

ТЕОРІЯ І МЕТОДИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

THEORY AND METHODS OF AUTOMATIC CONTROL

УДК 62-55:681.515

В. И. Гостев, С. Н. Скуртов, И. В. Панченко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ВЫХОДЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ПРИ ИДЕНТИЧНЫХ ТРЕУГОЛЬНЫХ ФУНКЦИЯХ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ С ОГРАНИЧЕНИЕМ

Получены аналитические выражения для управляющих воздействий на выходе нечеткого регулятора при идентичных треугольных функциях принадлежности с ограничением.

ВВЕДЕНИЕ

При синтезе нечетких регуляторов в системах автоматического управления наиболее часто используются треугольные функции принадлежности (ФП) для лингвистических величин. При расчете управляющих воздействий на выходе нечеткого регулятора абсциссу «центра тяжести результирующей фигуры» определяют обычно приближенным методом численного интегрирования. В данной работе получены аналитические выражения для управляющих воздействий на выходе нечеткого регулятора при идентичных треугольных функциях принадлежности с ограничением.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

В данной работе рассмотрим нечеткий регулятор, структурная схема которого подробно описана в [1].

© Гостев В. И., Скуртов С. Н., Панченко И. В., 2007

На вход регулятора поступают ошибка системы θ , скорость изменения (первая производная) ошибки $\dot{\theta}$, ускорение (вторая производная) ошибки $\ddot{\theta}$.

На универсальном множестве $U = [0, 1]$ заданы два нечетких подмножества, функции принадлежности (ФП) которых для каждой лингвистической величины определяются по формулам:

$$\mu_1(u) = \begin{cases} 1, & 0 \leq u \leq a, \\ \frac{1-u}{1-a}, & a \leq u \leq 1; \end{cases}$$

$$\mu_2(u) = \begin{cases} \frac{u}{1-a}, & 0 \leq u \leq 1-a, \\ 1, & 1-a \leq u \leq 1. \end{cases} \quad (1)$$

При поступлении на нечеткий регулятор в какой-то момент времени значений входных переменных θ^* , $\dot{\theta}^*$ и $\ddot{\theta}^*$ с шагом квантования h осуществляется пересчет входных переменных в переменные u_1^* , u_2^* , u_3^* на универсальном множестве $U = [0, 1]$ и расчет значений

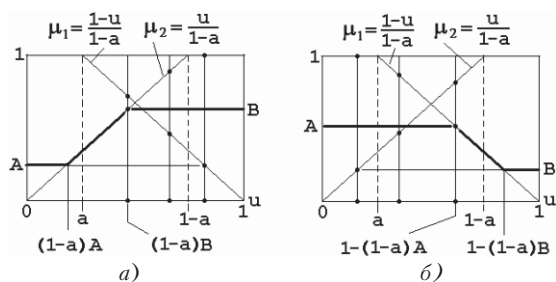


Рисунок 1

ФП для этих переменных (см. рис. 1). Точками на универсальном множестве отмечены возможные для какого-то момента времени значения переменных u_1^* , u_2^* , u_3^* .

Для упрощения нормировки (пересчета значений сигналов в значения элементов единого универсального множества) диапазоны изменения входных и выходного сигналов (параметров нечеткого регулятора) принимаем симметричными:

$$\begin{aligned} \theta_{\max} &= -\theta_{\min}; & \dot{\theta}_{\max} &= -\dot{\theta}_{\min}; & \ddot{\theta}_{\max} &= -\ddot{\theta}_{\min}; \\ m_{\max} &= -m_{\min}. \end{aligned}$$

Тогда формулы для нормировки (пересчета) принимают вид

$$\left. \begin{aligned} u_1^* &= -(\theta^* - \theta_{\min}) / (2\theta_{\min}); \\ u_2^* &= -(\dot{\theta}^* - \dot{\theta}_{\min}) / (2\dot{\theta}_{\min}); \\ u_3^* &= -(\ddot{\theta}^* - \ddot{\theta}_{\min}) / (2\ddot{\theta}_{\min}). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Лингвистическое правило управления нечеткого регулятора формулируется в виде:

$$\begin{aligned} \text{Если } (\theta^* = a_1^j) \text{ и } (\dot{\theta}^* = a_2^j) \text{ и } (\ddot{\theta}^* = a_3^j), \\ \text{то } (m^* = a_c^j), \quad j = \overline{1, 2}, \end{aligned} \quad (3)$$

где a_1^j , a_2^j и a_3^j – лингвистические оценки ошибки, первой производной ошибки и второй производной ошибки, рассматриваемые как нечеткие терм-множества, определенные на универсальном множестве, $j = \overline{1, 2}$; a_c^j – лингвистические оценки управляющего воздействия на объект, выбираемые из терм-множества переменной m . Лингвистические оценки выбираются из терм-множеств лингвистических переменных θ^* , $\dot{\theta}^*$, $\ddot{\theta}^*$ и m^* :

$$a_i^j \in \{ \text{отрицательная (1), положительная (2)} \}.$$

Другими словами, все сигналы (определенные выше лингвистические переменные) характеризуются как отрицательные ($j = 1$) или положительные ($j = 2$).

Функция принадлежности управляющего воздействия нечеткому множеству «отрицательная» определяется из системы нечетких логических уравнений (алгоритм Мамдани):

$$\mu^{m_1}(u_1, u_2, u_3) = \mu_1(u_1) \wedge \mu_1(u_2) \wedge \mu_1(u_3). \quad (4)$$

Функция принадлежности управляющего воздействия нечеткому множеству «положительная» определяется из системы нечетких логических уравнений:

$$\mu^{m_2}(u_1, u_2, u_3) = \mu_2(u_1) \wedge \mu_2(u_2) \wedge \mu_2(u_3). \quad (5)$$

Результирующая функция принадлежности для управляющего воздействия в соответствии с рабочим правилом нечеткого регулятора записывается в виде

$$\mu^m(u_1, u_2, u_3) = \mu^{m_1}(u_1, u_2, u_3) \vee \mu^{m_2}(u_1, u_2, u_3). \quad (6)$$

В выражениях (4)–(6) \wedge – логическое *и*, \vee – логическое *или*.

В соответствии с лингвистическими правилами управления, функция принадлежности управляющего воздействия $\mu_{1c}(u)$ нечеткому множеству «отрицательный» ограничена сверху значением:

$$A = \min[\mu_1(u_1^*), \mu_1(u_2^*), \mu_1(u_3^*)], \quad (7)$$

функция принадлежности управляющего воздействия $\mu_{2c}(u)$ нечеткому множеству «положительный» ограничена сверху значением:

$$B = \min[\mu_2(u_1^*), \mu_2(u_2^*), \mu_2(u_3^*)]. \quad (8)$$

Результирующая функция принадлежности для управляющего воздействия на основании выражения (6) определяется как

$$\mu_c(u) = \mu_{1c}(u) \vee \mu_{2c}(u), \quad (9)$$

т. е. получается формированием максимума

$$\mu_c(u) = \max[\mu_{1c}(u), \mu_{2c}(u)]. \quad (10)$$

Для определения конкретного значения управляющего воздействия m^* формируется «результирующая фигура», ограниченная результирующей ФП и производится поиск абсциссы «центра тяжести результирующей фигуры» u_c .

Отметим весьма существенный факт. Какие бы значения не принимали переменные u_1^* , u_2^* , u_3^* на универсальном множестве $U = [0, 1]$ в зависимости от соотношений величин A и B «результирующая фигура» может принимать только две конфигурации: при $A \leq B$ первая конфигурация показана на рис. 1, а; при $A \geq B$ вторая конфигурация показана на рис. 1, б.

Общая формула для определения абсциссы «центра тяжести результирующей фигуры» записывается в виде

$$u_c = \frac{\int_0^1 u\mu(u)du}{\int_0^1 \mu(u)du}. \quad (11)$$

Абсцисса «центра тяжести результирующей фигуры» при $A \leq B$ определяется по формуле

$$u_c = \frac{A \int_0^{(1-a)A} u du + \int_{(1-a)A}^{(1-a)B} \frac{u}{1-a} u du + B \int_{(1-a)B}^1 u du}{A \int_0^{(1-a)A} du + \int_{(1-a)A}^{(1-a)B} \frac{u}{1-a} du + B \int_{(1-a)B}^1 du} \quad \text{при } A \leq B. \quad (12)$$

После несложных вычислений находим:

$$u_c = \frac{B/2 + (1-a)^2(A^3 - B^3)/6}{B + (1-a)(A^2 - B^2)/2} \quad \text{при } A \leq B. \quad (13)$$

Абсцисса «центра тяжести результирующей фигуры» при $A \geq B$ определяется по формуле

$$u_c = \frac{A \int_0^{1-(1-a)A} u du + \int_{1-(1-a)A}^{1-(1-a)B} \frac{1-u}{1-a} u du + B \int_{1-(1-a)B}^1 u du}{A \int_0^{1-(1-a)A} du + \int_{1-(1-a)A}^{1-(1-a)B} \frac{1-u}{1-a} du + B \int_{1-(1-a)B}^1 du} \quad \text{при } A \geq B. \quad (14)$$

После несложных вычислений находим:

УДК 681.5.01.23

Т. Б. Никитина

СИНТЕЗ ЦИФРОВОГО НЕЛИНЕЙНОГО РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ

Разработан метод синтеза нелинейного робастного управления многоканальными системами, работающими по принципу грубого и точного управления в соответствии с итерационным алгоритмом. Приведен пример динамических характеристик синтезированной двухканальной электромеханической системы.

© Никитина Т. Б., 2007

$$u_c = \frac{A/2 - (1-a)(A^2 - B^2)/2 + (1-a)^2(A^3 - B^3)/6}{A - (1-a)(A^2 - B^2)/2} \quad \text{при } A \geq B. \quad (15)$$

Полученное значение u_c затем преобразуется в значение управляющего воздействия на объект управления

$$m^* = m_{\min}(1 - 2u_c).$$

В качестве примера приведем следующие результаты расчетов.

При $A = 0,1, B = 0,3, a = 0,25$ получаем $u_c = 0,6082$.

При $A = 0,3, B = 0,1, a = 0,25$ получаем $u_c = 0,3918$.

ВЫВОД

Полученные формулы позволяют использовать точный метод вычисления абсциссы «центра тяжести результирующей фигуры» при идентичных треугольных функциях принадлежности с ограничением и дают возможность упростить алгоритм расчета управляющих воздействий на выходе нечеткого регулятора. Изложенную методику можно также использовать для расчета управляющих воздействий на выходе нечеткого регулятора при функциях принадлежности другого вида.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Гостев В. И. Синтез нечетких регуляторов систем автоматического управления. – К.: Издательство «Радиоаматор», 2005. – 708 с.

Надійшла 5.06.07

Отримано аналітичні вираження для керуючих впливів на виході нечіткого регулятора при ідентичних трикутних функціях приналежності з обмеженням.

Analytical expressions for controlling actions on an output of an fuzzy controller are received at identical triangular membership functions with restriction.