

На правах рукописи

Пестун Максим Вадимович

Методы построения навигационных описаний  
маршрутов для картографических  
компьютерных систем

05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных  
машин, комплексов и компьютерных сетей

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Москва – 2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук

Научный руководитель: Доктор физико-математических наук, профессор Галактионов Владимир Александрович, заведующий отделом компьютерной графики и вычислительной оптики Института прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук.

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, доцент Карпов Леонид Евгеньевич, ведущий научный сотрудник Института системного программирования Российской академии наук.

Кандидат физико-математических наук Игнатенко Алексей Викторович, старший научный сотрудник лаборатории компьютерной графики и мультимедиа факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики" (НИУ ИТМО).

Защита состоится « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_\_ г. в 11:00 часов на заседании диссертационного совета Д 002.024.01, созданного на базе ФГБУН Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, расположенного по адресу: 125047 Москва, Миусская пл., д.4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБУН Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН: [www.keldysh.ru](http://www.keldysh.ru).

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор физико-математических наук

Т.А. Полилова

## **Общая характеристика работы**

**Актуальность работы.** В современном мире интеграция вычислительной и роботизированной техники в повседневную жизнь становится заметнее с каждым днем. Многие механические и аналоговые приборы заменяются электронными, приобретают средства для взаимодействия с другими устройствами, объединяются в сети и образуют так называемый интернет вещей. В этой новой среде человеку отводится управляющая роль, он определяет задачи, которые далее выполняются роботами, компьютерами и другими электронными устройствами. Таким образом, в сферу общения человека, традиционно состоящую из окружающих его людей, включаются и роботизированные системы. Поддержание с ними диалога осложняет специфика самих устройств, их стремительное развитие и необходимость постоянного переобучения. В связи с этим возникает научная проблема на прикладном уровне по разработке интерфейса для взаимодействия человека и роботизированных систем подобного рода.

Важной частной проблемой является область передачи знания о маршруте. Знание о маршруте может передаваться как от человека к роботизированной системе, так и в обратном направлении – от роботизированной системы к человеку. Для передачи таких знаний требуется специальный формат описания маршрута, удобный для понимания человеком и распознаваемый роботом. Помимо этого требуется возможность персонализации передаваемых данных под конкретного пользователя. Ее наличие позволит сократить описание, упростить его понимание и увеличить вероятность правильного распознавания при вводе.

На сегодняшний день существует много различных систем, частично решающих данную проблему – это автомобильные навигаторы, мобильные и стационарные платформы, веб-приложения и другие. Далее по тексту они называются общим именем – компьютерными навигационно-картографическими системами.

Такие системы предлагают своим пользователям возможности по нахождению оптимального пути из точки А в точку В и выводят, преимущественно на экран, инструкции по перемещению, выполнение которых проведет пользователя по маршруту. Эти инструкции обычно не содержат знакомых пользователю ориентиров. Ввод конкретного маршрута в такие системы либо невозможен (обычно предлагается использовать полностью автоматическое построение), либо сильно ограничен.

Можно выделить следующие *недостатки существующих навигационно-картографических систем*:

- карты не подстраиваются под пользователя и не выделяют важную только для него информацию, усложняя тем самым их использование;
- навигационно-картографические системы мало приспособлены для слабовидящих или незрячих пользователей;
- пошаговое описание маршрута обладает слабой выразительностью и не имеет персонализации, что осложняет восприятие;
- методы ввода конкретного маршрута в компьютер малофункциональны или отсутствуют, что не дает возможности точно задать конкретный путь;
- методы хранения навигационных карт обладают избыточной информацией; с целью уменьшения объема необходимо сконцентрироваться только на важных для пользователя деталях, расставив им приоритеты.

На основе анализа перечисленных выше конкретных недостатков и общей проблемы передачи знания о маршруте *ставится научная задача* по разработке методов построения персонализированных навигационных текстовых описаний маршрутов для картографических систем, позволяющих

упростить взаимодействие человека с компьютерными и роботизированными платформами на уровне обмена знаниями.

Построение и ввод описания маршрута в удобном (и, по возможности, персонализированном) для человека виде актуальны в следующих задачах:

- взаимодействие с роботизированными системами;
  - На текущий момент идет стремительное развитие антропоморфных роботов, лишенных графических экранов и умеющих взаимодействовать с пользователями только при помощи голоса. Вопрос описания маршрута в словесной форме самим роботом и понимания того, какой путь имел в виду человек, становится сейчас актуальным.
- указание компьютеру о следовании по специальному маршруту;
  - На текущий момент навигационные системы для широкой аудитории не предлагают возможности легко и удобно задать конкретный маршрут, основанный на персональных знаниях пользователя, они могут лишь сами предлагать варианты для выбора. Однако порой необходимо узнать время в пути именно по конкретному маршруту или сообщить автоматическому автомобилю (полностью управляемому роботом) о желаемом пути проезда. Удобным решением будет возможность описать маршрут в приблизительном виде и попросить компьютер предложить наиболее подходящие под описание варианты, при этом пользователь может оперировать знакомыми только ему объектами, такими как «дом», «работа» и т.д. Существующие навигационные системы для решения этой задачи используют интерфейс, в котором пользователь может поставить на карте

транзитные точки, через которые должен проходить автоматически проложенный маршрут. Однако такой ввод данных становится слабо актуальным в связи с развитием голосового ввода информации («OK Google», «Siri»), что подталкивает к разработке универсального решения.

- навигация в городском окружении;
  - Использование навигационных систем (например, автомобильного навигатора) частично решает проблему поиска нужного места в сложной системе дорог, однако их рекомендации не всегда бывают удобными для водителя, из-за чего ему требуется отвлекаться от дороги на монитор устройства с изображением карты и нарисованной поверх нее траектории движения. Инструкция «поверните налево через 312 метров» может быть оформлена в более удобной форме «поверните налево за площадью».
- навигация внутри зданий со сложной планировкой;
  - В современном мире здания стали иметь очень большие размеры, постоянно расширяются и достраиваются. В связи с этим часто бывает осложнена навигация по ним. Система таблиц и указателей упрощает ее, но не всегда бывает достаточной: указатели на все интересующие человека места физически невозможно разместить повсеместно. На сегодняшний день наибольшие трудности вызывают следующие здания: торговые центры, аэропорты, многоэтажные парковки на тысячи автомобилей и другие крупные сооружения. Иногда встречаются здания с планировкой, при которой,

например, на второй этаж можно попасть только с третьего, но не с первого этажа. Решением, упрощающим навигацию, является расстановка небольших терминалов, на которых пользователь может выбрать интересующий его объект (конкретный магазин, парковочное место, кабинет), и система расскажет ему, как до него добраться. Частично описание может быть текстовым, оформленным в виде прямой речи человека, объясняющего «как пройти». Такой текст должен быть легко запоминаемым и однозначно понятным.

**Цель диссертационной работы.** Цель диссертационной работы состоит в разработке алгоритмов построения персонализированных навигационных описаний маршрутов для упрощения взаимодействия человека с компьютером в области передачи информации о пути и создании программных средств на их основе для использования в существующих картографических системах.



Рис. 1: Летающий робот (квадрокоптер), перемещающийся по маршруту, описанному пользователем



Рис. 2: Многофункциональный робот РБ-2

Для достижения поставленной цели необходимо последовательно решить следующие **задачи**:

- исследовать и провести анализ существующих навигационно-картографических решений;
- исследовать существующие методы построения описания (вывода) маршрута; разработать алгоритм построения персонализированного текстового описания маршрута в удобной для человека форме;
- исследовать существующие методы задания (ввода) маршрута в компьютер; разработать алгоритм преобразования персонализированного текстового описания маршрута в удобное для обработки компьютером представление;
- разработать компьютерную систему, спроектировав ее архитектуру, реализующую данные алгоритмы.



**Научная новизна.** Получены следующие новые результаты в области передачи навигационной информации:

1. Разработаны и реализованы новые алгоритмы построения и распознавания персонализированного когнитивного текстового описания маршрута, упрощающие использование навигационно-картографических систем. Предложенные алгоритмы интегрируемы в широкий класс навигационных систем, работающих как на стационарных, так и на мобильных платформах.
  - a. Алгоритм построения текстового описания учитывает персональные знания пользователя об окружающих объектах, его передвижения в прошлом, часто посещаемые места и другую информацию, позволяющую сократить и упростить описание.
  - b. Алгоритм распознавания текстового описания подбирает подходящие под введенный текст маршруты с учетом данных, накопленных о пользователе ранее, что дает возможность значительно уменьшить число ошибочных вариантов. В случае если информации недостаточно для точного определения маршрута, то пользователь может его уточнить дополнительным вводом.
2. Для построения текстовых описаний разработан вспомогательный алгоритм синтеза предложений, основанный на вероятностных величинах, что придает вид живой речи формируемому тексту.
3. На основе проведенных исследований и экспериментов по формированию когнитивной карты в сознании человека и восприятию текстового описания пути предложены новые алгоритмы для хранения и отображения данных о маршруте, учитывающие психологию восприятия картографической информации. Благодаря такому подходу возможно упрощение

восприятия пользователем информации о пути, а также уменьшение объема необходимой информации для осуществления навигации, хранящейся на устройстве.

**Практическая значимость.** Разработанный на основе предложенных алгоритмов программный комплекс используется:

- в летающей автономной роботизированной системе (квадрокоптер, рис. 1), способной огибать препятствия на пути согласно заданной инструкции, описывающей маршрут передвижения в близком к естественному языку виде (использовалась заранее подготовленная карта местности с размеченными объектами). Робот был разработан, собран и запрограммирован командной в составе с автором диссертации для конкурса летающих роботов от компании КРОК.
- в автономном роботе RB-2 (рис. 2), предназначенном для использования в комнатных условиях с целью выполнения бытовых задач (принести, проверить, убрать и т.д.), разрабатываемого группой ученых из ИПМ им. М. В. Келдыша РАН.
- в созданной автором навигационной системе Интранета высотного офисного здания SkyLight (Ленинградский проспект, д. 39). Любой сотрудник, работающий в данном здании, имеет возможность получить подробную инструкцию о том, как добраться до рабочего места интересующего его человека, просмотрев информацию о нем в персональном профиле на корпоративном портале; обычные методы навигации (указатели, надписи) работали плохо ввиду сложного зеркального по четырем направлениям расположения рабочих мест (используется методика рассадки open-space).

- картографической системе Карты Mail.Ru для предоставления описания маршрута пользователю в удобном персонализированном виде.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертации докладывались на следующих конференциях и семинарах:

1. Международная Конференции по Компьютерной Графике и Зрению GraphiCon'2012 (Москва, факультет ВМК МГУ).
2. Международная Конференции по Компьютерной Графике и Зрению GraphiCon'2014 (Ростов-на-Дону, ЮФУ).
3. Международная Конференции по Компьютерной Графике и Зрению GraphiCon'2015 (Протвино, ИФТИ).
4. Научно-практический семинар «Новые информационные технологии в автоматизированных системах» 2014 года (Москва, НИУ ВШЭ).
5. Научно-практический семинар «Новые информационные технологии в автоматизированных системах» 2015 года (Москва, НИУ ВШЭ).
6. Семинар направления “Программирование” им. М. Р. Шура-Бура в ИПМ им. М. В. Келдыша РАН.

**Публикации.** По результатам работы имеются 9 публикаций [1-9], из них 2 опубликованы в рецензируемых журналах Перечня ВАК [6, 8], 1 публикация входит в библиографические базы Web Of Science и Scopus [1].

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 115 страниц, из них — 102 страницы основного текста, включая 35 рисунков. Библиография включает 80 наименований.

## Содержание работы

Во **введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов.

В **первой главе** содержится введение в предметную область, даются определения основных терминов, вводятся используемые в диссертации понятия из области навигационной картографии. Далее приводится детальный анализ существующих навигационно-картографических систем: автомобильных, мобильных, онлайн-овых и стационарных. Описываются важные подзадачи картографических систем, среди которых выделяются построение и распознавание описания маршрута. Проведенный в первой главе анализ навигационно-картографических систем позволяет выделить два существующих метода описания маршрута и два метода распознавания маршрута по описанию:

- методы построения описания маршрута:
  - пошаговая инструкция;
  - изображение траектории;
- методы распознавания описания маршрута:
  - ввод опорных точек маршрута путем их расстановки мышкой на стационарном компьютере; между ними маршрут прокладывается автоматически;
  - ввод точек транзита путем задания их конкретных координат или имени POI (от англ. Point Of Interest — точки интереса: здания, улицы, предприятия, магазины, парки и т.д.).

По итогам анализа делаются выводы о достоинствах и недостатках существующих методов построения и распознавания описания маршрута. В качестве решения выявленных проблем предлагается синтезировать и

анализировать текстовое описание маршрута, представленное в виде прямой речи человека, описывающего «как пройти» своими словами, с использованием персональных знаний пользователя об окружающих объектах. Таким образом, делается заключение о том, что:

- текстовое представление может быть синтезировано в речь и использоваться в роботизированных системах, у которых отсутствует экран;
- текстовое представление может быть отображено на любом экране (черно-белом, цветном и даже только текстовом);
- текстовое представление поддается легкому вводу в устройство с учетом развития технологий распознавания речи и персональных ассистентов, таких как Siri и Google Now, работающих исключительно на голосовых командах;
- текстовое представление описания, имеющее вид прямой речи человека (т.е. не формальный строгий формат, а свободный разговорный стиль), является легким для восприятия и запоминания, так как использует привычные для пользователя выражения и обороты из повседневной жизни.

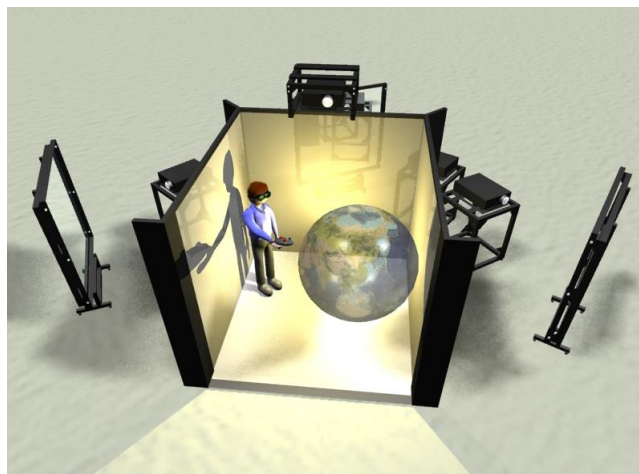


Рис. 3: Схематическое представление системы построения виртуальной реальности CAVE

Выводы об удобстве использования человеком текстового описания маршрута были получены на основе проведенных исследований [1, 2, 5, 6] совместно с факультетом психологии МГУ им. М.В. Ломоносова с использованием специальной системы построения виртуальной реальности CAVE (рис. 3).

Во **второй главе** рассматриваются предлагаемые алгоритмические методы построения и распознавания текстового описания маршрута. Помимо этого, затрагиваются следующие проблемы: персонализации, чьей задачей является подстройка поведения алгоритмов под конкретного пользователя и использование знакомых лично ему мест и маршрутов на карте; упрощения получаемого текста с целью придания «человечности» формулировкам; склонения названий. Кроме того, решаются вопросы, связанные с неточностью введенной пользователем информации и с наличием нескольких подходящих под описание маршрутов. Высокоуровневое представление шагов работы алгоритма построения текстового описания маршрута выглядит следующим образом:

1. выделение из полигона маршрута (*внутреннего представления пути в виде ломаной линии с географическими координатами в вершинах*), полученного от навигационно-картографической системы, знакомых пользователю интервалов (*тех маршрутов, по которым он часто перемещается и может идентифицировать по заданному названию*);
2. фиксация близлежащих к маршруту знакомых пользователю POI в качестве ориентиров (*известность POI определяется частотой его посещения пользователем и информацией из социальных сетей*);
3. группировка интервалов по однотипным навигационным директивам (*навигационные директивы – это команды к*

*перемещению вида «повернуть налево», «двигаться прямо», «развернуться»);*

4. формирование каркаса результата (рис. 4) из лексем (*под каркасом понимается представление итогового текстового описания в абстрагированном от естественного языка виде*);
5. склонение названий и интеграция их в каркас;
6. замена оставшихся лексем по словарю;
7. загрузка изображений POI (*получение от навигационно-картографической системы снимков объектов, сделанных с той позиции, с которой их увидит пользователь в процессе реального перемещения по маршруту*);
8. формирование результирующего текстового описания в формате HTML с изображениями и с визуальным форматированием.

```
{ACTION} · {DIRECTION} · {DISTANCE}, · {JUNK} · {TURN_LEFT}, · {JUNK} · {ACTION} ·
  {GROUP_DIRECTION} · {GROUP_DISTANCE} · {TILL} · {POI_NAME}, · {JUNK} ·
  {KNOWN_ACTION} · {KNOWN_NAME}, · {JUNK} · {ACTION} · {GROUP_DIRECTION} ·
  {GROUP_DISTANCE} · {TILL} · {POI_NAME} . ¶
```

Рис. 4: Пример построенного каркаса (промежуточного представления) будущего текстового описания маршрута

Приведенный выше шаг 4 (формирование каркаса результата из лексем) является одним из самых важных в алгоритме. На этом этапе строится последовательность лексем, которая в итоге будет преобразована в текст (рис. 5). При построении каркаса (в основе алгоритма лежит формальная грамматика — способ описания формального языка) используются следующие формы, представимые в виде одной или нескольких лексем:

- полные и упрощенные названия POI, используемые в прямой речи;
- словесное описание внешнего вида POI;

- склонения названий POI ( $\{POI\_NAME\}$ );
- знакомые пользователю интервалы пути ( $\{KNOWN\_NAME\}$ );
- директивы к перемещению ( $\{ACTION\}$ ,  $\{DIRECTION\}$ );
- упрощенные округленные расстояния ( $\{GROUP\_DISTANCE\}$ );
- группы однотипных действий ( $\{GROUP\_DIRECTION\}$ );
- предлоги, союзы, знаки препинания ( $\{TILL\}$ , «,», «.»);
- «мусорные» слова, придающие тексту «человечности» ( $\{JUNK\}$ ).



Рис. 5: Составные части текстового описания пути, используемые алгоритмом

Большую сложность представляет подзадача придания тексту «человечности». Для ее решения был разработан следующий механизм формирования каркаса лексем, основанный на случайных величинах и частотах использования слов и оборотов.

Все описание разбивается на блоки  $PB = \{ACTION\_TYPE, DIRECTION, RELATIVITY\_NEAR, POI\_NAME\_NEAR, DISTANCE, RELATIVITY\_TILL, POI\_NAME\_TILL\}$  (важно сразу отметить, что не все поля пятерок  $PB$  будут использованы в итоговом сформированном текстовом описании):



- *ACTION\_TYPE* — вид действия, это может быть «проходите», «проезжайте», «двигайтесь», «поверните», «развернитесь» и так далее;
- *DIRECTION* — направление движения, это может быть «прямо», «мимо», «налево», «направо» и так далее;
- *RELATIVITY\_NEAR* — относительность действия к POI, это может быть «у», «мимо», «рядом» и так далее;
- *POI\_NAME\_NEAR* — название POI, рядом с которым происходит действие, связанное с *RELATIVITY\_NEAR*;
- *DISTANCE* — расстояние, которое необходимо преодолеть, это может быть «полкилометра», «четверть километра», «пара километров», «сразу» и так далее;
- *RELATIVITY\_TILL* — относительность действия к POI, это может быть «до», «вплоть» и так далее;
- *POI\_NAME\_TILL* — название POI, рядом с которым происходит действие, связанное с *RELATIVITY\_TILL*.

Далее алгоритм разбивает *PB* на предложения, для чего используются следующие правила:

- в одном предложении может быть минимум один и максимум три блока *PB*:
  - один блок *PB* может быть только в конечном предложении и только в том случае, если к нему не может быть добавлен другой блок *PB*;
  - в остальных случаях используется два или три блока *PB*;
  - вероятность появления трех блоков *PB* определяется значением наперед заданной константы  $\Psi_1$ .
- в случаях, когда два последовательных блока *PB* содержат одинаковые значения *ACTION\_TYPE*, они могут быть

сгруппированы в один; вероятность определяется наперед заданной константой  $\Psi_2$ .

Предложения, в которых повторяется одно и то же слово или словесный оборот, воспринимаются человеком как некорректные, поэтому важно избавиться от подобных комбинаций. Для этого заведены следующие константы, упомянутые выше:

- $\Psi_1$  — вероятность предложения из трех блоков *PB*;
- $\Psi_2$  — вероятность группировки двух блоков *PB* в один.

Мусорные слова используются для придания тексту большей «человечности». Под мусорными словами понимаются наречия, используемые людьми при описании пути, например, «затем», «после чего», «далее» и другие.

Для каждой лексемы определена таблица с возможными вероятностями ее использования. Помимо этого, четко задано правило, согласно которому не может быть использовано две одинаковые словесные формы лексемы одного типа. В случаях, когда это неразрешимо, например, при необходимости указать одинаковое расстояние на последовательных интервалах пути, используются лексемы-заменители. Для каждого типа лексем, где это возможно, определены свои лексемы-заменители:

- для *ACTION\_TYPE*: «снова», «и опять», «еще раз» и другие;
- для *DIRECTION*: «в ту же сторону» и другие;
- для *DISTANCE*: «столько же», «такое же расстояние» и другие.

Алгоритм распознавания текстового описания маршрута представляет собой обратную последовательность действий с несколькими обобщениями, позволяющими сократить объем вводимой пользователем информации.

В третьей главе рассматривается архитектура и реализация программного обеспечения, имплементирующего описанные выше алгоритмы. Вначале формируются общие требования к компьютерной системе: кроссплатформенность, независимость программного кода от платформы,

клиент-серверная реализация, повторное использование существующего банка программных API. Далее на их основе прорабатывается архитектура программного решения, выбирается язык программирования и вспомогательные фреймворки. В главе также рассмотрены проблемы, которые возникали во время реализации алгоритмов в коде. В конце главы рассмотрены функциональные возможности реализованного программного модуля (рис. 6), приведены примеры его практического применения и осуществлено сравнение с существующими методами построения и распознавания описания маршрута.

В **заключении** сформулированы основные результаты работы.

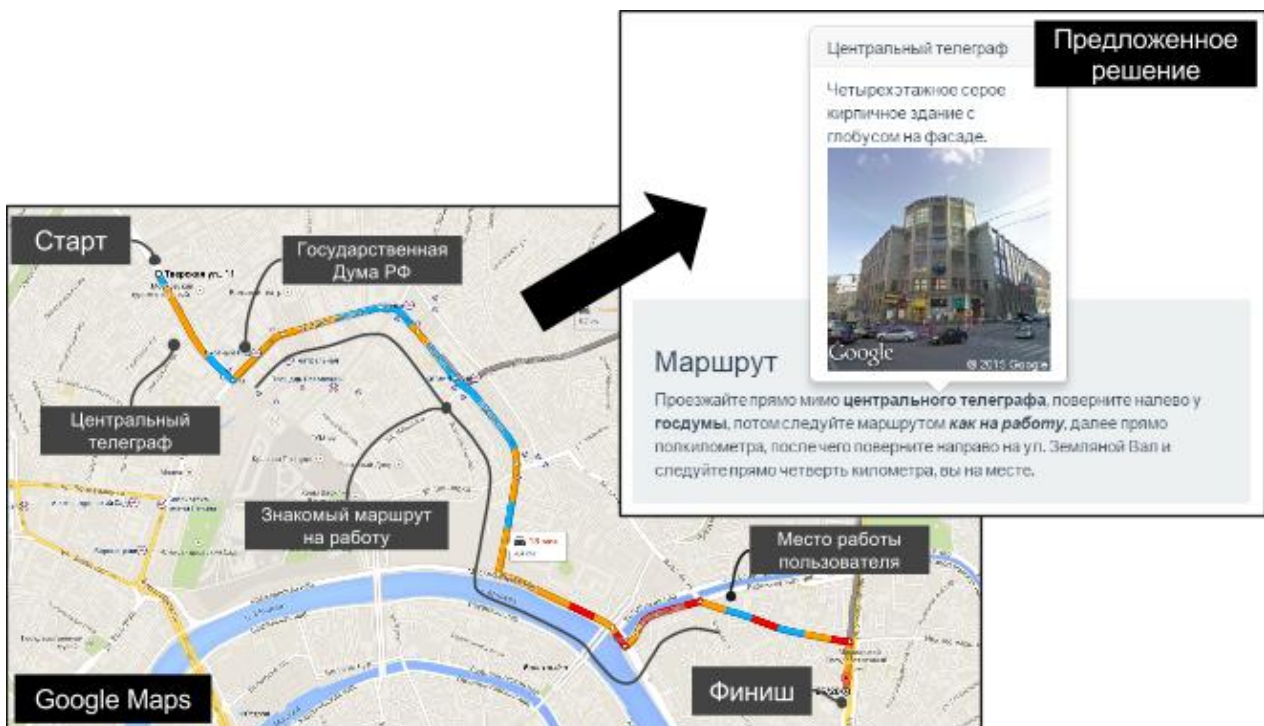


Рис. 6: Пример перевода изображения траектории пути в текстовое представление с использованием знакомых пользователю маршрутов и POI

## Основные результаты

Основные результаты работы:

1. На основе проведенного исследования методов ввода и вывода маршрута разработаны и реализованы новые алгоритмы

построения и распознавания персонализированного когнитивного текстового описания маршрута, упрощающие использование навигационных систем.

2. На основе проведенных исследований и экспериментов по формированию когнитивной карты в сознании человека и восприятию текстового описания пути разработаны алгоритмы для хранения и отображения данных о маршруте, учитывающие психологию восприятия картографической информации.
3. Предложена методика проверки качества предлагаемых текстовых описаний и их удобства для человека на основе статистики использования и отзывов пользователей.
4. На основе разработанных методов и алгоритмов реализована программная компонента, интегрируемая в существующие картографические системы и используемая в реальных практических приложениях.

## **Список публикаций**

1. G. Menshikova, Yu. Bayakovski, E. Luniakova, M. Pestun, D. Zakharkin, Virtual Reality Technology for the Visual Perception Study, Springer //Transactions on Computational Science XIX, Lecture Notes in Computer Science Volume 7870. - Germany, 2013. P. 107-116.
2. G. Menshikova, Yu. Bayakovski, E. Luniakova, M. Pestun, D. Zakharkin, Virtual reality technology for the visual perception study //Proc. of the 22nd International Conference on Computer Graphics and Vision (GraphiCon'2012). - Moscow, Russia, 2012. P. 51-54.
3. М.В. Пестун, Компьютерная система описания маршрута в удобном для человека формате //Научно-практический семинар "Новые информационные технологии в автоматизированных системах". - М., Россия, 2014. С. 125-134.

4. М.В. Пестун, Методы преобразования текстового описания маршрута в компьютерное представление //Научно-практический семинар "Новые информационные технологии в автоматизированных системах". - М., 2015. С. 510-517.
5. A. Teterova, M. Pestun, G. Menshikova, Effect of negative emotions on the cognitive maps acquisition //Proc. of 37 th European Conference on Visual Perception. - Perception, v.43, ECVF Abstract supplement. - Belgrad, Serbia, 2014. P. 140.
6. Г.Я. Меньшикова, Ю.М. Баяковский, Е.Г. Лунякова, М.В. Пестун, Д.В. Захаркин, Эффект артикуляции в трехмерных зрительных иллюзиях //Экспериментальная психология. - М.: ГБОУ ВПО «Московский городской психолого-педагогический университет», 2013, №2. С. 46-57.
7. М.В. Пестун, Алгоритмы построения и хранения навигационной когнитивной карты для взаимодействия с человеком //Труды 24-й международной конференции по компьютерной графике и зрению ГрафиКон'2014. - Ростов н/Д, 2014. С. 119-122.
8. М.В. Пестун. Когнитивная навигация и алгоритм построения текстового описания маршрута в удобном для человека виде //Программные продукты и системы /Гл. ред. академик РАН С.В. Емельянов. - Тверь: Научно-исследовательский институт «Центрпрограммсистем», 2015. С. 28-33.
9. В.А. Галактионов, М.В. Пестун, Алгоритмы построения и распознавания навигационных описаний маршрутов для картографических компьютерных систем //Труды 25-й международной конференции по компьютерной графике и зрению ГрафиКон'2015. - Протвино, 2015. С. 62-67.

