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 карто-

Подходы к решению задачи

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

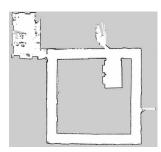
сенсора
Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

Прямая модель сонара

Результаты и дальнейшие работы

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

2D карта

Датчики

Задача 2D карто-

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

сонара

дальнейшие работы

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

подходы к решению задачь

Подходы к решению задачи

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 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

грямая моделі онара

дальнейшие работы



- ▶ 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

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

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

Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карта

Задача 2D карто-

Подходы к Алгоритм с

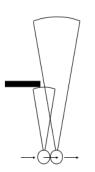
обратной моделью сенсора

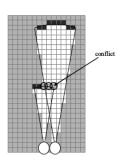
Алгоритм с прямой моделью сенсора Итеративный алгоритм с

прямой моделью сенсора Прямая модель

сонара

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



TODO вставть рисуночек с нашими результатами

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

Алгоритм с обратной моделью сенсора Алгоритм с

прямой моделью сенсора
Итеративный алгоритм с прямой моделью

сенсора Прямая модель сонара

Алгоритм с прямой моделью сенсора

- В каждом пикселе хранится либо 1, либо 0.
- ightharpoonup Вместо обратной модели использовать прямую модель P(z|m)
- Накопления данных с сонаров
- ightharpoonup Максимизация правдоподобия P(z|m) перебирая карты m
- В обычной реализации работает не в режиме реальном времени

Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карты и датчики

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

онара езультаты и

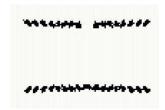
дальнейшие работы



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

ightharpoonup Учитывая, что большинство клеток должны быть свободными, штрафуем все черные клетки на величину $-p_{free}$. Таким образом значение функцинала

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



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

▶ 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

сенсора

Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

Прямая модель сонара

Результаты и дальнейшие работы

▶ 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 и датчики

2D карта Датчики

Задача 2D картографирования

Подходы к решению задачи Подходы к

решению задачи Алгоритм с обратной моделью сенсора Алгоритм с поямой моделью

Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

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

решению задачи
Алгоритм с
обратной
моделью сенсора
Алгоритм с
прямой моделью

Итеративный алгоритм с прямой моделью сенсора

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

Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карты и датчики

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

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

Тодходы 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 и дальнейшие работы

Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

2D карта

Задача 2D карто-

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 работы

Источники І

Использование сонаров для решения задачи картографирования в мобильной робототехнике

Денис Шепелев

Приложение

Источники