

## Методы 3D картографирования окружения

Денис Шепелев

073a

Денис Шепелев

## Роботы и 3D окружение

### Область применения 3D карт

## Виды карт

## Point Clouds

## Voxel Grids

### Elevation Map

### Elevation Map

### Пример Elevation Map

[MLS Map](#)[MLS Map](#)

## Создание MLS Map

## Обновление MLS Map

MLS Map

### Пример MLS Map

## OctoMap

Octree

## OctoMap

## Обновление

## OctoMap

Обновление

OctoMap

## Примеры OctoMap

- ▶ Хотя и 2D карты успешно применяются на практике, во многих прикладных задачах их оказывается недостаточно.
- ▶ Для решения задач планирования движения роботу необходима аккуратная и легко интерпретируемая 3D карта.

## Виды карт

## Point Clouds

## Voxel Grids

### Elevation Map

Elevation Map  
Пример Elevation  
Map

[MLS Map](#)[MLS Map](#)

## Создание MLS Map

## Обновление MLS Map

[MLS Map](#)

### Пример MLS Map

## OctoMap

Octree

## OctoMap

## Обновление OctoMap

## Обновление OctoMap

## Примеры OctoMap

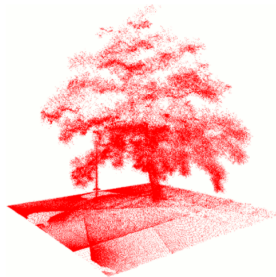
- ▶ Point Cloud
- ▶ Voxel Grid
- ▶ Elevation Map
- ▶ Multi-Level Surface Map (MLS Map)
- ▶ OctoMap

## Достоинства

- ▶ Нет никаких ограничений на размеры карты.
- ▶ Нет ограничений на тип точек.

## Недостатки

- ▶ Неограниченное использование памяти.
- ▶ Нет явного представления свободных для движения областей карты.



Роботы и 3D окружение

Область применения 3D карт

Виды карт

**Point Clouds**

Voxel Grids

Elevation Map

Elevation Map  
Пример Elevation Map

MLS Map

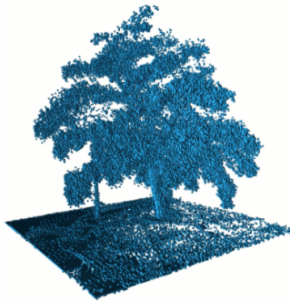
MLS Map  
Создание MLS Map  
Обновление MLS Map  
MLS Map  
Пример MLS Map

OctoMap

Octree  
OctoMap  
Обновление OctoMap  
Обновление OctoMap  
Примеры OctoMap

## Достоинства

- ▶ Явное представление свободных, занятых и неизвестных областей.
- ▶ Быстрый доступ к элементам.
- ▶ Итеративное обновление, имеющее вероятностную интерпретацию.



## Недостатки

- ▶ Требуется (ОЧЕНЬ) много памяти.
- ▶ Ошибки дискретизации.

Роботы и 3D окружение

Область применения 3D карт

Виды карт

Point Clouds

**Voxel Grids**

Elevation Map

Elevation Map  
Пример Elevation Map

MLS Map

MLS Map

Создание MLS Map

Обновление MLS Map

MLS Map

Пример MLS Map

OctoMap

Octree

OctoMap

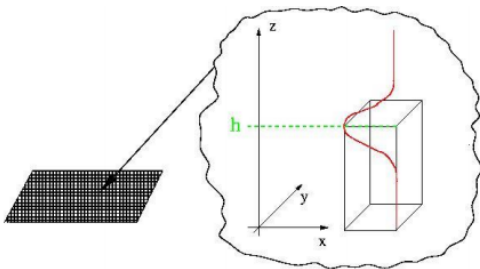
Обновление OctoMap

Обновление OctoMap

Примеры OctoMap

# Elevation Map

Elevation Map - двумерный массив, который в каждой клетке хранит среднее значение высоты и дисперсию. Для обновления карты используется фильтр Калмана.



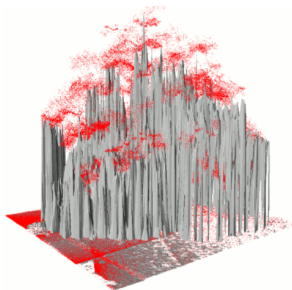
# Elevation Map

## Достоинства

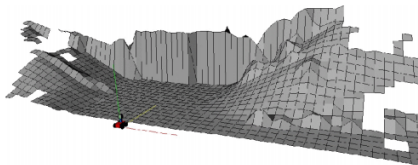
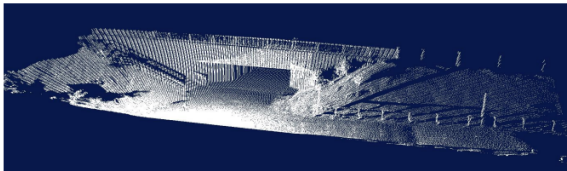
- ▶ Кушает мало памяти. 2.5D представление окружения
- ▶ Быстрый доступ к элементам.
- ▶ Вероятностная интерпретация.

## Недостатки

- ▶ Одноуровневая карта. Нет явного разделения на свободные, занятые и неизвестные области.
- ▶ Ошибки дискретизации. Не всегда адекватно представляет реальное окружение, что делает её применимой не во всех задачах.



# Пример Elevation Map



Методы 3D картографирования  
окружения

Денис Шепелев

Роботы и 3D  
окружение

Область  
применения 3D  
карт

Виды карт

Point Clouds

Voxel Grids

Elevation Map

Elevation Map

**Пример Elevation  
Map**

MLS Map

MLS Map

Создание MLS  
Map

Обновление MLS  
Map

MLS Map

Пример MLS  
Map

OctoMap

Octree

OctoMap

Обновление  
OctoMap

Обновление  
OctoMap

Примеры  
OctoMap

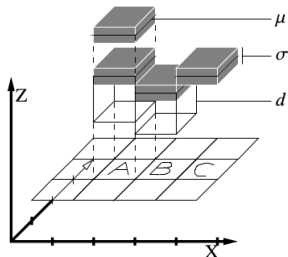


# MLS Map

MLS Map - улучшение Elevation Map.

В каждой клетке  $(i, j)$  хранится список патчей  $[P_{ij}^k]$ . Каждый патч состоит из

- ▶ Значение средней высоты  $\mu$ .
- ▶ Дисперсия  $\sigma^2$ .
- ▶ Глубина  $d$ .



Создание MLS Map состоит из следующих шагов:

- ▶ Каждая клетка  $(i, j)$  собирает все высоты  $z$  точек  $p = (x, y, z, \sigma)$  такие, что  $si \leq x \leq s(i + 1)$  и  $s_j \leq y \leq s(j + 1)$ , где  $s$  – ширина клетки.
- ▶ Затем в каждой клетке формируется множество **высотных интервалов**. Если разность двух высот не превосходит величины  $\gamma$ , то эти высоты будут лежать в одном интервале.
- ▶ Затем интервалы классифицируются на **горизонтальные и вертикальные** по длине интервала. Если она превышает  $\tau = 10\text{см}$ , то интервал классифицируется как вертикальный, иначе горизонтальный.

- ▶ Для вертикальных интервалов значениям  $\mu$  и  $\sigma$  присваивается самое высокое значение интервала, а величине  $d$  - длина интервала. Остальные точки удаляются.
- ▶ Для горизонтальных интервалов  $\mu$  и  $\sigma$  вычисляются через фильтр Калмана, а величина  $d = 0$ . Все остальное удаляется

Обновление состоит из следующих шагов:

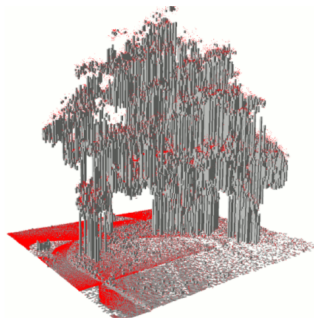
- ▶ При добавлении новой точки  $p = (x, y, z, \sigma)$ , находим клетку, в которой эта точка лежит.
- ▶ Затем находим ближайшую по высоте точку.
  - ▶ Если оказывается, что новая точка достаточно близка, то происходит процесс обновления  $\mu$  и  $\sigma$ .
  - ▶ Если она лежит внутри интервала - ничего не делаем
  - ▶ Иначе - добавляем новый патч.

## Достоинства

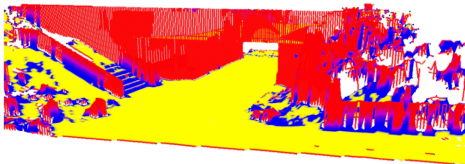
- ▶ В одной клетке может храниться несколько уровней

## Недостатки

- ▶ Ошибки дискретизации.
- ▶ Нет явного разделения на свободные, занятые и неизвестные области.
- ▶ Локализация на такой карте - не простая задача.



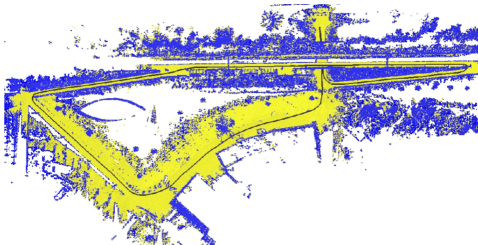
# Пример MLS Map



Размер клеток  $10\text{см} \times 10\text{см}$

За 172 скана было собрано 45,139,000 точек, размер территории  $299\text{м} \times 147\text{м}$

Объем занятой памяти 73.33 MB.



Методы 3D картографирования окружения

Денис Шепелев

Роботы и 3D окружение

Область применения 3D карт

Виды карт

Point Clouds

Voxel Grids

Elevation Map

Elevation Map  
Пример Elevation Map

MLS Map

MLS Map

Создание MLS Map

Обновление MLS Map

MLS Map

Пример MLS Map

OctoMap

Octree

OctoMap

Обновление OctoMap

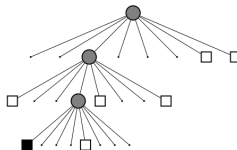
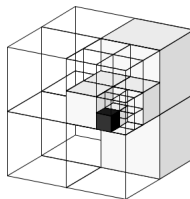
OctoMap

Обновление OctoMap

OctoMap

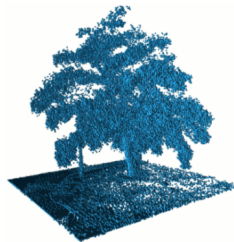
Примеры OctoMap

- ▶ Древовидная структура.
- ▶ Можно варьировать уровень дискретизации.
- ▶ Память выделяется только когда нужна.
- ▶ А когда нужно, можно дерево сокращать.



## Достоинства

- ▶ Полноценное 3D представление окружения.
- ▶ Вероятностная интерпретация.
- ▶ Multi-Resolution.
- ▶ Эффективное использование памяти.



## Недостатки

- ▶ Ошибки дискретизации.

Роботы и 3D окружение

Область применения 3D карт

Виды карт

Point Clouds

Voxel Grids

Elevation Map

Elevation Map  
Пример Elevation Map

MLS Map

MLS Map  
Создание MLS Map  
Обновление MLS Map  
MLS Map  
Пример MLS Map

OctoMap

Octree  
**OctoMap**  
Обновление OctoMap  
Обновление OctoMap  
Примеры OctoMap



Для обновления карты используется следующая формула

$$P(m^{cell}|z_{1..t}) = \left( 1 + \frac{1 - P(m^{cell}|z_t)}{P(m^{cell}|z_t)} \frac{P(m^{cell})}{1 - P(m^{cell})} \frac{1 - P(m^{cell}|z_{1..t-1})}{P(m^{cell}|z_{1..t-1})} \right)^{-1}$$

Используя обозначение

$$L(m^{cell}) = \log \frac{P(m^{cell})}{1 - P(m^{cell})}$$

Получаем

$$L(m^{cell}|z_{1..t}) = L(m^{cell}|z_t) + L(m^{cell}|z_{1..t-1}) - L(m^{cell})$$

- Ограничение  $L(m^{cell}|z_{1..t})$  – для использования в динамическом окружении и для сокращения дерева

$$L(m^{cell}|z_{1..t}) = \max(\min(L(m^{cell}|z_{1..t}), l_{max}), l_{min})$$

$$L(m^{cell}|z_{1..t}) \in (l_{min}, l_{max})$$

- Можно динамически менять точность карты

$$L(m^{cell}|z_{1..t}) = \max_i L(m_i^{cell}|z_{1..t})$$



0.08 m



0.64 m



1.28 m

Роботы и 3D окружение

Область применения 3D карт

Виды карт

Point Clouds

Voxel Grids

Elevation Map

Elevation Map  
Пример Elevation Map

MLS Map

MLS Map

Создание MLS Map

Обновление MLS Map

MLS Map

Пример MLS Map

OctoMap

Octree

OctoMap

Обновление OctoMap

Обновление OctoMap

Примеры OctoMap

# Примеры OctoMap

Методы 3D картографирования  
окружения

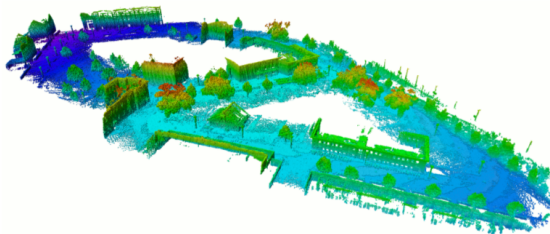
Денис Шепелев

Кампус Фрайбургского университета -  $292 \text{ м} \times 167 \text{ м} \times 28 \text{ м}$

Voxel Grids - 5162.90 MB

OctoMap - 379.70 MB

Lossy OctoMap - 13.82 MB



Роботы и 3D  
окружение

Область  
применения 3D  
карт

Виды карт

Point Clouds

Voxel Grids

Elevation Map

Elevation Map  
Пример Elevation  
Map

MLS Map

MLS Map  
Создание MLS  
Map  
Обновление MLS  
Map  
MLS Map  
Пример MLS  
Map

OctoMap

Octree  
OctoMap  
Обновление  
OctoMap  
Обновление  
OctoMap

**Примеры  
OctoMap**

Материалы лекции Фрайбургского университета по курсу  
Introduction to Mobile Robotics - Techniques for 3D Mapping.



*Autonomous Robots April 2013, Volume 34, Issue 3, pp 189-206*



*In Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on  
Intelligent Robots and Systems (IROS '06)*