

Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

ИППИ РАН
МФТИ

58 научная конференция МФТИ, 2015

2D карты и
датчики

2D карта

Датчики

Задача 2D карто-
графирования

Подходы к
решению задачи

Подходы к
решению задачи

Алгоритм с
обратной
моделью сенсора

Алгоритм с
прямой моделью
сенсора

Итеративный
алгоритм с
прямой моделью
сенсора

Прямая модель
сонара

Результаты и
дальнейшие
планы

Датчики

- ▶ Сонары
- ▶ Лидары
- ▶ Стереокамеры

Использование
сонаров для
решения задачи
картографирова-
ния в мобильной
робототехнике

Денис Шепелев

2D карты и
датчики

2D карта

Датчики

Задача 2D карто-
графирования

Подходы к
решению задачи

Подходы к
решению задачи

Алгоритм с
обратной
моделью сенсора
Алгоритм с
прямой моделью
сенсора

Итеративный
алгоритм с
прямой моделью
сенсора

Прямая модель
сонара

Результаты и
дальнейшие
планы

Задача 2D картографирования

Использование
сонаров для
решения задачи
картографирова-
ния в мобильной
робототехнике

Денис Шепелев

Дано:

- ▶ Есть данные датчиков
- ▶ Известно положение робота, в любой момент времени
- ▶ Окружение статично

Цель:

- ▶ Построить карту с учетом вышесказанного

2D карты и
датчики

2D карта
Датчики

**Задача 2D карто-
графирования**

Подходы к
решению задачи

Подходы к
решению задачи
Алгоритм с
обратной
моделью сенсора
Алгоритм с
прямой моделью
сенсора

Итеративный
алгоритм с
прямой моделью
сенсора

Прямая модель
сонара

Результаты и
дальнейшие
планы

Датчики

Использование сонаров для решения задачи картографирова- ния в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карты и датчики

2D карта
Датчики

Задача 2D карто- графирования

Подходы к решению задачи

Подходы к решению задачи

Алгоритм с обратной моделью сенсора

Алгоритм с
прямой моделью
сенсора

Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

Прямая модель сонара

Результаты и дальнейшие планы

- ▶ **Сонары.**
 - ▶ Достаточно точны для широкого круга задач
 - ▶ Относительно дешевые
- ▶ **Лидары**
- ▶ **Стереокамеры**

Подходы к решению задачи

Использование
сонаров для
решения задачи
картографирова-
ния в мобильной
робототехнике

Денис Шепелев

Различают два основных подхода к решению задачи 2D картографирования:

- ▶ с обратной моделью сенсора

$$P(m|z)$$

- ▶ с прямой моделью сенсора

$$P(z|m)$$

2D карты и
датчики

2D карта
Датчики

Задача 2D карто-
графирования

Подходы к
решению задачи

**Подходы к
решению задачи**

Алгоритм с
обратной
моделью сенсора

Алгоритм с
прямой моделью
сенсора

Итеративный
алгоритм с
прямой моделью
сенсора

Прямая модель
сонара

Результаты и
дальнейшие
планы

Алгоритм с обратной моделью сенсора

Использование сонаров для решения задачи картографирова- ния в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

- ▶ Итеративный алгоритм, работает в режиме реального времени
- ▶ Клетки - независимые случайные величины
- ▶ В каждой клетке хранится вероятность того, что она занята
- ▶ Значения в клетках обновляются по формуле

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

2D карты и датчики

2D карта
Датчики

Задача 2D картографирования

Подходы к решению задачи

Подходы к решению задачи

Алгоритм с обратной моделью сенсора

Алгоритм с прямой моделью сенсора

Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

Прямая модель сонара

Результаты и дальнейшие планы

Использование сонаров для решения задачи картографирова- ния в мобильной робототехнике

2D карты и датчики

2D карта

Датчики

Задача 2D картографирования

Подходы к решению задачи

Подходы к решению задачи

Алгоритм с обратной моделью сенсора

Алгоритм с прямой моделью сенсора

Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

Прямая модель сонара

Результаты и дальнейшие планы

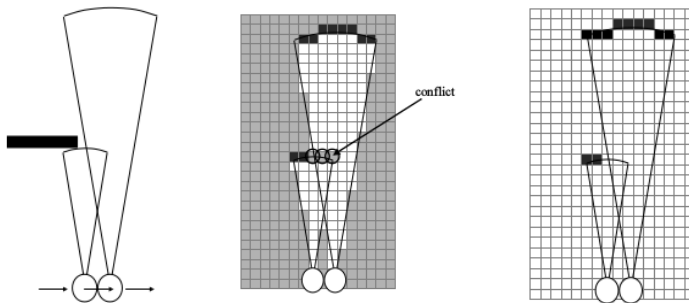
- ▶ Отлично подходит для лидаров
- ▶ Не подходит для работы с сонарами

Алгоритм с обратной моделью сенсора

Использование
сонаров для
решения задачи
картографирова-
ния в мобильной
робототехнике

Денис Шепелев

При получении формулы (1) предполагается, что
 $P(z_t|m_{ij}, z_{1:t-1}) = P(z_t|m_{ij})$ - для сонаров плохое допущение



2D карты и
датчики

2D карта
Датчики

Задача 2D карто-
графирования

Подходы к
решению задачи

Подходы к
решению задачи

**Алгоритм с
обратной
моделью сенсора**

Алгоритм с
прямой моделью
сенсора

Итеративный
алгоритм с
прямой моделью
сенсора

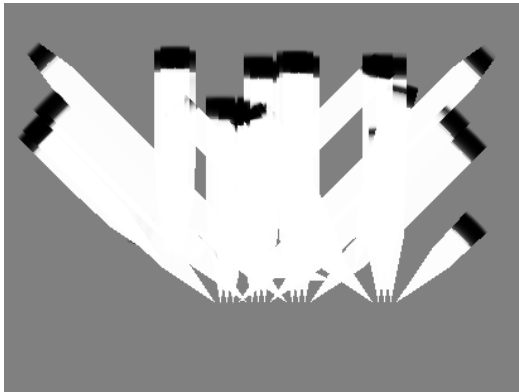
Прямая модель
сонара

Результаты и
дальнейшие
планы

Алгоритм с обратной моделью сенсора

Использование
сонаров для
решения задачи
картографирова-
ния в мобильной
робототехнике

Денис Шепелев



2D карты и
датчики

2D карта

Датчики

Задача 2D карто-
графирования

Подходы к
решению задачи

Подходы к
решению задачи

**Алгоритм с
обратной
моделью сенсора**

Алгоритм с
прямой моделью
сенсора

Итеративный
алгоритм с
прямой моделью
сенсора

Прямая модель
сонара

Результаты и
дальнейшие
планы

Использование сонаров для решения задачи картографирова- ния в мобильной робототехнике

2D карты и датчики

2D карта
Датчики

Задача 2D картографирования

Подходы к решению задачи

Подходы к решению задачи

Алгоритм с обратной моделью сенсора

Алгоритм с прямой моделью сенсора

Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

Прямая модель сонара

Результаты и дальнейшие планы

- ▶ В каждом пикселе хранится либо 1, либо 0.
- ▶ Вместо обратной модели используется прямую модель $P(z|m)$
- ▶ Накопление данных с сонаров
- ▶ Максимизация правдоподобия $P(z|m)$ перебирая карты m
- ▶ Прямая реализация алгоритма не подразумевает работу в режиме реального времени

Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

Использование
сонаров для
решения задачи
картографирова-
ния в мобильной
робототехнике

Денис Шепелев

Пусть есть некоторая карта m и список наблюдений сенсоров z , тогда:

- Реальное окружение таково, что большинство клеток будут свободными, поэтому штрафует все черные клетки на величину $-p_{free}$. Таким образом значение функционала

$$\phi_{free}(m^k) = \sum_{x \in m: x=1} -p_{free}$$

2D карты и
датчики

2D карта
Датчики

Задача 2D карто-
графирования

Подходы к
решению задачи

Подходы к
решению задачи

Алгоритм с
обратной
моделью сенсора

Алгоритм с
прямой моделью
сенсора

**Итеративный
алгоритм с
прямой моделью
сенсора**

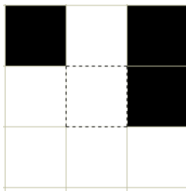
Прямая модель
сонара

Результаты и
дальнейшие
планы

Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

- Также для каждой клетки вводится величина согласованности с соседями. Например, естественно считать что, если большинство соседей заняты, то и рассматриваемая клетка, скорее всего, занята. Поэтому за каждого соседа согласующегося с клеткой прибавляем p_a , иначе вычитаем p_a

Пример:



Клетка белая, тогда $\phi_a(m_{ij}) = 5p_a - 3p_a = 2p_a$

$$\phi_a(m) = \sum_{m_{ij}} \phi_a(m_{ij})$$

Использование
сонаров для
решения задачи
картографирова-
ния в мобильной
робототехнике

Денис Шепелев

2D карты и
датчики

2D карта

Датчики

Задача 2D карто-
графирования

Подходы к
решению задачи

Подходы к
решению задачи

Алгоритм с
обратной
моделью сенсора

Алгоритм с
прямой моделью
сенсора

**Итеративный
алгоритм с
прямой моделью
сенсора**

Прямая модель
сонара

Результаты и
дальнейшие
планы

Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

Использование
сонаров для
решения задачи
картографирова-
ния в мобильной
робототехнике

Денис Шепелев

- ▶ Используя список z данных сонаров, обновляем значение

$$\phi_z(m) = \sum_{s=1}^I \log P(z_s|m)$$

- ▶ Таким образом задача картографирования сводится к максимизации величины

$$\Phi(m, z) = \phi_{free}(m) + \phi_a(m) + \phi_z(m)$$

2D карты и
датчики

2D карта

Датчики

Задача 2D карто-
графирования

Подходы к
решению задачи

Подходы к
решению задачи

Алгоритм с
обратной
моделью сенсора

Алгоритм с
прямой моделью
сенсора

**Итеративный
алгоритм с
прямой моделью
сенсора**

Прямая модель
сонара

Результаты и
дальнейшие
планы

Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

Использование
сонаров для
решения задачи
картографирова-
ния в мобильной
робототехнике

Денис Шепелев

2D карты и
датчики

2D карта

Датчики

Задача 2D карто-
графирования

Подходы к
решению задачи

Подходы к
решению задачи

Алгоритм с
обратной
моделью сенсора

Алгоритм с
прямой моделью
сенсора

**Итеративный
алгоритм с
прямой моделью
сенсора**

Прямая модель
сонара

Результаты и
дальнейшие
планы

- При $k = 0$: считаем значения

$$\phi_{free}(m^0), \phi_a(m^0), \phi_z(m^0)$$

$$\Phi(m^0, z) = \phi_{free}(m^0) + \phi_a(m^0) + \phi_z(m^0)$$

$$m = m^0$$

$$\Phi(m, z) = \Phi(m^0, z)$$

Прямая модель сонара

Использование
сонаров для
решения задачи
картографирова-
ния в мобильной
робототехнике

Денис Шепелев

- ▶ Пусть есть занятая клетка $\{ij\}$
- ▶ $p(z|m_{ij})$ - величина, которая характеризует степень согласования состояния клетки с наблюдением сонара z
- ▶ Например $p(z|m_{ij})$ - гауссово распределение от угла между сонаром и $\{ij\}$, а также расстояния от сонара до $\{ij\}$

2D карты и
датчики

2D карта

Датчики

Задача 2D карто-
графирования

Подходы к
решению задачи

Подходы к
решению задачи

Алгоритм с

обратной

моделью сенсора

Алгоритм с

прямой моделью

сенсора

Итеративный

алгоритм с

прямой моделью

сенсора

Прямая модель

сонара

Результаты и
дальнейшие
планы

- ▶ У сонара есть некоторая область видимости. Ясно, что те клетки, которые не лежат в области видимости датчика, никак не влияют на $p(z|m)$
- ▶ $p(z|m) = p(z|m_{in})$, где $m_{in} = \{m_1, \dots, m_K\}$ - отсортированное по расстоянию до сонара множество клеток в области видимости сонара
- ▶

$$p(z|m_{in}) = \sum_{k=1}^K q(1-q)^k p(z|m_k)$$

q - вероятность того, что измерение z стало результатом отражения звуковой волны от клетки m_k

2D карты и
датчики

2D карта
Датчики

Задача 2D карто-
графирования

Подходы к
решению задачи

Подходы к
решению задачи

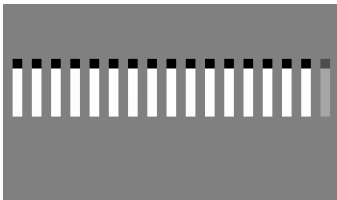
Алгоритм с
обратной
моделью сенсора
Алгоритм с
прямой моделью
сенсора

Итеративный
алгоритм с
прямой моделью
сенсора

**Прямая модель
сонара**

Результаты и
дальнейшие
планы

Результаты



Использование сонаров для решения задачи картографирова- ния в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карты и датчики

2D карта

Датчики

Задача 2D картографирования

Подходы к решению задачи

Подходы к решению задачи

Алгоритм с обратной моделью сенсора

Алгоритм с
прямой моделью
сенсора

Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

Прямая модель сонара

Результаты и дальнейшие планы

Результаты

Использование сонаров для решения задачи картографирова- ния в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карты и датчики

2D карта
Датчики

Задача 2D картографирования

Подходы к решению задачи

Подходы к решению задачи

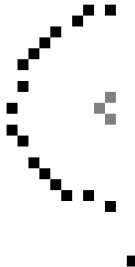
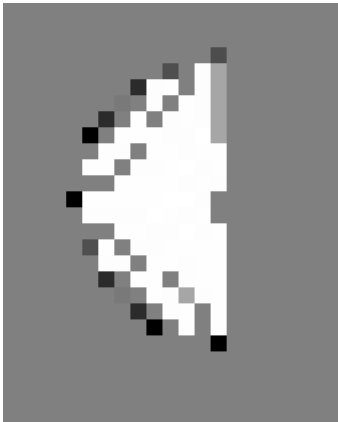
Алгоритм с обратной моделью сенсора

Алгоритм с прямой моделью сенсора

Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

Прямая модель сонара

Результаты и дальнейшие планы



Результаты

Использование
сонаров для
решения задачи
картографирова-
ния в мобильной
робототехнике

Денис Шепелев

2D карты и
датчики

2D карта
Датчики

Задача 2D карто-
графирования

Подходы к
решению задачи

Подходы к
решению задачи

Алгоритм с
обратной
моделью сенсора

Алгоритм с
прямой моделью
сенсора

Итеративный
алгоритм с
прямой моделью
сенсора

Прямая модель
сонара

Результаты и
дальнейшие
планы



Результаты и дальнейшие планы

Использование
сонаров для
решения задачи
картографирова-
ния в мобильной
робототехнике

Денис Шепелев

Результаты

- ▶ Реализован алгоритм с обратной моделью сонара
- ▶ Разработан и реализован алгоритм с прямой моделью, который (пока) использует все накопленные данные сонаров
- ▶ Скрипты для создания искусственных данных для тестирования

2D карты и
датчики

2D карта
Датчики

Задача 2D карто-
графирования

Подходы к
решению задачи

Подходы к
решению задачи

Алгоритм с
обратной
моделью сенсора

Алгоритм с
прямой моделью
сенсора

Итеративный
алгоритм с
прямой моделью
сенсора

Прямая модель
сонара

Прямая модель
сонара

Планы

- ▶ Поиск оптимальных параметров алгоритма с прямой моделью
- ▶ Дальнейшее улучшение прямой модели
- ▶ Сбор и тестирование на реальных/сгенерированных данных
- ▶ Разобраться с проблемой забывчивости карты
- ▶ ...

Результаты и
дальнейшие
планы



Thrun S. [et al.]

Probabilistic robotics.

Cambridge: MIT, 2005. – 672 с.



Thrun S.

Learning Occupancy Grid Maps with Forward Sensor Models.

Autonomous Robots. – 2003. – V. 15, I. 2. – p. 111-127.



A. Elfes

Occupancy Grids: A Stochastic Spatial Representation for Active Robot Perception.

arXiv preprint arXiv:1304.1098. – 2013.