

УДК 681.5:621.865

Г. Р. ШАХМАМЕТОВА

ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ И ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА В ЗАДАЧЕ ПОИСКА ТРАЕКТОРИЙ МНОГОЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА

В статье рассматривается интеграция технологии экспертных систем в задаче поиска траекторий многозвонного манипулятора на основе генетического алгоритма в пространстве с препятствиями. *Интеллектуальные методы ; экспертная система ; генетический подход ; многозвонный манипулятор ; поиск траекторий*

ВВЕДЕНИЕ

Основной особенностью многозвонных манипуляторов является кинематическая избыточность, которая позволяет повысить гибкость и результативность работы в пространстве с препятствиями, но делает многозвонные манипуляторы сложными для управления объектами как с точки зрения поиска траекторий, так и с точки зрения их реализации [7]. При этом поиск траекторий является важной составной частью комплексной задачи управления многозвонными манипуляторами.

Исследования, посвященные многозвонным манипуляторам и способам поиска траекторий манипуляторов, можно найти в работах отечественных и зарубежных ученых [4, 8, 10–15]. В них получены алгоритмы поиска траекторий для относительно небольшого числа звеньев (около 10). Улучшение же методов решения задачи, расширение условий применимости алгоритмов поиска траекторий создает предпосылки для построения более эффективных систем управления многозвонными манипуляторами.

Основными трудностями, возникающими при разработке алгоритмов поиска оптимальных траекторий многозвонных манипуляторов, являются большое количество звеньев, а также сложность рабочего пространства [2].

Методы, опирающиеся на точный математический расчет дают большой объем вычислений при не всегда возможном решении [2, 10–15]. И здесь возникают возможность и необходимость применения методов искусственного интеллекта, которые дают приемлемые решения при отсутствии сложных вычислений. В статье

рассмотрено применение технологии экспертных систем для поиска траекторий многозвонного манипулятора в пространстве с препятствиями на основе генетического алгоритма, которое позволяет отойти от сложного аналитического описания выходных параметров от входных данных и найти подмножество решений, удовлетворяющих заданным критериям без применения сложных вычислений [5, 6, 9].

1. ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ ПОИСКА ТРАЕКТОРИЙ В ТЕРМИНАХ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

В терминах генетического алгоритма (ГА) задачу можно сформулировать следующим образом [5, 9]: необходимо найти траекторию, которая будет удовлетворять критериям:

- пригодность по достижению цели;
- пригодность по достаточности длины манипулятора;
- пригодность по укладываемости и достаточности звеньев манипулятора;
- пригодность по допустимости углов поворота;
- пригодность по пересечению с препятствиями.

Траектория должна быть найдена за определенное, конечное число шагов.

В качестве основного критерия выступает фиксированное количество звеньев манипулятора, которые необходимо расположить в рабочем пространстве так, чтобы начальное звено исходило из определенной точки пространства («базы»), а конечное звено достигало искомой цели.

В качестве гена выступает узловая точка траектории. Траектория интерпретируется как

хромосома. Начальная популяция генерируется с помощью датчика псевдослучайных чисел построением траекторий, непересекающихся с препятствиями. Для выбора родительской пары используется элитный отбор, заключающийся в том, что берется K особей, у которых значение оценочного критерия (функция пригодности) наилучшее и составляются всевозможные пары. Таким образом, в каждом новом поколении мы можем получить $(K*(K-1)/2)$ новых особей. Скрещивание элитных особей заключается в обмене участками траекторий. Участок траектории для обмена выбирается случайным образом, при этом образуется новая траектория, содержащая обе части, после чего происходит проверка на пригодность новой траектории по всем вышеперечисленным критериям. Скрещивание каждой пары происходит до тех пор, пока не найдется подходящий участок обмена, либо не закончит работу специальный счетчик.

Новые траектории с вероятностью, определенной пользователем, подвергаются мутации. Вероятность мутации, как правило, полагают достаточно низкой. Мутация для траектории заключается в том, что в определенном узле последующее звено поворачивается на некоторый угол и происходит параллельный перенос последующих участков траектории.

Новая траектория будет добавлена в популяцию, если она будет признана лучше, чем самая худшая траектория в популяции. Итерации ГА повторяются до тех пор, пока не истечет заданное число шагов или пользователь не получит удовлетворяющее его решение.

2. ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ В ГЕНЕТИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ

Основные недостатки генетического алгоритма [3] при поиске траекторий многозвенного манипулятора связаны со случайным выбором узловых точек пространства и его следствиями. Во-первых, при генерировании начальной популяции и последующей мутации траекторий происходит случайный, равновероятный выбор узловых точек траектории по всему рабочему пространству вне зависимости от местоположения цели. Таким образом, координаты начальных траекторий зависят только от заданных заранее и общих для всех целей параметров рабочего пространства, а не от местонахождения цели. Во-вторых, вследствие случайного выбора точек траекторий, большинство траекторий начальной

популяции непригодны по условиям, связанным с кинематикой манипулятора:

1) условие укладываемости целого числа звеньев в каждый сегмент траектории (сегмент – участок траектории между двумя узловыми точками);

2) условие ограниченного угла поворота последующего сегмента траектории относительно предыдущего (так как в узловых точках происходит поворот одного звена манипулятора относительно другого);

3) условие ограничения по длине манипулятора, так как манипулятор имеет ограниченное число звеньев.

И, в-третьих, при скрещивании траекторий происходит обмен узловыми точками вне зависимости от расположения траекторий и при случайном начальном выборе узловых точек это приводит к порождению большого числа траекторий, непригодных по кинематическим критериям.

В совокупности данные недостатки ведут к тому, что основное время работы генетического алгоритма занимает отсев непригодных траекторий, в то время как его можно направить именно на естественный отбор (который является основным преимуществом генетического подхода) среди пригодных по кинематическим критериям траекторий.

Исходя из этого, на этапах генерации начальной популяции и скрещивания необходимо использование методов, позволяющих снизить сильное влияние случайного выбора в генетическом алгоритме.

В качестве такого метода применяется технология экспертных систем для обеспечения определенной целенаправленности на этапах формирования начальной популяции и скрещивания траекторий.

2.1. Применение модуля экспертной системы для обеспечения направленного выбора траекторий на этапе формирования начальной популяции

Для реализации базы знаний была выбрана продукционная модель представления знаний, позволяющая представить знания в виде предложений типа «Если <условие>, то <действие>». Под условием понимается некоторое предложение-образец, по которому осуществляется поиск в базе знаний, а под действием – действие, выполняемое при успешном исходе поиска. При использовании продукционной модели база знаний состоит из набора правил [1].

В рассматриваемом методе предлагается заменить механизм случайного выбора узловых точек начальных траекторий более направленным способом, применив экспертную систему для выбора следующей точки и не ограничив при этом возможностей генетического подхода. Экспертная система должна дать рекомендацию о местоположении следующей точки, т.е. сделать **ВЫВОД** о наилучшей следующей точке, руководствуясь **ПРАВИЛАМИ** выбора и входными данными (в частности, расположением предыдущей точки и цели) (рис. 1).



Рис. 1. Фрагмент модуля ЭС в составе разрабатываемого подхода

В базе данных содержится информация о расположении цели, максимально допустимом угле поворота, максимальном числе звеньев.

Для базы знаний разработан набор процедурных правил продукции. В обобщенном виде их можно представить как:

Правило 1. ЕСЛИ угол направления на цель больше максимального угла поворота звена, ТО вероятность выбора угла поворота звена тем выше, чем ближе значение угла направления на цель, ИНАЧЕ вероятность выбора угла поворота звена распределяется обратно пропорционально удаленности от угла направления на цель.

Правило 2. ЕСЛИ число оставшихся звеньев $k > 0$, ТО выбрать число звеньев из k случайно, ИНАЧЕ завершить выбор для данной траектории.

На рис. 2 и 3 показано распределение вероятностей выбора угла поворота звена в зависимости от угла направления на цель. Здесь: $|\alpha|$ – максимальный угол поворота, $|\beta|$ – угол направления на цель.

На рис. 4 представлено дерево решений для выбора угла поворота звена. В процедурах (Proc1-Proc6) приведены субъективные вероят-

ности, полученные на основе опыта эксперта и уточненные в ходе анализа результатов экспериментов.

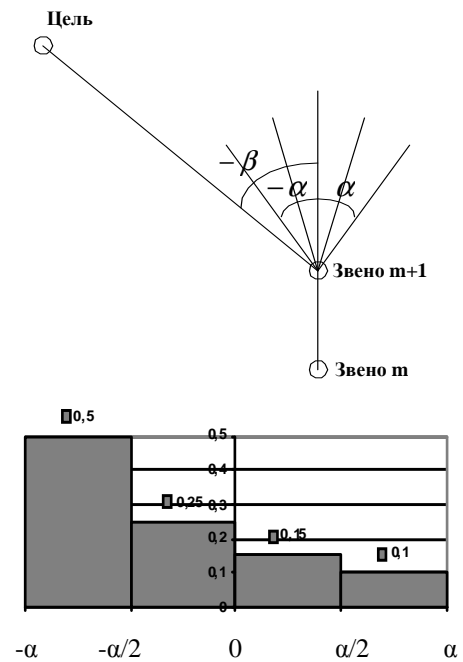


Рис. 2. Угол на цель больше максимального угла поворота звена

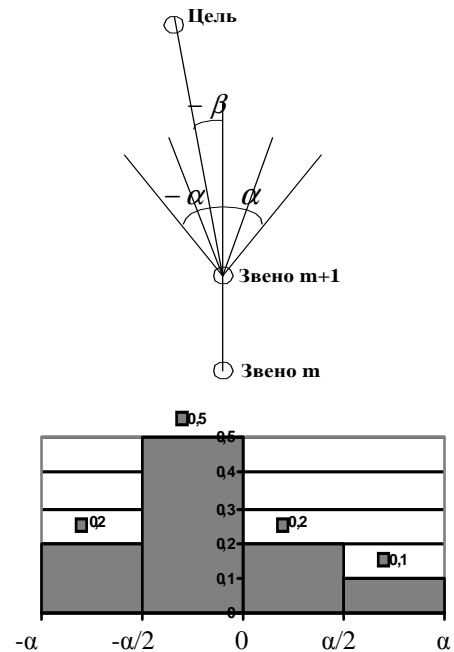


Рис. 3. Угол на цель меньше максимального угла поворота звена

Необходимо отметить, что приведенные вероятности и процедуры могут быть легко изменены, что позволяет провести адаптацию экспертной системы к различным видам рабочего пространства

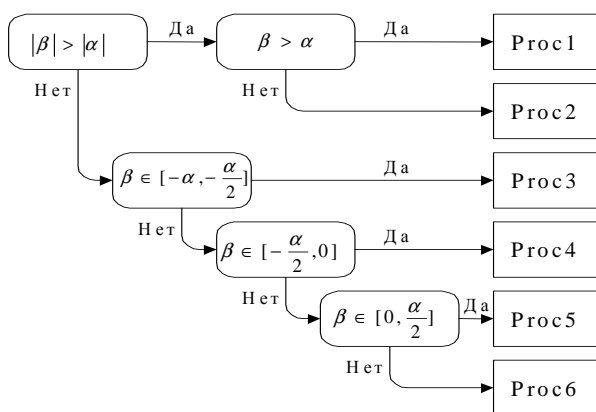


Рис. 4. Дерево решений для выбора угла поворота звена

Использование ЭС с данным набором правил решает следующие задачи:

1) выбор начальных траекторий происходит не хаотично по всему рабочему пространству, а с некоторой вероятностью направленности на цель (рис. 5 и 6), что, в свою очередь, повышает качество работы алгоритма в узких тоннелях, но, в то же время, остаются случайные траектории для предотвращения вырождения;

2) решается проблема проверки большого числа траекторий на укладываемость целого числа звеньев в траекторию, длине манипулятора и ограничениям по углу поворота звена (рис. 6).

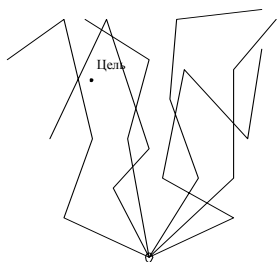


Рис. 5. Генерация начальной популяции в разработанном базовом генетическом подходе

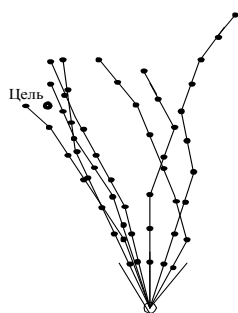


Рис. 6. Генерация начальной популяции с помощью экспертной системы

Правила в экспертной системе можно изменить или добавить новые правила без изменения работы самого алгоритма, что открывает широкие возможности для его оптимизации и адаптации.

2.2. ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СКРЕЩИВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ

В разработанном методе предлагается применить технологию экспертных систем для выбора траекторий при скрещивании, другими словами, для комплексного ранжирования траекторий. На вход экспертной системы подается запрос «Какова вероятность скрещивания данной траектории?», на выходе – информация о вероятности.

Разработанный процедурный набор правил продукции имеет вид:

Правило 1. ЕСЛИ траектория принадлежит к «элите», ТО вероятность ее скрещивания составляет 0,35.

Правило 2. ЕСЛИ траектория удовлетворяет условию по непересечениям с препятствиями И условию по достижению цели, ТО вероятность ее скрещивания составляет 0,25.

Правило 3. ЕСЛИ траектория удовлетворяет условию по ограничению угла поворота И условию укладываемости звеньев, ТО вероятность ее скрещивания составляет 0,2.

Правило 4. ЕСЛИ траектория удовлетворяет условию по достаточности длины манипулятора, ТО вероятность ее скрещивания составляет 0,15.

Правило 5. ЕСЛИ траектория не удовлетворяет никаким из вышеперечисленных правил, ТО вероятность ее скрещивания составляет 0,05.

В правилах приведены субъективные вероятности, полученные на основе опыта эксперта и уточненные в ходе анализа результатов экспериментов.

Следует отметить, что вероятности скрещивания можно легко изменить без нарушения работы алгоритма, так же как изменить или добавить правила.

Основные преимущества, получаемые при применении экспертных систем в генетическом подходе для поиска траекторий заключаются в следующем:

- 1) возрастает вероятность нахождения наилучшей траектории;
- 2) уменьшается время поиска решения за счет первоначального отбора траекторий по

критерию ограничения угла поворота и укладываемости звеньев;

3) улучшается «проходимость» в узких рабочих пространствах типа тоннеля;

4) возможна оперативная замена правил в экспертных системах, что также повышает качество работы алгоритма;

5) возникает возможность адаптации алгоритма к различным видам рабочего пространства и оптимизации его работы в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье рассмотрена возможность применения технологии экспертных систем для расширения возможностей генетического алгоритма в задаче поиска траекторий многозвенного манипулятора в сложном рабочем пространстве с препятствиями. Представлена разработанная база знаний модулей экспертной системы для генерации начальной популяции и скрещивания траекторий. Применение экспертной системы позволяет увеличить вероятность нахождения наилучшей траектории, уменьшить время поиска решения, значительно улучшить «проходимость» в узких тоннелях, адаптировать алгоритм к различным видам рабочего пространства. Работа проводилась в рамках гранта РФФИ 06-08-01180-а «Интеллектуальные методы поиска траекторий многозвенных манипуляторов в сложном рабочем пространстве» (2006-2008).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гаврилова, Т. А.** Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. СПб. : Питер, 2000. 384 с.
2. **Васильев, И. А.** Классификация и аналитическое решение обратной кинематической задачи шестизвенных манипуляторов / И. А. Васильев, А. М. Ляшин // Искусственный интеллект. 2004. № 3 С. 679–683
3. **Осыка, А. В.** Экспериментальное исследование зависимости скорости сходимости генетического алгоритма от его параметров / А. В. Осыка // Теория и системы управления. № 5. 1997. С. 100–112.
4. **Юревич, Е. И.** Основы робототехники / Е. И. Юревич. СПб. : БХВ-Петербург, 2005. 416 с.
5. **Юсупова, Н. И.** Поиск траектории движения многозвенного манипулятора с заданной начальной конфигурацией на основе интеллектуальных методов / Н. И. Юсупова, Г. Р. Шахмаматова, А. Р. Камильянов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 9. С. 13–16.
6. **Юсупова, Н. И.** Модификации генетического алгоритма при поиске траекторий многозвенного манипулятора / Н. И. Юсупова, Г. Р. Шахмаматова,

А. Р. Камильянов // Принятие решений в условиях неопределенности : межвуз. науч. сб. Уфа : УГАТУ, 2005. С. 7–13.

7. **Asokan, T.** Kinematic Design and Analysis of a 7 Degree-of-Freedom Dual-Stage Inspection Manipulator for Dexterous Subsea Applications / T. Asokan, G. Seet, V. Iastrebov // Journal of Intelligent and Robotic Systems. 2004. Vol. 38. P. 277–295.

8. **Bian, G.** An trajectory planning method of manipulator / G. Bian, C. Ye, T. Wang, L. Li // Modul. Mach. Tool and Autom. Manuf. Techn. 2002. № 9. P. 24–26.

9. **Gagne, C.** Genericity in evolutionary computation software tools: principles and case-study / C. Gagne, M. Parizeau // International Journal on Artificial Intelligence Tools. 2006. Vol. 15, № 2. P. 173–174.

10. **Kim, J.** Task reconstruction method for real-time singularity avoidance for robotic manipulators / J. Kim, G. Marani, W. K. Chung // Advanced Robotics, 2006. Vol. 20. P. 463–481.

11. **Li Z., Bui T.** Robot path planning using fluid model / Z. Li, T. Bui // J. Intell. and Rob. Syst. 1998. № 1. P. 29–50.

12. **Lin, C.** A constrained optimization approach for path planning of redundant robot manipulators / C. Lin, C. Chen // JSME Int. Conf. 1998. P. 430–442.

13. **Lin, C.** A collision-free trajectory generation of a manipulator with dynamic constrains under automatic tuning of weighting factors / C. Lin, H. Ozaki // Fucuoca Univ. Rev. Technol. Sci. 1998. № 60. P. 9–15.

14. **Ozaki, H.** A collision-free trajectory generation for a redundant robot manipulator by complex method / H. Ozaki, C. Lin // Fucuoca Univ. Rev. Technol. Sci. 1997. № 59. P. 1–5.

15. **Visioli, A.** Trajectory planning of robot manipulators by using algebraic and trigonometric splines / A. Visioli // Robotica. 2000. 18, № 6. P. 611–631.

ОБ АВТОРЕ



Шахмаматова Гузель Радиковна, доц. каф. вычислит. математики и кибернетики. Дипл. инженер по инф. системам (УАИ, 1987). Канд. техн. наук (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. интеллект. методов поиска траекторий многозвен. манипуляторов, систем искусств. интеллекта.