



Разработка метода тактильного очуствления для мобильного шагающего робота

Аспирант: Олег Буличев

Руководитель: Александр Малолетов



О себе

Образование

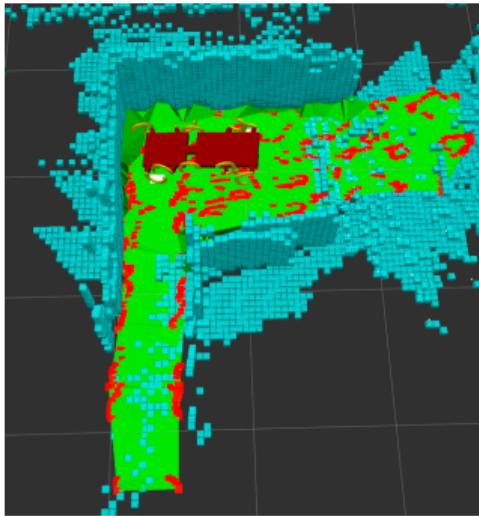
- Бакалавриат — МГТУ им. Н.Э. Баумана, РК6 (красный диплом)
Тема: Разработка системы управления наведением МРК «Пластун»
- Магистратура — Университет Иннополис, Робототехника
Тема: Development of biomimetic centipede robot «StriRus»
- Аспирантура — Университет Иннополис, Робототехника

Текущие должности

- Старший преподаватель (Лин. Алг., Теор. Мех., МиМ)
- Инженер-исследователь

Цель работы

Определить геометрические и физические свойства пройденной поверхности с помощью шагающего движителя, используя тактильное очущение.



Определение геометрических свойств

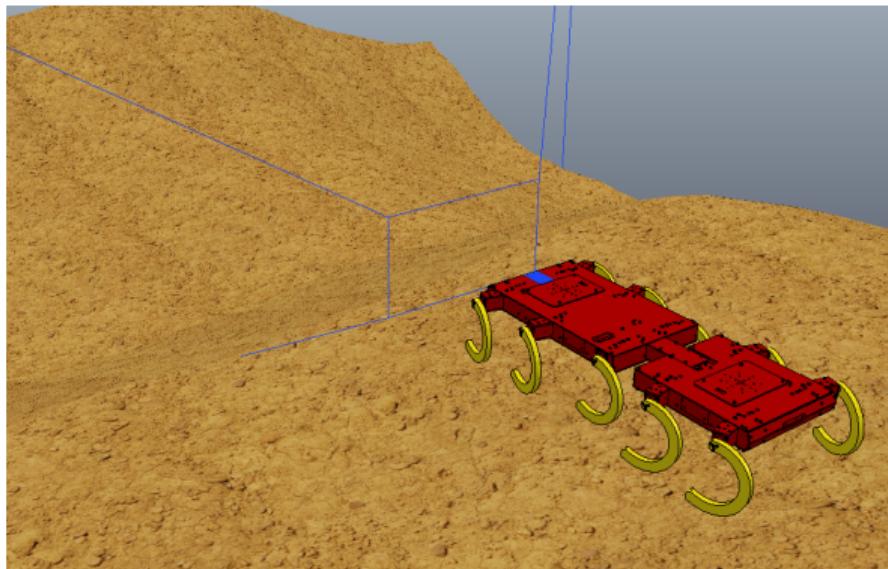


Определение физических свойств

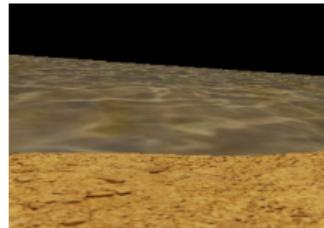
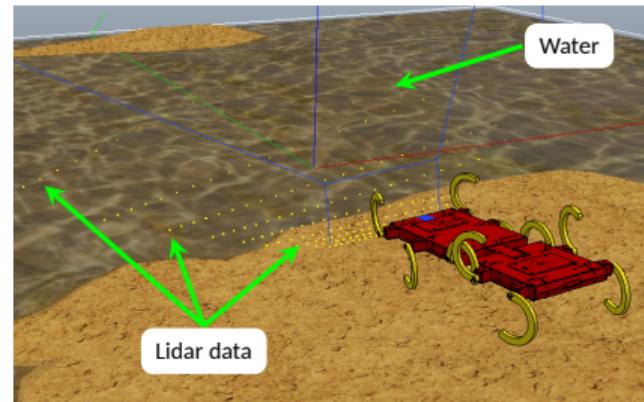


Нерешаемая задача с помощью камеры или лидара

Вопрос: Как картографировать поверхность под лужей?



Поверхность без воды



Вид с камеры

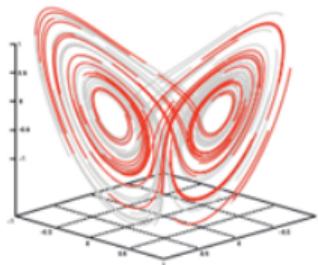


Актуальность проблематики



DARPA
**SUBTERRANEAN
CHALLENGE**

Соревнование по
автономному
исследованию пещер



Национальная
технологическая инициатива
Спонсирование проекта
по тематике



Грант по тематике



Литературный обзор

- Пещеры: препятствия, размеры.
 - Классификация пещер и препятствий
 - Оценка сложности территории
- Роботы для исследования пещер: от дирижаблей, до шагающих.
 - Робототехнические системы для исследования свободных пещер
- Способы определения силы реакции опоры.
 - Неявные и явные способы. Классификация типов датчиков силы
- Методы распознавания типа поверхности.
 - С помощью машинного обучения, используя набор датчиков
- Методы построения карты: оптические и тактильные.
 - Построение поверхности с помощью датчика силы на манипуляторе
 - Построение карты с помощью лидаров и камер

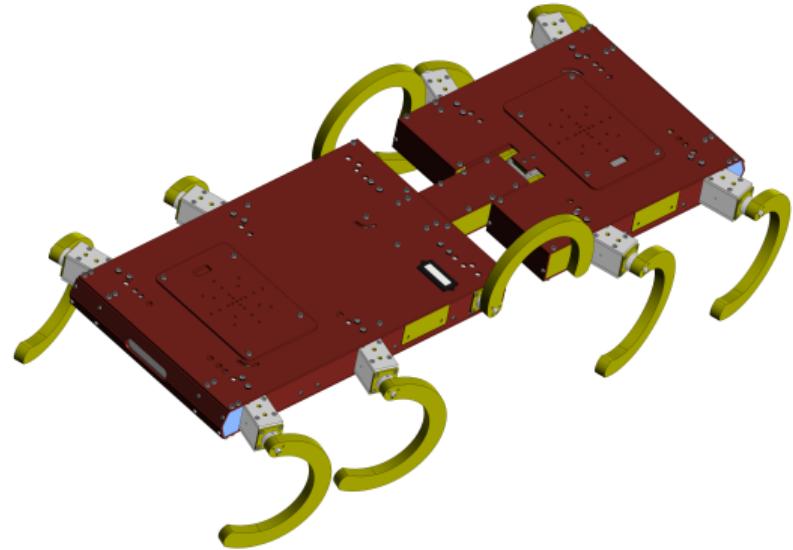


Разработка робота

Требования к роботу

Задача – выбрать движитель. Робот должен:

- Иметь *малые размеры*, чтобы лазать и не застревать в щелях
- Обладать *проходимостью* для преодоления сыпучих грунтов
- Преодолевать *небольшие водные препятствия*
- Иметь возможность залезать на *большие валуны*

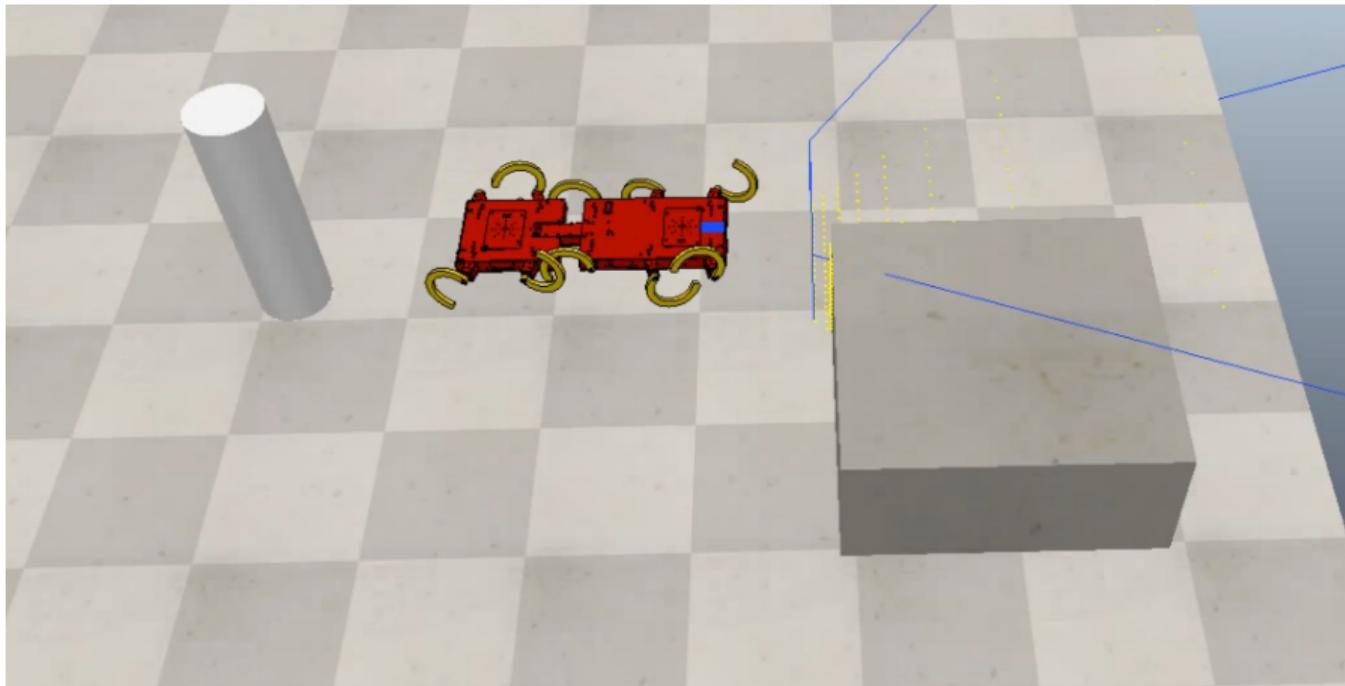


Шагающий цикловый движитель с 1 степенью свободы в ноге
СтриРус, 4-ая итерация



Разработка робота

Видео





Разработка робота

Структурный синтез

Вопрос

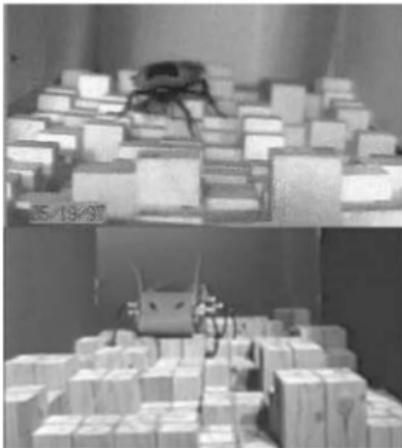
Какое оптимальное количество ног должен иметь такой движитель?

Ответ

Решив задачу структурного синтеза,
результатом которого является движитель с **8—14 ногами**

Разработка робота

Используемые технологии

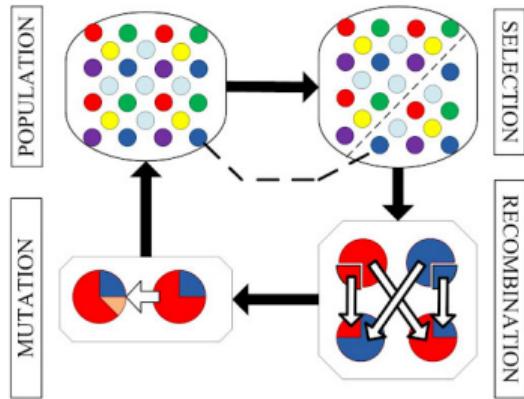


Генерация поверхности
(Параметризованная
искусственная территория)
Проблема формализации
сложности поверхности



GAZEBO

Робосимулятор
(Неявная математическая
модель)
Громоздкость явной модели

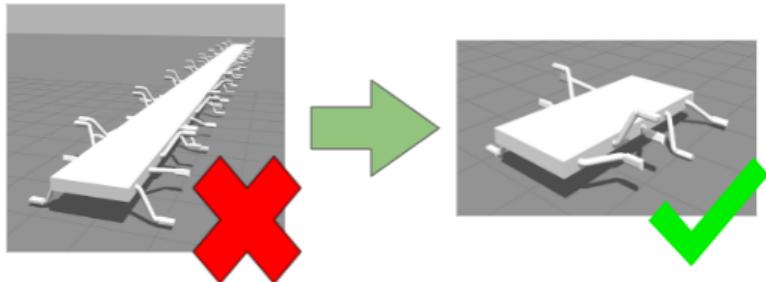


Генетический алгоритм
Отличен для
дискретной глобальной
мультикритериальной
задачи оптимизации

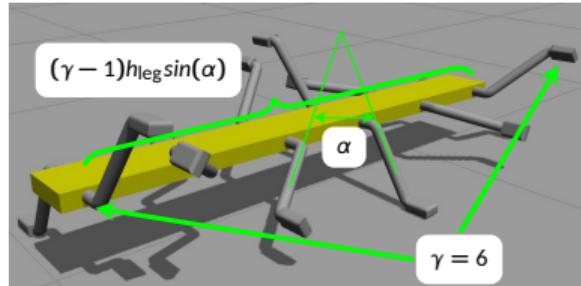


Разработка робота

Предлагаемое решение



Идея: Минимизировать кол-во ног
без потери проходимости



$$F \rightarrow \max = \beta \left(\omega_1 \cdot \overbrace{\delta}^{\text{Дистанция}} + \omega_2 \cdot \frac{1}{(\gamma - 1)h_{\text{leg}}\sin(\alpha)} \right) + \\ + (1 - \beta) \delta^{\omega_1} \left(\frac{1}{(\gamma - 1)h_{\text{leg}}\sin(\alpha)} \right)^{\omega_2}$$

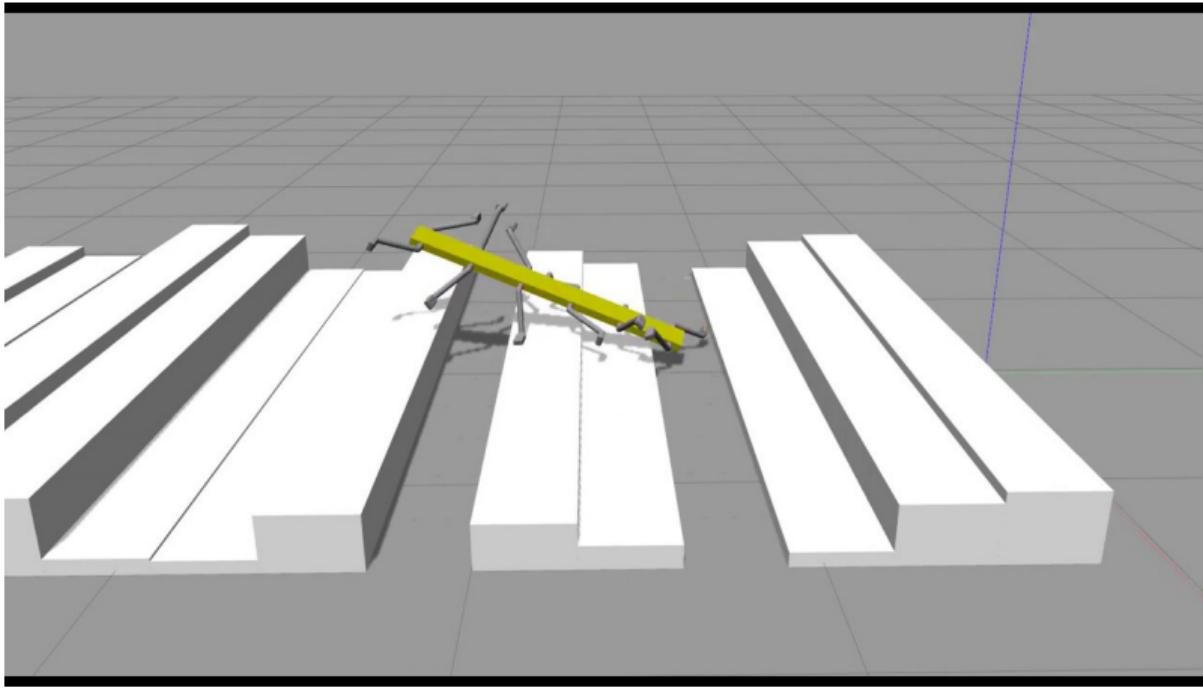
β – адаптивный параметр,

$\omega_{1,2} \in [0..1]$ – весовые коэффициенты.



Разработка робота

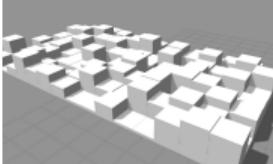
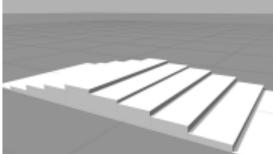
Видео: История одного сгенерированного робота





Разработка робота

Конкретные результаты: $\omega_1 = 0.6$, $\omega_2 = 0.4$

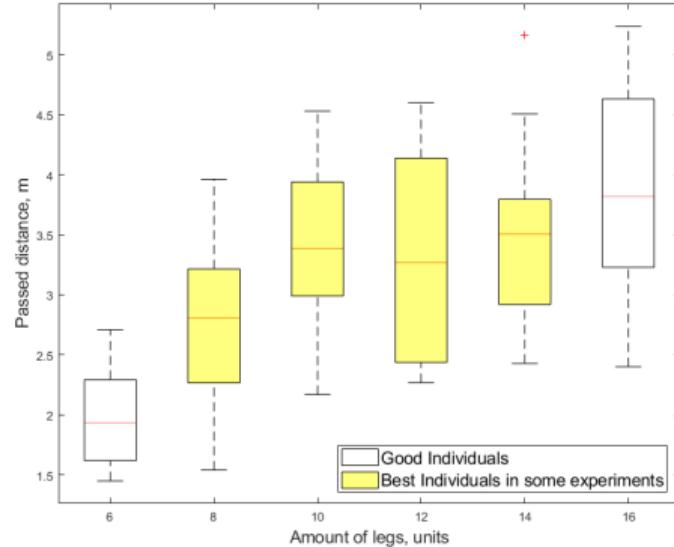
	Тип территории	Кол-во ног	Угол между соседними ногами	Кол-во индивидов
Этап 1		12	73	200
		12	72	
Этап 2		10	68	55
		12	77	



Разработка робота

Закономерность

Лучшие роботы в экспериментах начинались с 8 до 14 ног для различных значений ω .
Это объясняется критерием статического равновесия. В таком случае минимум 4 ноги всегда касаются поверхности.



Зависимость между кол-вом ног и пройденной дистанцией



Разработка преобразователя силы

Вопрос

Как получить силу реакции опоры?

Ответ

- Измерив ток/напряжение на моторе
- Установив датчик момента на вал мотора
- Установив датчик силы на ногу робота

Пьезорезистивный датчик основанный на Velostat: дешевый и надежный, но имеет проблемы с гистерезисом



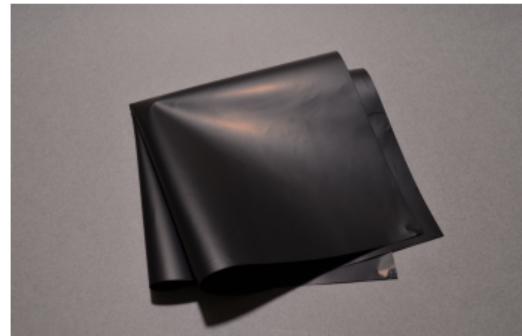
Разработка преобразователя силы

Velostat

Представляет собой полимерный материал, наполненный техническим углеродом.

Встреченные проблемы:

- Гистерезис – зависимость от текущего и предыдущих состояний
- Нелинейность материала
- Малая точность при весе от 300 грамм
- Разность значений при одинаковом давлении, когда площадь нажатия меньше датчика →
Научная задача – охарактеризовать материал для таких случаев



Простейший
преобразователь силы

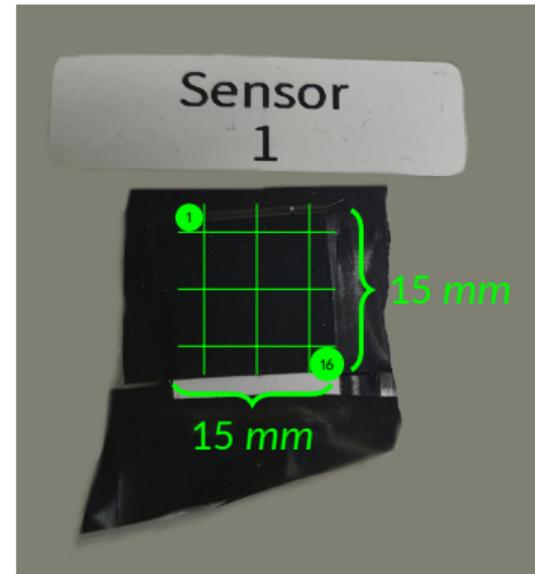


Разработка преобразователя силы

Эксперименты

1. **Статический.** Прикладывается статический груз с размером в сенсор
2. **Динамический.**

- Чувствительная область представляется в виде сетки 4×4 . Мы касаемся с одинаковым давлением, используя все 5 насадок
- Используются насадки только 2 и 15 мм. Происходит нажатие с силой 5, 10, 20, 30, 40 Н



Поверхность
как 4×4 сетка



Разработка преобразователя силы

Результаты: Статический эксперимент

$$V_{out} = V_0 + p[k_p + k_e(1 - e^{-\frac{(t-t_0)}{\tau_{res}}})](1 - e^{-\frac{A}{p}})$$

$$k_p = A_1 e^{-A_2 p}; \tau_{res} = B_0 + B_1 e^{-\frac{p}{B_2}}$$

Где V_0 – начальное напряжение,

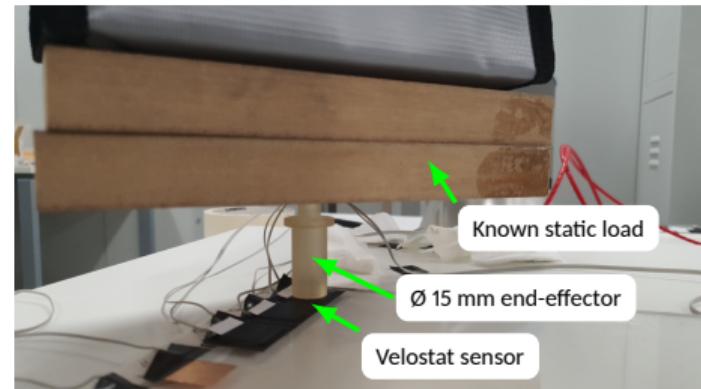
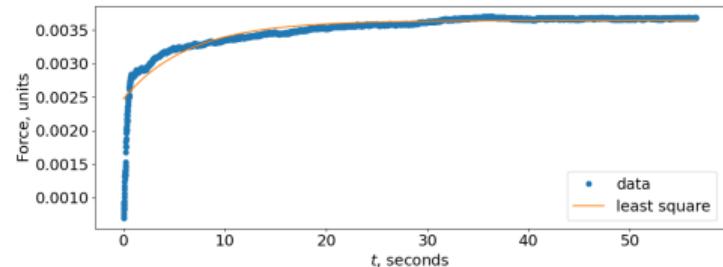
p – приложенное давление,

A_i , B_i , τ_{res} , k_i искомые параметры,

t – текущее время, t_0 – время начала нажатия.

Апробирована модель для калибровки

датчика

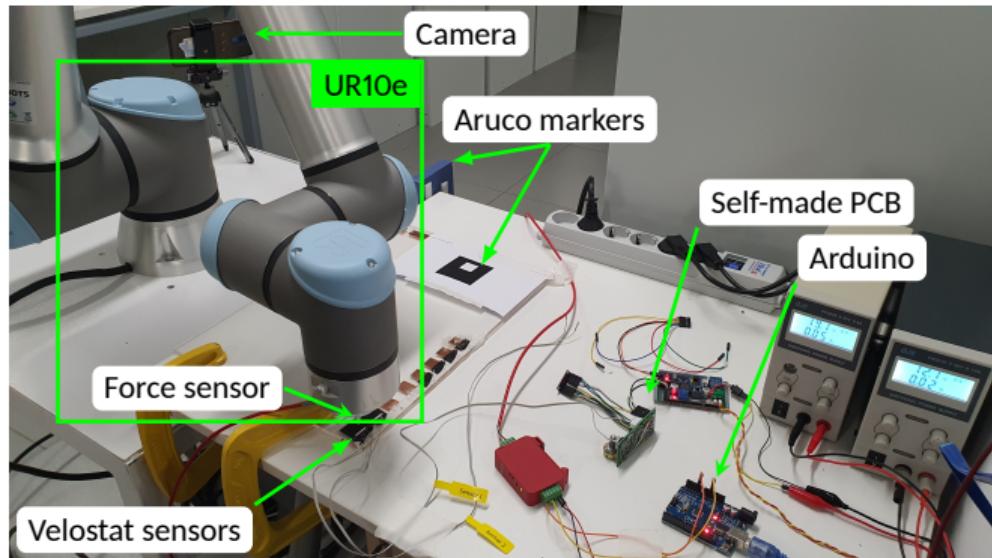




Разработка преобразователя силы

Требования к установке

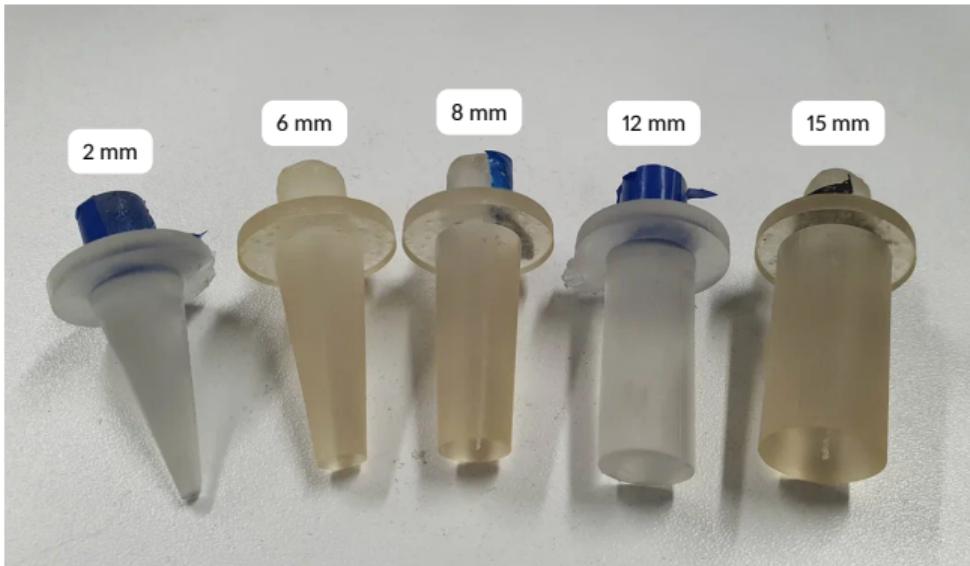
- Управление силой нажатия
Импедансное управления
- Повторяемость
эксперимента по силе и
позиции
Добавив манипулятор и
камеру
- Возможность нажимать
только на часть сенсора
Насадки для манипулятора





Разработка преобразователя силы

Установка: Насадки



Все насадки



Промышленный
датчик силы

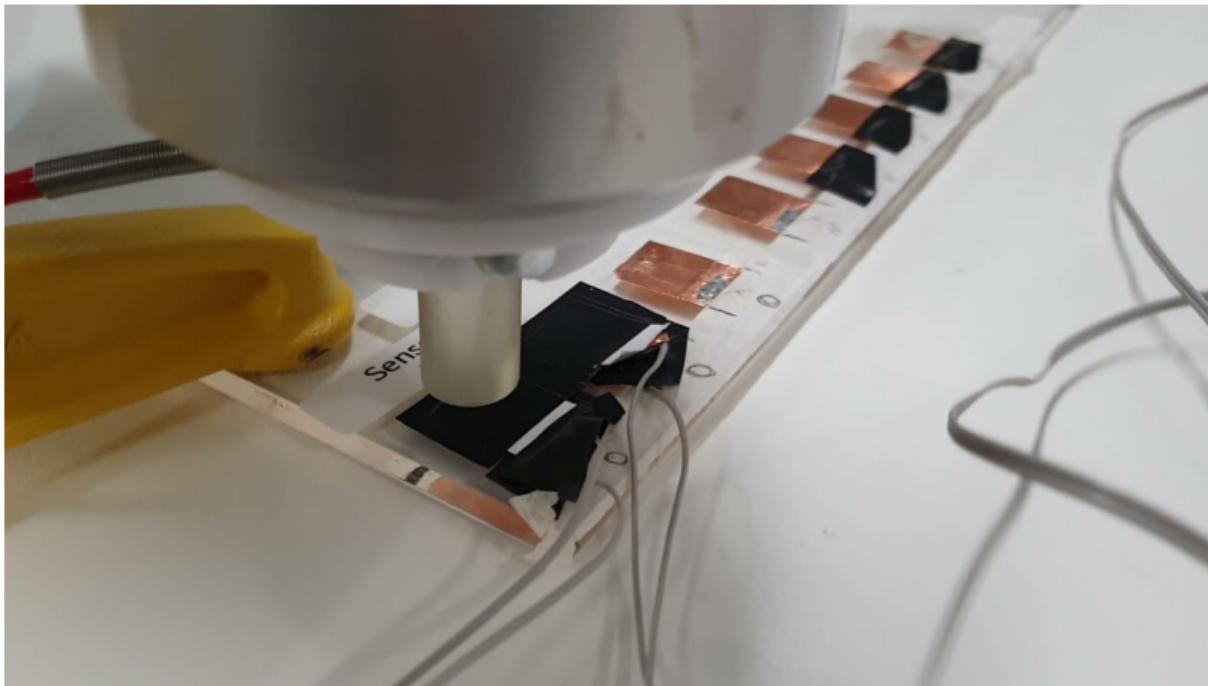


Насадка в сборке



Разработка преобразователя силы

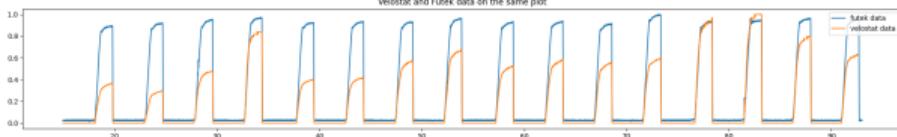
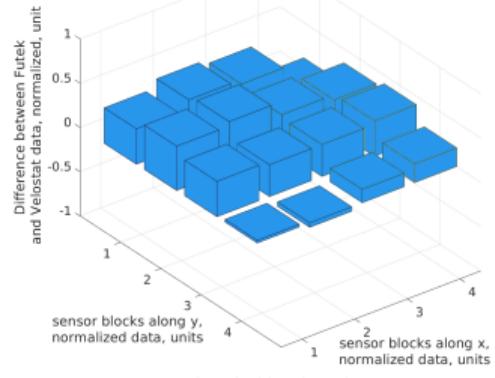
Установка: Видео



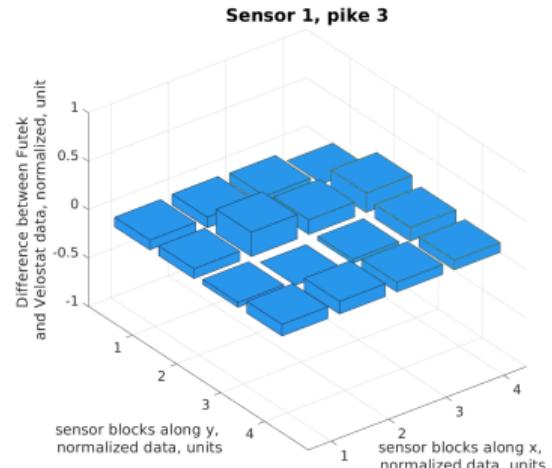


Разработка преобразователя силы

Результаты: Динамический эксперимент



2 мм диаметр насадки



8 мм диаметр насадки

Однаковые данные, когда площадь нажатия превышает 25% от площади датчика



Определение физических свойств поверхности

Вопрос

Как определить тип местности во время движения по такой местности?

Ответ

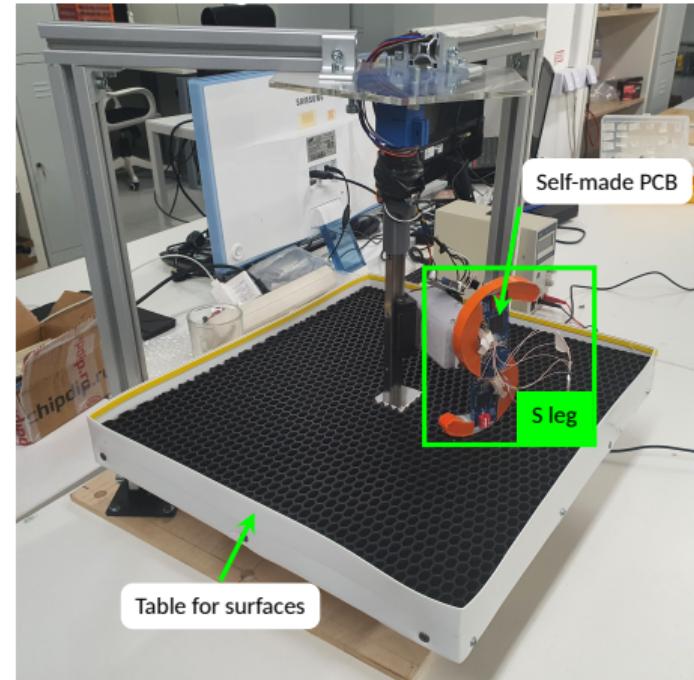
1. Подготовить для экспериментов различные поверхности.
2. Собрать датасет, состоящий из угловой скорости мотора и показаний датчиков с ног робота.
3. Представить их в виде вектора фич.
4. Решить задачу классификации данных с помощью SVM, используя метрику 10-fold cross validation.
5. Протестировать модель на собранных данных.



Определение физических свойств поверхности

Требования к установке

- Иметь возможность быстро менять используемые поверхности
Быстроразборный стол
- Бесконечное движение робота
2-ух степенной механизм и нога S-образной формы
- Узел движителя должен быть такой же как на СтриРусе
Создано крепление для узла ноги робота



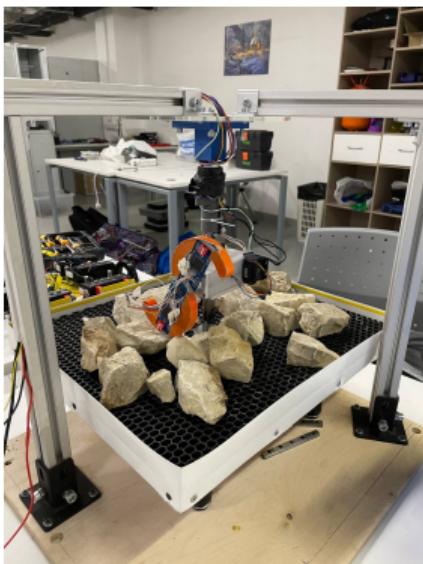


Определение физических свойств поверхности

Установка: Типы поверхности, видео



Резина



Каменная грядка

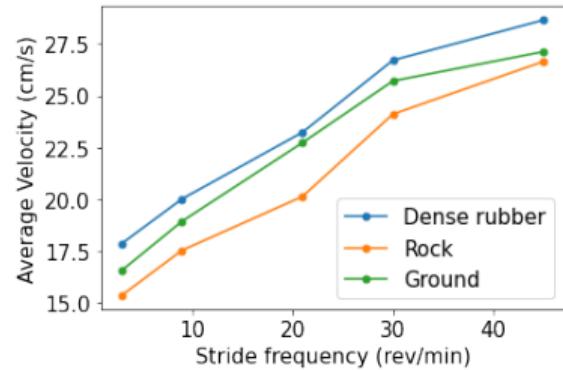
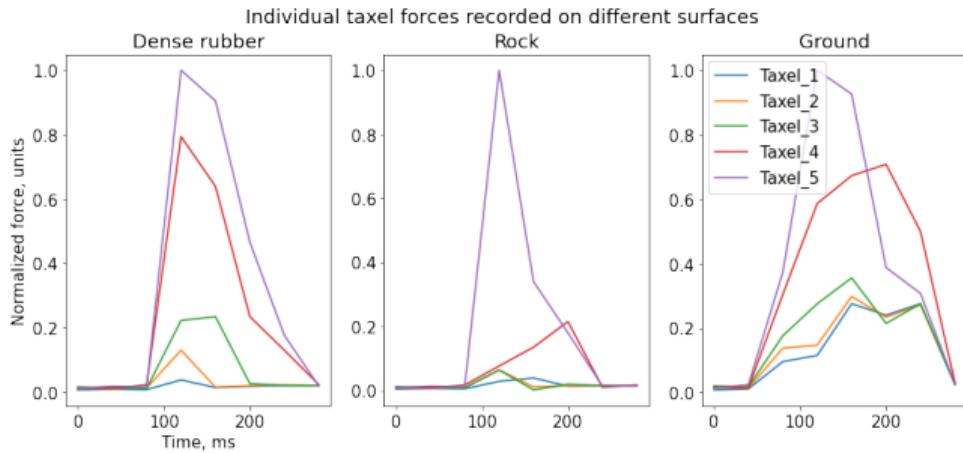


Земля



Определение физических свойств поверхности

Данные с одного эксперимента



True class	Predicted Class		
	Rubber	Rock	Ground
Rubber	84.0%	2.56%	13.44%
Rock	20.1%	67.8%	12.1%
Ground	1.0%	18.9%	80.1%



Определение геометрических свойств поверхности

Вопрос

Как создать плотное облако точек, используя разреженные данные об точках касания ног?

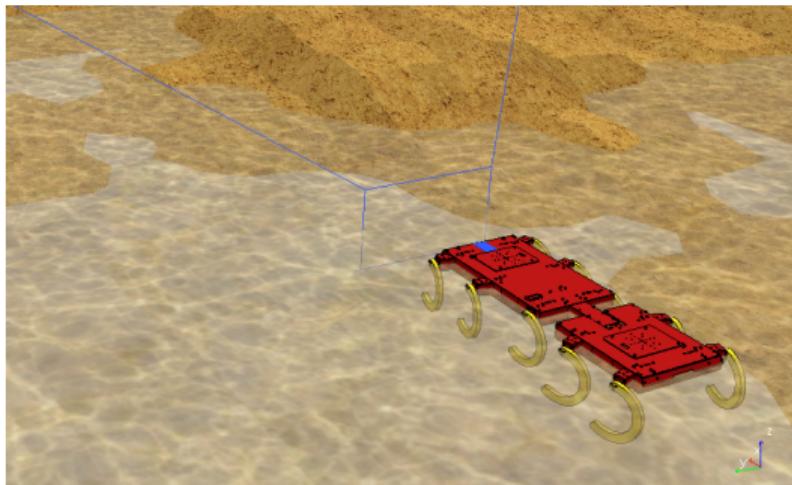
Ответ

1. Создать полигональную сетку, используя 2D триангуляцию Делоне (вогнутая оболочка) с использованием разреженных данных
2. Сгенерировать новые точки из полигональной сетки
3. Вернуть плотное облако точек навигации навигации

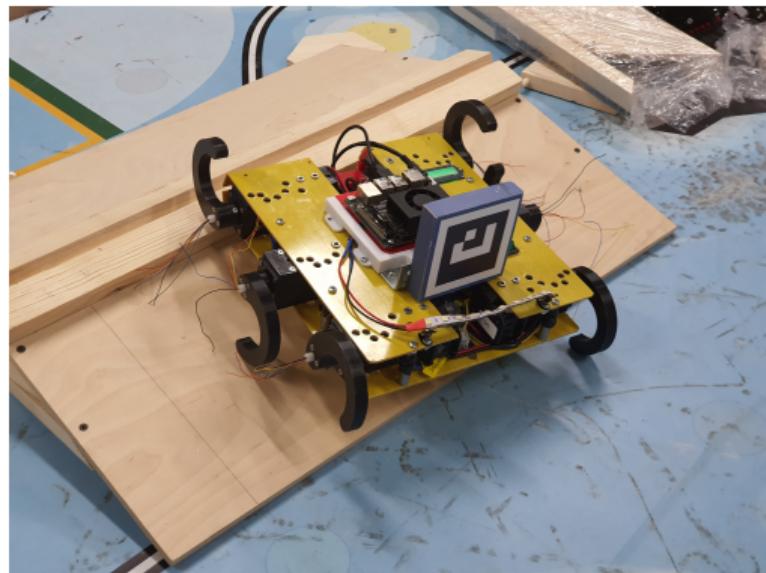


Определение геометрических свойств поверхности

Места проведения экспериментов



CoppeliaSim симулятор,
4th gen СтриРус

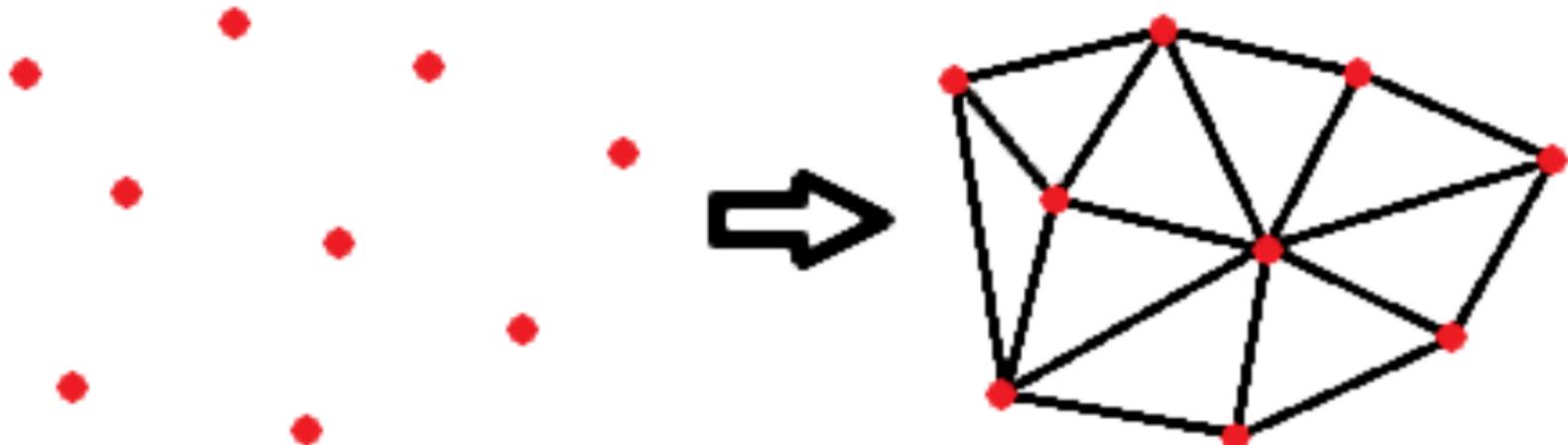


Натурные испытания,
3th+ gen СтриРус



Определение геометрических свойств поверхности

Триангуляция Делоне

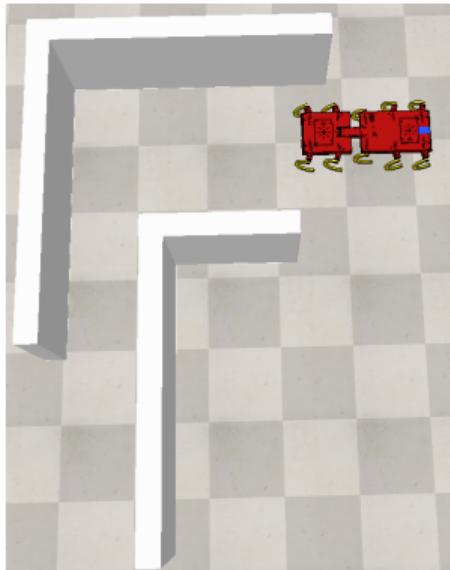


2D триангуляция Делоне (Выпуклая оболочка)
От облака точек к полигональной сетке

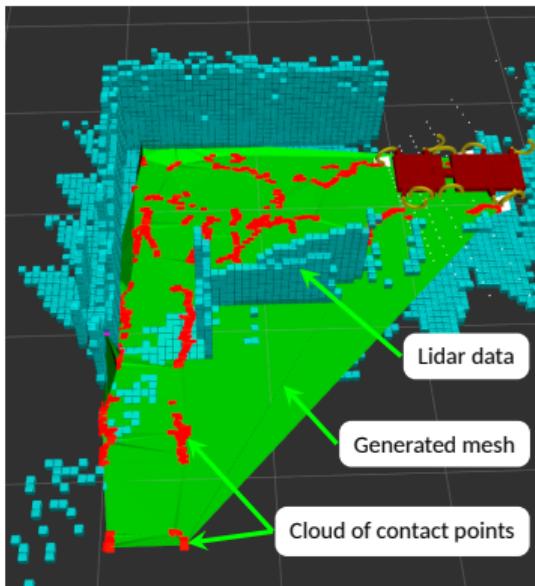


Определение геометрических свойств поверхности

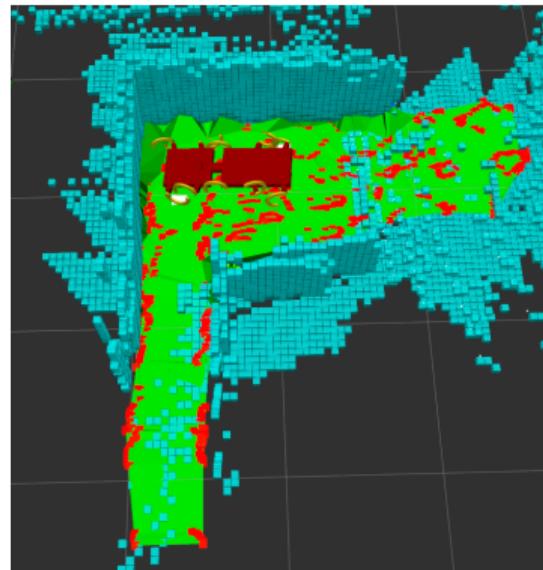
Почему важно использовать вогнутую оболочку (модификация Делоне)



Пример поверхности



Выпуклая оболочка

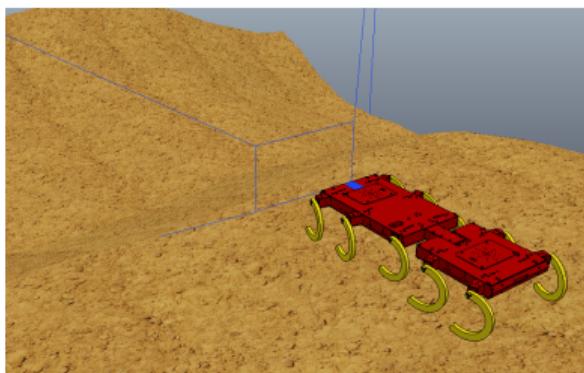


Вогнутая оболочка

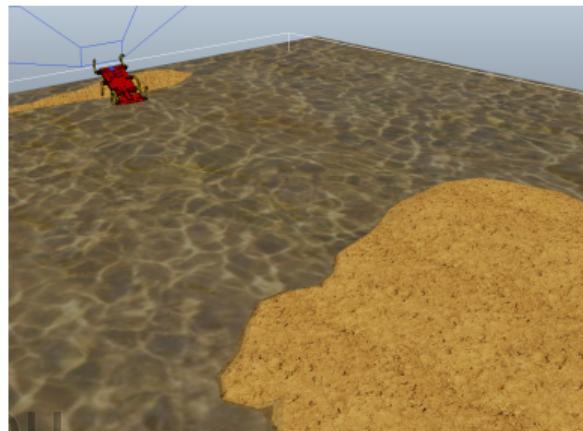


Определение геометрических свойств поверхности

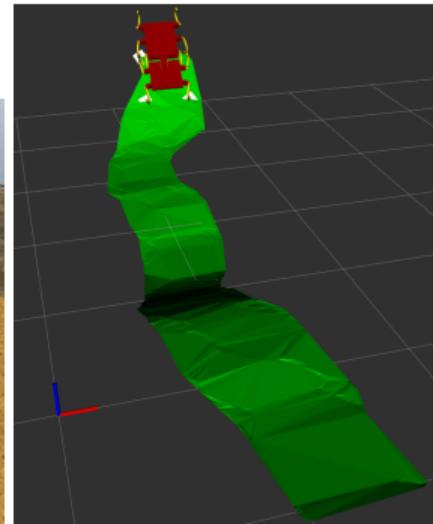
Результат: Маршрут, полигональная сетка



Начало маршрута



Конец маршрута

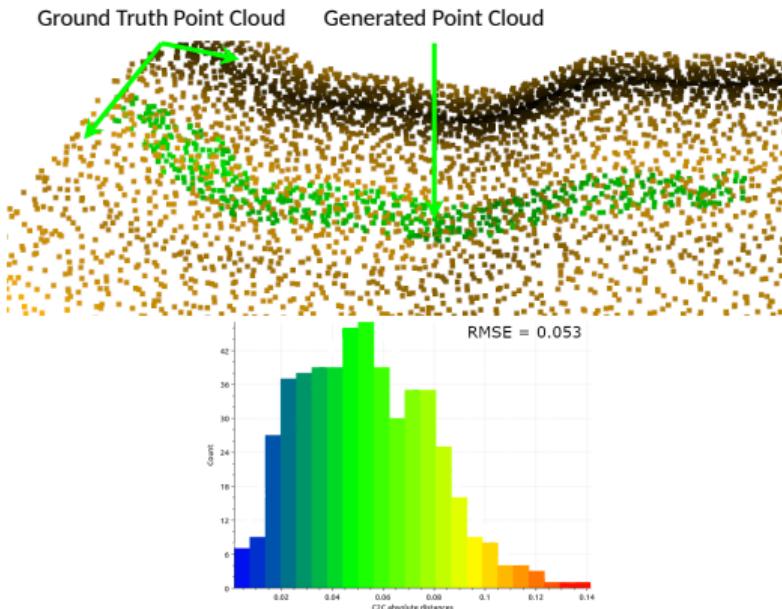


Созданная сетка

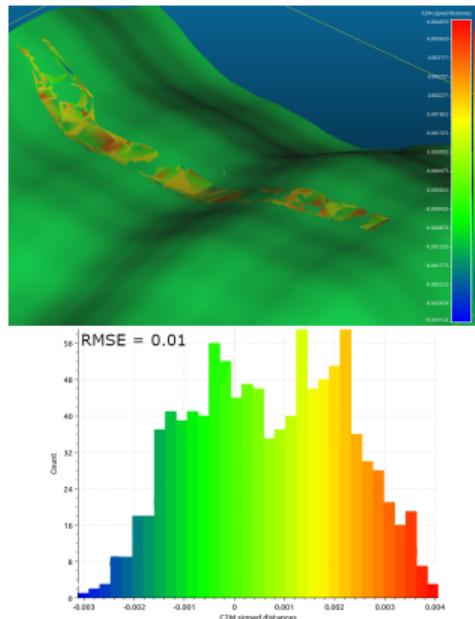


Определение геометрических свойств поверхности

Метрики Cloud2Cloud и Cloud2Mesh



Гистограмма ошибок C2C

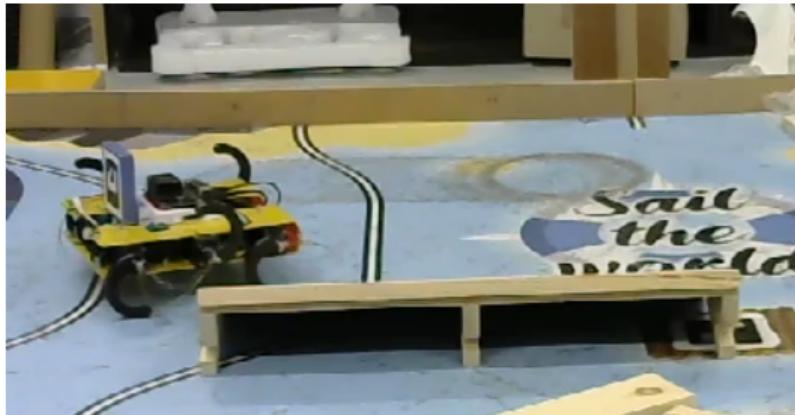


Гистограмма ошибок C2M

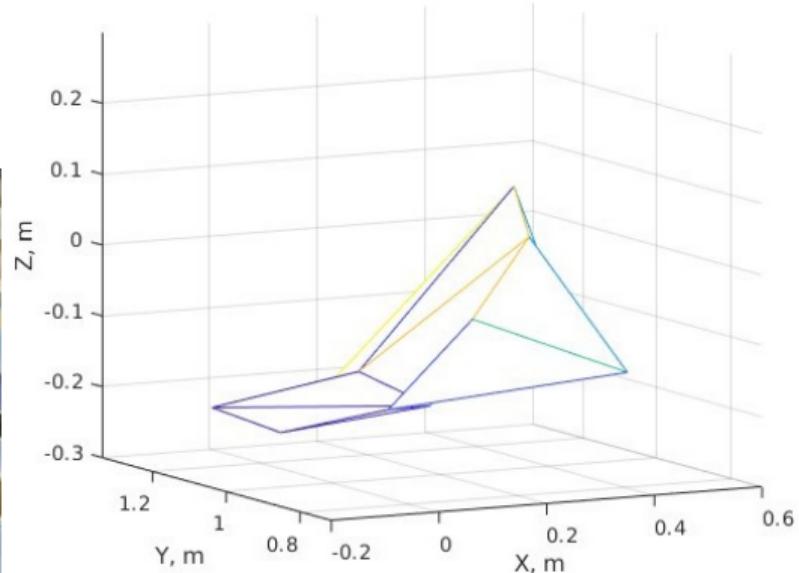


Определение геометрических свойств поверхности

Результат: Натурные испытания, Видео



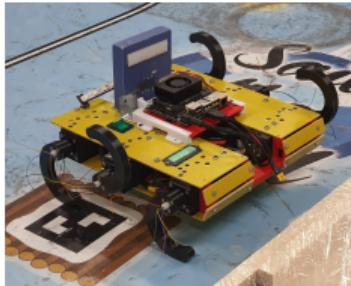
Робот проходит препятствие



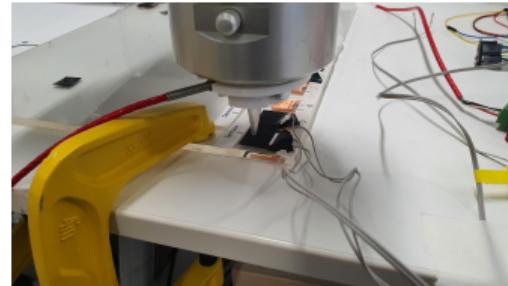
Полигональная сетка, полученная с помощью ног



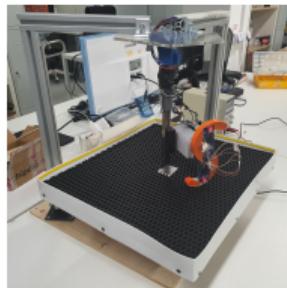
Глобальный итог



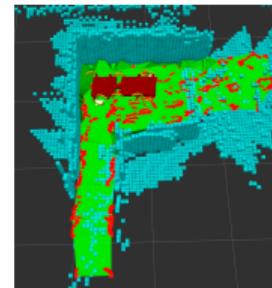
1. Структурный синтез



2. Датчик силы на основе Velostat



3. Определение поверхности



4. Ножное картографирование



Результаты решения задач

Научных задач (научная новизна)

1. Методика подбора количества ног для шагающих цикловых движителей.
2. Методика характеристизации датчика, когда площадь касания нагрузки меньше, чем размеры датчика.
3. Методика калибровки и алгоритм определения типа поверхности.
4. Методика определения геометрических свойств местности.

Инженерных задач

1. Шагающий цикловой движитель с одной степенью свободы в ноге.
2. Выбраны, откалиброваны и установлены не оптические сенсоры для определения свойств поверхности.
3. Алгоритм определения типа поверхности.
4. Алгоритм картографирования местности с помощью пальпирования ногами робота.



Результаты интеллектуальной деятельности

- Количество публикаций
 - 1.5 — журналы, рекомендованных ВАК
 - 3 — журналы, индексируемые в Scopus (2 работы Q2)
 - 9 — РИНЦ
 - 2 — готовятся к публикации в Scopus
- 8 — Зарегистрированных программ для ЭВМ
- 3 — Выигранных гранта (Умник, ЦНТИ, РФФИ)