Лопатин Павел Константинович
канд. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный
аэрокосмический университет
им. академика М.Ф. Решетнева»
г. Красноярск, Красноярский край

ОБ АЛГОРИТМЕ ПОИСКА В ГЛУБИНУ В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ В СРЕДЕ С ПРЕПЯТСТВИЯМИ

Аннотация*: в статье рассмотрено применение алгоритма поиска в глубину для управления манипуляционными роботами. Отмечены преимущества и недостатки его применения в различных средах. Указаны пути повышения эффективности алгоритмического обеспечения задачи управления роботами в неизвестной среде.*

Ключевые слова*: алгоритм, препятствия, робот, неизвестная среда.*

При управлении МР типичной является следующая задача: МР должен выдвинуться из стартовой конфигурации q0 и передвинуться в целевую qT в среде с неизвестными статическими препятствиями. МР представляется в пространстве конфигураций как точка. Предполагаем, что функционирование МР будет происходить в пределах области X конфигурационного пространства, определяемой неравенствами:

$$a1 \leq q \leq a2, \tag{1}$$

где a1 и a2 – вектора нижних и верхних ограничений на значения обобщённых координат соответственно, то есть X – гиперпараллелепипед. Конфигурации вне X считаем запрещенными. На X накладываем сетку.

В X могут присутствовать запрещенные конфигурации, обусловленные налеганием МР на препятствия или взаимопересечением звеньев. В условиях неизвестной среды вычислить все запрещенные конфигурации заранее невозможно. Любая конфигурация считается разрешенной до тех пор, пока про нее не станет известно, что она запрещенная.

Конфигурацию qT будем считать разрешённой в случае, если она удовлетворяет сразу двум критериям: 1) она не является запрещённой; 2) в неё можно попасть за конечное число шагов из q0, двигаясь в X по разрешённым состояниям. Считаем, что МР наделен сенсорной системой, способной доставлять информацию только о точках, отстоящих на дискрет от точки q, где q – точка, в которой МР в настоящий момент находится.

Сформулируем следующую Задачу: требуется предложить алгоритм, который за конечное число шагов либо передвинет МР из q0 в qT, либо выдаст обоснованный ответ о том, что qT не является разрешённой.

Для решения Задачи может использоваться алгоритм поиска в глубину (АПГ), суть которого заключается в следующем [1]:

1. Поместить начальную вершину в список Открыт.

2. Если Открыт пуст, то на выход дается сигнал о неудаче поиска, в противном случае перейти к шагу (3).

3. Взять первую вершину из Открыт и перенести ее в список Закрыт. Эту вершину назвать n.

4. Если глубина вершины n равна граничной глубине, то переходить к (2), в противном случае – к (5).

5. Раскрыть вершину n, построив все непосредственно следующие за ней вершины. Поместить их (в произвольном порядке) в начало списка Открыт и построить указатели, идущие от них к вершине n.

6. Если одна из этих вершин целевая, то на выход выдать решение, просматривая для этого соответствующие указатели, в противном случае переходить к шагу (2).

АПГ применим для n-мерного пространства состояний, в нашем случае – для n-звенного МР. Тестирование АПГ на различных примерах показало, что он способен решать Задачу, но теоретического доказательства, гарантирующего решение Задачи с помощью АПГ, в известной нам литературе не приведено.

АПГ будет эффективным для среды без запрещенных состояний: в случае, если известны q0 и qT, нетрудно выбрать перспективное направление (отрезок, соединяющий q0 и qT), в ходе работы АПГ в начало списка Открыт будет все время помещаться вершина, наиболее близкая к перспективному направлению, и таким образом, будет быстро найден путь (последовательность точек, отстоящих друг от друга на дискрет), ведущий из q0 в qT. Но если в конфигурационном пространстве присутствуют запрещенные состояния (для начала рассмотрим случай, когда все они до начала работы АПГ известны), то выбрать перспективное направление становится нетривиальной задачей, раскрытие вершин может привести к тому, что МР зайдет в тупик и потребуется возврат на некоторое количество шагов назад и раскрытие вершин вдоль направлений, изначально казавшихся менее перспективными.

Такие же проблемы возникают при применении АПГ для неизвестной среды, при этом выбор перспективного направления становится еще более трудным делом, а в случае, если МР зайдет в тупик и потребуется возврат на некоторое количество шагов назад, то этот возврат нужно будет осуществлять не в памяти ЭВМ (как в случае с известной средой), а путем механических перемещений МР, что в результате может привести к тому, что общая сумма механических перемещений МР в ходе решения Задачи станет неприемлемо большой.

К тому же сама логика АПГ: «Раскрыть вершину n, построив все непосредственно следующие за ней вершины. Поместить их (в произвольном порядке) в начало списка ОТКРЫТ» слишком жестка, а потому «бедна» для управления МР в неизвестной среде: выбор вершин, которые будут раскрываться (а соответственно, из них формируется путь), должен диктоваться не только логикой алгоритма, но и средой, в которой функционирует МР. В случае же АПГ среда на выбор раскрываемых вершин не влияет, МР не приспосабливается к уже обнаруженным запрещенным состояниям.

В работе «Investigation of a Target Reachability by a Manipulator in an Unknown Environment» предложен наш алгоритм (назовем его АНС – Алгоритм для Неизвестной Среды), решающий задачу за конечное число шагов. Показано, что исполнение АНС сводится к решению конечного числа задач ПИ (Планирования пути в среде с Известными запрещенными состояниями) [2] в точках смены пути qn, n = 0, 1, 2, … с последующим исполнением этого пути.

Таким образом, АПГ в принципе может использоваться в качестве алгоритма для решения задачи ПИ, но он обладает теми недостатками, которые указаны в настоящей статье.

Более эффективным для решения задачи ПИ представляется использование алгоритма двунаправленных графов (АДГ) [3]:

1. Формируется предварительный путь из qn в qT (он может налегать на запрещенные точки). Это можно сделать путем подискретного уменьшения разницы между qn и qT по каждой координате.

2. Запрещенные точки разбиваются на облака. Облака формируются по следующему критерию – в облаке для каждой точки i обязательно найдется точка, отстоящая от i не более, чем на один дискрет (если облако не состоит из одной точки). В то же время любая точка облака A отстоит от любой точки облака B более, чем на один дискрет.

3. Для каждого облака формируется окаймление из свободных точек по следующему принципу. Создаем массив okaiml [], в который будем помещать координаты точек, образующих окаймление. Вначале этот массив пуст. Затем берется точка i облака (i = 1, …, Nobl, где Nobl – число точек в облаке), для нее рассчитываются координаты точек-соседей, отстоящих от i не более, чем на один дискрет. Число таких точек-кандидатов равно 3n-1, где n – размерность конфигурационного пространства МР. Если такого кандидата еще нет в okaiml [], то он помещается в конец okaiml []. Так делаем для каждой точки облака.

4. Формируем результирующий путь из q0 в qT, обходящий по окаймлениям запрещенные точки. Первой в массив результирующего пути вписывается q0, далее – все последующие за ней точки предварительного пути до точки входа в то окаймление, с которым первым пересекся предварительный путь. В rez_put [] записывается эта точка, а затем – все последующие точки окаймления, следующие одна за другой через дискрет к точке выхода из окаймления (другой общей точки

окаймления и предварительного пути). Затем в rez_put [] вновь начинают записываться точки предварительного пути. Если предварительный путь входит в окаймление последующего облака, то формируем результирующий путь, проходящий по окаймлению, по принципу, описанному в данном пункте.

АДГ применим для n-мерного пространства состояний, открывает перспективы к повышению его быстродействия путем разработки эффективных алгоритмов для каждого из его этапов.

Список литературы

1. Нильсон Н. Искусственный интеллект. – М.: Мир, 1973.

2. Lopatin P. Investigation of a Target Reachability by a Manipulator in an Unknown Environment // Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, August 7–10. – Harbin, China. – Pp. 37–42.

3. Лопатин П.К. Алгоритм двунаправленных графов в задаче управления манипуляционными роботами в среде с препятствиями // Робототехника и искусственный интеллект: Материалы V Всерос. науч.-техн. конф. с международным участием (г. Железногорск, 15 ноября 2013 г.) / Под науч. ред. В.А. Углева; Сиб. федер. ун-т; Железногорский филиал СФУ. – Красноярск: Центр информации; ЦНИ «Монография», 2013. – С. 75–77.