

Проблема контроля движения в задаче навигации в закрытых помещениях

М.П. Осипов¹, В.С. Андреев¹

¹Нижегородский государственный университет, Национальный исследовательский университет, пр. Гагарина 23, Нижний Новгород, Россия, 603950

Аннотация. Рассмотрены способы минимизации ошибок позиционирования с использованием информации, полученной с помощью микромеханических инерционных датчиков, доступных пользователю. Предложен подход к исправлению ошибки позиционирования с использованием информации о планировке здания. Представлен набор методов для обеспечения мониторинга движения пользователя в задаче навигации.

1. Введение

Внутренняя структура аэропортов, вокзалов, торговых и развлекательных центров имеют сложную конфигурацию. Современные здания зачастую представляют собой большой комплекс из этажей с лестницами, коридорами и комнатами. Ориентация в таких зданиях становится достаточно трудной задачей. Например, сложно найти интересующий офис или магазин в крупном деловом или торговом центре, быстро определить пути эвакуации и организовать спасательные работы во время чрезвычайной ситуации и т.д. Контроль движения также необходим организациям для осуществления различного рода оповещений пользователя. Например, предоставление информации о выгодных предложениях в близлежащих магазинах торгового центра или использование электронного экскурсовода в музее.

Использование для позиционирования доступной технологии спутниковых систем навигации типа GPS-GLONASS внутри зданий крайне затруднено, поскольку бетонные стены и перекрытия сводят уровень сигнала к нулю. Традиционным решением навигации в таких зданиях являются визуальные ориентиры на стенах помещений. Недостаток такого подхода состоит в большой информационной нагрузке на человека и сложности анализа полученной информации. Технологичные компании по всему миру занимаются задачей автоматизации поиска местоположения пользователя в закрытых помещениях. Существуют разные подходы к решению этой задачи, основанные на использовании: различных сетей передачи данных (Bluetooth, Wi-Fi, FM-радиоволны, UWB); магнитного поля Земли; RFID-меток, QR-кодов, MEMS сенсоров, и т.п. [1]. Однако такие подходы имеют ограничение по точности и надежности, либо трудности в установке соответствующей инфраструктуры и её эксплуатации, либо требуют существенных финансовых вложений.

2. Формулировка проблемы

Цель работы состоит в развитии подхода автономной инерциальной навигации, основанного на использовании микромеханических инерционных датчиков (MEMS) и информации о

планировке здания. Такой подход является самым “дешевым” из существующих технологий навигации, однако показатели точности позиционирования невысоки. MEMS, установленные в бытовых мобильных устройствах не обладают высокой точностью. Погрешность определения местоположения с помощью таких MEMS со временем нарастает и составляет около 10% пройденного пути, что делает их ненадежными для задач навигации. Следствием погрешности местоположения в условиях сложной конфигурации коридоров и комнат может явиться, например, неправильное определение путей эвакуации во время чрезвычайной ситуации. В работе предложены алгоритмы обеспечивающие повышение точности и надежности позиционирования.

3. Методы инерциальной навигации

Использование микромеханических инерционных датчиков позволяет без дополнительного оборудования, установленного в помещениях, осуществлять процесс сопровождения движения по выбранному маршруту. MEMS включает три вида датчиков: акселерометр (измеряет ускорение вдоль осей), гироскоп (измеряет угловую скорость вдоль осей), и магнитометр (прибор для измерения характеристик магнитного поля земли). Акселерометр используется для подсчета количества шагов, который совершил пользователь. Гироскоп и магнитометр используются для определения направления шага.

Однако, алгоритмы, основанные на датчиках движения, имеют некоторые недостатки, которые необходимо нивелировать в процессе работы алгоритма. Бюджетные гироскопы имеют большие ошибки смещения, которые в процессе расчета угла поворота, бесконечно накапливаются. Магнетические возмущения на земле могут привести к ошибкам компаса. Невозможность построения универсальной модели движения человека в силу человеческих особенностей (походка, параметры человека) приводит к ложным срабатываниям процесса обнаружения шага, а следовательно к неправильному определению позиции пользователя.

Традиционный подход к определению шага по показаниям акселерометра состоит из двух стадий. Сначала производится фильтрация данных акселерометра с помощью низкочастотного фильтра, чтобы уменьшить влияние шумов. Далее задача сводится к поиску экстремальных значений (максимумов и минимумов) сигнала за некоторый промежуток времени. При этом используются различные методы для исключения ложных срабатываний. Алгоритмы, работающие по данному принципу, описаны в работах [2-5]. В ходе проведенных экспериментов было установлено, что трех фазовый алгоритм [5] показывает наиболее надежные результаты при определении шага из описанных алгоритмов.

MEMS датчики в этом случае устанавливаются на стопу пользователя. Суть алгоритма состоит в фиксировании траектории движения стопы пользователя в момент осуществления им шага. Цикл человеческого шага описывается тремя фазами: фаза маха, фаза касание пятки, фаза покоя. Следовательно, обнаружение шага может быть проведено путем распознавания выделенных фаз. В рамках тестирования трех фазового алгоритма было установлено наличие некоторого процента ложных срабатываний при распознавании шага. Поэтому было принято решение доработать существующий алгоритм в сторону ужесточения критерия для распознавания шага. Так же, алгоритм должен учитывать физические особенности пользователя, и подстраивать пороги распознавания шага во время работы алгоритма.

Модификация трех фазового алгоритма состоит в использовании на каждом этапе определения фазы шага настраиваемого шаблона фазы, сформированного на основе информации о предыдущих шагах пользователя. В момент распознавания первой фазы шага, запускается дополнительная проверка, а именно, каждая новая точка сопоставляется с имеющимся шаблоном, с учетом погрешности, которая считается входным параметром. Если точка не попадает в заданную окрестность точки шаблона, то шаг считается не распознанным и флаги распознанных фаз сбрасываются. После распознавания третьей фазы, шаг считается распознанным. Стоит заметить, что заданная окрестность шаблона ускорений различная для каждой фазы, так как поведение функции ускорения от времени на каждой фазе различные. Шаблон формируется как среднее арифметическое каждой точки текущего шага, с уже

существующим шагом, инициализация шаблона осуществляется за счёт первого обнаруженного шага. Графически работа алгоритма представлена на рисунке 1.

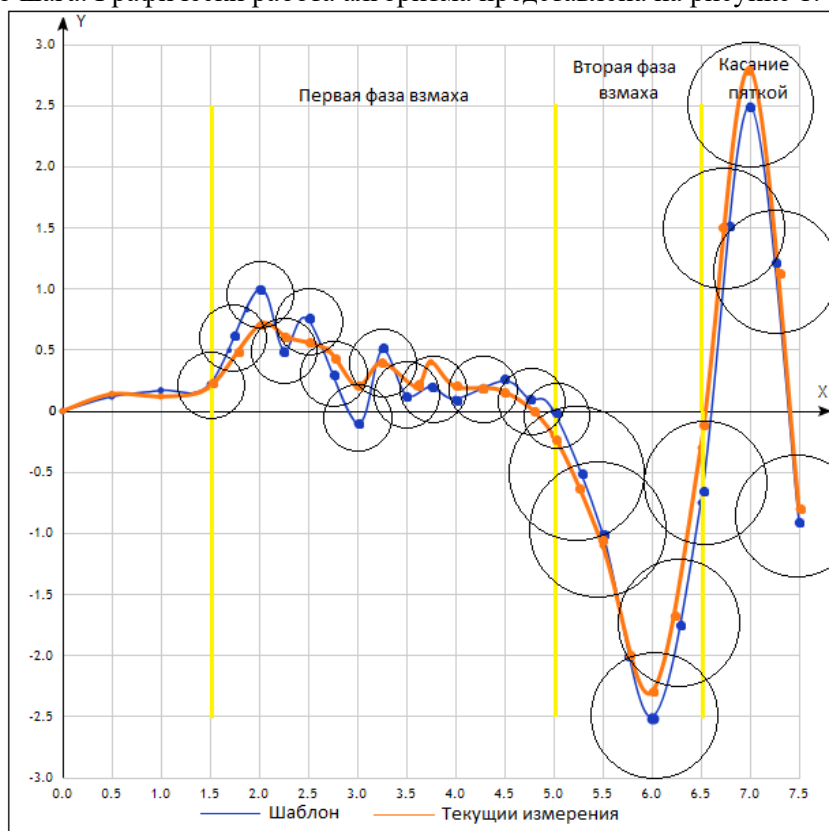


Рисунок 1. Модификация трех фазового алгоритма.

Проведенные эксперименты показали повышение точности распознавания модифицированного алгоритма по сравнению с классической версией трех фазного алгоритма. Численные результаты сравнения приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты проведенного эксперимента для трех фазного и модифицированного алгоритмов.

Реальное количество шагов	Количество шагов распознанных трёхфазовым алгоритмом	Количество шагов распознанных модифицированным алгоритмом
5	7	6
10	15	11
50	64	48
100	123	97

4. Контроль движения с использованием поэтажного плана здания

Главный недостаток методов навигации, основанных на показаниях MEMS-сенсоров, состоит в постоянном накоплении ошибки измерения в процессе движения. Использование информации

о цифровом поэтажном плане здания позволяет компенсировать процесс накопления ошибки. Поэтажный план содержит в себе информацию о структуре здания, представленную в виде графов связности комнат, коридоров, лестниц, лифтов и т.д. [6]. Граф связности позволяет заранее определить все возможные пути движения пользователя, из которых определяется оптимальный маршрут движения по графу связности, с учетом заданных ограничений [7]. В ходе реализации проекта разработан алгоритм, позволяющий на основе информации о возможных путях движения производить корректировку ошибки местоположения пользователя, вычисленного с помощью MEMS-сенсоров. При фиксации с помощью датчиков поворота пользователя происходит поиск близлежащего к текущему положению поворота на поэтажном плане здания в указанном направлении. Найденный поворот позволяет корректировать местоположение пользователя. Таким образом, накопленная ошибка измерения MEMS сенсоров будет обнуляться [8]. Результаты работы алгоритма продемонстрированы на рисунке 2.

В ходе движения могут возникнуть ситуации ложного поворота вследствие несовершенства показаний микромеханических инерционных датчиков. В этом случае, путь движения пользователя может существенно отклониться. Для решения этой проблемы предлагается при достижении пользователем поворота (разветвления) в конфигурации поэтажного плана помимо основного пути движения одновременно вести альтернативные. Каждый альтернативный путь движения имеет параметр приоритета, который будет уменьшаться в ходе дальнейшего сопровождения по маршруту, если вычисленная предполагаемая позиция пользователя по показаниям инерционных датчиков не будут соответствовать конфигурации поэтажного плана. Пути с наименьшим приоритетом удаляются. А путь с наибольшим параметром приоритета становится текущим. Алгоритм позволяет определить истинный путь движения пользователя в сложных условиях разветвленной конфигурации коридоров и комнат.

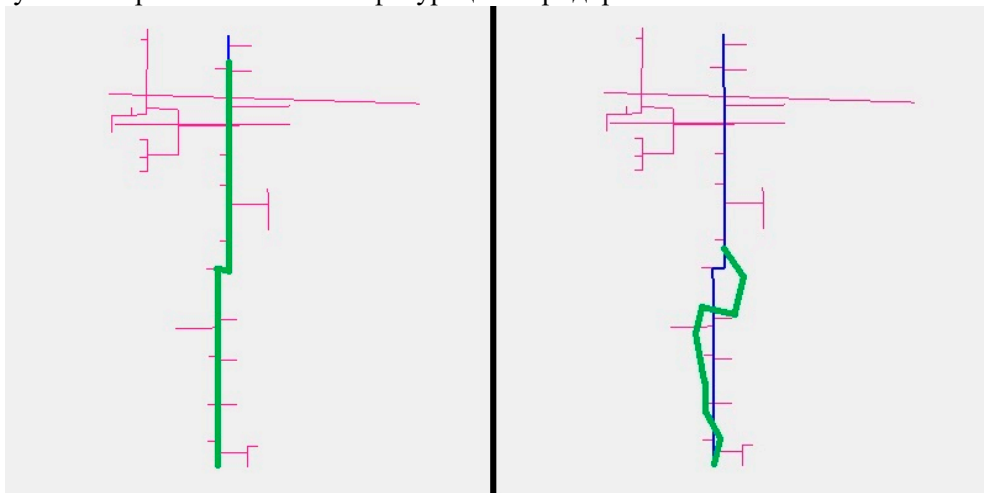


Рисунок 2. Результат работы алгоритма инерциальной навигации с контролем движения и без него.

Алгоритм приоритизации маршрутов движения основан на двух принципах:

1. Принцип совпадения направлений.
2. Принцип совпадения конфигураций.

Принцип совпадения направлений основан на следующем утверждении: если текущий путь истинный, то текущий вектор пути должен быть сонаправлен с текущим вектором маршрута, полученным на основе автономной навигации.

Принцип совпадения конфигураций гласит: если текущий шаг, совершенный пользователем, не принадлежит никакому отрезку текущего пути, то текущий маршрут считается не верным, так как точки пространства, не принадлежащие отрезкам пути, принадлежат различным физическим барьерам в процессе движения (отрезки стены).

Рассмотрим, каким образом алгоритм эксплуатирует приведенные принципы. Алгоритм построен на идеи случайного процесса, а именно на случайных цепях Маркова. Каждому маршруту движения приписывается номер. И каждому такому номеру сопоставляется вероятность, которая показывает что в конкретный момент времени t , пользователь находится на текущем отрезке (или на текущем пути движения), вероятности выбирается таким образом, что бы выполнялась аксиома нормировки для случайной величины, а именно сумма вероятностей для каждого номера равна 1. Рассуждая подобным образом, получаем, что в каждый момент времени t , систему можно описать как дискретную случайную величину. Стоит заметить, что максимальное число маршрутов M , которые рассматриваются на любой момент времени t равно шести, цифра была, выбрана основываясь, на двух эвристиках:

1. В конфигурации любого здания преобладают перекрестки, которые делят маршрут движения на два.
2. Различие в конфигурация любых двух маршрутов возможно отследить уже после первого перекрестка. Так как длина коридоров сильно отличается друг от друга.



Рисунок 3. Схема конфигурации маршрутов движения.

На рисунке 3 показана типичная ситуация, маршрут ветвится на два, причем маршрут 2 сильно отличается от маршрута 1 по своей конфигурации, (как минимум длиной отрезком следующих за точкой разделения).

Таким образом, в каждый момент времени t , получаем дискретную случайную величину, которая принимает значение $i \in \{1, 6\}$, и показывает степень уверенности в i -ом маршруте. Вероятности для такой случайно величины рассчитываются по формуле:

$$P_i^t = aF(f(x_i^{t-1} + x_i^t, v_i^t)) + bG(g(\overrightarrow{(x_i^t - x_i^{t-1})}, \overrightarrow{v_i^t})), \tag{1}$$

где f - функция определяющая расстояние от точки до вектора, x_i^t, v_i^t – текущие точка и отрезок a, b – выбираемые константы, F, G – плотности нормального распределения, g – функция разницу направлений между векторами.

Тогда общая вероятность на каждом рассматриваемом маршруте, или вероятность на основе которой принимается решение о выбранном пути считается по формуле (согласно определению случайного процесса):

$$\tilde{P}_i = \prod_{t=1}^N P_i^t, \tag{2}$$

$$P_i = 1 / \sum_{i=1}^M \tilde{P}_i \tilde{P}_i, \tag{3}$$

где N – количество шагов пользователя.

Формула (3) вводится для нормирования полученных значений, чтобы свойства сохранить свойство нормировки случайной величины.

Осталось определить параметры приведенной выше формулы, а именно a, b , как параметры взвешенной суммы двух выделенных принципов, и параметры случайных распределений функций F, G . Так как функции f, g показывают отклонение от истинной величины, то

математические ожидания были приняты равными 0. Значения средних квадратичных подбирались на основе эвристических рассуждений, а именно, для функции G среднее квадратичное равно 0.6, так как при отклонение угла свыше 45 градусов, можно считать что было выбрано не верное направление, и значение плотности распределения должно быть меньше 0.1. Подобные рассуждения применяются и к функции погрешности конфигураций, принимается, что средний размер коридора большого здания превышает два метра, то есть любые точки, погрешность для которых более двух метров, должны иметь значение функции меньшей 0.1. Основываясь на приведенных выше рассуждениях, были выбраны следующие плотности распределения $F = N(0, 2)$, $G = N(0, 0.6)$. Так как принцип совпадения конфигурации играет большую роль в сравнении с принципом совпадения направлений, то было принято решение параметр $a = 3$, а параметр $b = 1$, что не противоречит определению вероятности P_i^t , так как при выбранных параметрах $0 < P_i^t < 1$.

Таким образом, алгоритм приоритизации выставляет приоритет каждому рассматриваемому маршруту, после чего принимается решение о текущем маршруте. В случае смены маршрута, маршрут пересчитывается от текущей точки до конечного пункта.

5. Заключение

В работе предложена модификация трех фазового алгоритма, позволяющая повысить точность определения шага в задаче навигации. Предложен способ повышения надежности определения местоположения пользователя, путем использования информации о цифровом поэтажном плане здания. Проведенные эксперименты показали эффективность предложенных алгоритмов.

6. Благодарности

Работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ грант № 16-07-01214 А.

7. Литература

- [1] Kim, J. A Step, Stride and Heading Determination for the Pedestrian Navigation System / J. Kim, H. Jang, D. Hwang, C. Park // Journal of Global Positioning Systems. – 2004. – Vol. 3(1-2). – P. 273-279.
- [2] Muset, B. Distance Measuring using Accelerometer and Gyroscope Sensors / B. Muset, S. Emerich // Carpathian Journal of Electronic and Computer Engineering. – 2012. – Vol. 5. – P. 83-86.
- [3] Khan M.I., Design and Development of Indoor Positioning System: For Portable Devices / M.I. Khan // LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – P. 108.
- [4] Lukianto, C. Overview of Current Indoor Navigation Techniques and Implementation Studies / C. Lukianto, H. Sternberg // Bridging the Gap between Cultures, Marrakech, 2011. – 14 p.
- [5] Lan, K.-C. Estimating Step Distance Using Simple Harmonic Motion / K.-C. Lan, W.-Y. Shih // IEEE 75th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2012. – P. 1-5.
- [6] Vasin, Yu.G. Procedural Modeling and Interactive 3D Visualization of Objects of the Internal Structure of Buildings and Facilities / Yu.G. Vasin, M.P. Osipov, S.V. Muntyan, E.A. Kustov // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2015. – Vol. 25(2). – P. 278-280.
- [7] Vasin, Yu.G. Autonomous Indoor 3D Navigation / Yu.G. Vasin, M.P. Osipov, A. Egorov, Yu.V. Yasakov // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2015. – Vol. 25(3). – P. 373-377.
- [8] Осипов, М.П. Методы корректировки местоположения в задаче автономной навигации в закрытых помещениях / М.П. Осипов, А.О. Патрушев // Труды 26-ой Международной конференции по компьютерной графике и зрению. – Нижний Новгород, 2016. – С. 417-419.

The problem of monitoring of movement in the task of navigation in enclosed spaces

M.P. Osipov¹, V.S. Andreev¹

¹Nizhni Novgorod State University, National Research University, pr. Gagarina 23, Nizhni Novgorod, Russia, 603950

Annotation. The paper considers ways to minimize positioning errors by using information obtained with the help of MEMS sensors available to the user. An approach for correcting a positioning error by using information about a floor plan of a building is proposed. A set of methods is presented to ensure monitoring of the user's movement in the task of navigation.

Keywords: indoor navigation, micromechanical inertial sensors, step detection algorithm, data network, floor plans.