

Колесников А.А.<sup>1</sup>, Кикин П.М.<sup>2</sup>, Середович С.В.<sup>3</sup>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ГЕОПОЗИЦИОННОЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

### АННОТАЦИЯ

Наибольшим сегментом рынка систем дополненной реальности является сегмент приложений для мобильных устройств. Ключевыми компонентами приложения геопозиционной дополненной реальности являются данные, получаемые с различных датчиков устройства, на котором оно работает, а также методы по обработке этих данных. Минимально необходимым набором данных для реализации систем геопозиционной дополненной реальности являются данные компаса, гироскопа и GPS/ГЛОНАСС.

Однако используемые устройства имеют ряд недостатков, вытекающих из их мобильности и малых габаритов. Таковыми являются: ограниченный заряд портативного источника питания, низкая, в сравнении со стационарными системами, вычислительная мощность, слабая система охлаждения, ограниченный набор встроенных датчиков и сенсоров.

Вследствие этих недостатков точность получаемых данных не всегда удовлетворяет заданным требованиям, а их обработка требует существенных вычислительных ресурсов, что негативно влияет на энергопотребление и общую производительность приложения. Видимые проявления этих недостатков заключаются в низкой стабильности позиционирования трехмерных объектов в виртуальном пространстве, выражающейся в их заметном «дрожании», а также в быстром расходе энергии батареи устройства.

Данная статья детально рассматривает возможные способы решения этих проблем путем использования различных методов анализа и обработки получаемых данных. В качестве основной платформы исследования используется среда разработки 3D приложений Unity. В статье приведен ряд рекомендаций по методам обработки данных с использованием различных алгоритмов сглаживания и уменьшения шумов. Проведен анализ данных, получаемых с датчиков смартфона, с целью определения удельного веса каждого из них по отношению энергопотребления к вносимой погрешности в результаты измерений. Рассмотрены преимущества применения алгоритмов распознавания активности пользователей в целях уменьшения энергопотребления, а также проанализированы возможности использования нейронных сетей в целях детекции и сегментации объектов на изображениях.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** геопозиционная дополненная реальность, смартфон, гироскоп, акселерометр, компас.

---

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, ул. Плахотного, д. 10, 630108, Новосибирск, Россия, *e-mail*: alexeykw@mail.ru

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, ул. Плахотного, д. 10, 630108, Новосибирск, Россия, *e-mail*: it-technologies@yandex.ru

<sup>3</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, ул. Плахотного, д. 10, 630108, Новосибирск, Россия, *e-mail*: npcip@yandex.ru

Alexey A. Kolesnikov<sup>1</sup>, Pavel M. Kikin<sup>2</sup>, Sergey V. Seredovich<sup>3</sup>

## USING THE SYNERGY METHOD FOR IMPROVEMENT OF THE ACCURACY OF LOCATION BASED AUGMENTED REALITY

### ABSTRACT

The key components of a location-based augmented reality application are data collected from various sensors and methods for processing these data.

However, the accuracy of the sensors does not always meets the requirements, processing the collected data require significant computational resources that have a negative effect to the power consumption and overall performance of the application.

The article considers possible ways of solving these problems by using various data analyses and processing methods.

One of the largest segments of augmented reality market is mobile software segment, which is mainly represented by software for smartphones.

At the same time, most of the used devices have disadvantages deriving from their small size and mobility.

These are: limited charge of a portable power source, low performance in comparison with desktop computers, inefficient cooling system and limited set of built-in sensors.

Augmented reality applications are focused on visualization of supplemented data at the right time and in the right place.

Location-based augmented reality relates to technologies that use the device capabilities to determine its spatial position based on GNSS data, as well as compass, gyro, depth camera and other sensors displaying the augmented reality around.

The need to research and analyse the data obtained from smartphone sensors is caused by the fact that in the location-based augmented reality application, developed by the authors, there were problems with the accuracy and stability of the visualization of 3D objects in virtual space.

Data, obtained from the smartphone sensors (compass, gyro, accelerometer, GPS / GLONASS), are used to position the virtual camera in a 3D scene with information tabs.

Since the visual "jitter" of 3D objects is significant, it was necessary to find out which of the sensors deals the greatest error.

Due to the lack of ready-made solutions to create location-based AR systems, the authors met problems associated with extremely high power consumption, accuracy and stability of visualization of augmented reality elements, and need of intellectual use of smartphone sensors, disabling those that can be ignored.

Unity software, which has all necessary tools for obtaining data from smartphone sensors, was used to analyze the data received from the smartphone, because it

Based on the analysis of the data received from various smartphone sensors, a number of recommendations on how to work with these data and use algorithms to smooth and reduce noise within the creation of location-based augmented reality application was made.

**KEYWORDS:** location based AR, smartphone, gyro, accelerometer, compass.

---

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Plakhotnogo str., 10, 630108, Novosibirsk, Russia,  
*e-mail:* alexeykw@mail.ru

<sup>2</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Plakhotnogo str., 10, 630108, Novosibirsk, Russia,  
*e-mail:* it-technologies@yandex.ru

<sup>3</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Plakhotnogo str., 10, 630108, Novosibirsk, Russia,  
*e-mail:* npcip@yandex.ru

## ВВЕДЕНИЕ

Системы дополненной реальности являются сравнительно новым, однако быстро развивающимся направлением IT-индустрии и смежных областей промышленности, которое расположено на стыке множества различных технологий и областей науки [Яковлев, Пустов, 2013; Кикин и др., 2017].

Одним из самых больших сегментов рынка программного обеспечения (ПО) систем дополненной реальности является сегмент ПО для мобильных устройств, представленный главным образом ПО для смартфонов (в данной статье для обозначения дополненной реальности будет использоваться устоявшаяся в международном сообществе аббревиатура AR, происходящая от английского «augmented reality»). Также большие надежды и перспективы дополненной реальности связаны с использованием устройств типа handsfree, таких как очки дополненной реальности, которые имеют множество преимуществ для реализации ПО дополненной реальности, будучи изготовленными специально для этих целей [Яковлев, Пустов, 2013; Колесников и др., 2016].

Однако и те и другие перспективные устройства имеют недостаточные характеристики для реализации приложений геопозиционной дополненной реальности, вытекающие из их мобильности и малых габаритов. Таковыми являются:

- ограниченный заряд портативного источника питания;
- низкая, в сравнении со стационарными системами, вычислительная мощность;
- слабая система охлаждения;
- ограниченный набор встроенных датчиков и сенсоров;
- ограниченные возможности встроенных датчиков и сенсоров [Колесников и др., 2016; Colomar et al., 2012; Chen et al., 2017; Kok et al., 2017; Quan, Piao, 2017; Restuccia et al., 2017].

Разработчикам AR приложений для таких устройств необходимо учитывать эти недостатки и использовать такие методы и технологии, которые в условиях недостаточности данных способны реализовывать поставленные цели малыми вычислительными мощностями с требуемой точностью.

Верхний уровень классификации технологий визуализации дополненной реальности можно разделить на два основных направления.

Первое – это технологии, визуализирующие дополнительные объекты, привязывая их к распознаваемым, через видеокамеру, образам либо объектам. В английской терминологии они определяются наиболее распространенным в среде разработчиков термином «Marker based» или логически более правильным, но менее распространенным «Imagery Base». Ведь в группу распознаваемых объектов могут входить не только маркеры, но также обычные изображения и даже трехмерные объекты. В данной статье такие технологии будут называться «маркерные».

Второе направление относится к технологиям, которые для отображения дополненной реальности используют возможности устройства определять свое положение в пространстве на основе данных GNSS, а также компаса и гироскопа. Для таких технологий в международном сообществе устоялось понятие «Location based». Далее по тексту для их обозначения авторы будут использовать термин «геопозиционные».

Наиболее распространенной технологией при реализации AR приложений на сегодняшний день является маркерная, что связано с достаточной изученностью и работанностью технологий распознавания образов. Однако такие приложения имеют существенные ограничения в применении из-за необходимости наличия маркеров для визуализации дополненной реальности. Для таких целей, например, как визуализация справочно-картографической информации, такой способ не подходит. Реализация такой задачи этой технологией потребовала бы нанесения маркеров на абсолютно все объекты, для которых понадобилось бы визуализировать дополнительную инфор-

мацию, что сложно реализуемо, если речь идет о площадях размером хотя бы с район города [Bonnet et al., 2009; Chen, 2013; Quan, Piao, 2017; Restuccia et al., 2017].

В связи с этим авторами данной статьи в ходе реализации приложения для визуализации справочно-картографических данных в формате дополненной реальности было принято решение использовать геопозиционную технологию.

По причине отсутствия готовых решений, таких как программные библиотеки или наборы разработчиков программного обеспечения, для построения систем геопозиционной дополненной реальности был разработан собственный программный модуль, отвечающий за позиционирование объектов дополненной реальности в соответствии с их реальными географическими координатами. Позиционирование AR объектов в разработанном модуле было реализовано путем определения координат и направления «взгляда» видеокамеры мобильного устройства, на котором запущено приложение. Для определения координат и слежения за их изменением использовались встроенные GPS приемник и акселерометр, а направление «взгляда» камеры рассчитывалось на основе данных, получаемых с компаса и гироскопа устройства.

Однако в результате тестирования этого приложения были выявлены его существенные недостатки, связанные с чрезвычайно высоким энергопотреблением устройства, на котором оно функционирует, а также с низкой точностью и стабильностью отображения элементов дополненной реальности. Очевидно, что в условиях отсутствия какой-либо фильтрации и обработки получаемых с датчиков данных проблемы позиционирования AR объектов были вызваны их недостаточной точностью и наличием шумов в получаемых измерениях.

Для возможности устранения недостатков, связанных с точностью и стабильностью позиционирования AR объектов, было необходимо провести исследование получаемых с датчиков данных и возможных способов уменьшения влияния шумов и погрешностей измерений путем применения различных фильтрующих алгоритмов, а также за счет синергетического подхода к реализации системы дополненной реальности, совместно используя технологии геопозиционной AR вместе с маркерными.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения задуманного исследования авторами было разработано специальное приложение, позволяющее производить измерения с различных датчиков мобильных устройств и применять к ним различные фильтры.

В связи с тем что основным ПО для разработки AR приложения был Unity 3D, в котором имеются классы для получения данных практически от всех датчиков смартфона как в обработанном, так и в сыром виде, то он же был выбран и для создания мобильного приложения. Основным языком программирования выступал C#, а визуализация данных в виде графиков производилась при помощи ПО Anaconda и языка программирования Python. В качестве мобильного устройства выступил смартфон фирмы Samsung модель Galaxy S3, обладающий всеми необходимыми датчиками. Для проверки его функциональной работоспособности была выполнена серия измерений со всех датчиков на трех одинаковых устройствах Samsung Galaxy S3, показавшая идентичные результаты в одинаковых условиях [Adler et al., 2015; Wu et al., 2016; Wu, Pei, 2017].

Первым исследуемым датчиком смартфона стал компас.

Используя класс Unity Input.Compass, можно получить следующие данные:

- headingAccuracy – точность считывания направления в градусах;
- magneticHeading – направление в градусах относительно Северного магнитного полюса;
- rawVector – необработанные геомагнитные данные, измеряемые в микротесла;
- trueHeading – направление в градусах относительно географического Северного полюса.

С использованием данного класса был реализован программный метод, который создавал массив из полученных с компаса данных и затем сохранял его в текстовый файл для дальнейшего анализа.

Первым этапом исследования было выполнено две серии измерений в неподвижном состоянии устройства при отличающихся на 90 градусов углах поворота в горизонтальной плоскости. Серии измерений состояли из 3000 показаний компаса с интервалом в 0,2 секунды.

Выполнив сравнение колонок истинного и магнитного севера, определили, что они идентичны, и все последующие расчеты описывали для значений колонки направления на истинный север (trueHeading). Базовые статистические показатели для этой колонки в виде таблицы и графиков типа boxplot и plot приведены на рис. 1. Вертикальная ось отображает результаты измерения компаса в градусах от 0 до 360, горизонтальная – нумерацию измерений.

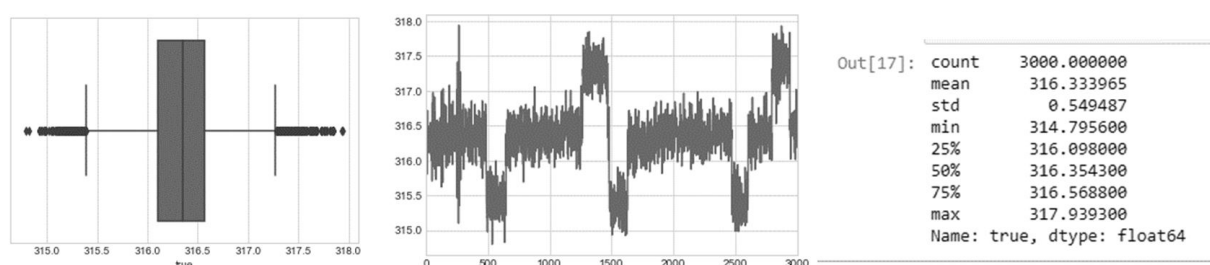


Рис. 1. Графическое представление данных компаса  
Fig. 1. Graphical representation of compass data

По графикам виден существенный разброс измерений, что означает необходимость выполнения сглаживания и фильтрации данных. Поскольку набор данных был получен сразу после включения приложения, без выполнения специальной калибровки компаса устройства, было решено выполнить повторный сбор данных после проведения калибровки с целью тестирования ее влияния на результаты измерений. Калибровка компаса представляет собой перемещение смартфона по траектории фигуры в виде цифры 8 [Wu et al., 2016; Wu, Pei, 2017].

По полученным измерениям видно, что калибровка уменьшает средний разброс более чем в два раза (рис. 2). Горизонтальная ось отображает результаты измерения компаса в градусах от 0 до 360.

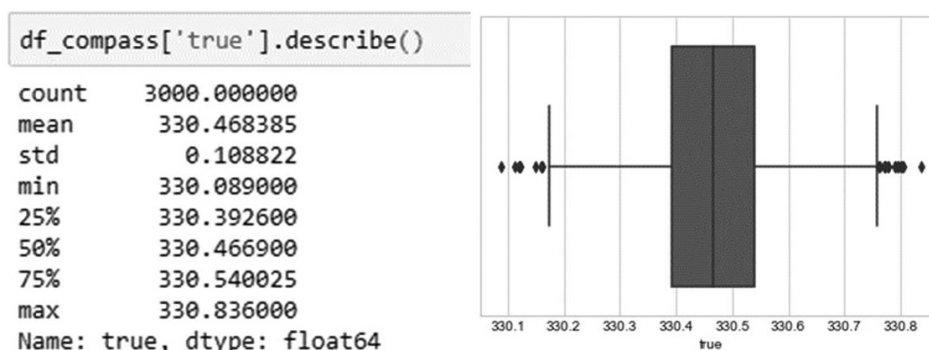


Рис. 2. Визуализация данных, полученных после калибровки  
Fig. 2. Graphical representation of calibrated compass data

Сглаживание с использованием медианного фильтра (скользящее окно из 11 значений), экспоненциального сглаживания (скользящее окно из 25 значений) и вычисления среднего (скользящее окно из 61 значения) дали следующие результаты, представленные на рис. 3. Вертикальная ось отображает результаты измерения компаса в градусах от 0 до 360, горизонтальная – нумерацию измерений.

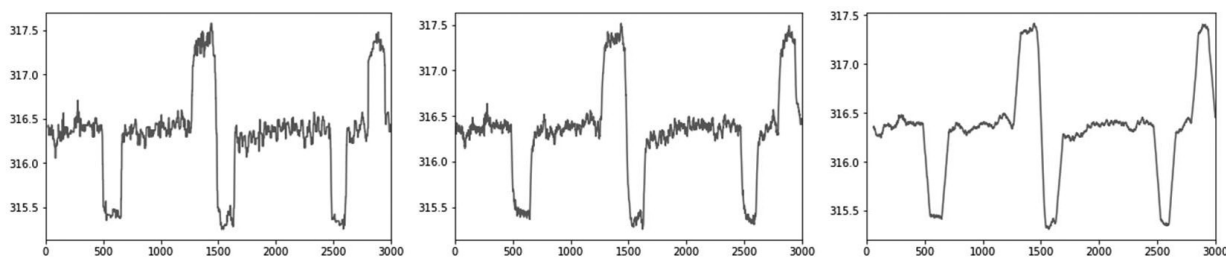


Рис. 3. Результаты обработки данных с помощью фильтров разных типов (медианный, экспоненциальный, по среднему значению)

Fig. 3. The results of data processing by means of filters of different types (median, exponential, by average value)

Также был опробован экспоненциальный фильтр с двумя проходами и коэффициентом фильтрации 0,03 для первого прохода и 0,01 для второго.

По графикам видно, что для всех примененных способов сглаживания из-за большого разброса значений измеряемого параметра основное влияние имеет количество обрабатываемых значений.

По результатам анализа влияния различных фильтров на качество конечных данных было принято решение обрабатывать данные, получаемые с компаса, при помощи экспоненциального фильтра с двумя проходами и предварительным отбрасыванием значений, отличающихся от трех предыдущих более чем на 75 % (рис. 4).

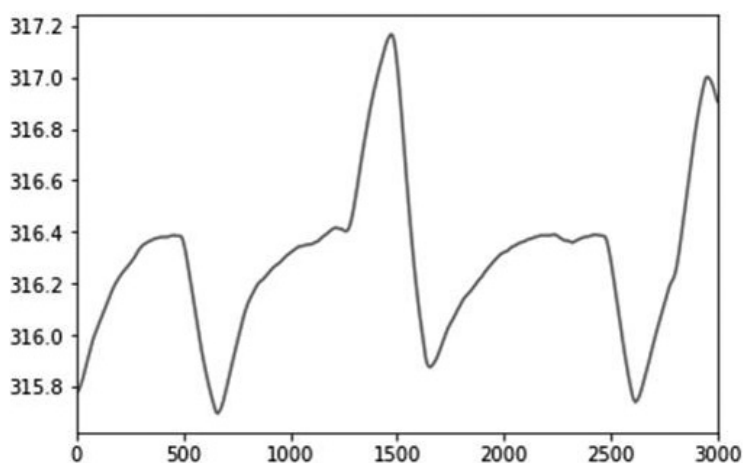


Рис. 4. Применение low-pass фильтра

Fig. 4. Applying a low-pass filter

Далее был выполнен анализ данных, получаемых с гироскопа и акселерометра в состоянии покоя. Также были собраны 3000 показаний каждого из компонентов с интервалом в 0,2 секунды [Bonnet et al., 2009; Chen, 2013; Groves, 2013]. Данные по ги-

роскопу были преобразованы в углы в градусах. Для визуализации на одном графике измерения по оси z были масштабированы и совместно с двумя другими осями отображены на графике [Кикин и др., 2017]. Статистика по измерениям для трех осей представлена на рис. 5. По вертикальной оси представлены значения гироскопа в градусах, по горизонтальной – нумерация измерений.

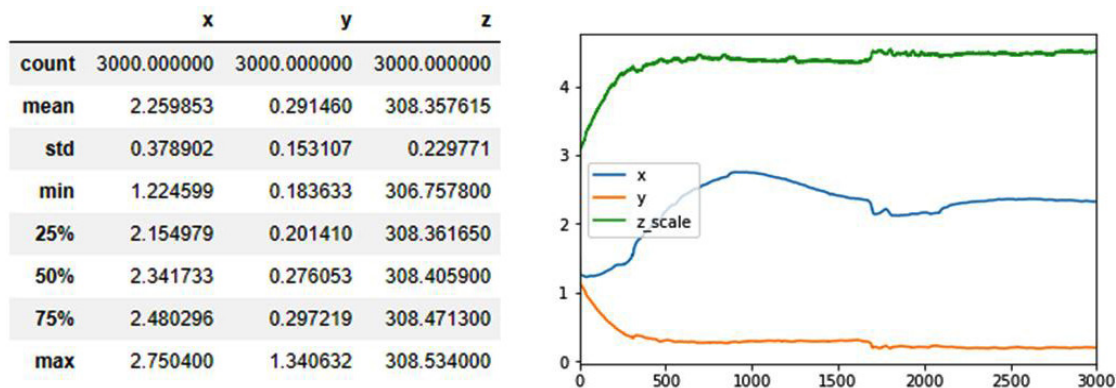


Рис. 5. Статистика по результатам измерений гироскопа  
Fig. 5. Statistics on the results of gyro measurements

Отбросив первые 500 значений, для того чтобы убрать из эксперимента некорректные измерения, связанные с инициализацией устройства и запуском программы, получили следующую статистику, которая говорит о том, что точность измерений составляет примерно 0,33 градуса.

Данная точность получаемых данных позволяет отображать AR объекты без видимых глазу дрожаний и является достаточной для приложения дополненной реальности, соответственно дополнительная обработка данных гироскопа не требуется.

Следующим тестируемым датчиком стал акселерометр. По умолчанию единицы измерения акселерометра – метры в секунду в квадрате. Данные представлены на рис. 6. Вертикальная ось отображает результаты измерения акселерометра в метрах в секунду в квадрате, горизонтальная – нумерацию измерений.

По статистическим показателям видно, что отклонение по осям акселерометра в состоянии покоя не превышает  $0,005 \text{ м/с}^2$ . Такое отклонение также является несущественным, в связи с чем результаты измерений акселерометра не требуют дополнительной обработки.

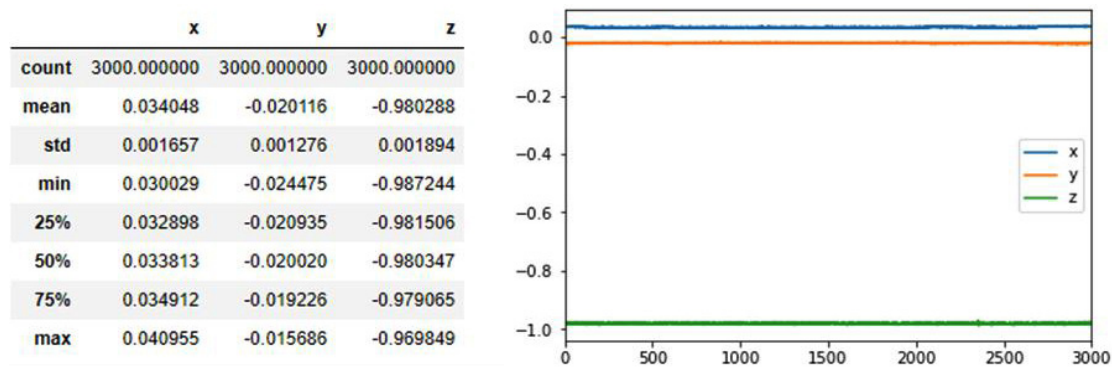


Рис. 6. Статистика и визуализация данных акселерометра  
Fig. 6. Statistics on the results of accelerometer measurements

Следующим недостатком разработанного программного модуля, для устранения которого также было решено провести исследования, было чрезмерное энергопотребление. Одним из способов уменьшить энергопотребление является определение вида активности пользователя приложения (сидит, лежит, идет, бежит, едет в машине или на общественном транспорте и т. д.), что позволяет определить его относительное положение в пространстве и динамику перемещения смартфона. Зная вид активности, можно изменять частоту опроса датчиков, продолжительность актуальности результатов запроса окружающих пространственных объектов и т. п. Распознавание вида активности человека (**human activity recognition**) может осуществляться разными способами, как алгоритмически, так и с помощью моделей машинного обучения. Например, используя алгоритм кластеризации Kmeans, можно достаточно четко разделить группы активностей на классы. В результате реализации такого алгоритма в виде приложения был проведен эксперимент по определению видов активности пользователя. Результаты эксперимента представлены на рис. 7. Различным диапазонам данных, полученных в результате применения алгоритма выделения главных компонент PCA к результатам измерений датчиков устройства, соответствуют различные виды активности пользователя, которые на рисунке закрашены разным цветом. Данные по осям представлены в условных относительных единицах.

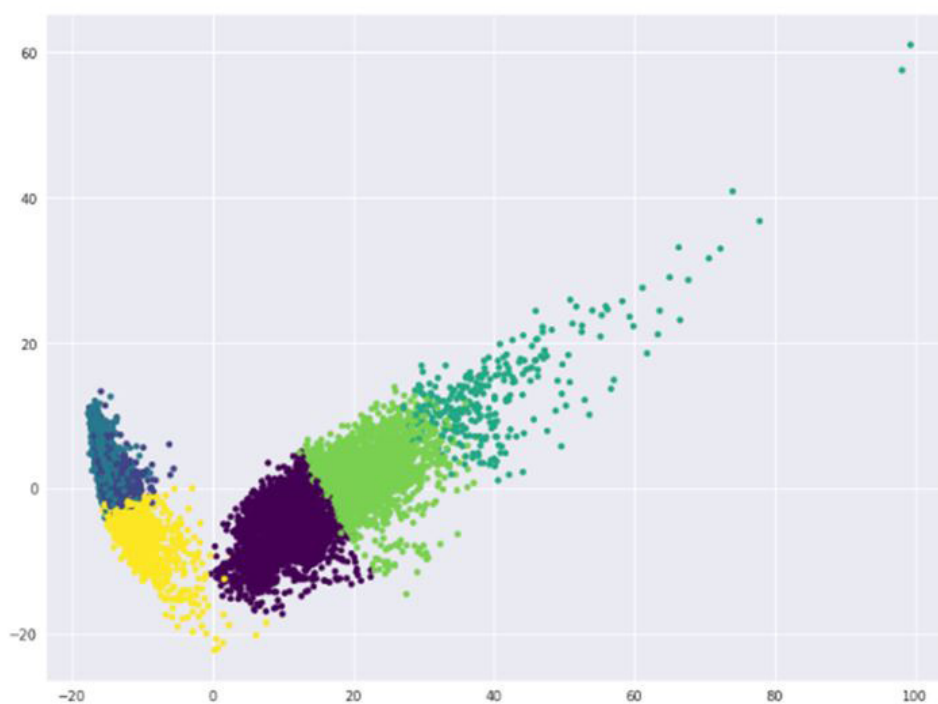


Рис. 7. Визуализация активности пользователя по данным датчиков смартфона в проекции на две главные компоненты  
Fig. 7. Graphical representation of user activity based on smartphone sensor data in a projection on two main components

При сравнении полученных результатов с реальной активностью пользователя были сделаны выводы о необходимости дальнейшей доработки используемого алгоритма и проведения повторных тестов, так как точность определения вида активности составляла примерно 65 %, что можно считать недостаточным.



Как было сказано в начале статьи, еще одним способом улучшения технологии дополненной реальности служит синергетический подход, заключающийся в совместном применении геопозиционной и маркерной технологий дополненной реальности. Ключевыми средствами маркерной технологии являются методы компьютерного зрения, «детектирование» и «сегментация» объектов на получаемом с камеры мобильного устройства изображении. Для их реализации в создаваемом приложении геопозиционной AR были рассмотрены возможности использования нейронных сетей в среде Unity 3D.

Для Unity наиболее пригодным для разработки приложений является плагин TFSharp. Он представляет собой экспериментальный плагин, основанный на другом плагине, предназначенном для возможности использования открытой программной библиотеки для машинного обучения tensorflow в языке программирования C#. Он устанавливается как стандартный программный пакет Unity 3D и для работы требует предобученной нейронной сети в формате bytes (данный формат является freeze моделью на основе чекпоинта весов сети и ее структуры). Разработчики рекомендуют для тренировки и экспорта модели использовать язык программирования Python с Tensorflow. Также вместо Python с Tensorflow возможно было использовать другую открытую нейросетевую библиотеку Keras, однако это потребовало выполнения дополнительных действий для экспорта созданной модели в Unity, в связи с чем от этой идеи было решено отказаться.

На момент написания статьи было реализовано отдельное приложение на основе Unity 3D, использующее нейронную сеть для распознавания и детектирования объектов реального мира при помощи камеры смартфона. Нейронная сеть была обучена распознавать легковые автомобили. В условиях хорошего освещения и видимости было распознано 95 % объектов на расстоянии до 50 м, что является высоким показателем. Однако этих результатов недостаточно, чтобы однозначно выявить применимость данной технологии в AR приложениях. Требуется проведение дополнительных исследований данной технологии на способность распознавания прочих объектов в различных условиях видимости и с больших расстояний. Также необходимо разработать алгоритм, который позволит объединить в достижении общей цели технологии геопозиционной и маркерной дополненной реальности.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

На основе проведенного исследования был сделан ряд рекомендаций и выводов, которые стоит учитывать при создании приложения геопозиционной дополненной реальности:

- данные GPS/ГЛОНАСС датчика имеют значительный разброс (сотни сантиметров), в связи с этим рекомендуется производить повторные запросы данных через значительные интервалы времени, от 1 до 20 секунд в зависимости от среднего темпа движения пользователя, настроек радиуса запроса данных и плотности отображаемых объектов;
- при обработке данных компаса следует использовать экспоненциальный фильтр с двумя проходами и предварительным отбрасыванием значений, отличающихся от трех предыдущих более чем на 75 %;
- дополнительная обработка данных, получаемых с гироскопа и акселерометра, не требуется в связи с их высокой точностью;
- для уменьшения энергопотребления можно использовать систему определения вида активности пользователя. При этом важно учитывать особенности работы конкретного AR приложения, так как в определенных условиях потребление энергии системы распознавания активности пользователя может оказаться выше получаемых от ее использования

преимуществ. Авторам статьи на момент ее написания не удалось добиться достаточной точности распознавания, что требует доработки используемого алгоритма и более тщательного подбора параметров.

– наиболее значимым шагом на пути к существенному улучшению возможностей и качества приложений дополненной реальности видится совместное использование геопозиционной и маркерной технологии на основе нейронных сетей. Предварительные исследования использования нейронных сетей для детектирования объектов показали хорошие результаты, однако требуется проведение дополнительных исследований по распознаванию большего количества объектов в различных условиях видимости. Также требуется разработка алгоритма, который позволит объединить в достижении общей цели технологии геопозиционной и маркерной дополненной реальности.

## ВЫВОДЫ

Приведенные рекомендации являются лишь частью исследования, в которой не учитываются энергопотребление датчиков, паттерны движений пользователя, характер отображаемых данных. Более комплексный подход требует совместного использования обработанных данных с датчиков мобильного устройства, распознавания и корректировки параметров опроса датчиков и внешних API. Использование нейронных сетей для анализа получаемого с камеры изображения в данный момент для широкого круга приложений достаточно сильно затруднено сложностью тренировки сети и ограничениями на встраивание готовых моделей в типовые приложения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кикин П.М., Колесников А.А., Комиссарова Е.В., Грищенко Д.В.* Анализ данных датчиков смартфона при разработке приложения геопозиционной дополненной реальности // Междунар. науч.-практ. конф. «От карты прошлого – к карте будущего», 28–30 ноября 2017, г. Пермь – г. Кудымкар. С. 95–105.
2. *Колесников А.А., Кикин П.М., Комиссарова Е.В.* Программирование для ГИС в рамках подготовки студентов, обучающихся по специальности «Информационные системы и технологии» // Актуальные вопросы образования. Ведущая роль университета в технической и кадровой модернизации российской экономики: Сб. материалов Междунар. науч.-методич. конф. В 3-х ч. Ч. 1. Новосибирск: СГУГиТ, 2015. С. 87–90.
3. *Колесников А.А., Кикин П.М., Комиссарова Е.В.* Создание виртуальных моделей местности и зданий // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр., 18–22 апреля 2016 г., Новосибирск. Междунар. науч. конф. «Раннее предупреждение и управление в кризисных ситуациях в эпоху больших данных»: Сб. материалов. Т. 2. Новосибирск: СГУГиТ, 2016. С. 37–40.
4. *Яковлев Б.С., Пустов С.И.* Классификация и перспективные направления использования технологии дополненной реальности // Изв. ТулГУ. Технические науки. 2013. № 3.
5. *Adler S., Schmitt S., Wolter K., Kyas M.* A survey of experimental evaluation in indoor localization research // Proceedings of the IEEE International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN). Banff, Alberta, Canada, October 2015. P. 1–10.
6. *Bonnet S., Bassompierre C., Godin C. et al.* Calibration methods for inertial and magnetic sensors // Sensors and Actuators A: Physical. 2009. V. 156, No 2. P. 302–311.
7. *Chen D., Cho K., Shin K.G.* Mobile IMUs Reveal Driver's Identity From Vehicle Turns. CoRR, abs/1710.04578, arXiv technical report 2017.
8. *Chen X.* Human Motion Analysis with Wearable Inertial Sensors. PhD Dissertation, University of Tennessee, Knoxville, 2013.

9. *Colomar D.S., Nilsson J.-O., Handel P.* Smoothing for ZUPT-aided INSs // Proceedings of the IEEE International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN). Sydney, Australia, November 2012. P. 1–5.
10. *Groves P.D.* Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems, 2nd ed.: Artech House, Boston and London, 2013.
11. *Kok M., Hol J.D., Sch T.B.* Using Inertial Sensors for Position and Orientation Estimation. CoRR, abs/1704.06053, arXiv technical report 2017.
12. *Quan M., Piao S.* Robust visual-inertial {SLAM:} combination of {EKF} and optimization method. CoRR, abs/1706.03648, arXiv technical report 2017.
13. Reaserch Report «Global Augmented Reality (AR) Market Forecast by Product (HMD, HUD, Tablet PC, Smartphone) for Gaming, Automotive, Medical, Advertisement, Defense, E-learning & GPS Applications (2011–2016)», Market and Markets, 2011.
14. *Restuccia F., Ghosh N., Bhattacharjee S. et al.* Quality of Information in Mobile Crowdsensing: Survey and Research Challenges. CoRR, abs/1709.03583, arXiv technical report 2017.
15. *Wu Y., Pei L.* Gyroscope Calibration via Magnetometer. CoRR, abs/1707.07082, arXiv technical report 2017.
16. *Wu Y., Shi W.* On Calibration of Three-axis Magnetometer // IEEE Sensors Journal. 2015. T. 15. P. 6424–6431.
17. *Wu Y., Zou D., Liu P., Yu W.* Dynamic Magnetometer Calibration and Alignment to Inertial Sensors by Kalman Filtering // IEEE Trans. on Control System Technology. 2016.

## REFERENCES

1. *Adler S., Schmitt S., Wolter K., Kvas M.* A survey of experimental evaluation in indoor localization research // Proceedings of the IEEE International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN). Banff, Alberta, Canada, October 2015. P. 1–10.
2. *Bonnet S., Bassompierre C., Godin C. et al.* Calibration methods for inertial and magnetic sensors. Sensors and Actuators A: Physical. 2009. V. 156, No 2. P. 302–311.
3. *Chen D., Cho K., Shin K.G.* Mobile IMUs Reveal Driver's Identity From Vehicle Turns. CoRR, abs/1710.04578, arXiv technical report 2017.
4. *Chen X.* Human Motion Analysis with Wearable Inertial Sensors. PhD Dissertation, University of Tennessee, Knoxville, 2013.
5. *Colomar D.S., Nilsson J.-O., Handel P.* Smoothing for ZUPT-aided INSs // Proceedings of the IEEE International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN). Sydney, Australia, November 2012. P. 1–5.
6. *Groves P.D.* Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems, 2nd ed.: Artech House, Boston and London, 2013.
7. *Kikin P. M., Kolesnikov A. A., Komissarova E. V., Grishenko D.V.* Analysis of data from smartphone sensors when developing an application of a geo-positional augmented reality. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Ot karty proshlogo – k karte budushchego», 28–30 noyabrya 2017, g. Perm' – g. Kudymkar. P. 95–105 (in Russian).
8. *Kok M., Hol J.D., Sch T.B.* Using Inertial Sensors for Position and Orientation Estimation. CoRR, abs/1704.06053, arXiv technical report 2017.
9. *Kolesnikov A.A., Kikin P.M., Komissarova E.V.* Creating virtual models of terrain and buildings. Interekspo GEO-Sibir'-2016. XII Mezhdunar. nauch. kongr., 18–22 apr. 2016, Novosibirsk. Mezhdunar. nauch. Konf. «Raneye preduprezhdeniye i upravleniye v krizisnykh situatsiyakh v epokhu bol'shikh dannyykh»: Sb. materialov. V. 2. Novosibirsk: SSUGT, 2016. P. 37–40 (in Russian).

10. *Kolesnikov A.A., Kikin P.M., Komissarova E.V.* Programming for GIS in the framework of the preparation of students studying in the specialty "Information Systems and Technologies". Aktual'nyye voprosy obrazovaniya. Vedushchaya rol' univ-ta v tekhn. i kadrovoy modernizatsii rossiyskoy ekonomiki: sb. mater. Mezhdunar. nauchno-metodich. konf. Part. 1. Novosibirsk: SSUGT, 2015. P. 87–90 (in Russian).
11. *Quan M., Piao S.* Robust visual-inertial {SLAM:} combination of {EKF} and optimization method. CoRR, abs/1706.03648, arXiv technical report 2017.
12. Reaserch Report "Global Augmented Reality (AR) Market Forecast by Product (HMD, HUD, Tablet PC, Smartphone) for Gaming, Automotive, Medical, Advertisement, Defense, E-learning & GPS Applications (2011–2016)", Market and Markets, 2011.
13. *Restuccia F., Ghosh N., Bhattacharjee S. et al.* Quality of Information in Mobile Crowdsensing: Survey and Research Challenges. CoRR, abs/1709.03583, arXiv technical report 2017.
14. *Wu Y., Pei L.* Gyroscope Calibration via Magnetometer. CoRR, abs/1707.07082, arXiv technical report 2017.
15. *Wu Y., Shi W.* On Calibration of Three-axis Magnetometer. IEEE Sensors Journal. 2015. T. 15. P. 6424–6431.
16. *Wu Y., Zou D., Liu P., Yu W.* Dynamic Magnetometer Calibration and Alignment to Inertial Sensors by Kalman Filtering. IEEE Trans. on Control System Technology, 2016.
17. *Yakovlev B.S., Pustov S.I.* Classification and perspective directions of using the augmented reality technology. Izvestiya TulGU. Tekhnicheskiye nauki. 2013. No 3 (in Russian).