

Санкт-Петербургский государственный университет

Кафедра системного программирования

Группа 22М.07-мм

Лень Юлия Александровна

Разработка прототипа системы
моделирования навигации роботов в
условиях неопределенности

Отчёт по производственной практике

Научный руководитель:
д.ф.-м.н., проф., О.Н. Граничин

Санкт-Петербург
2024

Оглавление

1. Введение	3
2. Постановка задачи	4
3. Обзор	5
3.1. Навигационные системы	5
3.2. Поиск положения на карте	6
4. Реализация	9
4.1. Инструменты для реализации	9
4.2. Реализация методов	9
5. Эксперименты	10
6. Заключение	11
Список литературы	12

1. Введение

Роботизация в разных сферах жизни человека значительно выросла в последние годы. Активное развитие в науке и технике активно поспособствовало этому явлению. Сегодня роботы выполняют самый широкий круг задач: от сложных хирургических операций до доставки посылок в труднопроходимые местности. Однако, вместе с развитием технологий в области робототехники выявился ряд проблем, которые необходимо решать. Одной из таких является навигация роботов в условиях неопределенности.

Неопределенность может возникнуть из-за различных факторов, таких как изменение окружающей среды, неточность измерений в датчиках, наличие препятствий. В таких условиях традиционные методы навигации могут оказаться неэффективными, поэтому необходимо разрабатывать новые методы, которые смогут адаптироваться к изменяющимся условиям.

Одним из таких подходов является использование методов стохастической аппроксимации и рандомизированные алгоритмы [4,5]. Такие алгоритмы позволяют случайным образом выбирать некоторые значения параметров, чтобы получить удовлетворяющий потребностям результат с некоторой вероятностью для задач из класса NP-hard. Также рандомизация наблюдений позволяет минимизировать влияние нерегулярных (почти произвольных) шумов (систематических ошибок) [1] на результат.

Прежде чем использовать алгоритмы на практике и реализовывать их в железе, необходимо проверить, как разработанный или существующий алгоритм будет вести себя. В связи с этим встает вопрос о разработке системы, где будет возможность промоделировать поведение робота с разными алгоритмами и выбрать тот, который будет подходить в рамках поставленной перед роботом и человеком задачей.

2. Постановка задачи

Целью данной работы является разработка прототипа системы моделирования навигации роботов в условиях неопределенности. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- выполнить обзор методов в области моделирования навигации роботов;
- разработать прототип системы моделирования для алгоритмов навигации в условиях неопределенности;
- провести эксперименты с разными модификациями данных.

3. Обзор

3.1. Навигационные системы

Навигация при разработке роботов является одной из наиболее важных задач. Широкий спектр задач, решаемых роботами, привел к широкой классификации внутри навигационных систем (НС), которые можно разделить на несколько видов категорий, в зависимости от разных критериев разбиения. По типу работы с координатами [2] НС разделяют на:

- глобальные НС;
- локальные НС;
- персональные НС.

В глобальных НС позиция робота рассчитывается в абсолютных координатах. Например, значения ширины и долготы при использовании GPS являются ярким примером такой системы. В локальных же наоборот, система выбирает некую условную точку начала координат и запоминает позиционирование относительно этой точки. В качестве примера можно вспомнить робота-пылесоса, у которого заранее известна ограниченная область, где он будет передвигаться, а точкой отсчета считает свою станцию. Персональная НС чаще всего используется для роботов-манипуляторов, так как положение объектов считается относительно частей робота.

Также в навигации системы подразделяют по принципу получения информации на активные и пассивные. Активные НС рассчитывают свое положение самостоятельно, в то время как пассивные получают эту информацию извне. Исходя из этого описания можно сделать вывод, что в большинстве случаев глобальные НС получают информацию пассивно, персональные — активно, а локальные могут быть как активными, так и пассивными.

Среди задач в области навигации стоит отметить задачу корректировки НС по данным датчика и карты [3], так как в последнее время ее

актуальность растет. Интерес к ней вызван проблемой поиска альтернативы спутниковым системам и работой с зашумленными данными. В рамках корректировки важным шагом является поиск своего текущего положения объекта, если известны только последние несколько точек маршрута. В рамках текущей работы будут рассмотрены варианты решения этой подзадачи корректировки НС.

3.2. Поиск положения на карте

Пусть известен маршрут передвижения и его карта высот этого маршрута. Такую карту строит, например, Яндекс Карта для пеших маршрутов (рис. 1).

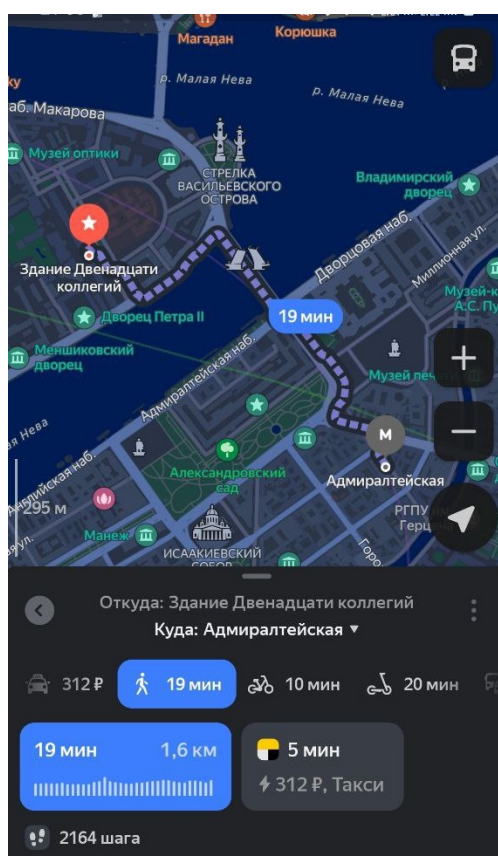


Рис. 1: Скриншот карты от Яндекс с отображением маршрута на карте (фиолетовая линия) и маршрута в терминах карты высот.

Пусть дан фрагмент, который был пройден и записан в ограниченный буфер с помощью некоего измерителя. Задача — найти положение записанного в буфер фрагмента. Поиск положения может осложняться

тем, что измеритель может получать данные с погрешностью и помехами. поэтому в рамках работы будет рассмотрено три метода для поиска фрагментов: метод перебора, метод корреляции и метод на основе быстрого преобразования Фурье.

3.2.1. Метод перебора

Метод перебора является самым простым методом поиска данных в массиве. В рамках текущей задачи искомый фрагмент будет последовательно сравниваться пооконно с оригинальной картой. Главным преимуществом этого метода является его простота и скорость вычислений, однако данный подход перестает работать в случае зашумленных данных.

3.2.2. Метод корреляции

Коэффициент корреляции Пирсона (r -Пирсона) применяется для исследования взаимосвязи двух переменных, измеренных в метрических шкалах на одной и той же выборке. Он позволяет определить, насколько пропорциональна изменчивость двух переменных.

Данный коэффициент разработали Карл Пирсон, Фрэнсис Эджуорт и Рафаэль Уэлдон в 90-х годах XIX века. Коэффициент корреляции изменяется в пределах от минус единицы до плюс единицы.

Коэффициент корреляции r -Пирсона характеризует существование линейной связи между двумя величинами. Если связь криволинейная то он не будет работать.

Чтобы приступить к расчетам коэффициента корреляции r -Пирсона необходимо выполнение следующих условий:

- Исследуемые переменные X и Y должны быть распределены нормально.
- Исследуемые переменные X и Y должны быть измерены в интервальной шкале или шкале отношений.

- Количество значений в исследуемых переменных X и Y должно быть одинаковым.

При расчете коэффициент линейной корреляции Пирсона используется специальная формула. Величина коэффициента корреляции варьируется от 0 до 1.

Слабыми сторонами линейного коэффициента корреляции Пирсона являются:

- неустойчивость к выбросам.
- С помощью коэффициента корреляции Пирсона можно определить только силу линейной взаимосвязи между переменными, другие виды взаимосвязей выявляются методами регрессионного анализа.

3.2.3. Метод на основе преобразования Фурье

Дискретное преобразование Фурье — это одно из преобразований Фурье, широко применяемых в алгоритмах цифровой обработки сигналов, а также в других областях, связанных с анализом частот в дискретном сигнале. Дискретное преобразование Фурье требует в качестве входа дискретную функцию. Такие функции часто создаются путём дискретизации (выборки значений из непрерывных функций).

Дискретные преобразования Фурье помогают решать дифференциальные уравнения в частных производных и выполнять такие операции, как свёртки. Дискретные преобразования Фурье также активно используются в статистике, при анализе временных рядов. Существуют многомерные дискретные преобразования Фурье. Быстрое преобразование Фурье (БПФ, FFT) — алгоритм ускоренного вычисления дискретного преобразования Фурье, позволяющий получить результат за время, меньшее чем $O(N^2)$. Иногда под быстрым преобразованием Фурье понимается один из алгоритмов, называемый алгоритмом прореживания по частоте — времени, имеющий сложность $(N \log N)$.

4. Реализация

4.1. Инструменты для реализации

Для программной реализации был взят язык программирования Python в Jupyter. Графический интерфейс разработан при помощи QT.

4.2. Реализация методов

Метод перебора был реализован следующим образом. Мы проверяем участок на совпадение с каждым фрагментом. Совпадения заносим в массив, так как может быть несколько одинаковых фрагментов.

Метод корреляции: высчитываем среднее значение как по карте m , так и по искомому фрагменту p . Затем считаем высчитываем значения сумм $(m_i - m_c)$ и $(p_i - p_c)$. Считаем значение по формуле Пирсона $r_i = \frac{\Sigma(m_i - \bar{m}) \times (p_i - \bar{p})}{\sqrt{\Sigma(m_i - \bar{m})^2 \times \Sigma(p_i - \bar{p})^2}}$ Затем из массива значения корреляции берем близкое к 1, это и будет наш результат.

Алгоритм для реализации Фурье. У нас есть карта размера m и фрагмент размера n .

1. Высчитываем среднее значение по фрагменту.
2. Вычитаем среднее значение из каждого элемента фрагмента.
3. Расширяем фрагмент до размера карты и переворачиваем.
4. Применяем преобразование Фурье к карте и расширенному фрагменту.
5. Перемножаем преобразованные карту и фрагмент.
6. Применяем обратное преобразование Фурье к произведению.
7. Максимальный индекс – индекс начала искомого значения

5. Эксперименты

5.0.1. Описание эксперимента

Для эксперимента были взяты данные из ASTER. Было скачено 3600 наборов, так как в API стоит ограничение на один запрос в секунду для бесплатного пользования. Искомый фрагмент карты может находиться в начале, середине или в конце, также он может и не находиться в карте высот. Мы сравниваем метод перебора, метод корреляции и метод Фурье. Проведено 1000 измерений для каждого метода и вычислено среднее время выполнения, которое и является определяющим фактором быстродействия алгоритма.

5.0.2. Сравнение методов без шумов

В данном эксперименте мы берем чистый искомый участок для каждого метода.

5.0.3. Сравнение методов с добавлением Гауссовских шумов на участок

В данном виде эксперимента мы добавляем к искомому фрагменту Гауссовский шум, что усложняет поиск для алгоритмов.

5.0.4. Сравнение методов с добавлением шумов с неизвестной дисперсией

В данном виде эксперимента мы добавляем к искомому фрагменту шум с неизвестной дисперсией.

5.0.5. Сравнение методов при масштабировании участка

В данном эксперименте мы расширяем или сужаем искомый участок для алгоритмов,

6. Заключение

В ходе работы в текущем семестре были выполнены следующие задачи:

- выполнен обзор методов в области моделирования в области навигации;
- разработан прототипа системы моделирования навигации роботов, в который входит программная реализация алгоритмов;
- выполнено сравнение ряда методов в навигационной задаче.

Список литературы

- [1] Граничин О.Н., Поляк Б.Т. Рандомизированные алгоритмы оценивания и оптимизации при почти произвольных помехах. — М.: Наука, 2003. — С. 291.
- [2] Кремповский Павел Романович, Луцков Юрий Иванович. Навигационные системы автоматизированных робототехнических комплексов // IEEE Transactions on Automatic Control. — 2016. — Т. 61, № 5. — С. 58–61.
- [3] Степанов О.А. Методы обработки навигационной измерительной информации. — СПб: Университет ИТМО, 2017. — С. 196.
- [4] Calafiore G., Polyak B. Stochastic algorithms for exact and approximate feasibility of robust LMIs // IEEE Trans. Autom. Control. — 2001. — Vol. 46. — P. 1755–1759.
- [5] Tempo R., Calafiore G., Dabbene F. [Randomized algorithms for analysis and control of uncertain systems. With applications.](#) 2nd revised ed. — New York: Springer-Verlag., 2013. — ISBN: [978-1-4471-4609-4](#).