

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ СТОЛКНОВЕНИЙ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО РОБОТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА FABRIK

Гергет О.М., Колпащиков Д.Ю.

*Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет,
Россия, г. Томск, пр-кт Ленина, 30
gerget@tpu.ru, dyk1@tpu.ru*

Аннотация: Непрерывные роботы – манипуляторы с непрерывной изгибающейся структурой. Недавно, для решения задачи обратной кинематики для данных роботов был применен высокоэффективный алгоритм FABRIK. В данной статье предложен метод предотвращения столкновений с препятствиями для непрерывного робота с использованием алгоритма FABRIK.

Ключевые слова: Непрерывные роботы, FABRIK, кинематика, предотвращение столкновений

Введение

Непрерывные роботы – это манипуляторы с непрерывно изгибающейся структурой. По сравнению с традиционными дискретными жесткими роботами, непрерывные роботы представляют собой серию кривых (дуг с постоянной длиной) плавно переходящий друг в друга [1]. Эта особенность позволяет непрерывным роботам изгибаться в любой точке их тела. Благодаря этому они имеют возможность избегать нежелательных столкновений в сложной рабочей области. В промышленности эти роботы применяются для неразрушающего контроля и ремонта газотурбинных двигателей [2], ядерных реакторов [3], в космосе [4] и в качестве манипуляторов для лазерной резки [5]. В медицине они широко используются в качестве эндоскопов и хирургических инструментов для малоинвазивной хирургии [6].

Поскольку непрерывные роботы предназначены для работы в пространстве с множеством препятствий, способность их кинематики избегать нежелательных столкновений имеет решающее значение для планирования движения. Эффективный алгоритм способный рассчитывать передвижение непрерывного робота в пространстве с препятствиями позволит увеличить точность и скорость манипуляций, частично или полностью автоматизировать управление роботом, а также расширит возможности применения непрерывных роботов.

Недавно для решения задачи обратной кинематики для многосекционных непрерывных роботов был применен алгоритм Обратной Кинематики Прямого и Обратного Следования (FABRIK)[7,8]. Изначально FABRIK был разработан для работы только с дискретными жесткими роботами, поэтому упомянутые алгоритмы упрощают каждую дугу секции изгиба до одной (хорды дуги) или двух (касательных к дуге) виртуальных жестких связей. Это позволяет FABRIK решать задачи обратной кинематики для непрерывных роботов. Моделирование показывало, что алгоритмы использующие FABRIK быстрее, чем алгоритмы использующие матрицы Якоби и способны найти решение, когда подход на основе матриц Якоби терпит неудачу. Однако методы предотвращения препятствий для алгоритмов, упомянутых выше, не были сформулированы. Виртуальные звенья, используемые в решениях на основе FABRIK, имеют лишь несколько точек, совпадающих с роботом – начало и конец каждой секции. Это означает, что неясно, как далеко тело робота от препятствий, пока кривые, из которых состоит робот, не восстановлены. Это ограничивает применение алгоритмов работой только в областях без препятствий. В данной статье представлен метод предотвращения столкновений на плоскости для многосекционного непрерывного робота на основе алгоритма FABRIK.

1 Кинематика непрерывного робота

1.1 Подход на основе постоянной кривой

Для описания кинематики непрерывных роботов используется подход на основе постоянной кривой. В данном подходе каждая секция изгиба робота описывается как дуга с постоянной длиной. Это достаточно точно описывает форму одной секции робота. Для описания многосекционного

непрерывного робота используется серия плавно переходящих друг в друга кривых. Задача обратной кинематики для единичной кривой непрерывного робота также решена в данном подходе.

1.2 Алгоритм FABRIK

Алгоритм FABRIK используется для решения задачи обратной кинематики для многосекционного непрерывного робота. В данной работе мы используем метод, представленный в [7]. Алгоритм FABRIK осуществляет поиск набора углов изгиба θ и углов поворота φ такие, чтобы матрица преобразований конечного элемента соответствовала желаемому положению и ориентации в пространстве. Для использования алгоритма FABRIK с непрерывным роботом каждая дуга секции заменяется виртуальным звеном – хордой, которая соединяет начало и конец дуги. Поскольку хорды могут иметь любое взаимное пространственное расположение, можно предположить, что они связаны сферическими соединениями. Длина самой хорды не постоянна и зависит от угла изгиба секции.

Алгоритм находит решение в несколько итераций. Каждая итерация включает в себя этапы прямого следования и обратного следования (Рис 1). Расчет положения звеньев в прямом следовании ведется для цепочки виртуальных звеньев постоянной длины (хорд), соединенных между собой сферическими шарнирами. Алгоритм обходит цепь из конца в начало переопределяя положения узлов. В обратном следовании обход происходит из начала в конец. С помощью обратной кинематики для одной секции на основе постоянной кривой вычисляется угол изгиба θ и углов поворота φ секции. С помощью этих значений через прямую кинематику одной секции положение следующего узла, его пространственная ориентация и переопределяется длина хорды. Положение и ориентация узла используются для расчета следующей секции, что обеспечивает плавность перехода между дугами. После обратного следования проверяется, насколько близко к целевой точке находится последний узел цепи.

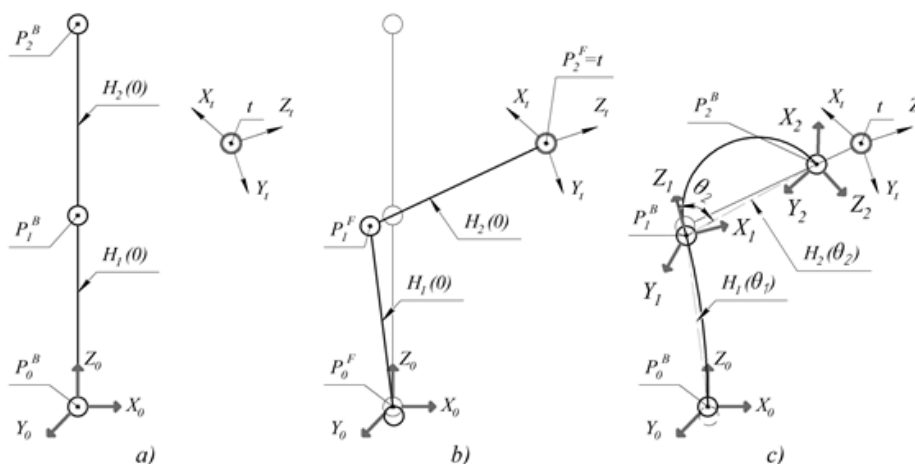


Рис. 1. Пример полной итерации алгоритма FABRIK для двухсекционного непрерывного робота. а) – начальная поза. б) – результат прямого следования. в) – результат обратного следования.

2 Предотвращение столкновений

Для предотвращения столкновений необходимо определить расстояние до препятствия и направление, в котором нужно двигаться, чтобы избежать столкновения. Для этого с помощью прямой кинематики определяется середина дуги секции. Затем через середину дуги и хорду

определяется центр дуги. Используя центр дуги как точку отсчета достаточно просто определить расстояния от препятствия до робота. Также, в зависимости от того по какую сторону от дуги лежит препятствие, можно определить какое действие необходимо совершить чтобы избежать столкновения. Если препятствие находится на расстоянии меньшем, чем радиус дуги, то секция должна разогнуться. Если препятствие находится на расстоянии большем, чем радиус дуги, то секция должна совершить изгиб. Алгоритм предотвращения столкновений является частью обратного следования и совершает поиск столкновений после того как определены положение и ориентация следующего узла.

3 Результаты и заключение

Вышеописанный метод тестировался компьютерным моделированием. В модели трехсекционный непрерывный робот двигался по траектории (13 точек) внутри трубы, избегая касания ее стенок. Результаты моделирования представлены на рис. 2. Результаты показывают, что алгоритм способен рассчитывать движение непрерывного робота на плоскости с учетом препятствий. Время работы алгоритма для расчета всей траектории составило 0,27с. Малое время обработки свидетельствует о том, что способен работать в режиме реального времени, что имеет существенное значение при работе в динамически изменяющейся среде.

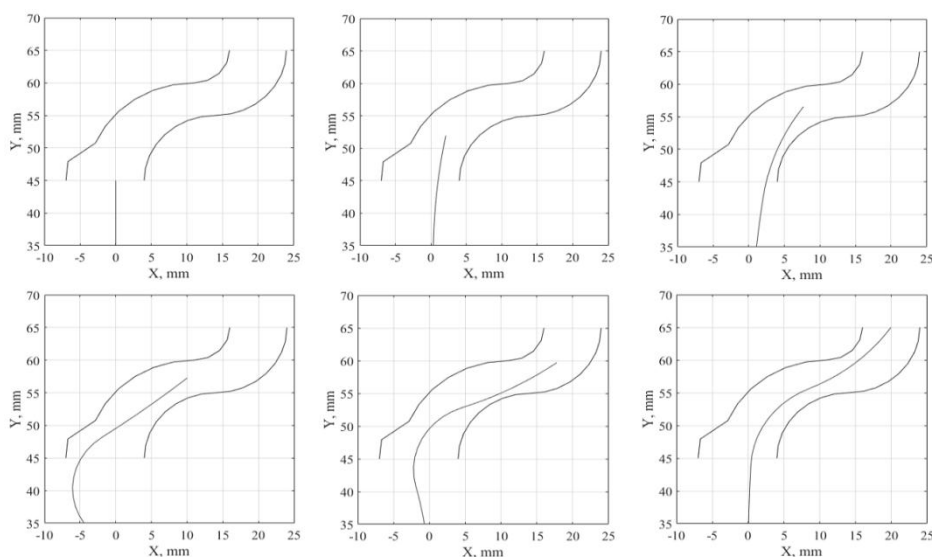


Рис. 2. Результаты моделирования

Литература

1. Walker I.D. Continuous Backbone “Continuum” Robot Manipulators // ISRN Robot. 2013. Vol. 2013. P. 1–19.
2. Dong X. et al. Development of a slender continuum robotic system for on-wing inspection/repair of gas turbine engines // Robot. Comput. Integr. Manuf. 2017. Vol. 44. P. 218–229.
3. Buckingham R., Graham A. Nuclear snake-arm robots // Ind. Robot An Int. J. 2012. Vol. 39, № 1. P. 6–11.
4. Mehling J.S. et al. A minimally invasive tendril robot for in-space inspection // Proc. First IEEE/RAS-EMBS Int. Conf. Biomed. Robot. Biomechatronics, 2006, BioRob 2006. IEEE, 2006. Vol. 2006. P. 690–695.
5. LaserSnake versus Dragon [Electronic resource]. URL: <http://www.ocrobotics.com/news/lasersnake-versus-dragon/> (accessed: 07.07.2019).
6. Burgner-Kahrs J., Rucker D.C., Choset H. Continuum Robots for Medical Applications: A Survey // IEEE Trans. Robot. 2015. Vol. 31, № 6. P. 1261–1280.
7. Kolpashchikov D. et al. FABRIK-Based Inverse Kinematics For Multi-Section Continuum Robots // Proceedings of the 2018 18th International Conference on Mechatronics. 2018.
8. Zhang W. et al. FABRIKc: an Efficient Iterative Inverse Kinematics Solver for Continuum Robots // 2018 IEEE/ASME Int. Conf. Adv. Intell. Mechatronics. IEEE, 2018. P. 346–352.