

НЕЧЕТКОЕ УПРАВЛЕНИЕ МАНИПУЛЯЦИОННЫМИ РОБОТАМИ

Н.В. Плотникова

Теория нечетких множеств дает схему решения проблем, в которых субъективное суждение или оценка играют центральную и значительную роль при учете факторов неясности или неопределенности.

Использование методов нечеткой логики обеспечивает возможность формализации качественного описания как используемой совокупности

входных и выходных переменных, так и их взаимосвязей. Этот подход позволяет формировать и исследовать нечеткие модели сложных объектов и процессов различного назначения и характера.

Разработка средств и методов нечеткого управления многосвязными механическими системами представляет не только чисто теоретический, но и практический интерес в целях создания нового поколения манипуляционных роботов с развитыми интеллектуальными возможностями.

Задача управления движением пространственных манипуляционных роботов сводится к целенаправленному изменению текущей конфигурации кинематической цепи. Использование такого подхода предполагает формирование специализированных моделей, устанавливающих взаимосвязь между пространственным состоянием манипулятора и относительными положениями его звеньев. При этом относительные положения звеньев манипулятора характеризуются вектором обобщенных координат (или их приращений), выступающих в роли управляющих параметров. В свою очередь пространственное состояние манипулятора задается в декартовой, сферической или полярной системах координат, выбираемых исходя из специфики решаемой прикладной задачи. В последнем случае значения полярных координат будут определять величину и наклон соответствующего вектора положения кинематической цепи, а контролируемые рассогласования этих параметров для текущего и целевого состояний манипулятора – служить конструктивной основой при формировании соответствующего критерия управления:

$$\Delta L = L(q) - L_{ц} \leq \varepsilon_L, \quad \Delta \varphi = \varphi(q) - \varphi_{ц} \leq \varepsilon_{\varphi};$$

$$\Delta L = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix}, \quad \varepsilon_{\varphi} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{bmatrix},$$

где $q = (q_1, q_2, q_3)$ – вектор обобщенных координат; $L(q)$, $L_{ц}$ – величины векторов текущего и целевого положений манипулятора; ε_L – заданная точность минимизации рассогласования величин векторов текущего и целевого положений манипулятора; ΔL – рассогласование величин векторов текущего и целевого положений манипулятора, максимальное значение которого определяется как $\Delta L_{\max} = L_1 + L_2 + L_3$ (здесь L_1, L_2, L_3 – длины звеньев манипулятора); $\varphi(q)$, $\varphi_{ц}$ – углы наклона векторов текущего и целевого положений манипулятора; $\Delta \varphi$ – рассогласование углов наклона (направлений) векторов текущего и целевого положений манипулятора, $\Delta \varphi_{\max} = \pi$; ε_{φ} – заданная точность минимизации рассогласования направлений векторов текущего и целевого положений манипулятора; Δx – приращение координаты x ; Δy – приращение координаты y ; Δz – приращение координаты z ; ΔR – приращение вектора текущего положения манипулятора.

Система подобных представлений позволяет обеспечить максимальную наглядность в описании движений манипулятора на уровне изменений контролируемых параметров его текущего состояния под влиянием управляющих воздействий.

Постановка задачи управления движением манипулятора может быть сведена к минимизации рассогласований величин и направлений векторов его текущего и целевого положений путем независимого изменения отдельных обобщенных координат кинематической цепи.

Рассмотрим синтез модели нечеткого управления целенаправленным движением трехстепенного манипулятора, выбрав за основу один из наиболее распространенных способов организации механизма вывода логических заключений с отысканием «центра тяжести» композиции «МАХ-MIN».

Логико-лингвистическое описание такой модели должно отражать качественную постановку рассматриваемой задачи, формулируемую в виде набора продукционных правил. Запись отдельных правил, которые устанавливают взаимосвязь между основными содержательными понятиями, используемыми для описания модели, осуществляется с помощью соответствующих лингвистических переменных:

<РАССОГЛАСОВАНИЕ ВЕЛИЧИН ТЕКУЩЕГО И ЦЕЛЕВОГО
ВЕКТОРОВ ПОЛОЖЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА> (ΔL);

<РАССОГЛАСОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ТЕКУЩЕГО И ЦЕЛЕВОГО
ВЕКТОРОВ ПОЛОЖЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА> ($\Delta \varphi$);

<ПРИРАЩЕНИЕ ПЕРВОЙ ОБОБЩЕННОЙ КООРДИНАТЫ> (Δq_1);

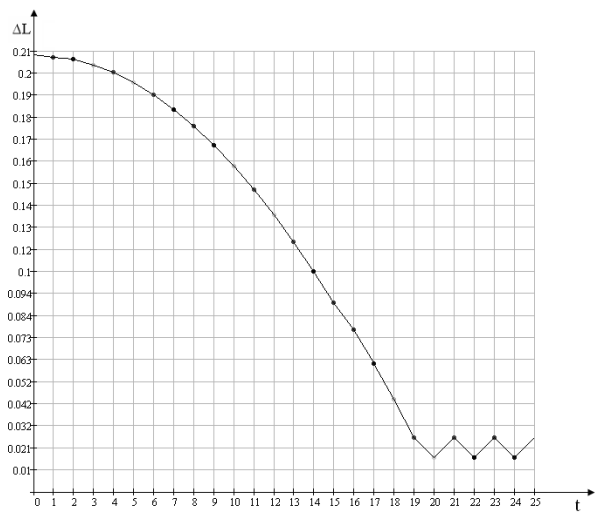
<ПРИРАЩЕНИЕ ВТОРОЙ ОБОБЩЕННОЙ КООРДИНАТЫ> (Δq_2);

<ПРИРАЩЕНИЕ ТРЕТЬЕЙ ОБОБЩЕННОЙ КООРДИНАТЫ> (Δq_3);

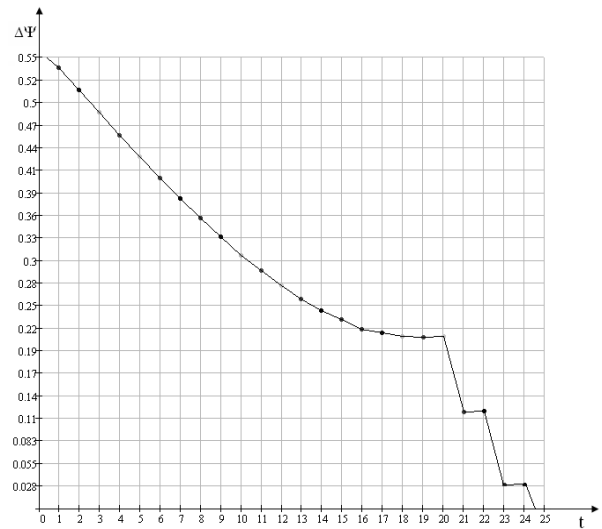
<ПРИРАЩЕНИЕ ВЕКТОРА ТЕКУЩЕГО ПОЛОЖЕНИЯ
МАНИПУЛЯТОРА> (ΔR).

Исходный состав базового терм-множества, объединяющего возможные значения выбранных лингвистических переменных, должен обеспечивать смысловую ясность и полноту создаваемой системы правил. С точностью до характеристик модальности этому требованию в полной мере отвечает следующая совокупность четырех качественных категорий: {«Нулевое» (Н), «Малое» (М), «Среднее» (С), «Большое» (Б)}. При этом модальность той или иной категории для каждого понятия может быть специфицирована с помощью дополнительных лингвистических оценок таких, как «Положительное» (П) и «Отрицательное» (О).

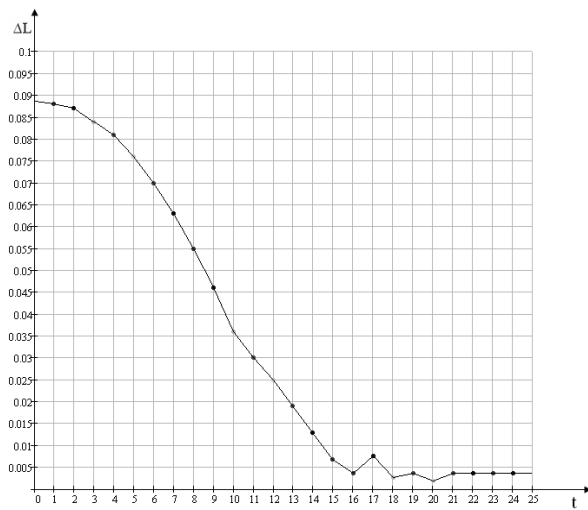
Простейшая модель нечеткого управления манипулятором строится в виде совокупности трех независимых односвязных контуров, каждый из которых контролирует изменение одной из обобщенных координат. Ее конструктивно-идеологическая основа базируется на естественном предположении о необходимости пропорционального уменьшения приращений обобщенных координат отдельных звеньев по мере приближения текущего положения кинематической цепи к ее заданному пространственному состоянию.



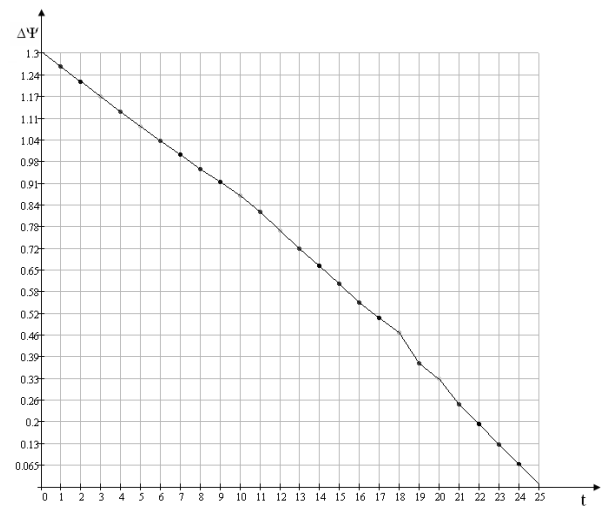
а)



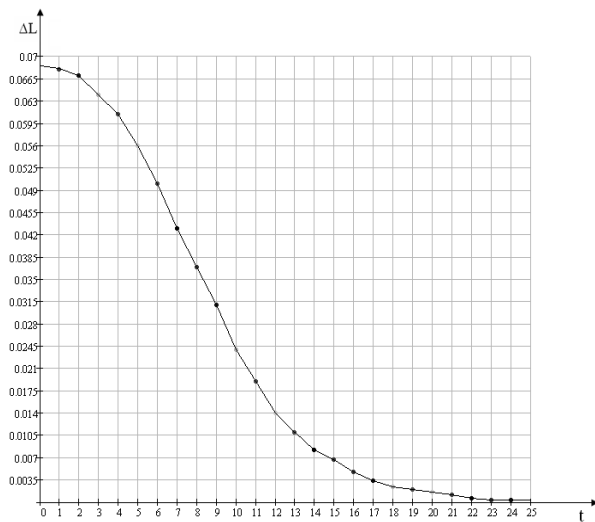
б)



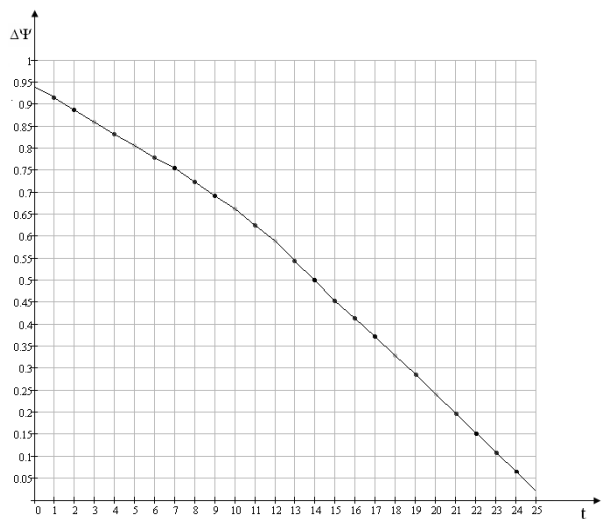
в)



г)



д)



е)

Рис. 1. Графики рассогласования величин ΔL и направлений $\Delta\varphi$

В самом элементарном случае логико-лингвистическое описание взаимосвязи входных и выходных параметров модели может формироваться с использованием единственной качественной категории «Нулевое» и указанием её модальности «Положительное» и «Отрицательное». Построенная модель нечеткого управления манипулятором принципиально не может обеспечить хорошего качества функционирования в силу специфики преобразований, задающих жесткие ограничения на диапазон изменения выходного параметра.

Компенсация недостатков упрощенной модели нечеткого управления манипулятором предполагает развитие ее логико-лингвистического описания с использованием парных терм за счет конкретизации качественных взаимосвязей входных и выходных параметров с помощью дополнительной лингвистической качественной категории «Большое».

Дальнейшее наращивание системы правил связано с увеличением числа лингвистических категорий для более подробного описания взаимосвязей параметров синтезируемой модели. Так, достаточно показательным примером может служить расширенное описание модели нечеткого управления манипулятором, построенное на основе использования четырех лингвистических категорий: «Нулевое», «Малое», «Среднее», «Большое».

Были проведены расчеты для трехстепенного планарно-ангулярного манипулятора для описанных трех случаев. Графики рассогласования величин ΔL и направлений $\Delta\varphi$ текущего и целевого векторов положений манипулятора приведены на рис. 1: а, б – для модели с одиночными термами; в, г – для модели с парными термами; д, е – для модели с четырехэлементными терм-множествами. Увеличение количества терм приводит к уменьшению колебательного характера синтезируемого движения.

Проанализировав значения положений манипулятора при разном количестве терм, можно предложить следующую методику.

1. По кинематической схеме получить матрицы перехода.
2. Записать выражение для определения положения центра схвата.
3. Сформировать критерий качества управления в виде:
$$\min \Delta L = L(q) - L_{ц} \leq \varepsilon_L, \quad \min \Delta\varphi = \varphi(q) - \varphi_{ц} \leq \varepsilon_\varphi.$$
4. Составить логико-лингвистическое описание: установить собственные лингвистические переменные для каждого из входных и выходных параметров.
5. Рассчитать значения соответствующих координат для разного количества терм.
6. Выбрать количество терм, исходя из устранения колебаний манипулятора в окрестности рабочей точки.
7. Сформировать алгоритм управления.