

УДК 519.6

Метод нечёткого управления трёхступенным манипулятором с планарно-ангулярной кинематической схемой

Меньшов Н.Д., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
кафедра «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»*

Научный руководитель: Тассов К.Л., старший преподаватель

Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

irudakov@bmstu.ru

Введение

В современном мире наблюдается тенденция к автоматизации управления различными объектами, такими как машины, роботы различного назначения, манипуляторы, станки и другие. Увеличение сложности управляемых объектов делает необходимым разрабатывать новые методы управления ими. Для этого необходимо строить модели рассматриваемых процессов, составлять дифференциальные уравнения, описывающие их поведение, и решать их. Построение уравнений динамики требует глубокого понимания процессов, происходящих в объекте управления, и высокой физико-математической квалификации, а построение корректной модели представляет собой трудную проблему, требующую иногда введения различных упрощений. Применение теории нечетких множеств для управления не предполагает знания моделей этих процессов.

В данной работе рассматривается метод нечёткого управления манипулятором, как способ создания манипуляционных роботов с повышенными интеллектуальными возможностями. Для данного метода предлагается использовать критерий достижения целевого состояния манипулятора с коррекцией ошибки на основе нечетких множеств, что позволит более просто задавать этот критерий, нежели в первоначальном варианте. Также он позволит уменьшить количество шагов, необходимых для достижения целевого состояния. В существующих системах коррекция ошибки происходит на основе формальных критериев.

Целью данной работы является разработка метода нечёткого управления манипулятором с новым критерием остановки. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- Определение управляющих сигналов, подаваемых на манипулятор;

- Создание модели нечёткого управления;
- Реализация алгоритмов нечеткого вывода (Ларсена, Мамдани, Суджено)
- Модификация алгоритма управления с коррекцией ошибки на основе нечетких множеств и его реализация.

- Исследование работы алгоритмов в различных ситуациях.

Задачей управления манипулятором является перевод его из текущего состояния в целевое. Манипулятор считается достигнувшем целевого состояния, если выполнены критерии остановки управления. Предполагается, что манипулятор всегда может достигнуть целевого состояния и на его пути нет препятствий. На пространство возможных перемещений манипулятора не накладывается ограничений.

1 Входные и выходные величины

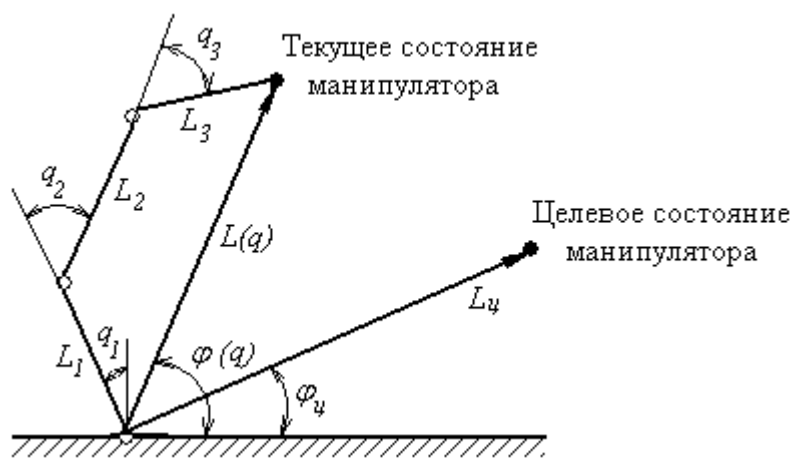


Рис.1. Манипулятор

Положение манипулятора определяется положением его звеньев. При этом относительное положение звеньев определяется вектором обобщённых координат. Вектор состоит из значений приращения углов соответствующих звеньев ($\Delta q_1, \Delta q_2, \Delta q_3$). Это вектор будет служить управляющим сигналом для изменения положения манипулятора.

Входными параметрами, на основе которых будет определяться выходной вектор, являются величины ΔL и $\Delta \varphi$.

$\Delta \varphi$ - рассогласование углов наклона (направлений) векторов текущего и целевого положений манипулятора ($\Delta \varphi_{max} = \pi$);

ΔL - рассогласование величин векторов текущего и целевого положений манипулятора.

$$\Delta L = L(q) - L_{ц} \leq \varepsilon_L, \quad (1)$$

$$\Delta \varphi = \varphi(q) - \varphi_{ц} \leq \varepsilon_{\varphi}, \quad (2)$$

Эти же величины служат критерием остановки управления: управление происходит до тех пор, пока они становятся меньше заранее заданных величин ($\varepsilon_L, \varepsilon_\varphi$).

2 Механизм управления

Алгоритм управления является итерационным, то есть он выполняется до тех пор, пока манипулятор не достигнет целевого состояния. На каждом шаге управления выполняется следующая последовательность действий :

1. Проверка, не находится ли манипулятор уже в целевом состоянии. На этом этапе идёт проверка критериев остановки.
2. Если манипулятор не находится в целевом состоянии, то применяется механизм нечёткого вывода. Происходит фаззификация входных величин (приведение к нечёткости), затем с помощью механизма нечёткого вывода определяются нечёткие значения выходных величин. На последнем этапе происходит дефаззификация выходных величин (приведение к чёткости).
3. На основе выходных величин происходит изменение положения манипулятора.

3 Модификация алгоритма

В классической схеме управления алгоритм выполняется до выполнения следующих критериев остановки - рассогласование 2х величин меньше заданных значений. Однако задание параметров $\varepsilon_L, \varepsilon_\varphi$ предполагает хорошее знание деталей работы алгоритмов нечёткого вывода, размеров манипулятора и положения цели. Необходимо точно задать нечёткие множества, чтобы алгоритм нечёткого вывода мог позволить достичь заданной точности. Также алгоритмы Mamdani, Tsukamoto и Larsen дают разную точность выходных переменных. Чтобы избежать этих проблем рассматривается модифицированный алгоритм управления с коррекцией ошибки на основе нечетких множеств.

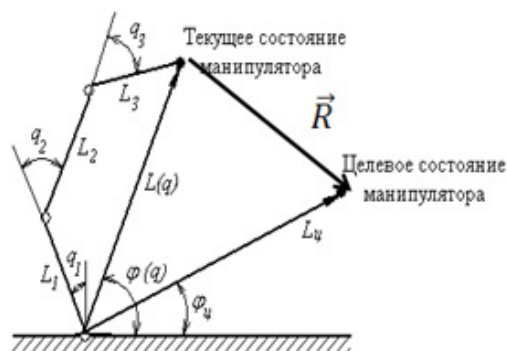


Рис. 2. Ошибка состояния

$\vec{R}$ - рассогласование (ошибка) положения конца манипулятора в текущий момент времени и положения цели. Для этой величины вводится лингвистическая переменная, которая определяется по следующему принципу: проекции самых левых точек на ось x функций принадлежности для всех термов должны совпадать;

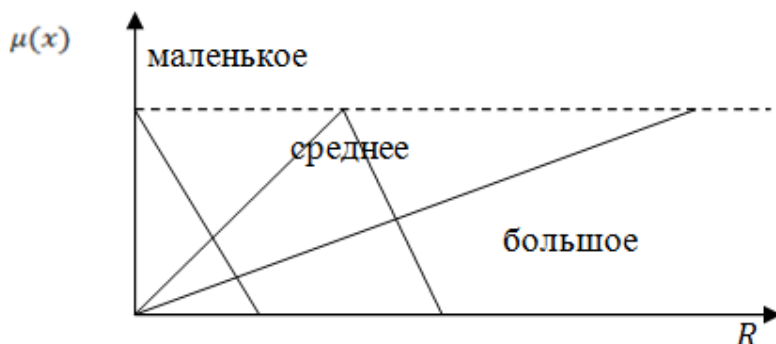


Рис. 3. Функция ошибки

Используя подобную переменную, всегда можно определить для любого значения x степени истинности для каждого из термов и их количество. Для конкретного значения лингвистической переменной $\vec{R}$ определяется количество термов. Если всего 1 терм, то изменение шага манипулятора умножается на 1.5, если 2 - на 1.2. Это позволяет увеличить скорость манипулятора, когда он находится "далеко" от целевого положения.

Остановка алгоритма происходит, когда количество термов равно максимальному количеству термов переменной $\vec{R}$.

Исследование

Целью работы является нечёткое управление манипулятором, а именно определение управляющих сигналов, которые приведут манипулятор из заданного положения в целевое. Характеристиками достижения целевого состояния могут служить как скорость достижения - количество шагов, за которое будет достигнуто нужное состояние с заданной точностью, так и время колебания манипулятора возле целевого положения - состояние, когда манипулятор приблизился к целевому состоянию, но не может его достичь, так как "перескакивает" нужное состояние.

Эти характеристики зависят от следующих параметров:

1. Алгоритма логического вывода;
2. Модели манипулятор - количества звеньев;
3. Модели манипулятор - размера звеньев;
4. Количества термов в каждой лингвистической переменной;

5. Функций принадлежности каждого терма;

Так как была предложена модификация алгоритма, то также необходимо проверить её состоятельность.

6. Наличие модификации.

В качестве исходных данных была создана выборка из 1000 случайных целевых точек. Поскольку для каждого положения целевой точки потребуется разное количество шагов, то результат сравнения алгоритмов на выборке приводится в процентном соотношении по отношению к сумме средних значений.

Количество шагов в зависимости от модели

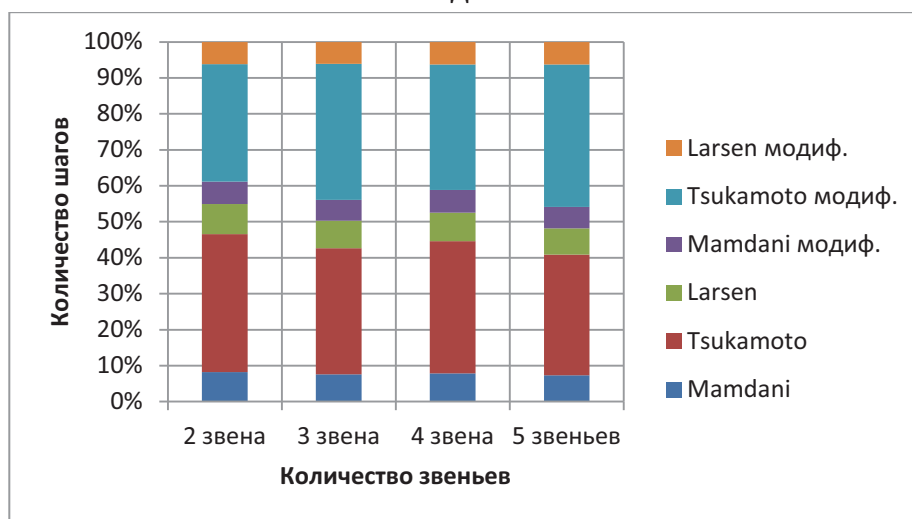


Рис. 4. Количество шагов в зависимости от количества звеньев

Как видно из рисунка 4 при увеличении количества звеньев количество шагов, необходимых для достижения целевого состояния, уменьшается, потому что происходит перемещение большего числа звеньев и, как следствие, суммарное перемещение больше.

Количество шагов в зависимости от количества термов

Рассмотрим алгоритмы для одного терма, двух термов и трёх термов.

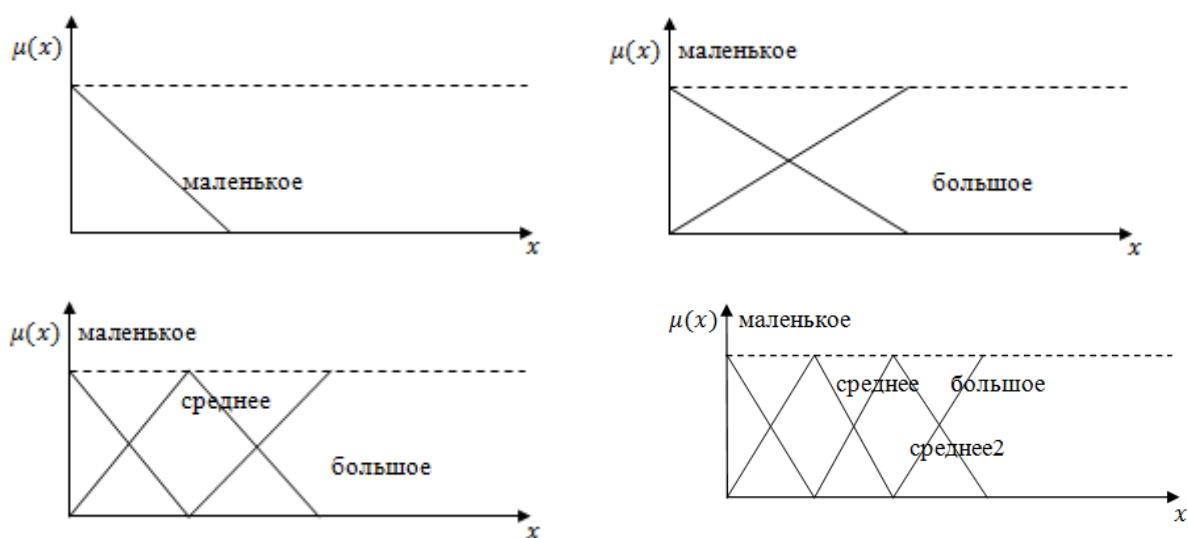


Рис. 5. Виды термов

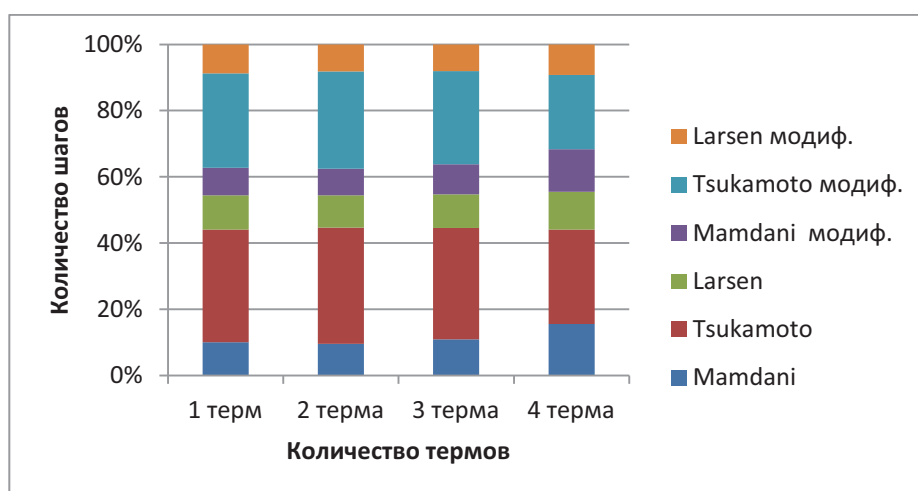


Рис. 6. Количество шагов от количества термов

Как видно из рисунка 6 алгоритм Tsukamoto почти не зависит от количества термов. Это обусловлено алгоритмом логического вывода. В алгоритме Tsukamoto берётся проекция на ось x , а функции принадлежности в опыте были симметричны.

При увеличении количества термов алгоритм Larsen начинает работать быстрее, чем Mamdani. Видно, что для алгоритмов Mamdani и Larsen оптимально 2 терма, а для Tsukamoto - 4.

Количество шагов и максимальная точность в зависимости от функций принадлежности выходных параметров

Для выходных параметров будем использовать функции принадлежности, представленные на рисунке 7.



График 1

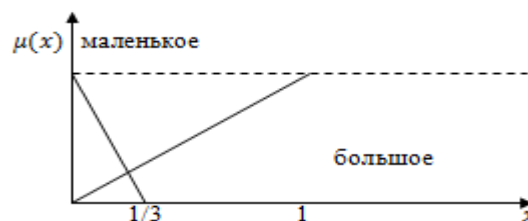


График 3

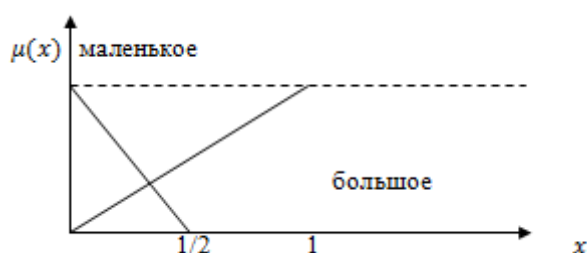


График 2

Рис. 7. Используемые термы

Для выходных параметров использовались эти же функции принадлежности. Исследование показало, что при смещении терма "маленькое" к 0, у алгоритмов увеличивается количество шагов, необходимых для достижения цели. Однако, изменение функций принадлежности выходных параметров сильно влияет и на предельно возможную точность. Для классических алгоритмов Mamdani и Larsen оптимальной оказалась функция принадлежности, представленная на Графике 2. Для алгоритмов Tsukamoto - на Графике 1, а для модифицированных алгоритмов Mamdani и Larsen - на Графике 3. Так же оказалось, что критерии точности для алгоритмов (модифицированных и не модифицированных) практически совпадают.

Количество шагов и максимальная точность в зависимости от функций принадлежности входных и выходных параметров

Для входных и выходных параметров будем использовать одинаковые функции принадлежности, представленные на рисунке 7.

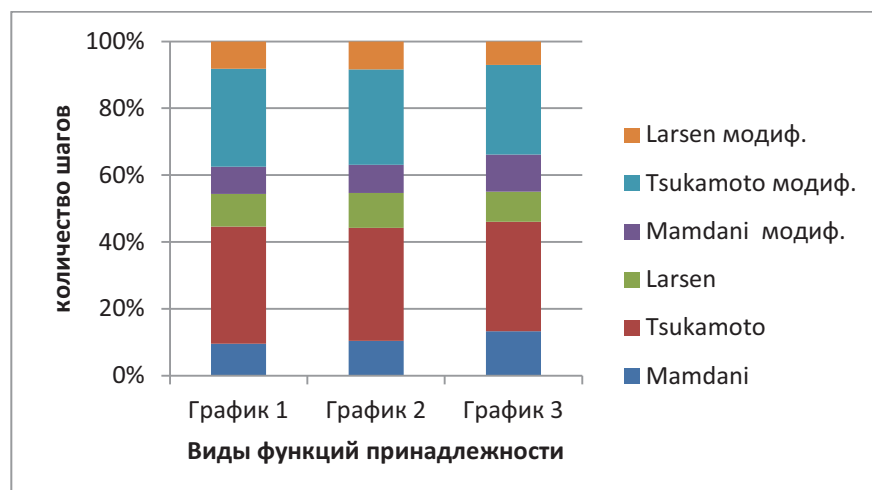


Рис. 8. Количество шагов от функций принадлежности

Как видно из рисунка 8 при изменении функций принадлежности входных и выходных термов скорость алгоритмов Mamdani падает, предельная точность у классического алгоритма - падает, у модифицированного - немного растёт. Изменение функций принадлежности не повлияло на точность и скорость алгоритмов Tsukamoto, но улучшило точность алгоритмов Larsen и не изменило скорость их работы.

Количество шагов и максимальная точность в зависимости от функций принадлежности выходных параметров

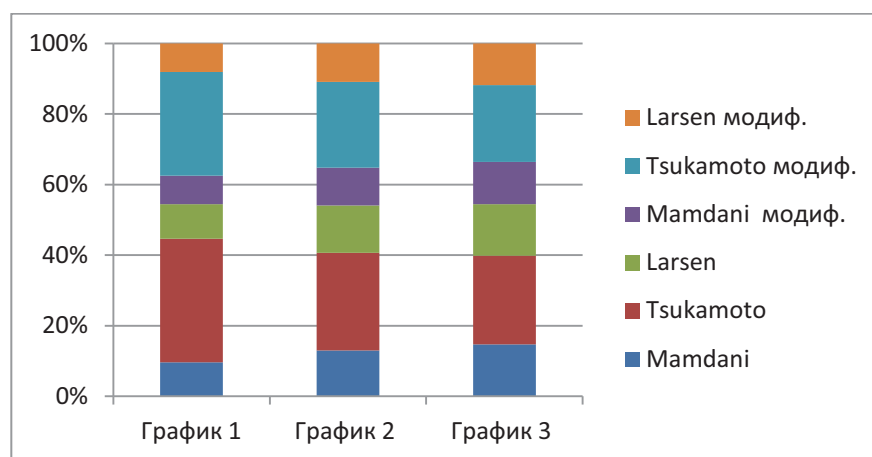


Рис. 9. Количество шагов от функций принадлежности

Изменение функций принадлежности только входных параметров приводит к уменьшению количества шагов для всех алгоритмов. Для алгоритма Tsukamoto уменьшение самое большое, по сравнению с остальными исследованиями. Однако,

предельная точность сильно падает для алгоритмов Mamdani и Larsen, а для алгоритма Tsukamoto точность повышается.

Результаты

Проанализировав результаты всех экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. При увеличении количества звеньев количество шагов, необходимых для достижения целевого состояния, уменьшается.
2. При увеличении точности количество шагов, необходимых для достижения целевого состояния увеличивается.
3. Алгоритм Tsukamoto является самым "медленным алгоритмом", но даёт самую большую точность.
4. Оптимальное число термов для вывода - 2. Увеличение их числа не приводит к улучшению результата.
5. Модификация для алгоритмов не приводит к ухудшению точности.
6. Модификация для алгоритмов даёт стабильное уменьшение количества шагов.
7. Алгоритмы Mamdani и Larsen дают примерно одну точность и скорость, однако при увеличении числа термов и изменении входных и выходных параметров алгоритм Larsen даёт лучшие результаты.

Заключение

Проведённые исследования показали, что модификация не приводит к ухудшению точности ни в одном из выбранных алгоритмов, но даёт стабильный прирост к скорости достижения целевого состояния манипулятором, что говорит о состоятельности данной модификации. Модифицированный алгоритм можно применять вместо классического, так как всегда можно вычистить новый критерий, на основе старых. В качестве дальнейшего исследования предполагается проверить модификацию на основе алгоритма Суджено, рассмотреть нейронечёткие модели. Так же предполагается рассмотреть случаи, когда во внешней среде присутствуют препятствия.

Список литературы

1. Интеллектуальные роботы: пособие для вузов / под общей ред. Е.И. Юревича / И.А. Каляев, В.М. Лохин, И.М. Макаров и др. - М.: Машиностроение, 2008.-360 с.: ил. - ISBN 5-217-03339-8.

2. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / В.М. Лохин, И.М. Макаров, С.В. Манько, М.П. Романов ; [отв. ред. И.М. Макарова] ; Отделение информ. технологий и вычислит. систем РАН. - М.: Наука, 2006. - 33 с. -ISBN 5-02-003782-X (в пер.).
3. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов; М.: Физматлит, 2001. – 224 с.
4. Intelligent robots: manual for schools / under the general editorship. Jurevicha / Kalyaev Lokhin, Makarov, etc. - М.: Mashinostorenie, 2008.-360 p.: Ill. - ISBN 5-217-03339-8.
5. Artificial Intelligence and Intelligent Control Systems / Lokhin, Makarov, Manko, Novels, Department Inform. technology and calculate. RAS systems. - Moscow: Sience, 2006. - 33. 5-ISBN-02-003782-X.
6. The fuzzy logic and artificial neural networks / V. Kruglov, Dli, Golunov; Fizmatlit, Moscow, 2001. - 224.