

УДК 620.9:519.711

В.В. Соловьев

АЛГОРИТМ СИНТЕЗА АДАПТИВНОГО НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

Показаны этапы синтеза нечеткого регулятора основного контура в адаптивной системе управления. Получены функции принадлежности входных и выходных сигналов. Приведено параметрическое выражение нечеткой конъюнкции, с помощью которого удается компенсировать влияние высокочастотных колебаний в канале производной выходного сигнала в установившемся режиме работы системы. Показан механизм заполнения пустой базы правил в режиме нормального функционирования объекта управления, связанный с изменением положения центров функций принадлежности выходного сигнала регулятора.

Адаптивный нечеткий регулятор; параметрическое выражение нечеткой конъюнкции.

V.V. Soloviev

ALGORITHM OF THE SYNTHESIS ADAPTIVE FUZZY CONTROLLER

Stages of the synthesis fuzzy controller main sidebar are shown in adaptive control system. Functions accessories input and output signal are received with provision requirements. It is brought parametric expression to fuzzy conjunction, by means of which manages to compensate the influence of the high-frequency fluctuations in channel of the derived output signal in formed state working systems. Mechanism of the filling empty rulebase is shown in mode of the normal operating the object of control, connected with change the position centre function accessories output signal of the regulator.

Adaptive fuzzy controller; parametric expression to fuzzy conjunction.

Введение. Одной из проблем современной науки является разработка методов исследования и построения систем управления сложными динамическими объектами и процессами в условиях неопределенности. Примерами подобных технических систем могут служить системы управления технологическими процессами на металлургических, химических предприятиях, на электростанциях, где сложность физических и химических реакций и их многообразие не поддаются строгому описанию. Для построения точного математического описания с целью решения задач управления сложной системы требуется большой объем априорной информации. Большая размерность и сложность математической модели, построенной с использованием всего объема априорной информации, может свести на нет все попытки эффективного достижения цели управления за счет больших экономических и временных затрат. С другой стороны, упрощенное математическое описание объекта управления (ОУ), может привести к неадекватности получаемых управляющих воздействий, вследствие недостаточно полного учета факторов неопределенности.

Таким образом, необходимо разрабатывать модели и методы моделирования, с помощью которых решаются указанные проблемы. В данной работе рассматривается алгоритм синтеза адаптивного нечеткого регулятора (НР) в составе системы управления с эталонной моделью. Особенностью регулятора такого типа является минимальные требования к априорной информации об ОУ, фактически ограничиваемые допустимыми диапазонами изменения сигналов управления, ошибки и ее производной, а также желаемой динамикой ОУ, которая гарантированно может быть реализуема. Принцип функционирования адаптивного нечеткого регулятора описан в [1–3].

Алгоритм синтеза регулятора основного контура. Процесс нечеткого вывода представляет собой алгоритм получения нечетких заключений на основе нечетких условий. Разработку алгоритма нечеткого вывода НР основного контура можно представить в виде последовательности этапов:

1. Фаззификация: разработка процедуры перехода от четких значений входных переменных к нечетким.
2. Формирование структуры базы правил: разработка согласованного множества связей входы-выход регулятора.
3. Агрегирование: разработка процедуры определения степени истинности условий по каждому из правил.
4. Активизация: разработка процедуры определения степени истинности заключений по каждому из правил.
5. Аккумуляция: разработка процедуры объединения степеней истинности заключений по всей базе правил.
6. Дефаззификация: разработка процедуры перехода от нечеткого значения выходной переменной к четкому.

Фаззификация. Входные сигналы НР определим лингвистическими переменными (ЛП). ЛП определим кортежем

$$\langle N, T, L \rangle,$$

где N – название ЛП; T – базовое терм-множество ЛП; L – универсум нечетких переменных, которые входят в определение ЛП.

Функции принадлежности (ФП) упорядоченного терм-множества $T_j = \{T_i\}$, $i \in n_j$, $j=1, 2, 3$ на множестве действительных чисел должны удовлетворять условиям:

$$\mu_{T_{j_1}}(l_{j_{\min}}) = 1, \quad \mu_{T_{j_3}}(l_{j_{\max}}) = 1, \quad (1)$$

$$\forall i \exists l \in L : \mu_{T_{j_i}}(l) = 1, \quad (2)$$

$$\forall i, i+1 \quad 0 < \max_{c \in C} \{ \mu_{T_{j_i} \cap T_{j_{i+1}}}(l) \} < 1. \quad (3)$$

Условие (1) регламентирует форму ФП крайних термов на границах универсального множества. Условие (2) требует, чтобы ФП всех термов являлись нормальными нечеткими множествами. Условие (3) запрещает существования участков области определения, которым не соответствуют никакие понятия и запрещает существование неразграниченных понятий.

Для описания лингвистических переменных входных сигналов НР, примем симметричные треугольные функции принадлежности, с 50 % перекрытием между соседними, равномерно расположенные на универсальном множестве (рис. 1,а). Треугольные ФП выбраны потому что, к ним возможно применение аналитической формы описания в виде математических выражений. Симметричная форма позволяет задавать положение ФП на универсальном множестве с помощью двух составляющих: координаты вершины c_i и ширины основания треугольника r_i . Равномерное перекрытие ФП позволяет вычислить ширину основания через координаты вершин смежных треугольников $r_i = c_i - c_{i-1}$.

Кроме того, такой вид и положение ФП позволяют на этапе фаззификации задействовать максимум две функции принадлежности у каждой входной лингвистической переменной, а, следовательно, в базе правил будет максимум $2 \times m$ активных правил в текущий момент времени (m – количество входных сигналов). Это существенно снижает вычислительные затраты на расчет сигнала управления, что важно при организации управления объектом в реальном масштабе времени.

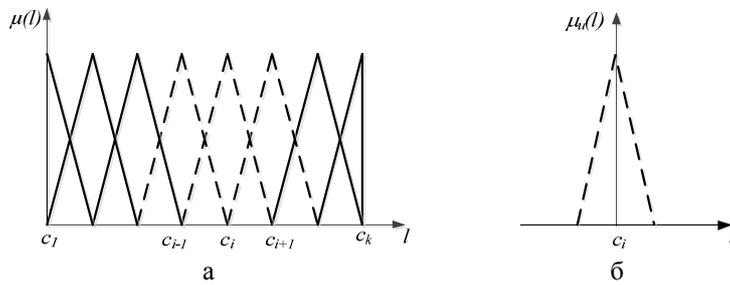


Рис. 1. Термы лингвистических переменных НР

Если для фаззификации ЛП "ошибка для НР" и "производная ошибки для НР" использовать n_1 и n_2 терм-множеств соответственно, то у ЛП "управляющее воздействие" будет $n_3 = n_1 \times n_2$ терм-множеств, равное количеству правил в базе НР. Терм-множества ЛП выходного сигнала НР показаны на рис. 1,б. Расположение термов для ЛП "управляющее воздействие" в начале моделирования может быть произвольным. При отсутствии экспертных сведений о связях входных и выходных сигналах НР первоначальное расположение термов принимается в начале координат универсального множества ЛП "управляющее воздействие".

Формирование базы правил. Представим правила в базе НР в виде

R_{ij} : Если x_1 это μ_{1i} и x_2 это μ_{2j} , то u это $\mu_{uk}(h_{ij})$,

где x_1, x_2 – сигналы ошибки и ее производной, с функциями принадлежности μ_{1i} и μ_{2j} соответственно ($i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, r$), u – выходной сигнал регулятора ($k=n \times r$), h_{ij} – весовые коэффициенты соответствующих правил ($h \in [0, 1]$).

В начальный момент времени функции принадлежности μ_{uk} всех термов равны друг другу (см. рис. 1, б). В процессе управления в БА формируется параметр p_u , определяющий сдвиг центров термов ЛП "управляющее воздействие" для активных посылок в правилах. Тем самым осуществляется модификация базы правил НР. На рис. 2 показано перемещение термов ЛП "управляющее воздействие" в зависимости от параметра p_u для i -го активного правила.

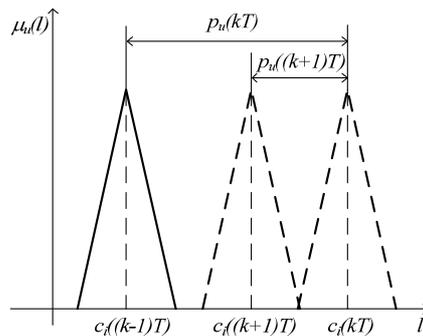


Рис. 2. Иллюстрация перемещения термов ЛП "управляющее воздействие"

Если на следующем шаге дискретности активным стало j -е правило, то выполняется сдвиг j -го терма при сохранении положений всех термов перемещенных в предыдущие моменты времени. Для всех активных правил на k -м отсчете выполняется сдвиг термов ЛП "управляющее воздействие" одновременно.

Агрегирование. В процедуре агрегирования определяются степени истинности подусловий (посылок) в базе правил. Для получения результата нечеткой конъюнкции в посылках правил наибольшее распространение получило выражение

$$\mu(l_i \wedge l_j) = \min\{\mu(l_i), \mu(l_j)\}$$

Применение той или иной операций нечеткой конъюнкции определяется областями приложения нечеткой логики. Также существует множество параметрических выражений нечеткой конъюнкции, которые позволяют расширить класс нечетких конъюнкций с целью получения уникальных эффектов в решаемых задачах. Для параметрических выражений не выполняется условие дистрибутивности, а некоторые не обладают свойствами коммутативности и ассоциативности. Это не является ограничением для нечеткого регулятора, так как позиции переменных и процедуры обработки правил фиксированы и число входных переменных не превышает двух [4].

Оптимизация модели по параметру операции нечеткой конъюнкции может оказаться достаточно трудоемкой из-за сложного вида известных параметрических t -норм. Для упрощения аппаратной реализации параметрической операции конъюнкции выберем наиболее простой параметрический класс. При использовании сигнала производной ошибки для управления техническим объектом с априорной неопределенностью могут возникать нежелательные колебания в установившемся режиме работы объекта, порожденные высокочастотными колебаниями в канале производной [5]. Для устранения колебаний выходного сигнала ОУ необходимо обеспечить "грубость" по отношению к сигналу производной ошибки с использованием параметрического выражения нечеткой конъюнкции

$$\mu(r_i \wedge r_j) = \min\left\{\mu(r_i), \left(\mu(r_j)\right)^q\right\},$$

с параметром

$$q = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq t_{nn}, \\ |1 + \delta - e|, & t_{nn} > t, \end{cases}$$

где t_{nn} – длительность переходного процесса эталонной модели; δ – заданная малая постоянная величина постоянной ошибки.

Активизация. В результате операции активизации определяется степень истинности подзаключений в каждом из нечетких правил. На предыдущем этапе определяется множество истинности всех подусловий $V = \{v_1, v_2, \dots, v_s\}$ с учетом весовых коэффициентов для каждого из правил H_m . По которым формируется множество значений c_s степеней истинности каждого из подзаключений, как алгебраическое произведение весовых коэффициентов правил и v_i . Затем определяются функции принадлежности каждого из подзаключений для рассматриваемых выходных лингвистических переменных с помощью min-активизации: $\mu'(r) = \min\{c_i, \mu(r)\}$.

Аккумуляция. Аккумуляция заключений нечетких правил продукций представляет собой процедуру нахождения функции принадлежности для лингвистической переменной "управляющее воздействие". То есть объединяются все степени истинности подзаключений для получения функции принадлежности лингвистической переменной по формуле

$$\mu_u(r) = \max\{\mu_1(r), \mu_2(r), \dots, \mu_s(r)\}.$$

Дефазификация. Процедура дефазификации необходима для нахождения четкого значения выходной лингвистической переменной и выполняется по методу центра тяжести.

$$u = \int_{\min}^{\max} r \cdot \mu(r) dr / \int_{\min}^{\max} \mu(r) dr.$$

Вывод. Показанный алгоритм синтеза позволяет разработать нечеткий регулятор основного контура адаптивной системы с минимумом априорной информации (база правил изначально пустая) с компенсацией влияния высокочастотных колебаний в канале производной в установившемся режиме работы ОУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соловьев В.В. Синтез нечеткого адаптивного регулятора с априори неопределенной базой правил // Труды Всероссийской научной конференции «Актуальные вопросы исследования общественных и технических систем». Ч. 2. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – С. 62-62.
2. Соловьев В.В., Финаев В.И. Методика синтеза адаптивного нечеткого регулятора для объекта с неопределенной моделью // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 1 (126). – С. 78-83.
3. Соловьев В.В. Синтез адаптивного нечеткого регулятора для объектов с априорной неопределенностью // Труды 3-го Международного семинара «Системный анализ, управление и обработка информации» / Под общ. ред. Р.А. Нейдорфа. – Ростов-на-Дону: Изд-во центр донск. гос. техн. ун-та, 2012. – С. 224-239.
4. Финаев В.И. Модели принятия решений: Учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 118 с.
5. Соловьев В.В., Шестова Е.А. Оптимизация регуляторов сложных технических систем управления с нечеткими параметрами // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 2 (127). – С. 191-197.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Я.Е. Ромм.

Соловьев Виктор Владимирович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: soloviev-tti@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371773; кафедра систем автоматического управления; старший преподаватель.

Soloviev Victor Vladimirovich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: soloviev-tti@mail.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371773; the department of automatic control systems; senior lecturer.

УДК 51-77

Д.Н. Босиков, Р.А. Хади

ОСОБЕННОСТИ АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ХЭШ-ФУНКЦИЙ ДЛЯ СЕТЕВЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Рассматривается способ эффективного вычисления прообразов хэш-функции MD5 [1] и MD4 [2] для применения в системах обработки сетевого трафика и обнаружения компьютерных атак. Современные системы обработки сетевых пакетов опираются в своей работе на алгоритмы быстрого хэширования данных и их эффективность во многом зависит от скорости работы алгоритмов вычисления хэш-функций. Существующие программные реализации хэш-функций рассмотрены в [3, 4]. Показано, что данные реализации имеют возможность вычислять прообразы длиной до 16 байт и являются частным случаем предлагаемого. Приведены результаты численных экспериментов, показывающие, что предлагаемый способ в случае хэш-функции MD5 имеет возможность вычислять прообразы длиной до 55 байт и имеет скорость вычислений в среднем на 15 % выше существующих.

Хэш-функции; MD5; MD4; вычисление прообразов.