

SLAM-АЛГОРИТМ

Солопекина А.А., студент; Семежев Н., студент; Киселёв В.В., доц., к.т.н.

(Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия)

Рассмотрим пошаговую инструкцию по выполнению SLAM-алгоритма.

Шаг 1: Обновление данных, с использованием одометрии

Данный шаг, называется предсказанным шагом, потому что мы обновляем текущее состояние, используя одометрию данных. Т.е. мы используем данные полученные роботом, чтобы вычислить оценку нового положения робота. Для этого мы используем следующее уравнение:

$$\begin{bmatrix} x + \Delta t \cos \theta + q \Delta t \cos \theta \\ y + \Delta t \sin \theta + q \Delta t \sin \theta \\ \theta + \Delta \theta + q \Delta \theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

Это должно быть учтено в первых трех элементах вектор переменных состояния X . К тому же нужно с каждой итерацией обновлять матрицу A и якобиан модели прогнозирования:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -\Delta y \\ 0 & 1 & \Delta x \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Q должно быть обновлено, чтобы отразить условие управления:

$$\begin{bmatrix} c\Delta x^2 & c\Delta x\Delta y & c\Delta x\Delta t \\ cc\Delta y\Delta x & c\Delta y^2 & c\Delta y\Delta t \\ c\Delta t\Delta x & c\Delta t\Delta y & c\Delta t^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

В итоге мы вычисляем новую ковариацию позицию робота. Поскольку ковариация положения робота это верхняя левая часть размером 3 на 3 матрицы P , необходимо обновить

$$P^{rr} = AP^{rr}A + Q \quad (4)$$

Далее необходимо обновить оценку положения робота и ковариацию для этого положения. Это верхняя часть 3 строки ковариационной матрицы:

$$P^{ri} = AP^{ri} \quad (5)$$

Шаг 2: Обновление состояния из повторно наблюдаемых ключевых точек

Оценка, которая была получена из положения робота, недостаточно точная из-за ошибки одометрии робота. Необходимо скомпенсировать эти ошибки. Это делается с использованием ключевых точек. С использованием ключевых точек можно вычислить смещение робота по сравнению с позицией робота. Таким образом, обновим положение робота. Это выполняется в данном шаге. Он выполняется для каждого повторно наблюдаемого ориентира. Ориентиры, которые являются новыми, не рассматриваются до 3 шага. Это делается для того чтобы уменьшить вычислительные затраты, которые

необходимы для этого этапа, поскольку ковариационная матрица P и система X становятся меньше.

Для того чтобы предсказать ориентиры используя текущую предполагаемое положение робота (x, y) и сохраненные ключевые точки воспользуемся формулой:

$$\begin{bmatrix} \text{дальность} \\ \text{азимут} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{(\lambda_x - x)^2 + (\lambda_y - y)^2} - v_r \\ \tan^{-1}\left(\frac{\lambda_y - y}{\lambda_x - x}\right) - \theta + v_\theta \end{bmatrix} \quad (6)$$

Из этого получаем расстояние и азимут ориентиров, h , которое видно при вычислении якобиана H . Это может быть сравнено с расстоянием и азимутом для ориентиров, которые получены из обработки данных, обозначим это за z .

Матрица ошибок R также должна быть изменена, чтобы отразить расстояние и азимут текущих измерений. Хорошее начальное условие для r_s это значение, из диапазона умноженное на 0.01, что означает, что в диапазоне присутствует погрешность 1%. Хорошая ошибка для $bd - 1$, это означает, что существует 1 ошибка степени измерения. Эта ошибка не должна быть пропорциональна величине угла т.к. тогда бы не имело бы смысла.

Теперь можно вычислить коэффициент усиление Калмана:

$$K = P * H^T * (H * P * H^T + V * R * V^T)^{-1}, \quad (7)$$

коэффициент Калмана содержит набор цифр, указывающий сколько из каждых ориентиров и позиций робота должно быть обновлено в соответствии с повторно наблюдаемыми ориентирами. Вычислим новый вектор состояния, используя коэффициент усиления Калмана:

$$X = X + K * (z - h) \quad (8)$$

Эта операция обновляет положение робота вместе со всеми положениями ключевых точек, с заданным условием $(z-h)$ не дающие результата в начальном положении. Заметим, что $(z-h)$ дает результат двух чисел, которые являются смещением дальности и азимута, обозначенное v . Данный процесс повторяется для каждого согласованного ориентира.

Шаг 3: Добавление новых ориентиров в текущее состояние

В данном шаге обновим вектор состояния X и ковариационной матрицы P с новыми ориентирами. Цель заключается в том, чтобы иметь больше ключевых точек, которые могут быть согласованы, так чтобы робот имел больше ориентиров, которые могут быть согласованными. Во-первых, добавим новый ориентир для вектора состояния X

$$X = [X \ x_N \ y_N]^T \quad (9)$$

Кроме того, мы должны добавить новую строку и столбец в матрицу ковариации, как показано на рисунке ниже.

Добавим ковариацию для новой ключевой точке в клетку C , тогда ковариация для следующей ключевой точке:

$$P^{N+1N+1} = J_{xr} P J_{xr}^T + J_z R J_z^T \quad (10)$$

После этого добавим роботу – ковариацию ориентиров для нового ориентира. Данное действие соответствует верхнему левому углу ковариационной матрицы. Это вычисляется следующим образом:

$$P^{rN+1} = P^{rr} J_{xr}^T \quad (11)$$

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| A | | | E | | ... | ... | | |
| | | | | | ... | ... | | |
| | | | | | ... | ... | | |
| D | | | B | | ... | ... | G | |
| | | | | | ... | ... | | |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | | | F | | ... | ... | C | |
| | | | | | ... | ... | | |

Рисунок 1 - Общий вид матрицы P.

Ключевые точки – ковариации робота, транспонированные значения робота – ключевые точки ковариации, соответствуют нижнему правому углу ковариационной матрицы:

$$P^{rN+1} = (P^{rN+1})^T \quad (12)$$

Ключевые точки – ориентиры ковариации нужно добавить в нижнюю строку:

$$P^{N+i} = J_{x^r} (P^i)^T \quad (13)$$

К тому же ключевые точки – ориентиры ковариации, с другой стороны диагональная матрица транспонированных значений:

$$P^{iN+1} = (P^{N+i})^T \quad (14)$$

Это завершающий – последний этап алгоритма SLAM. Робот готов двигаться снова, наблюдать ориентиры, соединять ориентиры, обновлять состояние системы с помощью одометрии, обновлять состояние системы с помощью повторно наблюдаемых ориентиров и наконец добавлять новые ориентиры.

Перечень ссылок

1. Slam for dummies. http://ocw.mit.edu/courses/aeronautics-and-astronautics/16-412j-cognitive-robotics-spring-2005/projects/1aslam_blas_repo.pdf