм операции свёртки заключается в том, что близкие значения к исходному представляются в виде списка длины  $2\tau$ . В центре списка находится само значение, слева лежит  $\tau$  значений которые пришли до исходного, а справа  $\tau$  значений которые пришли после исходного. Применяя сначала покомпонентное умножение полученного списка на список весов, а затем сложение полученных результатов, мы получим новый результат который будет являться результатом свёртки данного сигнала. В случае, если значения находятся на расстоянии менее  $\tau$  к началу или к концу серии показаний, данные значения не подвергаются операции свёртки. Применяя операцию свёртки к каждому показанию, будет получена новая серия показаний которая, в зависимости от  $\sigma$  и  $\alpha$ , будет



в определённой степени устранять нежелательные колебания.

## 2.4. Алгоритм стабилизации локальной тряски

Локальная тряска представляет собой произвольные движения камеры, которые доставляют дискомфорт при проигрывании видео. Стабилизация локальной тряски подразумевает достижение эффекта статичной камеры. Алгоритм, решающий эту задачу, был реализован в рамках указанного проекта. Работа опирается на [математическую модель гироскопа](#). Зная на какой угол по каждой оси повернулся кадр, из данных углов составляется матрица поворота, которая преобразует кадр в трёхмерном пространстве так, чтобы данный кадр был направлен как и начальный, по которому производится локальная стабилизация. В зависимости от данных углов будет потеряна какая-то часть информации по краям кадра. Предполагается, что тряска камеры локальная, и потеря информации незначительна. Ширина и высота исходного кадра обрезаются небольшой рамкой, размеры которой задаются отдельным параметром.

## 2.5. Данные для тестирования

Данная работа использует смартфон Xiaomi Redmi 3S в качестве записывающего устройства. Версия операционной системы: Android 6.0.1. Данная операционная предоставляет доступ к показаниям МЭМС-датчиков и позволяет установить интервал снятия показаний. К каждому тестовому видео приходит серия показаний от акселерометра и гироскопа в виде двух .csv файлов. Были записаны 10 тестовых примеров. Одно видео представляет собой локальную тряску. Трое из них — это локальная тряска, а также преднамеренное движение вдоль одной из осей. Ещё три — это сложные движения вдоль нескольких осей. Также есть это движение с полным поворотом вдоль оси. Оставшиеся два — это панормное движение с небольшим креном.

## 2.6. Обзор существующего решения

В основе алгоритма, представленного в статье [3] в 2011 году, лежит использование [фильтра Гаусса](#). Путем интегрирования показаний MEMS-гироскопа для каждого кадра вычисляется относительное положение камеры в момент съемки, затем последовательность движений камеры сглаживается при помощи фильтра Гаусса и по новой модели движения строится поток кадров. В данном решении имеется недостаток, могут обрабатываться только видео с горизонтальным движением камеры.

## 3. Алгоритм стабилизации видео

В данном разделе будут описаны алгоритмы стабилизации сложного движения и удаления крена при панормной съёмке, а также их реализации на языке программирования Python 3.5 в рамках указанного проекта по стабилизации.

### 3.1. Стабилизация сложного движения

Данная реализация алгоритма обрабатывает предварительно снятое видео. Процесс обработки начинается со считывания показаний гироскопа средствами стандартной библиотеки Python 3.5. Файл с показаниями находится в формате .csv и представляет собой строки, в которых либо три показания угловых скоростей по каждой координате и одно показание относительного времени в виде целого числа, либо условный символ 'f' означающий момент, когда был сделан кадр. Данный файл парсится отдельным модулем, представленным в работе о [локальной стабилизации](#). Следует отметить, что на практике существуют задержки при получении показаний, а также проблема определения ориентации камеры по полученным показаниям. В работе посвящённой [локальной стабилизации](#), данные проблемы решены автоматическим подбором этих параметров.

По функции угловых скоростей, используя метод интегрирования трапециями можно определить на какой угол повернулась камера относительно ориентации, когда съёмка видео началась. Следующим шагом будет сглаживание полученных сигналов с помощью [фильтра Гаусса](#). Библиотека языка программирования Python — SciPy[5] предоставляет функцию фильтра Гаусса, с возможностью задания параметров  $\alpha$  и  $\sigma$  описанных в [2.3](#). Рассмотрим несколько случаев движения камеры и как фильтр Гаусса сглаживает сигналы.

Подбор параметров фильтра Гаусса производился по двум критериям:

1. Сглаживание должно убирать непреднамеренные движения и остав-

лять преднамеренные.

2. Длина окна должна быть минимальна. Длина окна является решающим фактором может ли данный алгоритм работать в системах реального времени.

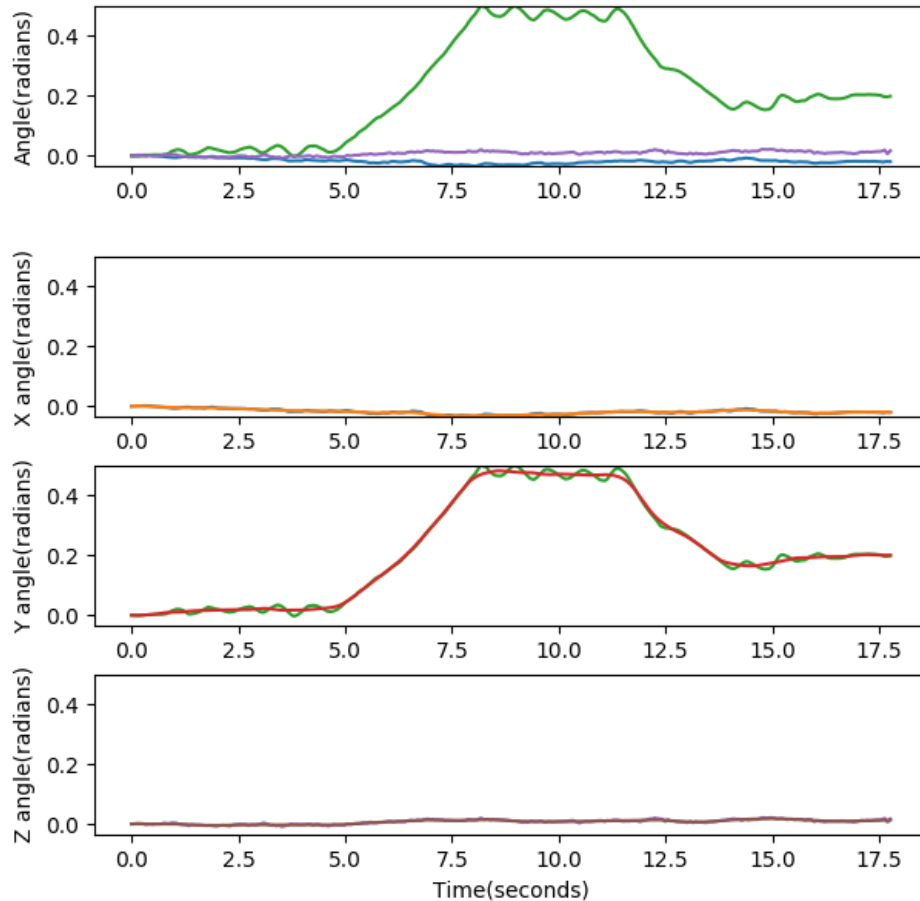


Рис. 2: Графики движения со значительным отклонением по одной оси

В результате экспериментов были выявлены, близкие к оптимальным, параметры:  $\sigma = 220$ ,  $\alpha = 0.4$ .

Следующий шаг заключается в преобразовании кадра с учётом сглаженных графиков. Заметим, что в случае локальной тряски фильтр Гаусса хорошо аппроксимирует сигнал. Взяв разность исходного сигнала и сглаженного, мы получим углы по каждой координате, на который

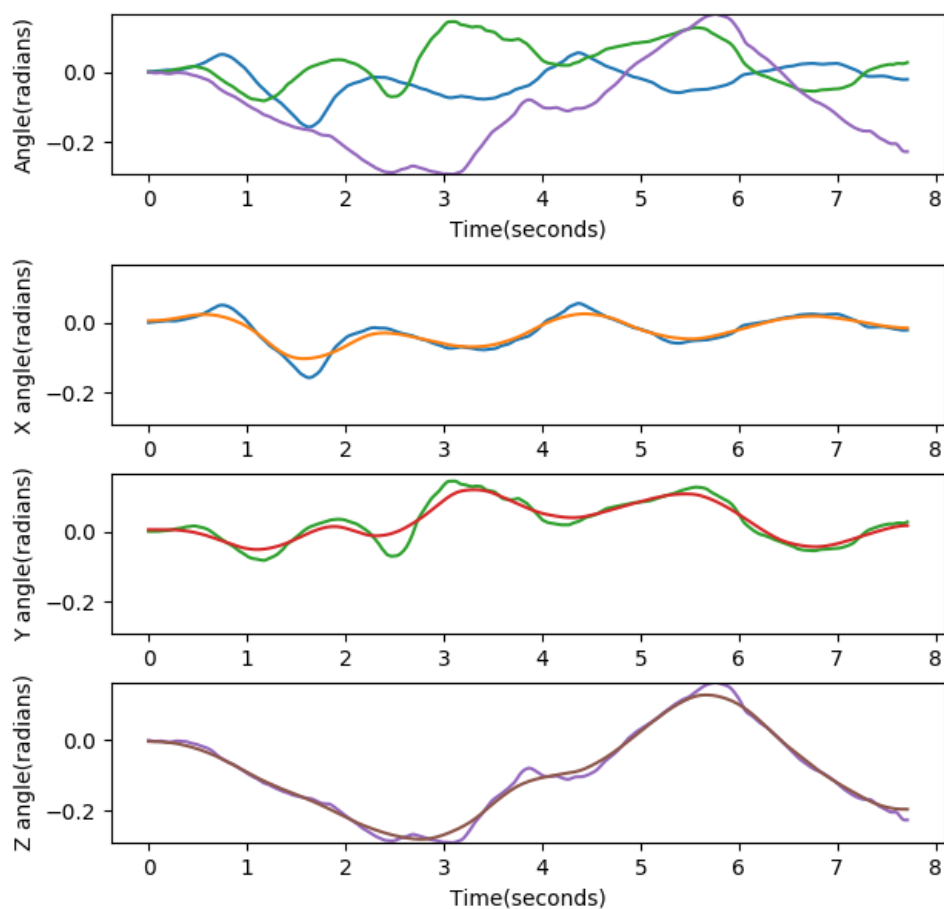
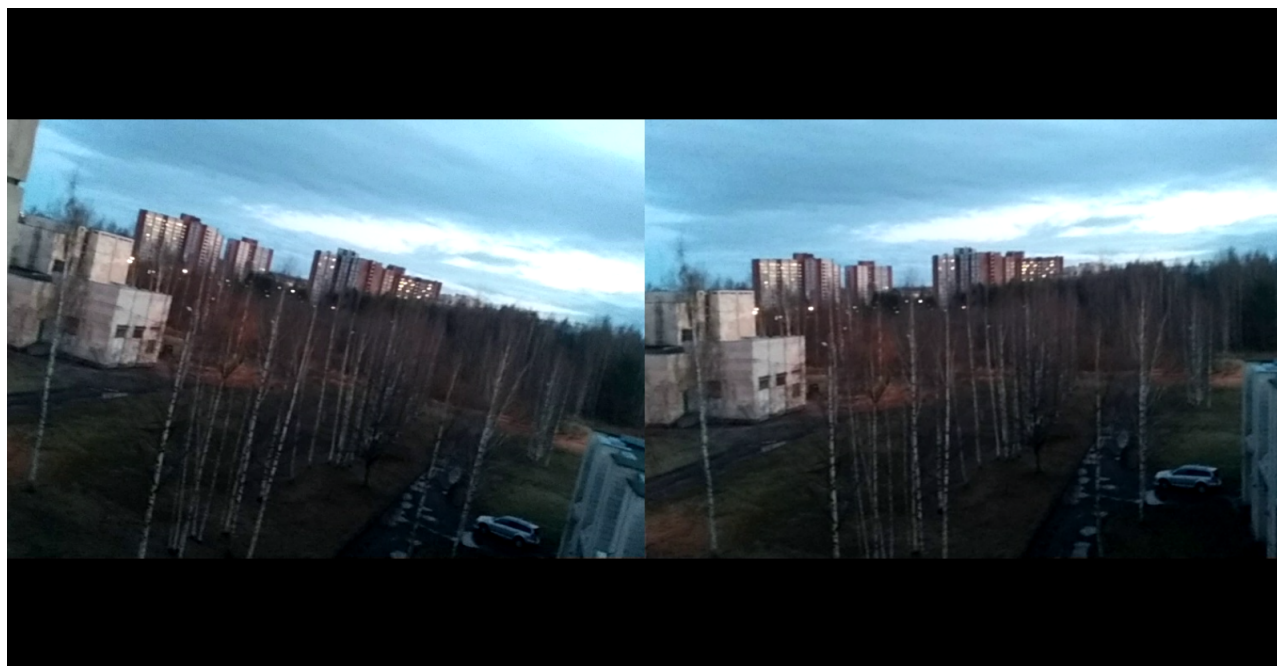


Рис. 3: Графики движения со значительным отклонением по нескольким осям

камера повернулась относительно момента когда началась тряска. По полученным углам строится матрица поворота кадра в трёхмерном пространстве. Процесс построения матрицы преобразования кадра описан в работе по [локальной стабилизации](#). В случае преднамеренного движения сглаживающий сигнал находится близко к исходному. Их разность достаточно мала и преобразования кадров во время данного движения будут незначительны. Таким образом будут сохранены преднамеренные движения.

### 3.2. Устранение крена при панорамной съёмке

Пользователь алгоритма может опционально указать, что идёт панорамная съёмка. Предполагается, что может быть достаточно небольшой угол, который нежелателен для съёмки. Алгоритм считывает .csv файл с показаниями акселерометра, которые представляет собой координаты вектора гравитации, где начало координат является самим устройством. Считывание производится с помощью парсера, который был реализован как отдельный модуль в ходе данной курсовой работы. Снимаются первые 10 показаний которые соответствуют 15 кадрам видео. Берётся усреднённый вектор, в целях избежания шумов во время начала записи видео. Используя формулу приведённую в [математической модели акселерометра](#) высчитывается угол крена, с которым началось видео. Результат преобразования кадра на данный угол можно увидеть на [Рис.4](#).



Результат устранения крена кадра

Далее данный угол учитывается при построении матрицы поворота при стабилизации панорамной съёмки. Данная съёмка включает в себя в основном движение на угол рыскания. Поэтому для оси, которая отвечает за рыскание камеры, применяется стабилизация с применением

фильтра Гаусса, а для остальных локальная.

### **3.3. Оценка задержки при стабилизации**

Используя формулу для вычисления длины окна фильтра Гаусса приведённую в 2.3, мы получаем, что фильтру требуется знать 88 показаний вперёд. В среднем, количество показаний гироскопа в течении кадра равно 7. Частота съёмки 24 кадра в секунду. Умножая частоту съёмки на количество показаний в течении кадра, мы получаем 168 показаний в секунду. Учитывая, что алгоритм требует 88 показаний вперёд, время задержки при обработке составляет примерно половину секунды. Уменьшение данной задержки предоставляет научный интерес и может быть темой отдельной работы.

# Заключение

В рамках курсовой работы были решены следующие задачи.

1. Реализован алгоритм цифровой стабилизации видео при произвольном движении камеры.
2. Реализован алгоритм устранения крена видео при панорамной съёмке.
3. В ходе работ были реализованы дополнительные возможности, такие как: унифицированное чтение и запись видео посредством библиотеки OpenCV [4], парсер для файла акселерометра, отображение графиков сглаженных сигналов.

Полученное в ходе работы решение может быть использовано для стабилизации видео в любом устройстве, предоставляющем показания МЭМС-датчиков. Особый интерес представляет применение данной реализации в системах реального времени. Существует проблема задержки при обработке кадра, которая требует дальнейшего изучения. Результаты можно найти по адресу [http://bit.ly/videostab\\_demo](http://bit.ly/videostab_demo)



## Список литературы

- [1] Accelerometer. — URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Accelerometer>.
- [2] Gyroscope. — URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Gyroscope>.
- [3] Karpenko Alexandre, Jacobs David, Baek Jongmin. Digital Video Stabilization and Rolling Shutter Correction using Gyroscopes. No. 1. — 2011.
- [4] OpenCV library. — URL: <https://opencv.org/>.
- [5] SciPy library. — URL: <https://www.scipy.org/>.
- [6] Wikipedia. Gaussian filter. — URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Gaussian\\_filter](https://en.wikipedia.org/wiki/Gaussian_filter).