

Методы 3D картографирования окружения

Денис Шепелев

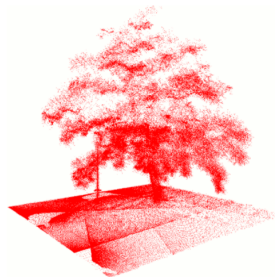
073a

- ▶ Хотя и 2D карты успешно применяются на практике, во многих прикладных задачах их оказывается недостаточно.
- ▶ Для решения задач навигации мобильных роботов необходимо представление, с помощью которого можно определить какие объекты на карте являются препятствиями, какие области карты свободны для передвижения, а также определить положение робота на карте.

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

Достоинства

- ▶ Естественный формат выходных данных некоторых сенсоров (Kinect, 3D Lidars).
- ▶ В отличие от Voxel Grids и других представлений, не дискретизируют пространство.



Недостатки

- ▶ Не подходят для представления больших территорий - занимают много памяти.
- ▶ Не подходят напрямую для задач планирования движения - нет явного представления свободных и занятых для движения областей.

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 и сокращение OctoMap
Примеры OctoMap

Денис Шепелев

point types.hpp

```

00204 struct PointXYZRGB
00205 {
00206     PCL_ADD_POINT4D;    // This adds the members x,y,z
                        which can also be accessed using the point (which is
                        float[4])
00207     union
00208     {
00209         struct
00210         {
00211             float rgb;
00212         };
00213         float data_c[4];
00214     };
00215     [...]
00216 } EIGEN_ALIGN16;

```

Роботы и 3D окружение

Область применения 3D карт

Point Clouds

Voxel Grids

Elevation Map

Elevation Map
Пример Elevation
Map

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

Создание MLS
Мар
Обновление M
Мар

[MLS Map](#)

Пример MLS Map

OctoMap

Octree

OctoMap

Обновление и сокращение

OctoMap

Примеры OctoMap

Point Clouds Memory Usage

С одного скана Kinect получается 640×480 точек, т.е.:

$$640 \times 480 \times 8 \times \text{sizeof(float)} = 9830400B = 9.83MB$$

Учитывая, что каждую секунду у нас появляется, предположим 30 сканов, то **294.9 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

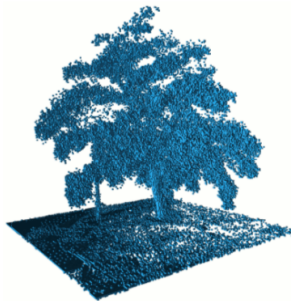
MLS Map
Создание MLS Map
Обновление MLS Map
MLS Map
Пример MLS Map

OctoMap

Octree
OctoMap
Обновление и сокращение 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 и сокращение OctoMap
Примеры OctoMap

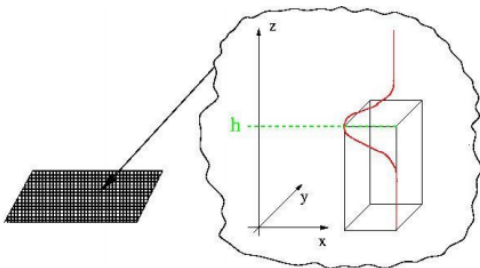
Пусть есть некоторая аудитория размерами $5m \times 5m \times 2m$.

Есть Voxel Grid этой аудитории точностью 1cm.

Тогда $500 \times 500 \times 200 \times 4 = 0.2 \text{ GB}$

Elevation Map

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

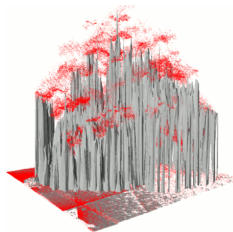


Достоинства

- ▶ 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.



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

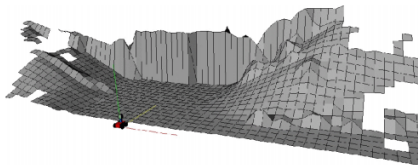
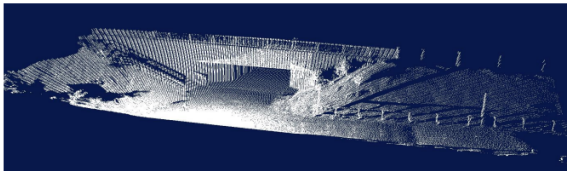
Octree

OctoMap

Обновление и сокращение OctoMap

Примеры OctoMap

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 и
сокращение
OctoMap

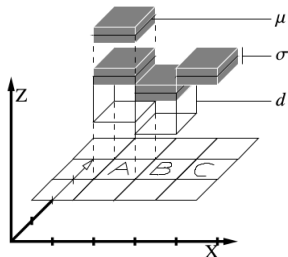
Примеры
OctoMap

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 μ .
- ▶ Дисперсия σ^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 γ , 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 μ и σ присваивается самое высокое значение интервала, а величине d - длина интервала. Остальные точки удаляются.
- ▶ Для горизонтальных интервалов μ и σ вычисляются через фильтр Калмана, а величина $d = 0$. Все остальное удаляется

Обновление состоит из следующих шагов:

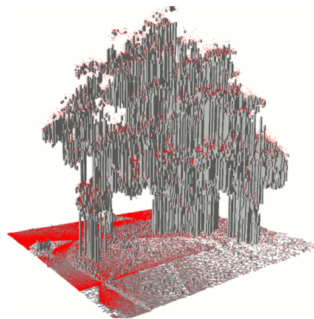
- ▶ При добавлении новой точки $p = (x, y, z, \sigma)$, находим клетку, в которой эта точка лежит.
- ▶ Затем находим ближайшую по высоте точку.
 - ▶ Если оказывается, что новая точка достаточно близка, то происходит процесс обновления μ и σ .
 - ▶ Если она лежит внутри интервала - ничего не делаем
 -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

Достоинства

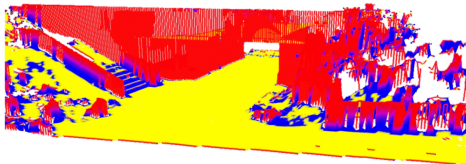
- ▶ В одной клетке может храниться несколько уровней

Недостатки

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



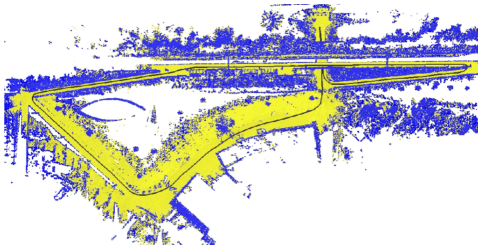
Пример MLS Map



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

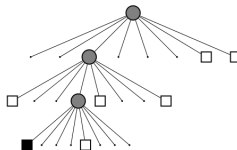
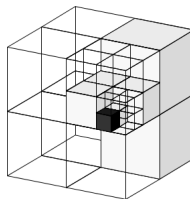
OctoMap

Обновление и сокращение OctoMap

Примеры

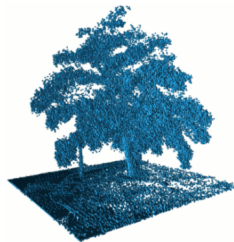
OctoMap

- ▶ 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 и сокращение OctoMap
Примеры OctoMap

$$P(m) = \prod_i P(m_i)$$

Будем считать, что в каждый момент времени t мы знаем положение робота на карте $x_{1:t}$ и наблюдения $z_{1:t}$

$$P(m|z_{1:t}, x_{1:t}) = \prod_i P(m_i|z_{1:t}, x_{1:t})$$

$$\begin{aligned} P(m_i | z_{1:t}, x_{1:t}) &= \frac{P(z_t | m_i, z_{1:t-1}, x_{1:t}) P(m_i | z_{1:t-1}, x_{1:t})}{P(z_t | z_{1:t-1}, x_{1:t})} = \\ &= \frac{P(z_t | m_i, x_t) P(m_i | z_{1:t-1}, x_{1:t-1})}{P(z_t | z_{1:t-1}, x_{1:t})} = \\ &= \frac{P(m_i | z_t, x_t) P(z_t | x_t) P(m_i | z_{1:t-1}, x_{1:t-1})}{P(m_i | x_t) P(z_t | z_{1:t-1}, x_{1:t})} \end{aligned} \quad (1)$$

Проделаем тоже самое для $P(m_i = free|z_{1:t}, x_{1:t}) = P(\tilde{m}_i|z_{1:t}, x_{1:t})$

$$\begin{aligned} P(\tilde{m}_i|z_{1:t}, x_{1:t}) &= \frac{P(z_t|\tilde{m}_i, z_{1:t-1}, x_{1:t})P(\tilde{m}_i|z_{1:t-1}, x_{1:t})}{P(z_t|z_{1:t-1}, x_{1:t})} = \\ &= \frac{P(z_t|\tilde{m}_i, x_t)P(\tilde{m}_i|z_{1:t-1}, x_{1:t-1})}{P(z_t|z_{1:t-1}, x_{1:t})} = \\ &= \frac{P(\tilde{m}_i|z_t, x_t)P(z_t|x_t)P(\tilde{m}_i|z_{1:t-1}, x_{1:t-1})}{P(\tilde{m}_i|x_t)P(z_t|z_{1:t-1}, x_{1:t})} \end{aligned} \quad (2)$$

Поделив (1) на (2) компоненты $P(z_t|z_{1:t-1}, x_{1:t})$ и $P(z_t|x_t)$ сократятся

Не забудем, что $P(m_i) = 1 - P(\bar{m}_i)$

$$\frac{P(m_i|z_{1:t}, x_{1:t})}{1 - P(m_i|z_{1:t}, x_{1:t})} = \frac{P(m_i|z_t, x_t)}{1 - P(m_i|z_t, x_t)} \cdot \frac{P(m_i|z_{1:t-1}, x_{1:t-1})}{1 - P(m_i|z_{1:t-1}, x_{1:t-1})} \quad (3)$$
$$\frac{1 - P(m_i)}{P(m_i)}$$

Для обновления карты используется следующая формула

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

Используя обозначение

$$L(m_i) = \log \frac{P(m_i)}{1 - P(m_i)}$$

Получаем

$$L(m_i|z_{1..t}) = L(m_i|z_t) + L(m_i|z_{1..t-1}) - L(m_i)$$

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

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

Таким образом

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

Когда $L(m^{cell}|z_{1..t})$ достигает нижней или верхней границы значений, клетка будет считаться стабильной.

Если окружение действительно статично, то при некотором выборе верхней и нижней границы, можно добиться того что через несколько измерений клетка станет стабильной.

Поэтому если все листья стабильны и свободны (заняты), то целый узел считается свободным (занятым), а листья удаляются.

Можно динамически менять точность карты

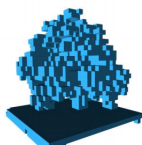
$$L(m^{cell} | z_{1..t}) = \max_i L(m_i^{cell} | z_{1..t})$$

или

$$L(m^{cell} | z_{1..t}) = \frac{1}{8} \sum_i L(m_i^{cell} | z_{1..t})$$



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 и
сокращение
OctoMap

Примеры
OctoMap

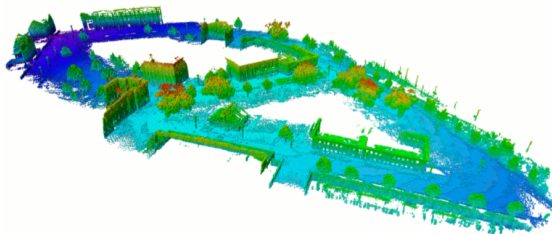
Примеры OctoMap

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



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)*