

МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ В НЕИЗВЕСТНОЙ СРЕДЕ

Снисаренко С. В.

Кафедра систем управления, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: snisarenko@bsuir.by

Представлен обзор и приведена сравнительная характеристика локальных методов планирования траектории и поиска пути в динамически изменяющейся рабочей среде для задачи управления коллаборативным роботом.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из ключевых задач автоматического управления коллаборативным роботом является задача планирования оптимальной траектории. Робот в реальном режиме времени, в реальных условиях рабочей среды должен самостоятельно решать задачу планирования пути без вмешательства человека. Рабочая среда, в которой находится робот, обычно содержит динамические препятствия (человек, наличие других роботов в рабочей области, оборудование и т.д.), движение в ней по предварительно заданной траектории практически невозможно. В случае динамически изменяющейся рабочей среды необходимо онлайн - планирование траектории движения на основе поступающей информации в навигационную систему о динамической модели рабочего пространства.

Актуальный алгоритм планирования траектории, в частности – обхода препятствия, должен сочетать в себе преимущества глобального и локального методов планирования пути. Глобальный метод позволяет планировать глобальный путь на основе глобальной информации об окружающей среде, а локальные методы позволят роботу избегать столкновений с препятствиями, которые не были обнаружены заранее или находятся в движении, так что их текущее положение не может быть установлено заранее. Проанализируем наиболее распространенные и представляющие интерес локальные методы для построения оптимальной траектории в онлайн – режиме для робота.

I. МЕТОДЫ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ

Методы потенциальных полей основаны на физической аналогии с движением заряженной частицы в электростатическом поле. Препятствия сцены генерируют отталкивающие силы, а целевая точка маршрута – значительную притягивающую силу. Направление и скорость движения тела определяются градиентом потенциального поля. Навигационная функция задается суммой притягивающих и отталкивающих потенциалов: $U(C) = U_{att}(C) + U_{rep}(C)$. При продвижении робота к целевой точке C_{goal} функ-

ция притягивающего потенциала U_{att} должна монотонно возрастать, однако ее конкретный вид может существенно варьироваться. Основным недостатком методов потенциальных полей, использующих градиентный спуск, является проблема локальных минимумов. Эта проблема в частности решена в известном методе рандомизированных потенциальных полей (Randomized Potential Fields). [1]

II. МЕТОД BUG3

Из семейства методов Bug представляет интерес следующий алгоритм, учитывающий функцию дистанционного определения препятствий, строящий локальные графы касательных. Алгоритм использует следующие понятия: точка разрыва (препятствие/граница видимости) и интервал непрерывности (определяется двумя точками разрыва). Агент движется в сторону цели по прямой до тех пор, пока не зафиксирует препятствие на пути (прямая будет пересекать интервал непрерывности). После этого агент начинает движение к одной из точек разрыва, для которой эвристическая оценка минимальна (например, к той, сумма расстояний от которой до робота и до цели минимальна). В процессе движения агент получает новые точки разрыва и движется к ним до тех пор, пока эвристическая оценка не перестанет уменьшаться (т.е. не достигнет локального минимума). После этого агент двигается вдоль границы препятствия, сохраняя направление. Покидает границу, когда препятствие больше не мешает проходу к цели. Данный подход позволяет найти более оптимальный путь, чем предыдущие, однако требует более сложной организации системы технического зрения. [2]

III. МЕТОДЫ ГИСТОГРАММЫ ВЕКТОРНОГО ПОЛЯ (VFH)

Метод гистограммы векторного поля (vector field histogram, VFH) лишен недостатков предыдущих методов. В настоящее время он является одним из наиболее популярных для локального планирования, и используется в режиме управления реального времени. Три основных этапа:

1) составление сетки на двумерной декартовой плоскости, описывающей препятствия во круг робота, перестроение сформированной ги стограммы на одномерную полярную.

2) Выбор наиболее подходящего сектора с низкой плотностью препятствий, вычисление угла поворота в этом направлении.

Существуют некоторые улучшенные модификации метода VFH: VFH+ и VFH*. Метод VFH+ учитывает размер робота, динамические ограничения и соответствующее расширение размеров препятствий, увеличивает гладкость спланированной траектории. Метод VFH* считается улучшением VFH и VFH+, учитывает глобальную информацию об окружении, выбирает наилучшее направление движения с совместным использованием глобального алгоритма A*. VFH* подходит для работы с неточной информацией, использует вероятностный подход и считается быстрым и надежным в среде с большим количеством препятствий, однако существуют неразрешимые ситуации при наличии U-образных и симметричных препятствий. [3]

IV. МЕТОДЫ НА ОСНОВЕ СПЛАЙН - ИНТЕРПОЛЯЦИИ

Рассчитываемая в ходе выполнения алгоритмов траектория должна быть гладкой. Для описания степени гладкости кривой используют символ C^m означающий, что функции, представляющие кривую, имеют непрерывные производные до n порядка включительно. Построенный путь должен удовлетворять ограничениям робота. Робот не может изменять скорость или направление движения мгновенно. Также следует учитывать ограничения, вызываемые предельными углами поворота звеньев и скоростью их вращения. Для удовлетворения этих требований траектория движения должна быть гладкой кривой класса C^2 . Если же добавить еще ограничений, например, поставить условие непрерывности графика кривизны траектории, то это будет равносильно критерию гладкости кривой класса C^3 . При сглаживании пути используют следующие подходы: 1. Корректировка опорных точек.

2. Сглаживание ломаных в сочленениях. Траектория манипулятора строится из множества кривых. Ломаные участки траектории корректируются только в окрестностях стыка кривых.

Методы сглаживания ломаных участков траектории:

а) метод кривых Дубинса (англ. – Dubins). Суть метода заключается в замене частей отрезков, прилегающих к углу ломаной, дугой окружности;

б) метод полярных многочленов, сглаживающая траектория, задаваемая многочленом от угла в полярных координатах, используется для

решения проблемы разрывом функции кривизны;

в) кривые Безье, кубические кривые Безье рассчитываются с использованием четырех опорных точек, которые выбираются на звеньях ломаной, кривизна полученной сглаженной траектории будет иметь разрыв. В отличие от использующих кубические кривые, траектории, сглаженные с помощью дважды дифференцируемой кривой Безье (класса C^2), не имеют разрывы в функции кривизны. Для расчета такой кривой используются семь опорных точек;

г) кубический B-сплайн, использование кубического B-сплайна позволяет добиться непрерывного, гладкого изменения кривизны. Для этого необходимо использование не менее пяти опорных точек. Однако число контрольных точек может быть увеличено, что позволит увеличить степени свободы в выборе формы кривой.[4]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод потенциальных полей позволяет построить гладкий путь. Реализация метода относительно проста и ясна. Преимуществом метода является малое время расчета. Поэтому его часто используют при локальном планировании, когда расчеты должны выполняться в режиме реального времени. Но при использовании этого метода робот может попасть в точку локального минимума и, в конечном счете, не достичь цели. Оптимизационные методы имеют преимущество в том, что с помощью них можно учесть самые разные ограничения, например динамические или ограничения на управление. Но с увеличением размерности пространства состояний и области окружающей среды, с увеличением степени детализации модель быстро усложняется, что приводит в результате к замедлению процесса вычисления. Реализовать оптимизационные алгоритмы в режиме реального времени не всегда представляется возможным. Целесообразно использовать гибридные, комбинированные методы глобального и локального онлайн - планирования траектории робота в зависимости от конструкции робота, выполняемых задач и состояния окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаков К.А., Семенов В.А. Обзор современных методов планирования движения. Труды ИСП РАН, 2016 г., стр. 241-294. DOI: 10.15514/ISPRAS2016-28(4)-14
2. Бекасов Д.Е. Применение аппарата нечеткой логики при решении задачи поиска пути в неизвестном окружении. Молодежный научно-технический вестник №05, май 2012, 77-48211/446707
3. Ulrich, I. VFH: Local obstacle avoidance with lookahead verification /I. Ulrich, J. Borenstein. // Proceedings of the IEEE International Conference on 55 Robotics and Automation. – San Francisco, CA, USA: – 2000. – Vol. 3. – С. 2505- 2511.
4. Роджерс, Д. Математические основы машинной графики. / Д. Роджерс, Д. Адамс. – Мир, 2001.