|  |
| --- |
|  |
| ***Дипломная работа*** |
| «Внутреннее позиционирование в системах виртуальной и дополненной реальности для виртуальных реконструкций» |
|  |
|  |
| Д. И. Завадский |

**Содержание**

[Введение 4](#_Toc484122744)

[Обзор литературы 5](#_Toc484122745)

[Постановка задачи 6](#_Toc484122746)

[1 Выбор технологии внутреннего позиционирования 7](#_Toc484122747)

[1.1 Технология получения виртуальной реальности 7](#_Toc484122748)

[1.2 Историческая справка 7](#_Toc484122749)

[1.3 Создание приложения 8](#_Toc484122750)

[1.4 Технологии позиционирования 10](#_Toc484122751)

[1.4.1 GPS 10](#_Toc484122752)

[1.4.2 Позиционирование по сотовым сетям 11](#_Toc484122753)

[1.4.3 Инерциальные системы 11](#_Toc484122754)

[1.4.4 Магнитометрия 12](#_Toc484122755)

[1.4.5 Оптическая локация 12](#_Toc484122756)

[1.4.6 Лидар (Ладар) 12](#_Toc484122757)

[1.4.7 Инфракрасное излучение 13](#_Toc484122758)

[1.4.8 Звук (в том числе ультразвук) 14](#_Toc484122759)

[1.4.9 Wi-Fi/Bluetooth локация 14](#_Toc484122760)

[1.4.10 Ultra-wide band (UWB) 15](#_Toc484122761)

[1.5 Сравнение технологий внутреннего позиционирования 16](#_Toc484122762)

[2 Точное вычисление собственного положения 17](#_Toc484122763)

[2.1 Методы определения местоположения 17](#_Toc484122764)

[2.1.1 Received Signal Strength 17](#_Toc484122765)

[2.1.2 Angle of Arrival 17](#_Toc484122766)

[2.1.3 Time of Flight 17](#_Toc484122767)

[2.1.4 Time of Arrival 17](#_Toc484122768)

[2.1.5 Time Difference of Arrival 18](#_Toc484122769)

[2.2 Вычисление местоположения 18](#_Toc484122770)

[2.3 Алгоритм Калмана 21](#_Toc484122771)

[2.4 Выбранные средства разработки 23](#_Toc484122772)

[3 Итоги практической реализации 25](#_Toc484122773)

[3.1 Результаты 27](#_Toc484122774)

[Заключение 32](#_Toc484122775)

[Литература и ссылки 33](#_Toc484122776)

[Приложение 35](#_Toc484122777)

[Информация по гранту 35](#_Toc484122778)

[Код 35](#_Toc484122779)

# Введение

В наше время такие словосочетания как «виртуальная реальность» или «дополненная реальность» слышны все чаще, однако в повседневной жизни редко встречаются устройства, реализованные для массового пользования.

Технологии дополненных и виртуальных реальностей применимы для различных направлений: наука, игры, обучение, медицина и этот список все время пополняется.

В основе всех реализованных на данный момент устройствах, лежит точное определение местоположения в пространстве, которое можно определить с достаточно высокой точностью с помощью сенсоров, находящихся непосредственно на самом устройстве, например с помощью акселератора, компаса или гироскопа.

Однако этих сенсоров не достаточно для точного расчета пройденного расстояния в пространстве. Следовательно, появляется необходимость использования сторонних средств.

Целью выполнения данной дипломной работы является рассмотрение и реализация методов внутреннего позиционирования (*Indoor positioning*) в закрытых помещениях, как частного случая систем виртуальной и дополненной реальностей при использовании смартфона, и исследовательская работа по измерению точности при использовании различных алгоритмов внутреннего позиционирования.

## Обзор литературы и существующих решений

На момент написания данной работы было просмотрено множество источников, в которых описывалась работа с внутренним позиционированием для определения собственного положения.

В одних источниках описывалось, как можно достигнуть сантиметровой точности при использовании ультразвука, в других рассказывалось про создания дорогостоящих устройства, которые при использовании большого количества антенн могли вычислять с высокой точностью свое положение при использовании Wi-Fi точек доступа. Но нигде не рассматривалась проблема позиционирования только лишь при помощи смартфона и устройств, которыми люди пользуются в повседневной жизни.

Самое близкое к моей теме, что было найдено – обработка сигнала устройством, находящимся на одном месте, получаемого от точки доступа фильтром Калмана. В моем же случае – устройство может передвигаться вместе с пользователем, а значит, что данный алгоритм не может быть использован приложением напрямую.

В качестве подобных приложений были найдены программы, использующие методы панорамной съемки на 360 градусов, однако передвижение производится лишь по точкам, в которых выполнены эти панорамы.

А те видео, которые поддерживают режим виртуальной реальности и вовсе не позволяют пользователю перемещаться в пространстве.

## Постановка задачи

Каждый современный человек уже имел дело со смартфоном, и почти у каждого есть свой собственный. И для того, чтобы возможность передвижения по виртуальной реконструкции была доступна каждому, имеет смысл разрабатывать приложение, использующее возможности, которыми владеет большая часть существующих на данный момент смартфонов.

Поэтому, в качестве основного устройства, на котором рассматриваются различные методы внутреннего позиционирования, используем смартфон.

# Выбор технологии внутреннего позиционирования

В данной главе приведены общие сведения, полученные во время написания дипломной работы и приложения, а так же проведен обзор методов внутреннего позиционирования.

## Технология получения виртуальной реальности

В большинстве случаев для реализации виртуальной реальности и частичного погружения человека в нее достаточно согласовать движение виртуальной камеры и устройства.

Дизайн для виртуальной реальности очень похож на дизайн видеоигр, поскольку в обоих случаях мы имеем дело с интерактивным 3D-опытом.

Следует понимать, что разработав работающую схему для виртуальной реальности, все использующиеся технологии можно перенести и на дополненную реальность. Поэтому в качестве основы и примера для изучения рассмотрим реализацию приложения виртуальной реальности, построенную на виртуальной реконструкции трапезной палаты Феодоровского городка в Царском селе.

## Историческая справка

Основной целью постройки палаты было устройство здания для собраний духовенства. Трапезная палата строилась с весны 1914 года по сентябрь 1915 года, после чего до 1917 года велись отделочные работы. Все росписи исполнил художник Г. П. Пашков.

В городке, после закрытия лазаретов, хранилась коллекция церковной утвари, икон, оружия и других предметов русской старины — наследие «Общества возрождения художественной Руси».

Рис. 2. Виртуальная реконструкция

Рис. 1. Трапезная палата

В 1918 году комплекс был передан Петроградскому агрономическому институту. В период оккупации Пушкина Феодоровский городок находился рядом с передним краем обороны немцев и очень сильно пострадал. Ценности, которые ещё оставались в нём, были вывезены.

По окончании войны предполагалось восстановить комплекс, однако больших работ так и не проводилось. Реставрация началась в 1976 году.

В настоящее время здание не используется. Этот объект культурного наследия находится под угрозой уничтожения, и поэтому был выбран, для виртуальной реконструкции студентами кафедры Графических технологий, факультета ПИиКТ, мегафакультета КТиУ, университета НИУ ИТМО.

## Создание приложения

Изначально, в качестве основной идеи, была лишь реализация приложения с использованием дополненной или виртуальной реальности для проведения экскурсии по виртуальной реконструкции для Гранта № 17-04-12034 Российского гуманитарного научного фонда от кафедры Графических технологий, факультета ПИиКТ.

Один из предложенных вариантов реализации дополненной реальности с помощью обработки рисунка полигональной сетки или иных меток на стенах и потолке помещения полученного при помощи камеры устройства был откинут. Плюсами данного подхода были бы автономность и свобода от остальных устройств. Не требовалось бы электричество.

Однако сложность воспроизведения подобных конструкций в быстрые сроки послужили поводом отказа от данной идеи.

Поэтому в качестве основного варианта была выбрана реализация приложения на основе виртуальной реальности.

После реализации поворота для устройства с помощью сенсоров (гироскопа, акселерометра и магнитометра), было решено отказаться от перемещения по вертикали с помощью алгоритмов внутреннего позиционирования, так как все изученные на тот момент алгоритмы давали очень большую погрешность. Поэтому перемещение по вертикали было заменено на возможность зумирования (увеличения изображения при помощи уменьшения угла обзора).

Для горизонтального передвижения решено было сделать два варианта передвижения: один – с помощью экранного джойстика, который бы позволял любому пользователю без каких либо дополнительных действий и калибровок устройства перемещаться по виртуальному помещению, и второй – при помощи сторонних устройств и позиционирования по местности. Осталось лишь разобраться с выбором метода для внутреннего позиционирования.

## Технологии позиционирования

Существует ряд технологических платформ и алгоритмов для отслеживания положения объектов в реальном времени. Большинство из них применимы для определения положения внутри зданий, однако, одни технологии не слишком точные, а другие слишком сложные для использования в смартфоне. Рассмотрим их и выберем наиболее подходящую технологию для нашего случая:

### GPS

Global Positioning System — система глобального позиционирования, можно найти почти в любом смартфоне. К сожалению, не работает, если спутников не видно. Можно отдельно приобретать ретрансляторы, но их стоимость оставляет желать лучшего. Общим недостатком использования всех радионавигационных систем является то, что при определенных условиях сигнал может не доходить до приемника, или приходить со значительными искажениями или задержками.

Основной принцип использования системы — определение местоположения путём измерения моментов времени приёма синхронизированного сигнала от навигационных спутников антенной пользователя. Для определения трёхмерных координат GPS-приёмнику нужно иметь четыре уравнения: «расстояние равно произведению скорости света на разность моментов приёма сигнала пользователя и момента его синхронного излучения от спутников»:

Здесь:

— местоположение - го спутника;

— момент времени приёма сигнала от - го спутника по часам потребителя;

— неизвестный момент времени синхронного излучения сигнала всеми спутниками по часам пользователя;

— скорость света;

— неизвестное трёхмерное положение пользователя.

### Позиционирование по сотовым сетям

Чаще всего используется как раз тогда, когда не видны спутники, но есть мобильная связь. Принцип действия заключается в том, что сотовый телефон (или модуль сотовой связи) знает, каким приемопередатчиком базовой станции он обслуживается и, имея базу данных координат передатчиков базовой станции, можно приблизительно определить своё местоположение. Однако точность в этом случае еще ниже, чем у GPS, даже в районах с высокой плотностью станций.

### Инерциальные системы

Здесь используется модель движения человека: если мы знаем, где были, в какую сторону и как быстро двигались, то можно рассчитать, где мы оказались через некоторое время.

Сейчас это достигается с помощью гироскопов и акселерометров смартфона. К плюсами данного решения можно отнести автономность и отсутствие привязки к внешней инфраструктуре.

Минусы — необходимость знать начальную точку, со временем накапливающаяся погрешность и потребность сверяться с другим источником данных, например, GPS.

Однако в нашем случае эти сенсоры отвечают за то, в какую сторону пользователь направляет своё устройство, а значит, использовать их для инерциальной системы уже не получится.

### Магнитометрия

Навигация по магнитному полю с помощью компаса смартфона.

Данное решение требует предварительной калибровки в помещении и слишком подвержено влиянию металла и магнитов. Поэтому имеет смысл использовать его для определения поворота устройства в пространстве, только при отсутствии более точных сенсоров, к примеру, гироскопа.

### Оптическая локация

Основная идея этого метода – предварительное сканирование помещения, а потом определение своего местоположения по картинке, полученной с камеры смартфона.

Теоретически, может использоваться как при работе с дополненной реальностью, так и с виртуальной реальностью. Однако во втором случае картинка с камеры просто не будет использоваться при выводе итогового изображения.

Из минусов данного подхода можно выделить как само требование съемки помещения заранее, так и появляются проблемы с прямой видимостью ключевых точек изображения, по которым производится определение местоположения и само внутреннее позиционирование.

### Лидар (Ладар)

Light (Laser) Detection and Ranging. Технология получения и обработки информации об удалённых объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления отражения света и его рассеяния в прозрачных и полупрозрачных средах. В системах ближнего радиуса действия (например, предназначенных для работы в помещениях), главные свойства лазера: когерентность, высокие плотность и мгновенная мощность излучения — не востребованы; излучателями света в таких системах могут служить обычные светодиоды. Однако в основных сферах применения технологии (метеорология, геодезия и картография) с радиусами действия от сотен метров до сотен километров можно использовать только лазеры.

Сканирующие лидары в системах машинного зрения формируют двумерную или трёхмерную картину окружающего пространства. «Атмосферные» лидары способны не только определять расстояния до непрозрачных отражающих целей, но и анализировать свойства прозрачной среды, рассеивающей свет. Разновидностью атмосферных лидаров являются доплеровские лидары, определяющие направление и скорость перемещения воздушных потоков в различных слоях атмосферы.

Хотя это решение дает достаточно высокую точность, на данный момент это остается очень дорогим методом и не применимо к рядовым смартфонам.

### Инфракрасное излучение

В системах инфракрасного позиционирования мобильные приборы испускают инфракрасные импульсы с определенной периодичностью. Эти импульсы воспринимаются приемниками системы, и местонахождение прибора рассчитывается по времени прохождения сигнала от источника к приемнику. Недостатки: невысокая относительная точность и помехи от солнечного света. ИК лазер повышает дальность и точность измерений, но обходится дороже. Точность позиционирования составляет до 10 сантиметров.

### Звук (в том числе ультразвук)

Ультразвуковые датчики работают на частотах от 40 до 130 кГц. Расстояние рассчитывается по времени прохождения сигнала от датчика до приемника. Используя несколько приемников, можно точно рассчитать местоположение передатчика. Рекомендуется использовать четыре приемника.

Недостатки: потери сигнала из-за препятствий, ложные сигналы из-за отражений и помехи от высокочастотных источников звука. Для исключения этих недостатков требуется тщательное планирование системы.

Достоинство – высочайшая, до трех сантиметров, точность позиционирования.

### Wi-Fi/Bluetooth локация

Одна из причин довольно быстрого распространения систем позиционирования, основанных на использовании технологий Wi-Fi, как и в случае с сотовыми сетями – их массовое использование. Местоположение вычисляется путем сравнения измеряемых в реальном времени мощностей сигнала от окружающих Wi-Fi/Bluetooth точек с заранее измеренными значениями, привязанными к карте помещения.

Наиболее простым способом позиционирования в сетях Wi-Fi, как и в сотовых сетях, – по факту подключения к конкретной базовой станции. Такие системы используются обычно для предоставления конкретного вида услуг, в зависимости от типа и местонахождения прибора. Радиус действия точек доступа Wi-Fi составляет от 30 до 200 метров, в зависимости от конкретного исполнения.

Тем не менее, точность позиционирования даже в системах с применением специальных расширений Wi-Fi, относительно невысока и составляет в идеальных условиях 3-5 метров.

### Ultra-wide band (UWB)

Беспроводная технология связи на малых расстояниях при низких затратах энергии, использующая в качестве несущей сверхширокополосные сигналы с крайне низкой спектральной плотностью мощности.

В отличие от широкополосных радио технологий, имеющих ширину полосы от нескольких сотен килогерц до десятков мегагерц, сверхширокополосные UWB сигналы распространяются на частоте нескольких гигагерц.

В UWB системах это обеспечивается путем передачи импульсоподобного сигнала. Такие сигналы являются по своей природе широкополосными. Зная из анализа Фурье, что идеальный импульс (то есть, волна заданной амплитуды и бесконечно малой продолжительности) обеспечивает бесконечную полосу пропускания, видно, что передача совсем не похожа на традиционные радиочастотные модулированные синусоидальные волны. Вместо этого они напоминают серию импульсов.

Преимущество технологии: надежная работа и высокая точность позиционирования даже при наличии отраженных сигналов.

## Сравнение технологий внутреннего позиционирования

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Название** | **Дистанция (**~ **м.)** | **Точность (**~ **м.)** | **Стоимость** |
| GPS | - | 10 (на улице) | Низкая |
| Сотовая связь | - | 100 (на улице) | Низкая |
| Инерциальные системы | - | 10 | Средняя |
| Wi-Fi/BLE | 50 | 10 | Средняя |
| Optic | - | 10 | Высокая |
| Lidar | 1000 | 1 | Высокая |
| IR | 5 | 0.1 | Высокая |
| Ультразвук | 5 | 0.05 | Высокая |
| UWB | 10 | 0.1 | Высокая |

Первые два варианта оставляют желать лучшего при позиционировании внутри здания. Сенсоры, требуемые для инерциальных систем, используются для определения поворотов в пространстве виртуальной реальности, а остальные технологии дороги в реализации. Поэтому в качестве внутренней навигации выберем технологию Wi-Fi.

# Точное вычисление собственного положения

После выбора инструмента для внутреннего позиционирования, рассмотрим методы, которые используются для определения местоположения устройства в пространстве.

## Методы определения местоположения

### Received Signal Strength

Уровень принимаемого сигнала от передатчика. С его помощью можно рассчитать оценочное расстояние между приемником и точкой доступа. Однако стоит помнить, что данный метод эффективен на коротких расстояниях. На длинных дистанциях накапливается большая погрешность.

### Angle of Arrival

Суть метода заключается в триангуляции пользователя между точками доступа, оборудованными несколькими антеннами. Соответственно для точного местоположения требуется либо множество антенн, либо специальные направленные антенны.

### Time of Flight

Метод позволяет рассчитать расстояние до устройства посредством измерения времени прохождения специфической волны с использованием линейно-частотной модуляции от самого устройства до точки доступа.

### Time of Arrival

Основная идея очень похожа на предыдущий метод, однако, вместо модуляции сигнала требуется точная синхронизация времени между устройством и точкой доступа, после чего расстояние высчитывается по времени прохождения сигнала между точкой доступа и устройством.

### Time Difference of Arrival

Метод является расширением предыдущего, так как расстояние рассчитывается из измерения времени, требующегося на получение сигнала до нескольких точек доступа. Здесь не требуется синхронизация времени с устройством, однако остается требование строгой синхронизации между точками доступа, чего достичь достаточно сложно.

Из вышеописанного можно сделать вывод, что только первый метод (RSS) позволяет без особых сложностей при использовании смартфона вычислить расстояние от точки доступа до местонахождения пользователя, так как все вычисления предположительно производятся на небольших расстояниях, и специфика распространения радиосигнала не успеет накопить большую погрешность.

## Вычисление местоположения

Для того чтобы определить расстояние от устройства до Wi-Fi точки доступа можно использовать формулу FSPL.

Free-space path loss – формула, учитывающая потери сигнала в электромагнитной среде, которые возникают в результате прохождения волны сквозь пространство (обычно воздух), без каких-либо препятствий поблизости, вызывающих отражение или дифракцию.

Она определена в «Стандартных определениях терминов для антенн», IEEE Std 145-1983, как «Потеря между двумя изотропными излучателями в свободном пространстве, выраженная в виде отношения мощностей». Обычно она выражается в децибелах. Таким образом, предполагается, что коэффициент мощности не включает в себя какие-либо потери, связанные с дефектами оборудования или последствиями усиления антенны.

Потери в свободном пространстве пропорциональны квадрату расстояния между передатчиком и приемником, а также пропорциональны квадрату частоты радиосигнала:

Где:

– длина волны сигнала (в метрах);

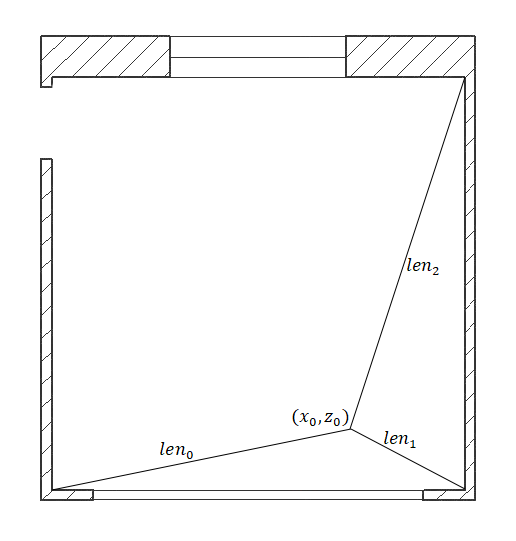
– частотный сигнал (в герцах);

– расстояние от передатчика (в метрах);

– скорость света в вакууме (2.998 \* 10^8 м/с).

Эта формула принимает частотный сигнал в герцах, но функция, которая используется в программе ScanResult.frequency() получает частоту в мегагерцах. Значит, конечная формула будет выглядеть как:

Однако стоит помнить, что это уравнение выдает очень зашумленный результат, основываясь только на силе приходящего сигнала.



После того, как приложение получило данные о расположении точек доступа, начинаются вычисления о собственном местоположении методом трилатерации.

Трилатерация применяется последовательно к каждой группе точек доступа, после чего полученные координаты виртуального местоположения камеры усредняются:

Рис. 3. Проведение трилатерации

Для увеличения точности позиционирования можно использовать большее количество точек доступа и вычислять медиану измерений по ним.

Но стоит заметить, что полученные данные изначально зашумлены. Поэтому, перед тем как работать с зашумленными данными, следует применить к ним фильтрацию для удаления, либо гашения основных шумов. В качестве метода для фильтрации входящих данных выбран алгоритм Калмана.

## Алгоритм Калмана

Все измерительные приборы имеют некоторые погрешности, которые появляются при внешних или внутренних воздействиях на прибор, что является причиной зашумленности данных, получаемых с этого прибора. А чем зашумленнее входящие данные, тем сложнее работать с полученной информацией.

Фильтр Калмана обрабатывает получаемые данные и старается избавиться от лишних шумов в зависимости от изначальной настройки алгоритма. В самом алгоритме есть несколько переменных, при изменении которых задается информация о системе, после чего появляется возможность получить более точную информацию на выходе.

Фильтр Калмана использует динамическую модель системы и состоит из двух постоянно повторяющихся фаз: предсказание и корректировка.

Фаза предсказания – рассчитывается предсказание состояния в следующий момент времени (с учетом неточности их измерения):

1. Предсказание состояния системы
2. Предсказание ошибки ковариации

Фаза корректировки – изменяется предсказанное значение (также с учетом неточности измерений):

1. Вычисление усиления Калмана
2. Обновление оценки с учетом измерений
3. Обновление ошибки ковариации

Разберемся в обозначениях:

Подстрочный индекс «k» означает текущий или предыдущий момент времени, а знак минус в надстрочном индексе означает, что это *предсказанное* промежуточное значение;

– матрица перехода между состояниями (динамическая модель системы);

– матрица применения управляющего воздействия;

– матрица измерений, отображающая отношение измерений и состояний;

– предсказание состояния системы в текущий момент времени;

– состояния системы в прошлый момент времени;

– управляющее воздействие в прошлый момент времени;

– измерение в текущий момент времени;

– предсказание ошибки;

– ошибка в прошлый момент времени;

– усиление Калмана

– ковариация шума измерения;

– ковариация шума процесса;

– единичная матрица.

Уравнения представлены в матричной форме, однако, так как мы работаем с одной переменной – матрицы вырождаются в скалярные значения.

После того, как заданы все начальные данные и запущен алгоритм фильтрации полученных данных с точек доступа количество шумов значительно уменьшается.

Так как виртуальная комната представляется собой комнату с четырьмя углами, то можно по углам расположить несколько точек доступа, и работать с ними в каждом из углов как с единым целым. Зная, что каждый из них выдает не точный результат, медиана отфильтрованных измерений по ним будет более приближена к реальным значениям.

## Выбранные средства разработки

Для реализации конечного приложения использовались стандартные библиотеки Unity, а скрипты приложения написаны на языке программирования C-sharp.

Использование готовых структур данных позволяет получить ряд достоинств. Устраняется необходимость заново реализовывать известные решения. Также удобством использования библиотеки является то, что она предоставляет наиболее эффективные реализации структур данных и операторов. В качестве стороннего решения была использована библиотека Native Wi-Fi. Она используется для возможности работы приложения на компьютере под операционной системой Windows, используя API для работы с модулем Wi-Fi компьютера.

# Итоги практической реализации

В процессе написания приложения для устройств под операционной системой Android и компьютерной версии под операционной системой Windows реализован следующий функционал:

1) Определение направления взгляда пользователя и соответствующий поворот виртуальной камеры двумя вариантами:

1.1) Гироскоп

1.2) Магнитометр + Акселерометр

2) Возможность ручной корректировки изначального направления горизонтального поворота

3) Вычисление расстояния до ближайших Wi-Fi точек

4) Передвижение по горизонтали с помощью:

4.1) Джойстика

4.2) С помощью трилатерации по Wi-Fi точкам доступа

5) Возможность приближения (зумирования) изображения

Рис. 4. Приложение на основе виртуальной реконструкции



Рис. 5. Передвижение при помощи джойстика

В данном приложении телефон оперирует массой данных с различных сенсоров. Используется информация, поступающая с акселерометра, компаса, гироскопа, GPS и даже с ближайших Wi-Fi точек доступа.

В первую очередь приложение получает данные о том, какие сенсоры присутствуют на аппарате, и в зависимости от полученных ответов использует нужный алгоритм обработки данных для определения поворота в пространстве. Это может быть лишь гироскоп, комбинация данных от магнитометра и акселерометра, либо предупреждение о том, что требуемых сенсоров в данном устройстве не обнаружено.

Если приложение работает с акселерометром и магнитометром, следует понимать, что данные будут очень искажаться в зависимости от местности, поэтому приходится использовать фильтрацию полученных данных, что сказывается на небольших задержках в скорости поворота.

В случае использования гироскопа таких сильно выраженных проблем нет, поэтому повороты выглядят более точными и без задержек.

Далее пользователь выбирает, каким образом он предпочитает передвигаться по виртуальной площадке. На выбор предлагаются два варианта: возможность передвижения в приложении посредством своего реального передвижения, либо с использованием более стандартного метода – экранного джойстика.

В первом случае пользователю предлагают совершить калибровку помещения, в котором он находится, и пометить точки доступа, которые он используется как «рабочие». После чего, используются данные Wi-Fi точек, от которых приложение получает информацию о мощности сигнала и ее частоте. Эти данные он использует для вычисления расстояния до них, которое используется для определения собственного положения в пространстве. Таким образом, пользователь, перемещаясь по комнате, перемещается в приложении.

Второй способ более понятен для многих и требует меньше подготовок. На экран выводится джойстик, изменяя положение которого, пользователь меняет горизонтальное положение камеры в приложении.

После создания приложения, проведенных косметических изменений и оптимизационных работ, была проведена исследовательская работа по получению результатов о точности проводимых исчислений на множестве устройств в различных условиях.

Ниже приведены полученные результаты и сделанные по ним выводы.

## Результаты

Первый полученный график. Проводится измерения с несколькими точками доступа находящимися на одном и том же расстоянии от устройства. В качестве точек доступа используются роутеры и телефоны с частотой радиосигнала 2.4 GHz.

Рис. 6. Первый график с полученными данными с устройства

На графике отчетливо видно сильная зашумленность приходящих данных. При использовании полученных данных для передвижения виртуальной камеры видны резкие скачки.

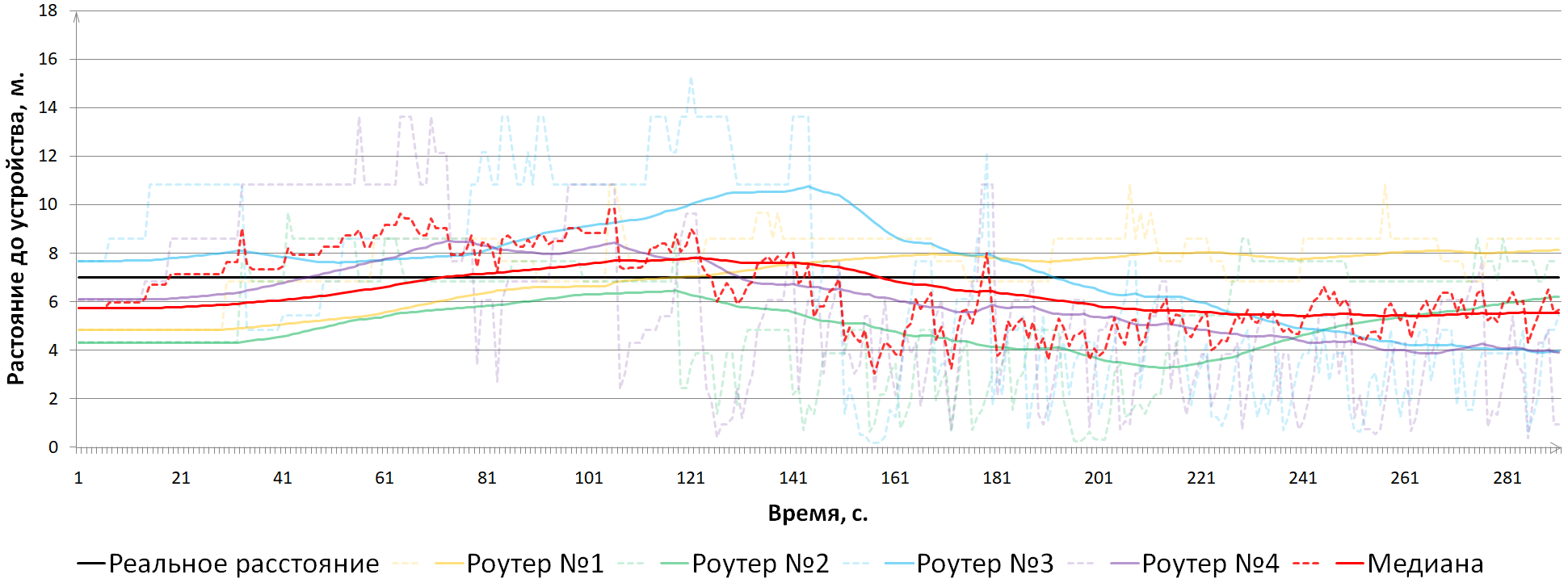
Полученная медиана всех измерений (красная линия) очень сильно отлична от реального положения устройства (черная линия), которое держалось на одном месте от всех точек доступа.

Рис. 7. Первый график с обработанными данными

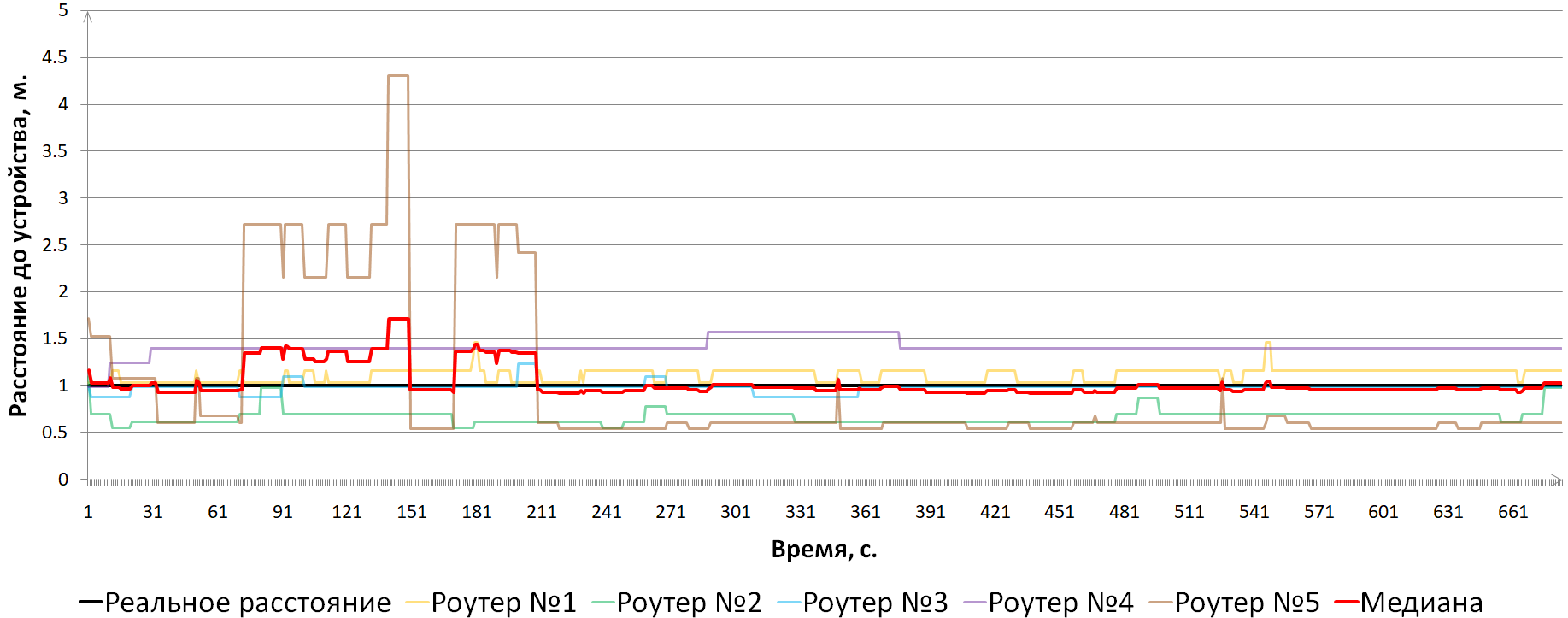
После применения фильтра Калмана к полученным данным мы получаем сглаженные линии, медиана которых гораздо точнее отображает реальное местоположение устройства в пространстве. При использовании этих измерений для трилатерации отсутствует «подергивания» виртуальной камеры.

Рис. 8. Второй график с полученными данными с другого устройства

На графике на Рис. 8 отображены результаты сбора информации с нескольких точек доступа, расположенных на заранее заданном расстоянии от другого смартфона. Смартфон находится в небольшой комнате. Препятствия между устройством и точками доступа отсутствуют. Явно виден сильный всплеск от одной из точек доступа.

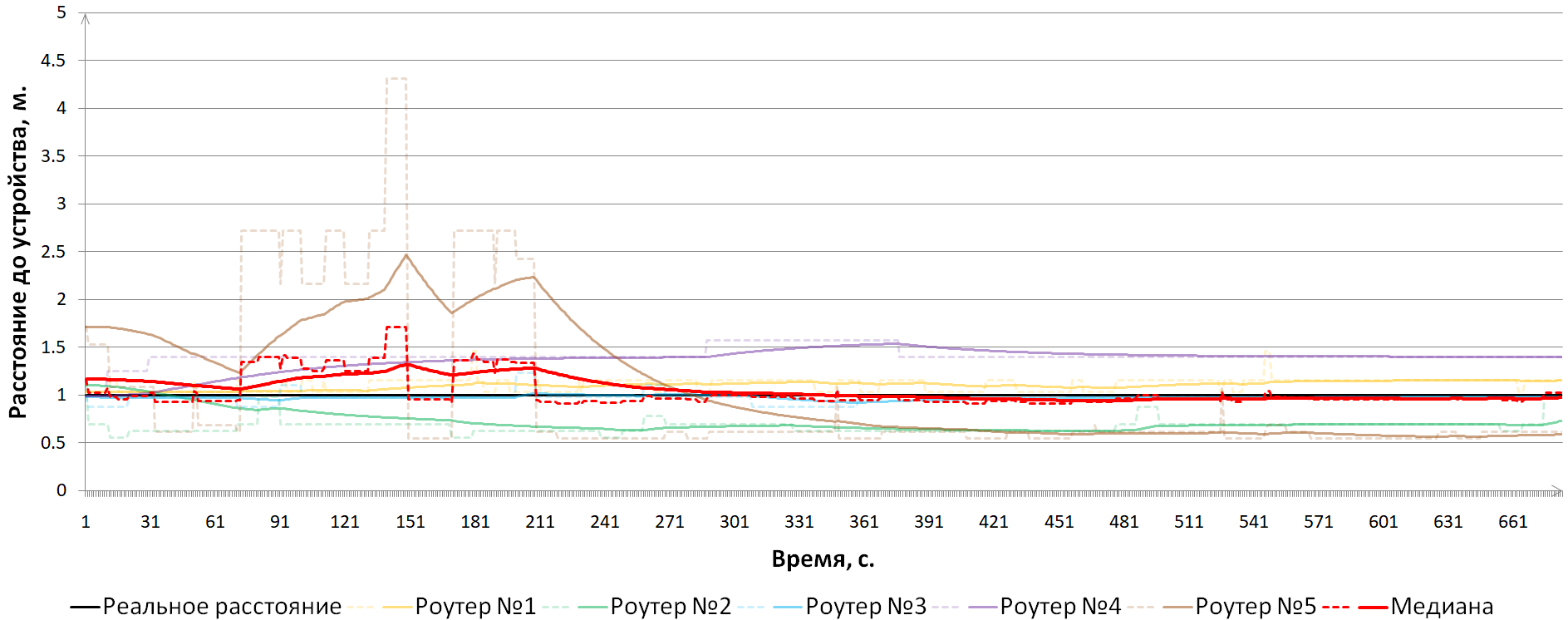
После применения фильтра Калмана результаты становятся немного лучше. Стоит заметить, что после применения фильтра результаты не становятся хуже, так как при изначальной настройке задается оценочное ограничение скорости передвижения пользователя.

Рис. 9. Второй график с обработанными данными

Среди всех проверяемых устройств, самые нестабильные данные получались с телефонов и ноутбуков работающих на частоте 2.4 GHz.

В то же время, самыми стабильными по приходящим данным, были устройства работающие на частоте 5 GHz.

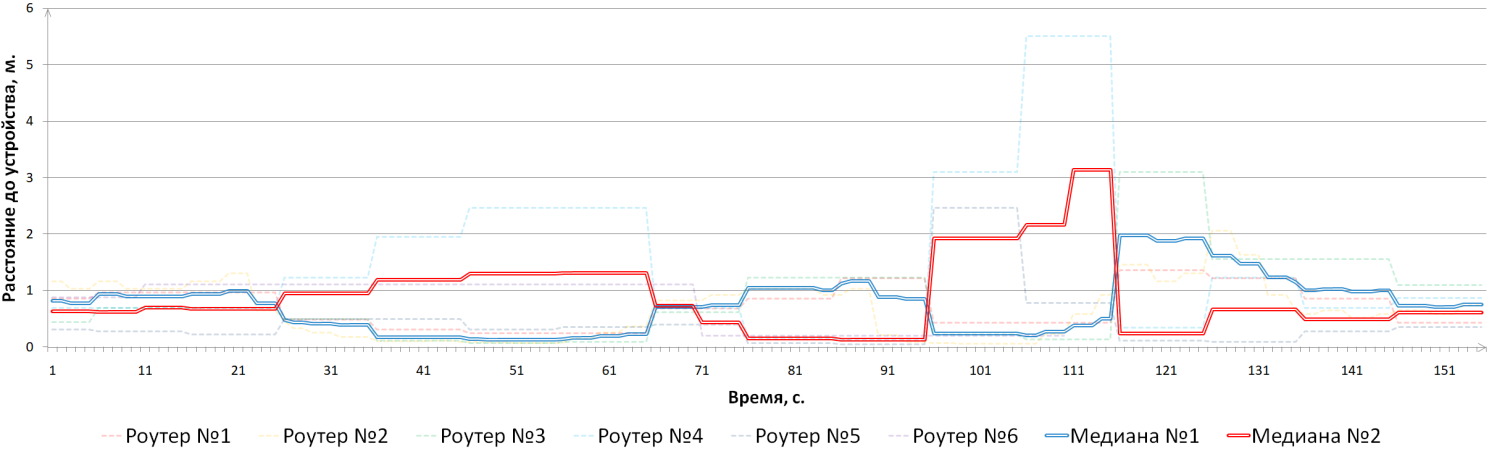
Данный график показывает, как ведут себя данные при передвижении устройства. В эксперименте учавствуют 6 точек доступа, поделенные на две группы.

Рис. 10. Третий график с полученными данными во время передвижения

В течении 20 секунд устройство находилось примерно посередине между точками доступа, после чего начало плавные движения то к одной группе, то к другой. Заметно, что медиана полученных данных далека от гладкой прямой, отчего передвижения в приложении получатся дерганными.

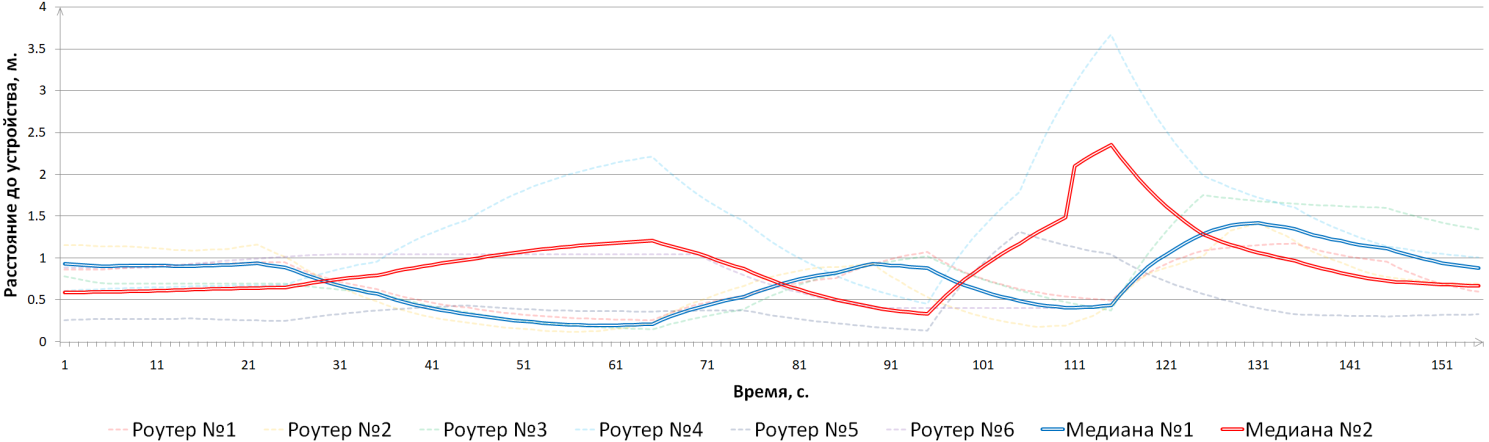
После применения фильтра Калмана, медиана полученных данных от каждой из групп точек доступа показывает сильно приближенное к реальности местоположение пользователя с устройством. Отчего передвижения в приложении получаются плавными и спокойными.

Рис. 11. Третий график с обработанными данными

По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

1. Даже при нахождении смартфона на месте – полученные данные о его местоположении, даже после многоэтапной фильтрации не будут сверхточными и стабильными, т.к. качество сигнала постоянно меняется. Они могут быть лишь приближены к реальным значениям.
2. Если на руках имеется достаточное количество точек доступа, то можно производить между ними выборку и присваивать веса полезности, на основе которых появится возможность обходить длительные резкие скачки, тем самым повысить точность вычисления местоположения устройства.
3. При использовании лишь смартфона и подручных средств есть возможность создать достаточно точное внутреннее позиционирование для проведения экскурсий в системах виртуальной и дополненной реальности.

# Заключение

В ходе выполнения дипломной работы было написано приложение под операционную систему Android, а также проведены исследования по точности вычисления собственного местоположения на множестве устройств в различных условиях.

Полученные результаты в ходе исследования показывают, что только при использовании Wi-Fi и метода измерения расстояния при помощи RSS, а также использования фильтрации входных данных можно получить достаточно точное местоположение устройства в пространстве.

Разработанное приложение оптимизировано под различные устройства, функционально, удобно в использовании и расширяемо. Расширяемость приложения состоит в возможности добавления различных виртуальных реконструкций к существующему на данный момент помещению

В условиях гранта предполагается продолжение работы с добавлением остальных комнат данного архитектурного комплекса, что в итоге выльется в полноценную экскурсию по всему архитектурному сооружению Феодоровского городка.

В продолжение данной дипломной работы планируется написание кросплатформенного приложения под остальные операционные системы смартфонов, и возможно, под очки виртуальной реальности.

# Литература и ссылки

* Current approches of Wi-Fi Positioning

<https://www.snet.tu-berlin.de/fileadmin/fg220/courses/WS1112/snet-project/wifi-positioning_henniges.pdf>

* Accuracy Enhancement of RSSI-based Distance

<http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/view/94675/70032>

* Positioning and monitoring systems

<http://tssonline.ru/articles2/safe-city/sistemy-pozitsionirovaniya-i-monitoringa>

* Angle of Arrival Localization for Wireless Sensor

<http://www4.ncsu.edu/~mlsichit/Research/Publications/aoaLocalizationSecon06.pdf>

* Mathematical methods for personal positioning and navigation

<https://tutcris.tut.fi/portal/files/1881441/sirola.pdf>

* An Indoor Navigation System For Smartphones

<http://www.doc.ic.ac.uk/teaching/distinguished-projects/2013/a.chandgadkar.pdf>

* Навигация в помещениях с помощью ИНС

<https://habrahabr.ru/post/245325/>

* Ультразвуковое позиционирование с точностью +/- 2 см.

<https://habrahabr.ru/post/254361/>

* Системы позиционирования внутри зданий для мобильных сервисов

<https://habrahabr.ru/post/126410/>

* Indoor навигация и позиционирование

<https://habrahabr.ru/company/sap/blog/267433/>

* Система позиционирования по Wi-Fi с дециметровой точностью

<https://geektimes.ru/post/273686/>

* Технологии позиционирования в реальном времени

<http://www.rtlsnet.ru/technology/view/4>

# Приложение

## Информация по гранту

Грант № 17-04-12034, Мультимедийная информационная система «Архитектурно-художественный комплекс Феодоровский городок в Царском селе как пример Русского стиля», рук. Смолин А.А. (Университет ИТМО), тип проекта - "в"

Виртуальная реконструкция сделана студентами кафедры Графических технологий, факультета ПИиКТ, мегафакультета КТиУ, университета НИУ ИТМО.

## Код

1000+ строчек кода[[1]](#footnote-2)

1. от 22х страниц и выше в зависимости от форматирования [↑](#footnote-ref-2)