Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

ИППИ РАН МФТИ

58 научная конференция МФТИ, 2015

Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карты и датчики

2D карта Датчики

Задача 2D картографирования

решению задачи

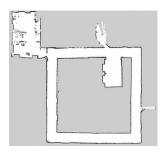
Подходы к решению задачи Алгоритм с обратной моделью сенсора Алгоритм с

прямой моделью сенсора
Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

Прямая модель сонара

2D карта

- Карта обычное изображение
- Каждый пиксель некоторая область пространства
- ▶ Белый пиксель свободная для движения область
- Черный чем-то занятая облать
- ▶ Серый неизвестная область



Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карты и

2D карта

Датчики Задача 2D карто-

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

Датчики

- Сонары
- Лидары
- Стереокамеры

Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

датчики

2D карта

Датчики

Задача 2D карто-

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

Задача 2D картографирования

Дано:

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

Цель:

▶ Построить карту с учетом вышесказанного

Использование сонаров для решения задачи картографирования 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

езультаты и

дальнейшие планы

Датчики

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

Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

датчики

2D карта Датчики

Задача 2D картографирования

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

Подходы к решению задачи

Различают два основных подхода к решению задачи 2D картографирования:

• с обратной моделью сенсора

• с прямой моделью сенсора

Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карты и

2D карта

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

езультаты и

дальнейшие планы



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

$$\frac{P(m_{i}|z_{1:t}, x_{1:t})}{1 - P(m_{i}|z_{1:t}, x_{1:t})} = \frac{P(m_{i}|z_{t}, x_{t})}{1 - P(m_{i}|z_{t}, x_{t})}$$

$$\frac{P(m_{i}|z_{1:t-1}, x_{1:t-1})}{1 - P(m_{i}|z_{1:t-1}, x_{1:t-1})}$$

$$\frac{1 - P(m_{i})}{P(m_{i})}$$
(1)

Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

D карты и

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

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

Использование сонаров для решения задачи картографирования 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

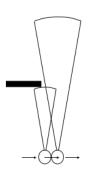
прямой моделью сенсора
Итеративный алгоритм с прямой моделью

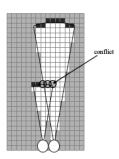
сенсора Прямая модель сонара

езультаты и

дальнейшие планы

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







Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карты и

датчики 2D карта

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





Использование сонаров для решения задачи картографирования 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

моделью сенсора Алгоритм с прямой моделью

сенсора
Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

Прямая модель сонара

Алгоритм с прямой моделью сенсора

картографирования в мобильной робототехнике

Использование сонаров для решения задачи

- Денис Шепелев
- 2D карта
- ▶ Вместо обратной модели использовать прямую модель P(z|m)
- Накопления данных с сонаров
- ightharpoonup Максимизация правдоподобия P(z|m) перебирая карты m

В каждом пикселе хранится либо 1, либо 0.

 Прямая реализация алгоритма не подразумевает работу в режиме реального времени 2D карты и

Датчики Задача 2D карто-

графирования

Подходы к решению задачи

Подходы к решению задачи Алгоритм с обратной

моделью сенсора Алгоритм с

Алгоритм с прямой моделью сенсора

Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

Прямая модель сонара

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

 Реальное окружение таково, что большинство клеток будут свободными, поэтому штрафуем все черные клетки на величину — p_{free} . Таким образом значение функцинала

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

Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карты і

2D карта Датчики Задача 2D карто-

Подходы к

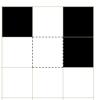
Подходы к решению задачи Алгоритм с обратной

моделью сенсора Алгоритм с прямой моделью сенсора

Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

Прямая модель сонара

▶ 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 $\phi_a(m_{ij}) = 5p_a - 3p_a = 2p_a$

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

Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карты и

датчики 2D карта

Задача 2D карто-

Подходы к решению задачи Подходы к

решению задачи Алгоритм с обратной моделью сенсора Алгоритм с прямой моделью

Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

Прямая модель сонара

Результаты и дальнейшие

сенсора

▶ Используя список z данных сонаров, обновляем значение

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

 Таким образом задача картографирования сводится к максимизации величины

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

Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карты і

2D карта

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

▶ При k = 0: считаем значения

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

Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карты і

2D карта Датчики Задача 2D карто-

графирования

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

- На шаге k получаем карту m^k из m^{k-1} меняя значение случайной клетки ij на противоположное. Затем:
 - 1. Если пиксель стал свободным $\phi_{free}(m^k) = \phi_{free}(m^k) + p_{free}$, иначе $\phi_{free}(m^k) = \phi_{free}(m^k) p_{free}$
 - 2. Для клетки считаем значение величины согласованности $\phi_{a}(m_{ii})$

$$\phi_a(m^k) = \phi_a(m^{k-1}) - (8p_a - 2\phi_a(m_{ij}))$$

3. Используя текущий список из последних I данных сонаров z, обновляем значение функционала

$$\psi_z(m^k) = \sum_{s=1}^l \log P(z_s|m^k)$$

4. Пересчитываем $\Phi(m^k,z)$. Если $\Phi(m^k,z) > \Phi(m,z)$ или рандом:

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

иначе

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

Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карты и

2D карта Датчики Задача 2D карто-

графирования

решению задачи

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

Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

Прямая модель сонара

Прямая модель сонара

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

Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карты и

2D карта Датчики Задача 2D карто-

графирования

решению задачи

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

сенсора
Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

Прямая модель сонара

Прямая модель сонара

- 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 $m_{in} = \{m_1, ..., m_K\}$ отсортированное по расстоянию от сенсора 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_{ij}

Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

D карты и атчики

2D карта Датчики Задача 2D картографирования

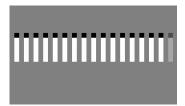
Подходы к решению задачи Подходы к

Алгоритм с обратной моделью сенсора Алгоритм с прямой моделью сенсора Итеративный алгоритм с прямой моделью обративной моделью с

Прямая модель сонара



Результаты





Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карты и датчики

2D карта Датчики Задача 2D карто-

Подходы к решению задачи

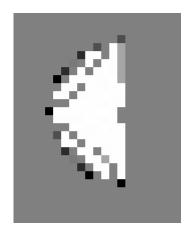
Подходы к решению задачи Алгоритм с обратной моделью сенсора Алгоритм с прямой моделью сенсора Итеративный алгоритм с прямой моделью опрямой моделью опрямой моделью моделью моделью моделью моделью моделью

Прямая модель сонара

Результаты и дальнейшие планы

сенсора

Результаты





Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карты и датчики

2D карта Датчики Задача 2D карто-

Подходы к решению задачи Подходы к

решению задачи Алгоритм с обратной моделью сенсора Алгоритм с прямой моделью сенсора Итеративный алгоритм с прямой моделью

прямой модельк сенсора Прямая модель сонара

Результаты и дальнейшие

планы

Результаты





Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карты і датчики

2D карта Датчики Задача 2D карто-

Подходы к решению задачи

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

алгоритм с прямой моделью сенсора Прямая модель

сонара

Результаты и дальнейшие планы

Результаты и дальнейшие планы

Результаты

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

Планы

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

Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карты и

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

прямой моделью сенсора Прямая модель сонара

алгоритм с

сонара Результаты и

Результаты и дальнейшие планы



Источники І

Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

Источники

🍆 Thrun S. [at al.]

Probabilistic robotics.

Cambridge: MIT, 2005. - 672 c.

Thrun S.

Learning Occupancy Grid Maps with Forward Sensor Models.

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

A. Flfes

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

arXiv preprint arXiv:1304.1098. - 2013.