

Лопатин Павел Константинович

канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет

науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева»

г. Красноярск, Красноярский край

АЛГОРИТМЫ ДВИЖЕНИЯ РОБОТОВ

Аннотация: в статье рассмотрены алгоритмы управления манипуляционными роботами в среде с неизвестными статическими препятствиями, среди них выделен класс методов *EST* и *RRT*. Отмечены преимущества и недостатки алгоритмов этого класса. Предложен алгоритм, позволяющий за конечное число шагов получить ответ, является ли целевая конфигурация достижимой.

Ключевые слова: робот, манипулятор, планирование пути, препятствия.

При управлении манипуляционными роботами (МР) типичной является следующая Задача: МР, двигаясь из стартовой конфигурации q^0 в среде с неизвестными статическими препятствиями, используя ограниченный объем информации, поставляемой его сенсорной системой (СС), должен за конечное число шагов определить, достижима ли q^T или нет. Будем считать q^T достижимой, если она удовлетворяет обоим условиям: 1) она не запрещенная; 2) в нее можно попасть из q^0 за конечное число шагов, двигаясь только по разрешенным состояниям. Конфигурация q считается разрешенной, если она не налегает на препятствия и удовлетворяет конструктивным ограничениям, то есть в ней не происходит недопустимого пересечения звеньев и она удовлетворяет неравенствам

$$a^1 \leq q \leq a^2, \quad (1)$$

где $a^1=(a_1^1, a_2^1, \dots, a_n^1)$ – вектор нижних ограничений на значения обобщённых координат, $a^2=(a_1^2, a_2^2, \dots, a_n^2)$ – вектор верхних ограничений на значения обобщённых координат, $q=(q^1, q^2, \dots, q^n)$ – вектор обобщённых координат МР. Таким образом, (1) образует гиперпараллелепипед X .

В настоящее время для решения Задачи широко используется подход «sampling-based planning» (планирование, основанное на выборке). Подходы,

основанные на выборке, обычно достигают q^T по мере уменьшения разрешения (являются сходящимися в плане разрешимости), но могут работать бесконечно долго в случае, если q^T является недостижимой. Либо они являются вероятностно сходящимися в том смысле, что вероятность того, что q^T будет достигнута, стремится к единице в случае, если она достижима, если же q^T недостижима, то такие методы будут работать бесконечно [9].

Существует два класса методов, основанных на выборке: методы, основанные на графах или PRM (Probabilistic RoadMap) и методы, основанные на деревьях, такие как EST (Expansive Space Tree) и RRT (Rapidly-exploring Random Trees) [5].

EST и RRT генерируют дерево, исходящее из q^0 и разрастающееся в направлении неисследованных областей конфигурационного пространства. EST начинает с q^0 , затем выбирает конфигурацию q в дереве, из которой будет расти дерево, а затем выбирает случайную конфигурацию q^{rand} из соседей к q . Конфигурация q выбирается случайно с некоторой вероятностью. Затем EST пытается соединить q и q^{rand} . В случае успеха q^{rand} добавляется к вершинам дерева, а (q, q^{rand}) – к ребрам дерева. Процесс повторяется, пока заданное число конфигураций не будет добавлено к дереву [3].

RRT также начинает с q^0 , затем генерирует случайным образом узел q^{rand} , находит в дереве узел q^{near} , ближайший к q^{rand} , а затем от q^{near} происходит продвижение в направлении q^{rand} на шаг Δq . Если расширение прошло успешно, q^{new} добавляется к дереву как узел, а пара q^{near} и q^{new} – как ребро. RRT повторяет этот процесс до тех пор, пока целевая конфигурация не будет присоединена к дереву [3; 5]. Алгоритм RRT-connect представляет собой вариант, который выращивает два дерева одно в направлении другого, одно исходит из стартовой конфигурации, другое – из целевой [8]. Эти два дерева исследуют конфигурационное пространство до тех пор, пока не соединятся. Предлагаются различные варианты RRT [1; 3; 4; 6; 7; 11; 12].

В [5] рассмотрены различные методы производства выборки.

Общий недостаток методов, основанных на выборке, заключается в том, что не предложено методов осуществления выборки узлов и их соединения, гарантирующих решение Задачи за конечное число шагов.

Нами разработан алгоритм, за конечное число шагов решающий Задачу как в непрерывном конфигурационном пространстве [13], так и в дискретизированном [10]. FRBDN – это множество всех известных запрещенных точек, которые МР обнаружил на момент вызова процедуры ПИ(). ПИ() – подпрограмма планирования пути из q^n в q^T , обходящего FRBDN, то есть подпрограмма, за конечное число шагов либо обнаруживающая, что такого пути нет (в этом случае она возвращает 0), либо находящая путь в случае, если хотя бы один такой путь существует (возвращается 1). В качестве алгоритма для ПИ() предлагается использовать либо уже существующий (см., например, [2; 14]) либо специально разработанный. Перед началом работы Алгоритма $n = 0$.

Таблица

Алгоритм	
1	МР находится в q^n . Получить информацию о запрещенных точках из $Y(q^n)$ и пополнить ими множество FRBDN.
2	/*Попытаться спланировать путь $L(q^n, q^T)$ */ if (ПИ($q^n, q^T, \text{FRBDN}, X$)=0) return (q^T недостижима); endif /*В противном случае перейти на Шаг 3 для исполнения пути*/
3	МР начинает исполнять $L(q^n, q^T)$. Может быть два результата исполнения: 1. МР, не встретив запрещенных точек, придет в q^T ; return(q^T достижима). 2. МР придет в точку $q \in L(q^n, q^T)$, следующая за которой $q^* \in L(q^n, q^T)$ является ранее неизвестной запрещенной точкой. В этом случае: $n:=n+1$; $q^n:=q$; go to 1.

Показано [10; 13], что число точек смены пути q^n , $n=0,1,2,\dots$ будет конечным. Таким образом, если в какой-то q^n не удалось спланировать путь, то это происходит вследствие того, что информация о запрещенных точках, собранная в FRBDN, уже такова, что она говорит о том, что путь из q^n в q^T спланирован быть не может, на основании чего q^T обоснованно объявляется недостижимой. Если же и в последней точке q^n путь удалось спланировать, то он будет исполнен, МР не встретит уже ранее неизвестных запрещенных точек (поскольку точка

смены пути была последней), прибудет в q^T и обнаружит, что она – разрешенная и, следовательно, достижимая.

Предварительные условия и доказательство того, что, исполняя Алгоритм, МР решит Задачу за конечное число шагов, см. в [10, 13].

Таким образом, мы предлагаем производить выборку в каждой точке смены пути q^n в виде пути $L(q^n, q^T)$, $n=0,1,2,\dots$, ведущего в цель q^T – ведь есть надежда, что при исполнении этого пути не встретится запрещенных точек и q^T будет достигнута. Путь $L(q^n, q^T)$ представляет собой последовательность разрешенных точек (точек, про которые еще нет информации о том, что они запрещенные).

Список литературы

1. Bialkowski J., Karaman S. and Frazzoli E. Massively parallelizing the RRT and the RRT*. In Proc. IEEE Int. Conf. Intel. Rob. Syst. (IROS), 2011.
2. Canny J. The Complexity of Robot Motion Planning, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1988.
3. Choset H. et al. Principles of robot motion. Theory, algorithms and implementations. A Bradford Book. The MIT Press. 2005.
4. Denny J., Greco E., Thomas S., and Amato N. MARRT: Medial axis biased rapidly-exploring random trees. In Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom. (ICRA), p. 90–97, Hong Kong, China, May 2014.
5. Ekenna C.P. Improved sampling based motion planning through local learning, PhD Thesis, Texas A&M University, USA, 2016.
6. Jacobs S., Stradford N., Rodriguez C., Thomas S., and Amato N. A scalable distributed RRT for motion planning. In Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom. (ICRA), pp. 5088–5095, Karlsruhe, Germany, May 2013.
7. Karaman S., and Frazzoli E. Sampling-based algorithms for optimal motion planning. International Journal of Robotics Research (IJRR), 30:846–894, 2011.
8. Kuffner J. J. and LaValle S. M., RRT-connect: An efficient approach to single query path planning. In Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom. (ICRA), p. 995–1001, 2000.

9. LaValle S.M. «Motion planning: The essentials». IEEE Robotics and Automation Society Magazine, no. 18(1), p. 79–89, 2011.
10. 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, p. 37–42.
11. McMahon T., Thomas S., and Amato N. Reachable volume RRT. In Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom. (ICRA), p. 2977–2984, May 2015.
12. Rodriguez S., Tang X., Lien J.-M., and Amato N. An obstacle-based rapidly-exploring random tree. In Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom. (ICRA), 2006.
13. Лопатин П.К. Алгоритм перемещения манипуляционного робота в среде с неизвестными препятствиями // Вестник СибГАУ. – Вып. 3 (36). – 2011. – С. 53–57.
14. Лопатин П.К. Модифицированный алгоритм полного перебора в задаче управления манипуляционным роботом в неизвестной среде // Вестник УГАТУ (научный журнал Уфимского государственного авиационно-технического университета). – 2014. – Т. 18. – №1 (62). – С. 198–203.