

Навигация мобильных роботов

Сергей Павлов
TTÜ Virumaa Kolledž

- Для успешной навигации в пространстве бортовая система робота должна уметь строить маршрут, управлять параметрами движения (задавать угол поворота колес и скорость их вращения), правильно интерпретировать сведения об окружающем мире, получаемые от датчиков, и постоянно отслеживать собственные координаты.

Технические сложности мобильной навигации

- Чтобы двигаться к цели, роботу необходимо сформировать достаточно точный образ окружающего его пространства.
- В ходе движения робот должен быстро и точно управлять мотором и положением колес.
- Робот должен знать свое реальное местонахождение, а оно почти всегда отличается от хранящегося в бортовой системе

Схемы навигации автономных устройств

- глобальная – определение абсолютных координат устройства при движении по длинным маршрутам;
- локальная – определение координат устройства по отношению к некоторой (обычно стартовой) точке. Эта схема востребована разработчиками тактических беспилотных самолетов и наземных роботов, выполняющих миссии в пределах заранее известной области;
- персональная – позиционирование роботом частей своего тела и взаимодействие с близлежащими предметами, что актуально для устройств, снабженных манипуляторами.
- Считается, что чем крупнее аппарат, тем выше для него важность глобальной навигации и ниже – персональной. У роботов-малышей все наоборот.

- Системы навигации классифицируются еще по одному признаку – они могут быть **пассивными** и **активными**.
- **Пассивная система** навигации подразумевает прием информации о собственных координатах и других характеристиках своего движения от внешних источников, а **активная** рассчитана на определение местоположения только своими силами.
- Как правило, все глобальные схемы навигации пассивные, локальные бывают и теми и другими, а персональные схемы – всегда активные.

Пассивные навигационные схемы

- **Глобальная спутниковая система GPS** (ошибка в определении собственных координат не может превышать размера автономного аппарата (в противном случае возможны столкновения с устройствами такого же или меньшего размеров и другие конфликты со средой))
- **Радиомаяки** (размещение в зоне действий робота источников радиосигналов, которые обрабатываются бортовым микропроцессором. Но так как радиомаяки располагаются в фиксированных точках некоторого маршрута, аппарат теряет возможность обходить препятствия или выбирать альтернативный путь движения)

Активные навигационные схемы

- инерционные навигационные системы (ИНС)
- ✓ Механические и оптические гироскопы (измеряют усилие (момент внешней силы), прикладываемое к телу, на котором они размещены, и на этой основе определять положение тела относительно позиции, с которой началось движение, и его скорость)
- ✓ Механические акселерометры (определяют собственное ускорение)
- ✓ Одометр (периодически измеряет скорость вращения колеса и, так как диаметр последнего известен, определяет пройденный путь)
- ✓ Лазерные дальномеры (LIDAR-
- ✓ Генератор радио- или каких-либо других (чаще всего ультразвуковых и инфракрасных) сигналов
- ✓ стереоскопические видеосистемы;
- ✓ <https://www.youtube.com/watch?v=jiLDcdB3sbA>
- ✓ <https://www.youtube.com/watch?v=euP6o0NHFYs>

Гибридные навигационные схемы

- Гибридная бортовая система управления роботом использует навигационные средства всех видов, но занимается прежде всего оценкой окружающей обстановки, анализом выполняемого задания и принятием решений. Аппарат пытается построить собственный образ среды, в которой ему придется действовать, после чего формирует маршрут и движется по нему, постоянно сопоставляя свою карту пространства с данными, полученными от устройств навигации.
- Ведутся исследования по организации целенаправленного поведения коллективов роботов. Аппараты, действующие совместно в некоторой области, могут уточнять друг у друга свои координаты, сравнивать взаимное положение и таким образом быстро передвигаться.

Лазерные дальномеры

- Существует три основных типа лидаров:
- **Модуляционный дальномер** (modulation range sensor) – лазерный дальномер, который генерирует непрерывный лазерный сигнал с амплитудной или частотной модуляцией. Вычисляя разницу между фазами посылаемого и принятого сигналов, оценивает расстояние до цели.
- **Триангуляционный дальномер** (triangulation range sensors) — основан на тех же принципах, что и стереоскопические системы
- **ТОФ дальномер** (от англ. TOF - time-of-flight range sensors) — широко используемый в робототехнике тип лазерных дальномеров. Основной принцип работы этого сенсора достаточно прост: излучатель посылает в исследуемое пространство лазерный луч, который сталкивается с препятствием, отражается, и попадает на приемник. Зная время между излучением и приемом сигнала (t) можно найти расстояние до препятствия: $R = c * t / 2$.

Преимущества и недостатки различных типов датчиков

Датчики	Преимущества	Недостатки
Гироскоп	Может измерять как угол поворота и скорость, так и момент. Не взаимодействует с окружающей средой.	Нуждаются в калибровке.
Энкодер	Простой и дешевый датчик. Много готовых вариантов использования. Не взаимодействует с окружающей средой.	Используется только для измерения угла поворота и скорости. Не учитывают эффекта проскальзывания
Акселерометр	Не взаимодействует с окружающей средой.	Используется только для получения ускорения. Нуждаются в калибровке
Спутниковая навигация	Глобальная система, которая позволяет определять координаты любой точки планеты.	Малая точность измерений. Осложнение работы в закрытых помещениях
Стереоскопические системы	Возможность построения полноценной 3D карты Большое количество информации получаемое в процессе работы Не взаимодействует с окружающей средой	Сцена должна быть хорошо освещена, от этого зависит точность измерений Точность измерения сильно зависит от расстояния. Сложность алгоритмизации
Лазерные дальномеры	Построение 2D и 3D карт Отличная точность измерений. Хорошее угловое разрешение сканов. Быстрый сбор данных. Большая дальность измерения	Ошибочные вычисления при попадании луча на хорошо отражающую, зеркальную поверхность. Наиболее дорогой из всех видов сенсоров.
Ультразвуковые сонары	Недорогие системы. Приемлемая точность и скорость измерений Не чувствительны к условиям освещенности и световой отражающей способности среды. Интерференция.	Возможно построения только 2D карты. Фантомное эхо.

Сводная сравнительная таблица численных параметров датчиков

	Тип датчика				
	Системы спутниковой навигации	Стереосистемы видеокамер	Ультразвуковой сонар	Лазерный дальномер	
				2D	3D
Тип	активный	пассивный	активный	активный	активный
Точность измерения расстояния	от 3-5м до 50м	10см	20см	10мм	5см
Диапазон измерения расстояния	-	1-50м	1-5м	0-80м	0-120м
Частота получения измерений	-	10-30Гц	100Гц	75Гц	15Гц
Возможность построения 3D карты	да	да	нет	нет	да

Техническое зрение в управлении мобильными роботами

- **Обнаружение и объезд препятствий**
- Для решения задач обнаружения и объезда препятствий используется пара камер образующих стереосистему.
- Сопоставляя идентичные элементы изображений от каждой из камер, алгоритм системы технического зрения синтезирует трехмерное изображение пространства перед камерами. Это позволяет построить карту глубины и рассчитать дальность до препятствий, попавших в поле зрения камер.
- Дальность, на которой от стереопары можно получить достоверные данные определяется стереобазой и, применительно к роботу, составляет 4 - 5 метров. Увеличивая стереобазу и разрешение видеокамер системы технического зрения, можно значительно повысить точность и глубину синтезируемой карты диспаратности.
- По мере своего продвижения робот выстраивает трехмерную карту окружающего пространства. По ней, собственно, прокладывается путь и планируется движение робота вычислителем автопилота.
- <https://youtu.be/87wc354vLM4>

Корректировка пути проезда

- Основное назначение робота SRX 1 - перемещение по подготовленным территориям, асфальтовым или иным дорожкам с твердым покрытием. Вследствие этого стоит задача – необходимо избегать съезда робота с твердого покрытия дорожки, например на газон, через который проложена дорожка. В ряде случаев, ширина дорожки лишь на 10-20 сантиметров превышает ширину колеи робота, поэтому требования, предъявляемые к точности системы управления движением, достаточно высоки.
- Задача высокоточного перемещения по узкой дорожке с покрытием, решается системой технического зрения, источник данных для которой видеочамера, направленная вперед и вниз. Изображение с этой камеры отображает дорогу, находящуюся по курсу движения робота, ее границы и поверхность за пределами асфальта. Используя оригинальный алгоритм сравнения текстур подстилающих поверхностей, вычислитель дорожной камеры корректирует движение робота в тех случаях, когда имеется визуальное отличие в цвете или текстуре предпочтительного пути проезда от остальной поверхности.

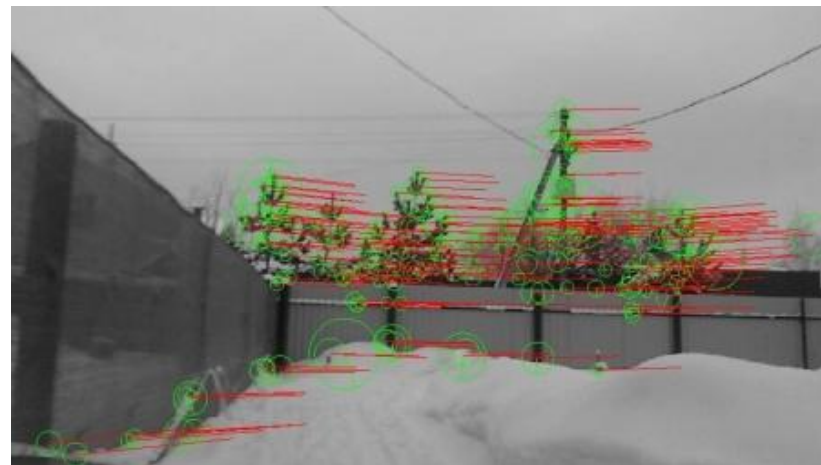
https://youtu.be/e_INh-2Zr6M

Мобильные роботы серии SRX



Автономная навигация робота по изображению

- навигация реализуется системой технического зрения по изображению с вперед смотрящей видеокамеры.
- Алгоритм обработки запоминает изображение при тестовом проезде, выполняемом в режиме ручного управления, а в дальнейшем, при автоматическом движении, сопоставляет сохранённые изображения и увиденные в момент перемещения, находя расхождения - корректирует путь движения, с целью максимального приближения текущей траектории движения к ранее пройденной.
- Реализация этого решения позволяет получать точность определения текущего местоположения с ошибкой отклонением от истинного, менее одного метра.



<http://www.smprobotics.ru/technologies/vizualnoe-opredelenie-mestopolozheniya-robota/>

навигации по ориентирам(линейная навигация)

Основные реализации линейной навигации:

- а) электромагнитное управление;
- б) управление отражающей или оптической лентой;
- в) ферритовое управление, где используется феррито магнитная пыль;
- г) управление по термальным маркерам.

Основные особенности навигации по ориентирам:

- а) навигация по природным маякам требовательна к постоянству окружающей обстановки;
- б) навигация по искусственным маякам – недорогая и может обладать дополнительными информационными кодерами;
- в) максимальное расстояние между роботом и ориентиром значительно меньше, чем в системах с активными маяками;
- г) точность позиционирования зависит от расстояния и угла между роботом и ориентиром;
- д) необходима большая вычислительная мощность, чем в системах с активными маяками;
- е) внешние условия (такие как освещенность) могут быть причиной ошибок таких как: ориентир не может быть распознан, или некоторый объект ошибочно принят за ориентир;
- ж) в навигации по ориентирам требуется, чтобы робот знал свое примерное начальное положение для того, чтобы он знал где искать ориентиры. Если это требование не выполнено, то, очень часто, в систему включают функцию «всеохватного» поиска;
- з) база данных маяков и их расположения в пространстве должна все время поддерживаться.

навигация по карте "map matching"

Основные преимущества картографического позиционирования:

- а) она, естественно, используется на местности со структурой типичной для помещения и получает информацию о положении в окружении, не изменяя его;
- б) она может быть использована для создания и обновления карты местности. Карты местности играют большую роль в других МР задачах, например при глобальном планировании пути;
- в) она позволяет роботу изучить новую местность и повышает точность позиционирования при ее (местности) исследовании.

Недостатки картографической навигации связаны со следующими требованиями:

- а) на местности должно быть достаточное количество стационарных, хорошо различимых деталей, по которым будет производиться сопоставление сенсоров должно быть ровно столько, сколько необходимо (в зависимости от поставленной задачи);
- б) должна быть доступна значительная чувствительная и вычислительная мощность.

Три главных шага в обработке сенсорных данных для построения карты:

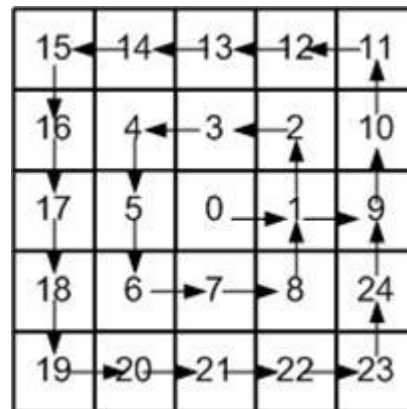
- а) извлечение характерных признаков из необработанных сенсорных данных;
- б) объединение данных от сенсоров различных типов;
- в) автоматизированное создание абстрактной модели местности.

процесс навигации включает в себя следующие этапы:

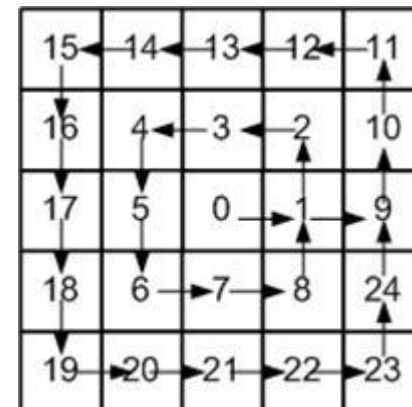
- а) составление карты среды;
- б) коррекция траектории движения робота;
- в) планирование маршрута (выбор оптимального пути, ведущего к цели);
- г) управление локальными перемещениями;
- д) обход роботом опасных участков трассы.

Составление карты среды

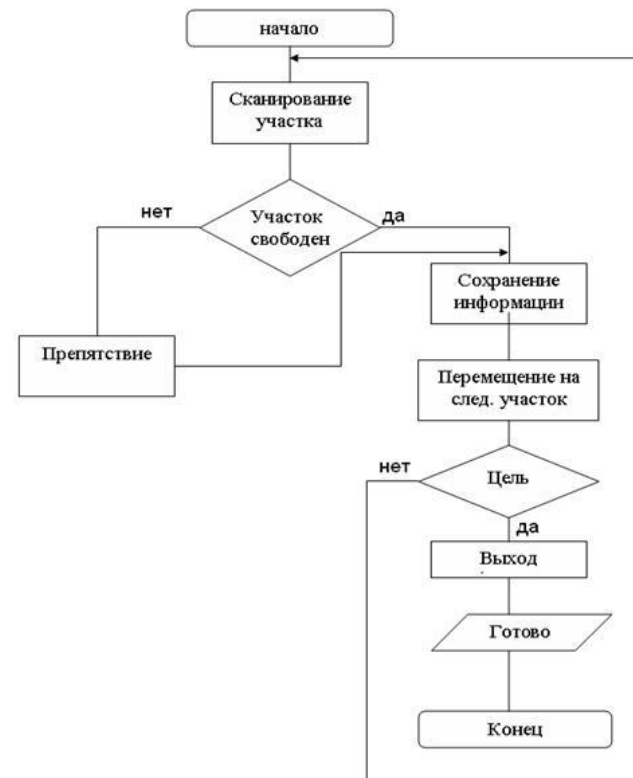
- Сначала формируется карта рабочей зоны робота, при этом внешняя среда дискретизируется, и каждому участку, содержащему препятствие, ставится в соответствие информация о типе этого препятствия.
- Также предполагается, что для определения проходимости участков среды используется дистантная сенсорная подсистема сканирования на основе лазерного дальномера, а определение пройденного пути осуществляется с помощью одометрической подсистемы с применением метода пассивного колеса. Построение карты происходит одновременно с исследованием внешней среды



- Участки с номерами 1-8 считаются потенциально проходимыми.
- Для уточнения их проходимости робот осуществляет последовательное сканирование данных участков. Сканирование начинается с участка номер 1.
- Если данный участок свободен, то выполняется перемещение в среде в направлении центра первого участка как показано на рисунке . Причем величина перемещения равна максимальному из габаритных размеров участков, на которые дискретизируется среда.
- После этого считается, что робот переместился в центр следующего свободного участка. При этом координаты центра данного участка наносятся на карту.
- Также наряду с координатами центра каждому участку ставятся в соответствие индексы смещения по координатным осям X , Y относительно начального участка 0 .
- Это делается для того, чтобы упорядочить хранение карты среды в памяти робота в соответствии с индексами участков. После того, как робот нанес информацию о первом участке на карту, он сканирует проходимость участков 2, 3, ..., 8 двигаясь против часовой стрелки по периметру участка 0, как показано на рисунке.
- Если какой-то из данных участков оказывается занятым, то робот определяет, находится ли на нем препятствие либо цель и вносит информацию о данном участке на карту. После обследования участков 1-8 робот расширяет зону исследований и переходит к сканированию участков 9-23 и т.д. Данный процесс продолжается до тех пор, пока во внешней среде не останется ни одного неисследованного участка. После этого в памяти робота формируется карта его рабочей зоны.



- Исходя из этого, строим алгоритм составления карты местности



Система управления мобильным роботом должна решать следующие задачи:

- а) обработка сенсорных данных (в т.ч. данных от интерфейса с оператором) с целью сбора информации о роботе и внешней среде вокруг него;
- б) планирование мероприятий по уяснению целевого задания и планирование последовательности подзадач, необходимых для выполнения этого задания;
- в) формирование таких программных траекторий движения МР, которые бы приводили к выполнению роботом локальной подзадачи (например, прибытие к целевой точке в среде с препятствиями);
- г) формирование таких задающих воздействий на исполнительные механизмы робота, которые бы приводили к максимально точному и быстрому выполнению ими программной траектории движения.

- <https://youtu.be/87wc354vLM4?t=28>

- <http://www.computer-museum.ru/frgnhist/robonav.htm>