

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И
ОПТИКИ

Факультет систем управления и робототехники

Реферат по дисциплине «Введение в профессиональную
деятельность»

Выполнил: студент гр. **R3142**

Лоскутова И.В.

Преподаватель: Перегудин А.А.,
ассистент фак. СУиР

Санкт-Петербург

2022

Как устроен BigDog от Boston Dynamics?



Подбирая тему для данной работы я задумалась над тем, что мне вообще интересно в данной дисциплине. Первый раз мне стало интересно на лекции, когда начали непосредственно разбирать роботов и их управление, а не абстрактные моторы и математические нюансы. Поэтому в этом реферате я решила так же разобраться с роботом. Вполне конкретным - BigDog. Если бы это было интегрировано в лекцию, я бы сделала это в момент когда у студентов минимальные показатели заинтересованности в предмете и максимальное недопонимание зачем они вообще сюда поступили:) Поэтому тут будет немного обо всём, чтобы было интересно и полезно.

Оглавление

[Устройство](#)

[Контролирование походки](#)

[Алгоритм A*](#)

[Аппаратура](#)

[1\) Проприоцептивные датчики](#)

[2\) Экстероцептивные датчики](#)

[3\) Компьютеры](#)

[Технический подход](#)

[А. Сбор информации](#)

[Б. Планирование навигации](#)

[С. Контроль походки. Подвижность и баланс](#)

[Результаты полевых тестов](#)

[Список используемой литературы](#)

1. Что такое BigDog?

BigDog - первый робот Boston Dynamics, получивший широкую известность. Именно благодаря ему компания получила свою известность. Робот для военных, от которого отказались военные, и первый робот, которого на [камеру пинали разработчики](#). Цель проекта BigDog — создание автономных устройств с ногами с возможностью движения по пересеченной местности. Система должна проходить везде, куда может пойти человек или животное, бежать в течение многих часов и нести вес в виде собственного топлива и полезной нагрузки. Она достаточно умна, чтобы пересекать местность самостоятельно или же с минимальным человеческим вмешательством и управлением. Сейчас на проекте поставлен крест, но он стал основой для последующих разработок компании — Cheetah и новых Spot.

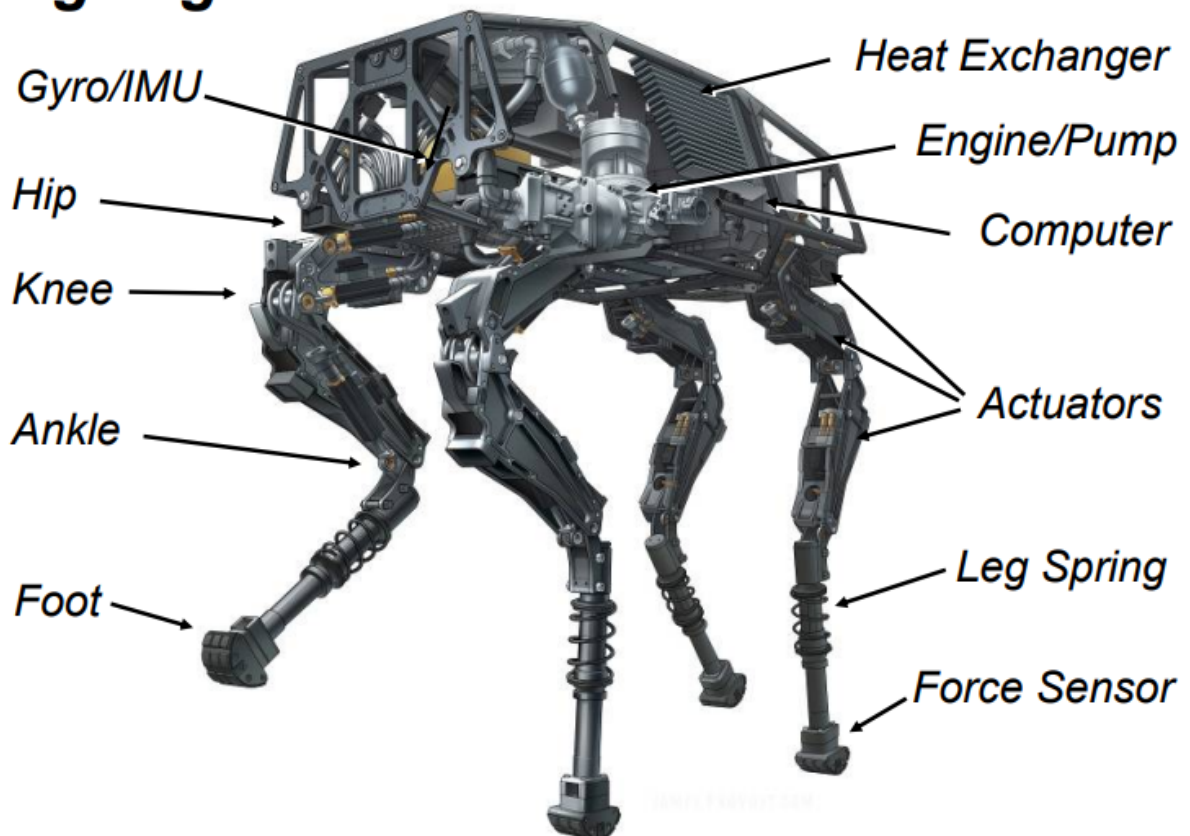
Разбираться будем с основными на мой взгляд компонентами: техническое устройство робота и его алгоритмы.

2. Устройство

У BigDog есть бортовые системы, которые обеспечивают питание, приведение в действие, сбор данных о среде, контроль и коммуникацию. Питание предоставляет охлаждаемый водой двухтактный двигатель внутреннего сгорания, который обеспечивает порядка 15 л.с. Он приводит в движение насос, который доставляет гидравлическое

масло через систему фильтров, коллекторов, аккумуляторов к актуаторам роботических ног. Актуаторы (специальные устройства, главной задачей которых является перенос усилия с управляющего/регулирующего механизма на исполнительный) представляют собой гидравлические цилиндры. У каждого актуатора есть сенсоры, которые контролируют положение сустава и силу. У каждой ноги — 4 гидравлических актуатора, которые питают суставы. Теплообменник, установленный на корпусе BigDog, охлаждает масло, а радиатор охлаждает двигатель для устойчивости операций.

BigDog Architecture



Основные элементы конструкции BigDog

Бортовой компьютер контролирует поведение BigDog, управляет сенсорами и отвечает за коммуникацию с удаленным оператором. Он также записывает большое количество данных для анализа производительности, анализа ошибок и операционной поддержки.

BigDog имеет огромное количество сенсоров (порядка 50), которые нужны для измерения позиции и ускорения тела и движения и силы суставных актуаторов.

Бортовой компьютер обрабатывает информацию от всех этих датчиков, чтобы дать оценку того, как движется робот. Еще одна группа сенсоров контролирует гомеостаз BigDog: гидравлическое давление, потоки и температуру, скорость двигателя и тд.

Бортовой компьютер выполняет как низко-, так и высокоуровневые контролирующие функции. Низкоуровневая система контролирует положение сервоприводов и питание в суставах. Высокоуровневая координирует положение ног для регуляции скорости, положения и высоты тела во время передвижения. Она также отслеживает силу взаимодействия с землей, чтобы обеспечить устойчивое движение.

Все эти датчики и регулирование огромного количества переменных дают Большой Собаке множество вариантов движения. Она может вставать, приседать, ползти, ходить, поднимая только одну ногу за раз, идти рысью и галопом и даже прыгать (до 1,1 метра). Скорость при ползущей походке составляет 0,2 м/с, для рыси — 1,6 м/с, для бега — 2 м/с в полевых условиях и 3,1 м/с в лабораторных.

В робота также интегрирована система стереозрения и лидар. Система стереозрения, состоит из пары стереокамер, компьютера и зрительного ПО. Она используется для получения 3D-формы ландшафта впереди робота и нахождения им пути. Лидар нужен, чтобы BigDog мог следовать за человеком без дополнительных команд оператора.

3. Контролирование походки

Чтобы двигаться со скоростью человека, BigDog балансирует, используя боковую скорость и ускорение, определяемые по ощущаемому поведению ног в сочетании с инерционными датчиками (они отвечают за позицию и ускорение).

Система управления BigDog координирует кинематику и наземные реакции робота, реагируя на основные постуральные команды (направленные на поддержание заданного положения в пространстве). Контроллер распределяет нагрузку между ногами, чтобы оптимизировать их несущую способность. Вертикальная нагрузка на конечности поддерживается как можно более равномерной, а отдельные ноги генерируют наземные реакции, направленные на бедра, чтобы снизить трение. (это мега-круто на самом деле)

Алгоритм координации походки, ответственный за коммуникацию между конечностями, запускает движение ног. Его координирует модель виртуальной ноги. Общую схему контроля ходьбы BigDog можно представить так:

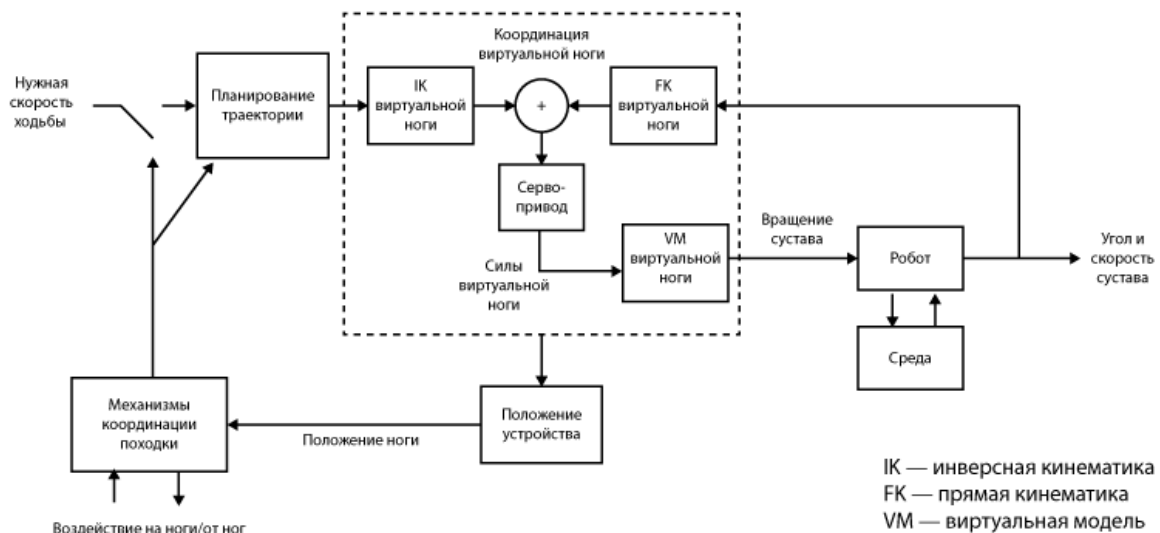


Схема контроля ходьбы BigDog

Система управления использует информацию с суставного датчика, чтобы определить, находятся ли «ноги» в настоящий момент на земле и определить нагрузку на каждую конечность. Алгоритм состояния контролирует положение тела, координируя кинематику конечностей с силами реакции ног, контактирующих с землей. Алгоритм состояния реализует правильное движение ног на неровной поверхности. Это позволяет контролировать повороты, шаг и высоту тела относительно земли, тем самым давая возможность BigDog адаптироваться к изменениям ландшафта без датчиков более высокого уровня восприятия местности.

BigDog адаптируется к местности двумя способами. Он регулирует высоту и отношение тела к ландшафту и контролирует, куда ставить ноги. При подъеме и спуске со склонов тело робота наклоняется. Крутые склоны (более чем 45 градусов) робот преодолевает, корректируя походку и используя более мелкие шаги.

4. Алгоритм A*

Маленький шаг в сторону - алгоритм A*. Это алгоритм поиска по первому наилучшему совпадению на графе, который находит маршрут с наименьшей стоимостью от одной вершины (начальной) к другой (целевой, конечной).

В системе навигации BigDog используется комбинация планарного лазерного сканирования и стереозрения. С ее помощью определяется расположение робота в окружающем мире. Она обнаруживает препятствия и помещает их в 2D модель мира.

Затем она планирует путь и управляет роботом, чтобы тот следовал по выбранной траектории. Планировщик путей — это вариация классического алгоритма поиска A*. Алгоритм сглаживания обрабатывает полученные результаты и передает их алгоритму следования пути. Тот вычисляет рулевые команды для BigDog.

Данная система была протестирована в лесной зоне со множеством деревьев, валунов, подлеска. Помимо равнинных территорий, в ней также были склоны (углом до 11 градусов). Всего было [выполнено 26 тестов](#), из которых 88% оказались успешными. Робот «видел» местность в радиусе 130 метров при движении с заданной скоростью и преодолел более 1,1 км.

5. Аппаратура

1) Проприоцептивные датчики

(измеряют физические характеристики состояния робота)

Используются для управления походкой BigDog и автономной навигации. Каждая из 16 активных и 4 пассивных степеней свободы робота оснащена датчиком. Они предоставляют данные о текущем положении и нагрузке. Эта информация комбинируется с данными IMU (гиростабилизатором) (привет 8 лабе), чтобы оценивать состояние контакта с землей, высоту положения корпуса, скорость тела. Кроме того, ряд сенсоров показывает состояние двигательной, вычислительной, гидравлической, тепловой и других систем BigDog.

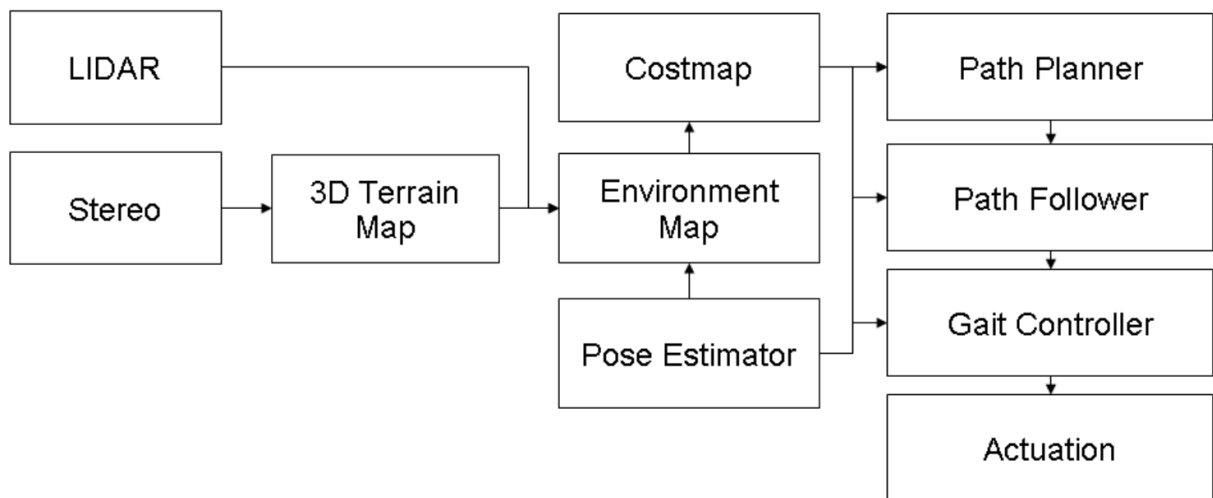


Датчики BigDog: а) GPS-антенна; b) лидар; c) стереокамера; d) IMU e) датчики суставов.

2) Экстероцептивные датчики

(предоставляют информацию о внешнем состоянии, например наблюдения за окружающей средой и ее объектами)

Робот оснащен четырьмя внешними датчиками: лидаром, стереокамерой, GPS-приемником и IMU. Данные от них поступают в систему, изображенную на схеме ниже.



3) Компьютеры

Для реализации системы с приведенной схемы используются два компьютера. Главный компьютер BigDog — взаимодействует с проприоцептивными датчиками, контролирует баланс и движения робота, вычисляет актуальную модель окружающей среды и путь через нее, а также осуществляет управление походкой. Зрение обеспечивается отдельным компьютером - он обменивается данными с парой камер, обнаруживает несоответствия, оценивает показатели визуальной одометрии (привет 3 лаба) и поддерживает 3D-карту местности. Этот компьютер передает карту и данные визуальной одометрии главному компьютеру через бортовую локальную сеть. Преимущество такой системы — в возможности упростить задачу планирования, разбивая ее на две части. Данные от лидара и сенсоров трехмерны, но мы можем полагаться на самостабилизацию системы управления походкой, чтобы отказаться от более сложного 3D-восприятия и планирования.

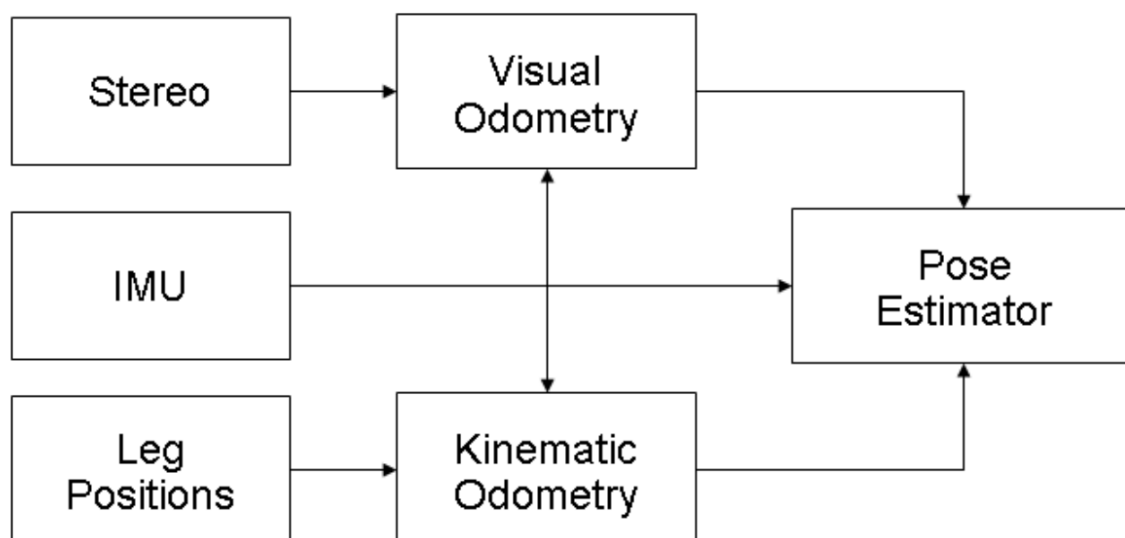
6. Технический подход

Весь процесс можно разбить на три этапа. Сначала изображения с лидара и камеры обрабатываются для получения перечня точек, обозначающих препятствия в окружающей среде. Затем эти точки разделяются на непересекающиеся объекты и отслеживаются на протяжении некоторого времени. Далее эти объекты объединяются во временной памяти для составления картограммы. Эта картограмма используется для планирования направления движения к промежуточной цели. Планировщик создан, чтобы контролировать, что траектории движения БольшойСобаки находятся на надлежащем расстоянии от препятствий и что траектории стабильны в пространстве при итерациях планировщика. Алгоритм движения по заданной траектории заставляет робота следовать намеченному пути, посылая команды скорости системе управления походкой.

А. Сбор информации

1) Оценка положения

Есть два источника одометрической информации: кинематические датчики в ногах и система искусственного зрения. Полученные от них данные объединяются для оценки расположения робота.



Одометрическая система использует кинематическую информацию, полученную от ног, чтобы рассчитать движения робота. А система визуальной одометрии отслеживает

визуальные характеристики для расчёта движения. Оба эти инструмента используют инерциальный измерительный модуль (IMU) как источник информации для пространственной ориентации. Объединение этих двух показателей устраняет недостатки каждого из расчётчиков: возможный отказ стереосистем, дрейф показаний одометра и расположенного в конечностях, во время бега на месте (вот бы лабах так было....)

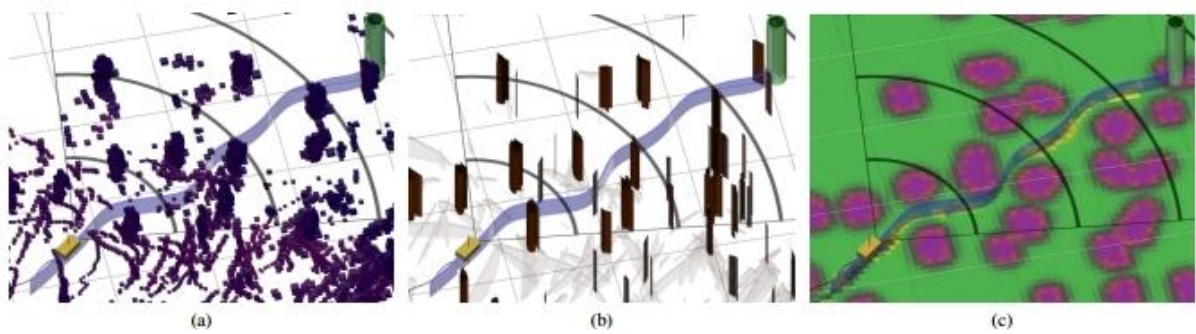
Лидар, используемый в роботе BigDog, выдает новое изображение каждые 13 миллисекунд. Каждое изображение трансформируется во внешнюю систему координат с центром в месте расположения робота. Полученное 3D-облако точек затем передается на обработку алгоритму сегментации, описанному ниже. Аналогичным образом система стереоскопического зрения собирает карты несоответствий в течение некоторого времени, чтобы создать 3D-карту местности в квадрате 4 x 4 метра, в центре которого будет находиться наш робот.

2) Сегментация облака точек и отслеживание объекта

Из-за неровностей земли и движений робота часть данных лидар-сканера будет включать в себя изображения земли. Отражения от длинных препятствий (например, стен) внешне похожи на отражения от земной поверхности. Для успешной работы система должна интерпретировать эти отражения таким образом, чтобы она могла управлять роботом вблизи стен, а не «бояться» земли. Первый шаг в данном процессе – сегментация точек препятствия, предоставленных лидаром и картой местности, в отдельные объекты. Редкие 3D-облака точек сегментируются в объекты путём слияния отдельных точек, разделенных расстоянием менее 0,5 метра.

Объекты, полученные благодаря алгоритму сегментации, отслеживаются на протяжении некоторого времени. Объект на текущем изображении совпадает с ближайшим объектом последнего изображения, при условии, что объекты разделены расстоянием не более 0,7 метров.

Благодаря тому, что облака точек сегментируются в объекты и отслеживаются на протяжении некоторого времени, робот может адекватно передвигаться в окружающей среде с умеренными неровностями земли и препятствиями различных видов: деревьями, булыжниками, упавшими брёвнами, стенами. Деревья и стены определяются в основном лидар-сканером, а булыжники и брёвна – системой стереоскопического зрения.



Последовательность иллюстраций, показывающих робота (желтый прямоугольник) с: а) данными с лидара (синие точки), записанными за несколько секунд; б) соответствующими им объектами. Высокие коричневые объекты — это деревья. Отражения с земли показаны прозрачными и плоскими. Зеленый цилиндр — это цель; к нему ведет голубая линия рассчитанного пути. в) Вид сверху на картограмму: зеленым обозначены области с минимальным летальным значением, лиловым — области с наибольшим таким значением. Каждому подразделению сетки соответствует 5 метров.

Б. Планирование навигации

Точки препятствий наносятся на картограмму с центром в месторасположении робота. Конечная цель робота проектируется на границу картограммы, и к ней применяется вариант алгоритма A*. Этот процесс повторяется примерно раз в секунду.

1) Память об отслеживаемых препятствиях

Из-за ограниченного поля зрения двух датчиков робота крайне важно, чтобы у робота сохранялась точная память о препятствиях, которые он больше не может видеть. Поскольку список объектов предоставляется системой слежения за объектами, отдельные объекты добавляются, обновляются или удаляются в объектной памяти системы планирования. Размер списка объектов ограничен, поэтому при добавлении в него новых объектов другие должны удаляться.

Обозначив текущий список объектов переменной O , мы можем вычислить два параметризованных подкласса O :

$$P(t) = \{q \in O \mid \text{age}(q) > t\},$$

and

$$Q(d) = \{q \in O \mid \text{norm}(q, r)_{\text{inf}} > d\},$$

Здесь $\text{age}(q)$ – разница между текущим моментом времени и временем последнего измерения объекта q ,

$\text{portm}(q, r)_{\text{inf}}$ – минимальное расстояние между текущим расположением робота и границей объекта q .

Объекты удаляются из O по следующим критериям:

- Множество $\{P(30) \cap Q(15)\}$ вычитается из O . Это объекты старше 30 секунд и расположенные не ближе 15 метров к роботу.
- Множество $\{P(1800) \cap Q(10)\}$ вычитается из O . Это объекты старше получаса и находящиеся не ближе 10 метров к роботу.
- Объекты удаляются из O по мере достижения лимита списка. Приоритет объекта определяется по времени, в течение которого он был успешно отслежен трекером. Другими словами, объекты, на которые робот смотрел дольше, дольше сохраняются в памяти.
- Не отбрасывается ни один объект, отслеженный в предыдущие 10 секунд.

По мере того как объекты уходят из поля зрения датчиков робота, тот забывает удаленные объекты и объекты, которые он не видел несколько раз. Объекты, которые находятся в поле зрения или недоступны, но расположены близко к роботу, не забываются.

2) Устойчивость пути

Чтобы убедиться, что мы не «управляем» BigDog в случайной и бессистемной манере, особое внимание уделяется устойчивости запланированного пути. Он должен быть настолько стабилен, насколько это возможно по итерациям планировщика путей. Это обеспечивается двумя способами.

Во-первых, начальная точка, передаваемая в алгоритм A^* , — это не текущее положение робота, а проекция его положения в конечной точке пути, выданной до этого алгоритмом A^* (назовем эту точку p). Пока БольшаяСобака следует запланированному пути, он может немного отклоняться от него вбок. Проецируя стартовую точку на точку предыдущего вычисления A^* алгоритма, мы отфильтровываем колебание позиции робота, и выводимые планировщиком пути становятся более стабильны. Если робот отклоняется от пути больше, чем на установленное значение (по умолчанию это 3 метра), точка p просто переносится в текущее положение робота.

Во-вторых, чтобы убедиться в непрерывности планировщика пути, мы вычисляем q — проекцию позиции робота от 2,5 секунд в прошлом к последней точке, вычисленной алгоритмом A^* . Затем отрезок последнего запланированного пути от q к r добавляется к вычислению нового пути. В итоге робот отслеживает небольшое расстояние уже пройденного пути. Благодаря этому алгоритм следования пути лучше показывает себя при существенных нарушениях положения, с которыми часто встречаются роботы на ногах.

С. Контроль походки. Подвижность и баланс

Система планирования навигации определяет новый путь примерно раз в секунду. Алгоритм следования пути направляет робота в соответствии с последним запланированным путем. Этот алгоритм создает набор команд в виде желаемых скоростей тела, включая скорость движения вперед и боковую скорость. Эти скорости передаются в контроллер походки, который управляет движением ног.

На основе расстояния между роботом и путем используется одна из трех стратегий. Если робот находится поблизости от участка пути, он начинает двигаться по диагонали, пока не зайдет на него сбоку, двигаясь на полной скорости. Если робот далеко от пути, он направляется точно вперед, к нужной точке. В промежуточном положении используется комбинация этих стратегий. Скорости тела действуют как управляющие входы для контроллеров походки BigDog. Контроллер походки производит команды силы и позиций для каждого сустава для обеспечения стабильности, реагируя на нарушения и обеспечивая тем самым нужные скорости тела.

7. Результаты полевых тестов

Часть для тех, кто дочитал этот реферат до конца. Немного приятной статистики, чтобы насладиться совершенством данной игрушки.

Испытания Большой Собаки проводились на местности, где было много деревьев, валунов, подлеска, холмов со склонами до 11 градусов. На рисунке 1 показан пример ландшафта. На рисунке 2 показаны данные от лидара, обработанные роботом.



Рис. 1. Ландшафт местности, где проводились испытания

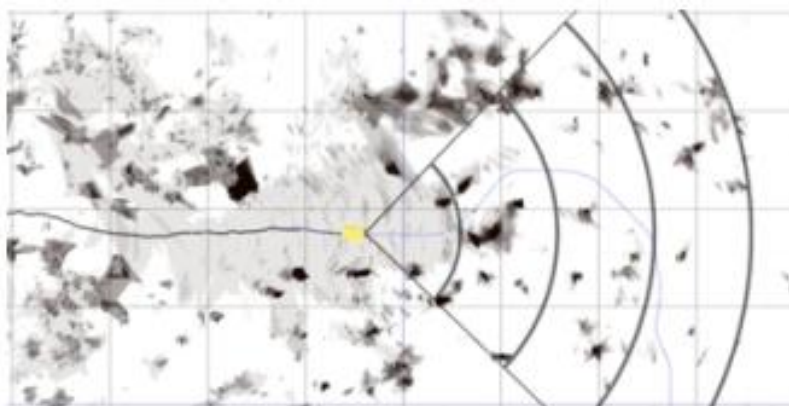


Рис. 2. Тестовые испытания, вид сверху. Изображение получено с лидара и стереокамер. Темные области — деревья и другие препятствия. Размер сетки 5 метров.

Из 26 проведенных тестов 23 закончились успешно: робот достиг цели, не столкнулся ни с одним из препятствий и не был к этому близок (вот бы в лабах было так же pt.2). Результаты отмечены в сводной таблице как Goal. Робот упал в конце только одного теста после того, как наступил на небольшой камень:(Обычно система контроля походки справляется с такими ситуациями, но не в этот раз (результат отмечен в таблице как Fall). В трех тестах роботу встретились на пути большие препятствия (шириной более 20 метров). Робот вычислял, с какой стороны лучше обойти препятствие и не делал продвижений в заданный промежуток времени (20 секунд) (у него лапки). Препятствия такого размера выходят за рамки, для которых была разработана автономная система. Результаты этих тестов в таблице обозначены как Live-lock.

ID	Path Length (m)	Point Dist. (m)	Run time (s)	Result
1	-	-	-	Goal
2	39.95	28.01	66.0	Goal
3	34.30	29.68	53.4	Goal
4	44.06	32.27	77.3	Goal
5	36.00	27.45	60.9	Goal
6	34.51	32.11	46.1	Goal
7	34.07	31.56	45.6	Goal
8	42.14	38.52	64.1	Goal
9	43.77	35.96	64.8	Goal
10	57.24	32.00	113.5	Goal
11	73.45	68.91	101.1	Goal
12	138.04	131.51	178.0	Live-lock
13	40.47	39.08	66.6	Goal
14	71.19	40.97	163.4	Goal
15	12.57	9.32	28.8	Goal
16	19.67	17.89	29.1	Goal
17	37.06	31.64	55.3	Goal
18	7.65	7.07	15.2	Goal
19	12.39	10.10	26.1	Live-lock
20	21.84	9.58	53.9	Goal
21	39.07	34.09	89.5	Goal
22	2.05	1.43	9.2	Goal
23	24.11	20.65	55.7	Goal
24	19.43	9.85	41.5	Goal
25	62.25	28.86	144.5	Goal
26	145.27	78.84	324.2	Live-lock
27	28.96	15.40	62.0	Fall

В этих 26 тестах робот был помещен в достаточно однотипные сценарии и лесную местность средней полосы. При усложнении окружающей среды количество исходов Live-lock увеличивается, а робот выбирает менее эффективные пути.

Итог

Робот классный, немного неуклюжий, но забавный!

Список используемой литературы:

1. https://web.archive.org/web/20120307142147/http://www.bostondynamics.com/img/BigDog_Overview.pdf
2. <https://www.cs.swarthmore.edu/~meeden/DevelopmentalRobotics/bigdog.pdf>
3. http://vigir.missouri.edu/~gdesouza/Research/Conference_CDs/IEEE_ICRA_2010/data/papers/0635.pdf
4. https://en.wikipedia.org/wiki/A*_search_algorithm
5. <https://se7en.ws/vspominaem-legendu-kak-ustroen-bigdog-ot-boston-dynamics/>

Еще пока искала референсы, нашла [смешное видео](#) в тему. Та самая прикольная визуалочка в конце лекции.

End

