

# Алгоритмы построения и распознавания навигационных описаний маршрутов для картографических компьютерных систем

В.А. Галактионов, М.В. Пестун

vlgal@gin.keldysh.ru|max.pestun@gmail.com

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук, Москва, Россия

*Компьютерные навигационно-картографические системы, доступные на текущий момент, предлагают возможности по нахождению оптимального пути из точки А в точку В. Однако большинство из них не позволяет ввести тот путь, который желает пользователь, и узнать, например, время движения конкретно по нему с учетом текущих заторов на дорогах. Те системы, которые позволяют это сделать, используют графические интерфейсы пользователя, предлагая мышкой разместить опорные точки маршрута, между которыми система построит маршрут в автоматическом режиме. Такой способ крайне плохо применим для мобильных платформ, где размер экрана сильно ограничен, а точ-ввод данных пальцами имеет низкую точность позиционирования. Помимо этого, любой графический ввод информации неприменим с антропоморфными роботами, взаимодействующими при помощи синтезированной человеческой речи и алгоритмов ее распознавания. К аналогичным роботизированным системам можно отнести существующие на сегодняшний день и широко распространенные программы “Siri” и “Google Now”, представляющие из себя персональных цифровых ассистентов.*

*Обратная задача по описанию маршрута решается в основном двумя способами: изображение траектории пути на карте и последовательность действий к перемещению, требующая четкого выполнения. Оба варианта требуют наличия графического интерфейса и не могут быть восприняты человеком на слух. Также обладают рядом других недостатков, рассмотренных далее в тексте.*

*В данной работе рассмотрены алгоритмы построения и распознавания текстового описания маршрута в удобном для человека виде с учетом его когнитивных способностей и персональных знаний об окружающих объектах.*

**Ключевые слова:** маршрут, карта, навигация, когнитивная навигация, описание маршрута.

## Algorithms of construction and recognition of navigational route descriptions for computer mapping systems

V.A. Galaktionov, M.V. Pestun

Keldysh Institute of Applied Mathematics (Russian Academy of Sciences), Moscow, Russia

*Computer navigation and mapping systems available at the moment, offer the possibility of finding optimal path from point A to point B. However, most of them do not allow you to enter the path that the user wants, and learn, for example, time for driving on specific route considering current traffic congestion. Those systems that allow it use graphical user interfaces which require to place anchor points of the route. Between them the system will build the path in an automatic mode. Such method is not suitable for mobile platforms because screen size is very limited and touch data entry by fingers has a low positioning accuracy. In addition, any graphical information input inapplicable with anthropomorphic robots and existing today and widespread programs like “Siri” and “Google Now”, which represent the personal digital assistants.*

*The inverse problem of the description of the route is commonly solved by two main ways: line of path on the map image and sequence of actions to move. Both options require a graphical user interface and can not be perceived by human ear. Also have a number of other disadvantages discussed hereinafter.*

*This paper describes the algorithms of construction and recognition of text description of route in human readable form in a view of its cognitive abilities and personal knowledge of the surrounding objects.*

**Keywords:** route, map, navigation, cognitive navigation, route description.

### Введение

Навигационно-картографические системы (такие как Яндекс Карты, Google Maps, автомобильные навигаторы и другие) решают следующие задачи:

- предоставление актуальных статических и динамических картографических данных;
- локализация положения пользователя;
- работа с маршрутами.

Задача по работе с маршрутами имеет следующие подзадачи:

- автоматический расчет оптимального маршрута между заданными точками начала и конца;
- построение описания маршрута (передача информации от системы к пользователю);
- распознавание описания маршрута (передача информации от пользователя к системе);
- отслеживание перемещения по заданному маршруту.

Интерес для данной работы представляют подзадачи построения и распознавания описания маршрута.

рута. Описание маршрута, построенное при помощи существующих на сегодняшний день систем, как, например, в автомобильном навигаторе, обладает слабой выразительностью и не имеет персонализации. Это осложняет его восприятие человеком. Одновременно, ввод конкретного маршрута человеком в компьютер ограничен существующими инструментами, обладающими малой функциональностью и строгими требованиями к интерфейсу пользователя. Таким образом, проблема существует в обоих направлениях передачи информации о маршруте: от компьютера к человеку и, наоборот, от человека к компьютеру. Помимо этого, современные картографические системы не подстраиваются под знания пользователя и не выделяют важную именно для него информацию, что уменьшает степень их удобства для повседневного использования.

### Актуальность

Описание маршрута от точки А до В в удобном для человека виде актуально в следующих задачах [1, 2, 3].

**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 навигацию, 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.

**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 удобны для водителя, из-за чего ему требуется отвлекаться от дороги на монитор устройства с изображением карты и нарисованной поверх нее траектории движения. Инstrukция “поверните налево через 712

метров” может быть оформлена в более удобном виде: “поверните налево на втором светофоре”.

**Указание компьютеру о следовании по специальному маршруту.** На текущий момент навигационные системы для широкой аудитории не предлагают возможности легко и удобно задать конкретный маршрут, они могут лишь сами предлагать варианты для выбора. Однако порой необходимо узнать время в пути по конкретному маршруту. Для этого было бы удобно описать маршрут в приблизительном виде и попросить компьютер предложить наиболее подходящие под описание варианты. В случае необходимости можно уточнить маршрут. Существующие навигационные системы для решения этой задачи используют интерфейс, в котором пользователь может поставить на карте точки, через которые должен проходить маршрут. Однако такой ввод данных становится неактуальным в связи с развитием голосового ввода информации (“OK Google”, “Siri”), поэтому требуется новое универсальное решение.

**Взаимодействие с роботизированными системами в области описания маршрута.** 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 актуальным.

### Существующие решения

Было проведено широкое исследование существующих навигационно-картографических систем. Исследовались:

- специализированные автомобильные навигаторы: Navitel, Garmin, Mio;
- онлайн-сервисы: Яндекс Карты, Google Maps, Bing Maps;
- мобильные приложения: Яндекс Карты, Яндекс Навигатор, Google Maps, Apple Maps;
- носимые персональные устройства: Google Wear, Google Glass, Apple Watch;
- стационарные терминалы в крупных зданиях и туристических центрах.

Результаты исследования:

- существующие на сегодняшний день в навигационно-картографических системах методы построения описания маршрута не обладают одновременно удобством для восприятия и запоминания, универсальностью использования на разных устройствах (обязательно требуют экран) и подстройкой под знания конкретного пользователя, не предоставляя тем самым возможность осуществления когнитивной навигации;

— существующие на сегодняшний день в навигационно картографических системах методы распознавания описания маршрута не универсальны (не могут использоваться на разных платформах, требовательны к оборудованию пользователя) и не обладают персонализацией, тем самым не позволяют использовать в описании знакомые конкретному пользователю объекты и интервалы пути.

Проведенное исследование систем позволяет выделить два существующих метода для описания маршрута и два для распознавания:

- методы построения описания маршрута:
  - пошаговая инструкция (рис. 1);
  - изображение траектории (рис. 2);
- методы распознавания описания маршрута:
  - ввод опорных точек маршрута путем их расстановки мышкой на стационарном компьютере, между ними маршрут прокладывается автоматически (данный способ позволяет максимально точно задать траекторию, при этом по-прежнему учитывает правила дорожного движения и никогда не прокладывает маршрут по дороге с односторонним движением в обратном направлении, что, несомненно, является плюсом);
  - ввод точек транзита путем задания их конкретных координат или имени POI (менее удобный с точки зрения уточнения сложных маршрутов; часть автомобильных навигаторов, где преимущественно используется метод добавления транзитных точек, поддерживают их ограниченное количество и не позволяют полностью описать желаемый маршрут).

## Предлагаемое решение

Предполагается, что универсальным форматом ввода и вывода маршрута является его текстовое словесное описание, исходя из фактов:

- 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 легко человеку для ввода 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 из повседневной жизни выражения и обороты.

Выводы об удобстве использования для человека текстового описания маршрута были получены на основе проведенных исследований совместно с факультетом психологии МГУ им. М.В. Ломоносова с использованием специальной системы построения виртуальной реальности CAVE [4, 5, 6].

A		рядом с 2-я Хуторская улица 22, Москва, Россия, 127287		A-B: 32,6 км 42 мин	
1	Выезжайте по 2-ю Хуторская улица в направлении Башкиловская улица			36 м	
2	Поверните <b>налево</b> на Башкиловская улица, а затем резко поверните <b>налево</b> на 2-ю Хуторская улица			0,3 км	
3	Поверните <b>налево</b> на улица Костыякова			0,3 км	
4	Поверните <b>направо</b> на Дмитровский проезд			0,3 км	
5	Название дороги изменится на улица Руставели			0,1 км	
6	Воспользуйтесь съездом <b>направо</b> на Бутырская улица			0,3 км	
7	Название дороги изменится на Дмитровское шоссе			11,8 км 13 мин	
8	Продолжайте движение <b>прямо</b> по А104 / Дмитровское шоссе			9,6 км	
9	Поверните <b>налево</b> на Рогачевское шоссе / R113			4,6 км	
10	Название дороги изменится на Батареяная улица			1,2 км	
11	Название дороги изменится на улица Чайковского			1,0 км	
12	Поверните <b>налево</b> на Краснополянская улица			2,1 км	
13	Поверните <b>налево</b> на Текстильная улица			0,3 км	
14	Поверните <b>направо</b> на улица Булычова			0,4 км	
15	Поверните <b>налево</b> на Аэропортская улица			0,1 км	
16	Поверните <b>налево</b> на дороге			96 м	
B		Въезжайте в пункт рядом с Лобня, Россия, 141730 / Косовский перекресток — Аэропортная улица			

Рис. 1: Пример описания маршрута в виде пошаговой инструкции (Bing Maps).

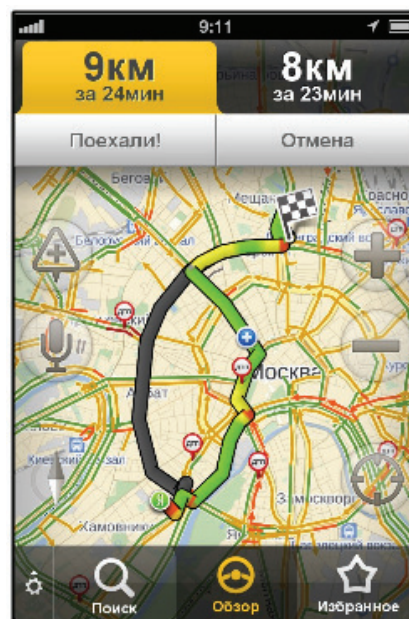


Рис. 2: Пример описания маршрута в виде изображения траектории (Яндекс Навигатор).

## Алгоритм построения описания

Высокоуровневое представление шагов работы алгоритма построения текстового описания маршрута выглядит следующим образом [1, 4]:

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. фиксации близлежащих к маршруту знакомых пользователю POI (от англ. Point Of Interest – точка интереса) в качестве ориентиров (известность POI определяется из частоты его посещения пользователем и информации из социальных сетей);
3. пировка интервалов по однотипным навигационным директивам (навигационные директивы – это команды к перемещению вида “повернуть налево”, “двигаться прямо”, “развернуться”);
4. формирование каркаса (рис. 3) результата 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. дозагрузка изображений POI (получение от навигационно-картографической системы снимков объектов конкретно с той позиции, которой их увидит пользователь в процессе перемещения по маршруту);
8. формирование результирующего текстового описания в формате HTML с изображениями и визуальным форматированием (рис. 5).

```
{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. 3: 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. 4). 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. 4: Составные части текстового описания пути, используемые алгоритмом.

Большую сложность составляет 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 – собственно 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 – собственно название POI, рядом с которым происходит действие, связанное с RELATIVITY\_TILL.

Далее алгоритм разбивает РВ на предложения, для этого используются следующие правила:

- в одном предложении может быть минимум один и максимум три блока РВ;
- один блок РВ может быть только в конечном предложении и только в том случае, если к нему не может быть добавлен другой блок РВ;
- в остальных случаях используется два или три блока РВ;
- вероятность появления трех блоков РВ определяется значением наперед заданной константы  $\Psi_1$ .
- в случаях, когда два последовательных блока РВ 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 и словесный оборот, воспринимаются человеком как некорректные, поэтому важно избавиться от подобных ситуаций. Для этого заведены следующие константы, упомянутые выше:

- $\Psi_1$  – вероятность предложения из трех блоков РВ;
- $\Psi_2$  – вероятность группировки двух блоков РВ 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, что подряд 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 определены свои лексемы заменители, где это возможно:

- 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 последо-

вательность действий с несколькими обобщениями, позволяющими сократить объем вводимой пользователем информации.



Рис. 5: Пример перевода изображения траектории в текстовое представление с использованием знаковых пользователю маршрутов и POI.

## Практическое применение

Разработанный на основе предложенных алгоритмов программный комплекс уже используется:

- 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, 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);
- в картографической системе Карты Mail.Ru для предоставления описания маршрута пользователю в удобном персонализированном виде;
- в летающей автономной роботизированной системе (квадрокоптер), способной обходить 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 командой (автор и еще три участника) для конкурса летающих роботов от компании КРОК;
- в автономном комнатном роботе на гусеницах, способном проезжать по описанной пользователем траектории (в разработке) [1].

## Заключение

В статье были рассмотрены алгоритмы, позволяющие строить и распознавать текстовое описание

маршрута, обладающего персонализацией, близостью к прямой речи человека и лаконичностью, стремящиеся максимально задействовать когнитивные процессы пользователя с целью упрощения восприятия информации. Благодаря текстовому формату представления они могут быть реализованы и использованы на максимально широком списке различных платформ: начиная от мобильных и стационарных компьютеров и заканчивая антропоморфными роботами. Текст всегда может быть синтезирован в голосовую речь, распечатан или выведен на экран. Появление персональных ассистентов, таких как “Siri” и “Google Now”, подталкивает к использованию именно голосового взаимодействия с устройствами.

### Литература

- [1] *О.И. Давыдов, А.К. Платонов* Сеть Пассфреймов - комбинированная модель операционной среды мобильного робота // Препринт ИПМ № 15. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2015.
- [2] *Loomis J.M., Klatzky R.L., and Colledge R.G.* Human navigation by path integration // *Wayfinding: Cognitive mapping and spatial behavior*, 1999.
- [3] *М.В. Пестун* Когнитивная навигация и алгоритм построения текстового описания маршрута в удобном для человека виде // Программные продукты и системы. – Тверь: “Центрпрограммсистем”, 2015. С. 28-33.
- [4] *Lakhtionova I., Menshikova G.* The method of testing the ability of allocentric cognitive maps acquisition // *Proc. of 36-th European Conference on Visual Perception, Bremen, Germany, Aug. 25-29, 2013, Perception, v.42, ECVP Abstract supplement, P. 53.*
- [5] *Lakhtionova I., Menshikova G.* Testing the ability of allocentric cognitive map acquisition using the CAVE technique // *Cognitive Modeling: Collection of Papers of the First International Forum on Cognitive Modeling (14-21 September, 2013, Italy, Milano-Marittima).*
- [6] *Menshikova G., Bayakovski Yu., Luniakova E., Pestun M., Zakharkin D.* Virtual Reality Technology for the Visual Perception Study // Springer, *Transactions on Computational Science XIX, Lecture Notes in Computer Science Volume 7870*, 2013, P. 107-116.