

МНОГОМЕРНЫЙ ЧЕТКИЙ ЛОГИЧЕСКИЙ РЕГУЛЯТОР С ОТРАБОТКОЙ ПРОДУКЦИОННЫХ ПРАВИЛ В СИТУАЦИОННЫХ ПОДПРОГРАММАХ

Предложено использование многомерного четкого логического регулятора с обработкой продукционных правил в ситуационных подпрограммах. Разработана структурная схема многомерного четкого логического регулятора на основе алгоритма функционирования.

Ключевые слова: схема алгоритма, четкие термы, система продукционных правил, многомерный четкий логический регулятор, технологический процесс.

Интерпретация входных и выходных переменных многомерных четких логических регуляторов (МЧЛР) совокупностью четких термов предоставляет широкие возможности для повышения их быстродействия с помощью аputime [2] и step-time [3] алгоритмов, позволяющих без потери адекватности управления в каждом цикле сканирования обрабатывать не всю, а только часть (5÷10)% системы продукционных правил МЧЛР. Недостатком первого из них является необходимость с заданной периодичностью в начало системы продукционных правил с помощью специального программного блока располагать правила, у которых условная часть (антецедент) чаще принимала значение логической единицы. Во втором случае существенно усложняется процедура синтеза и отладки МЧЛР, т. к. для выработки актуального управляющего воздействия в режиме реального времени необходимо формировать уникальный идентификационный код. Предлагаемый МЧЛР лишен упомянутых недостатков.

На рисунке 1 представлена логическая схема алгоритма функционирования n -мерного четкого логического регулятора, состоящая из следующих программных блоков: n фаззификаторов (по одному для каждого контура регулирования МЧЛР); сканирования дискретных входных и выходных переменных объекта управления; ситуационных подпрограмм (($D_i \rightarrow СПП_i$) ÷ ($D_n \rightarrow СПП_n$)).

Фаззификатор каждого из n контуров регулирования включает в себя: операторы условного перехода (($T_{i1} \equiv 1$) ÷ ($T_{i9} \equiv 1$)), где i – текущий контур регулирования МЧЛР; (($D_i \equiv T_{i1}$) ÷ ($D_i \equiv T_{i9}$)) – регистры обращения к ситуационным подпрограммам; $АЛ_{i\phi}$ – оператор обработки аварийных ситуаций. Без утраты

общности рассуждений и для определенности принято входные и выходные переменные МЧЛР идентифицировать девятью четкими термами. Практика показывает [1], что в подавляющем большинстве случаев увеличение количества термов не приводит к существенному повышению качества регулирования.

Рассмотрим работу алгоритма, схема которого представлена на рисунке 1. Цикл сканирования программы, реализующей МЧЛР, начинается с обработки операторов условного пере-



Рисунок 1. Логическая схема алгоритма функционирования n -мерного четкого логического регулятора

хода, входящих в состав фаззификаторов контуров регулирования МЧЛР. Например, если в первом контуре четкий терм T_{11} равен логической единице, то микропроцессор по ветке «1» переходит к оператору ($D_1 \equiv T_{11}$) и в регистр D_1 записывает адрес начала ситуационной подпрограммы СПП₁. Если терм T_{11} равен логическому нулю, то управление передается к оператору ($T_{12} \equiv 1$), который производит действия, аналогичные оператору ($T_{11} \equiv 1$) и т. д. аналогично вплоть до оператора ($T_{19} \equiv 1$).

Если окажется, что все термы ($T_{11} \div T_{19}$) равны логическому нулю, то это говорит о некорректном задании диапазона фаззификации и управление передается оператору АЛ₁₀ с последующим сообщением о сбое в работе МЧЛР. В случае равенства одного из четких термов ($T_{11} \div T_{19}$) логической единице микропроцессор переходит к аналогичной обработке фаззификатора второго контура регулирования, затем второго и т. д. до фаззификатора n -го контура.

Затем определяется текущее логическое значение дискретных входных и выходных переменных объекта управления (путевые датчики, кнопки управления, включение и выключение исполнительных органов и т. д.). Здесь же проверяется логическое состояние переменных, идентифицирующих аварийную ситуацию.

Цикл сканирования программы, реализующей МЧЛР, завершается обработкой блока ситуационных подпрограмм (СПП). Если предположить, что для интерпретации всех регулируемых переменных МЧЛР используется одинаковое число m четких термов, то общее количество СПП для рассматриваемого регулятора будет равно ($n \times m$).

По своей логической природе каждая СПП представляет собой программную реализацию продукционного правила, которое необходимо отработать при равенстве логической единице одного из четких термов каждого регулируемого параметра МЧЛР. Отсюда следует, что при корректном задании диапазонов регулирования выходных переменных МЧЛР в каждом цикле сканирования микропроцессор обрабатывает n продукционных правил, то есть по одному правилу для каждого контура регулирования МЧЛР. Отметим, что в типовых многомерных нечетких логических регуляторах [1] в подобных ситуациях в каждом контуре обрабатывается вся система, насчитывающая десятки, а то и сотни продукционных правил.

В качестве примера на рисунке 2 представлена логическая схема алгоритма.

Алгоритм следует выполнить при равенстве логической единице четкого термина T_{11} и антецедента $\overline{T_{12}} \cdot X_1 \cdot \overline{Y_2} + \overline{T_{13}} \cdot X_2 \cdot Y_3 \cdot T_{11}$ продукционного правила:

Если $(\overline{T_{12}} \cdot X_1 \cdot \overline{Y_2} + \overline{T_{13}} \cdot X_2 \cdot Y_3) \cdot T_{11} = 1$, то $Z_{11} = Z_{11}'$ (1)

где T_{12}, T_{13} – второй и третий четкие термы первого контура регулирования МЧЛР; X_1, X_2 – дискретные входные, а Y_2 и Y_3 – выходные переменные многосвязного объекта управления (МОУ).

Правило (1) реализовано в СПП₁. Из рисунка 2 следует, что при равенстве условной части правила (1) логической единице регулируемой величине первого контура МЧЛР присваивается значение термина Z_{11} . Затем производится дефаззификация и выдача четкого значения управляющего воздействия U_j , соответствующего четкому терму Z_{11} . В противном случае управляющее воздействие в рассматриваемом контуре не изменяется. Иначе говоря, в целях экономии памяти и повышения быстродействия регулятора в ситуационной подпрограмме совмещены процедуры логического вывода и дефаззификации. Функционирование остальных ситуационных подпрограмм аналогично.

Поскольку условная часть правила (1) является функцией двузначной логики, то для синтеза и минимизации ее структуры правомерно использовать средства алгебры Буля (синтез логических функций по их единичным значениям или с помощью последовательных уравнений, минимизацию функций двузначной логики методом Квайна-Мак-Класки и т. д.). Это способствует сокращению сроков и повышению качества проектирования МЧЛР. Кроме того, независимо от сложности структуры антецедента продукционного правила, результатом его сканирования является один из термов регулируемой величины (рисунок 3), ширина которого определяют погрешность регулирования. Поскольку минимальная ширина четкого термина определяется разрешающей способностью программируемого контроллера, на котором реализован МЧЛР, то становится ясно, здесь имеются практически неограниченные возможности для снижения погрешности регулирования.

Однако возможности схемы алгоритма на рисунке 1 для повышения быстродействия

МЧЛР значительно шире, поскольку в каждом цикле сканирования обрабатывается не вся система продукционных правил регулятора, а только одно правило, антецедент которого в данный момент равен логической единице. Причем для нахождения этого правил используется стандартная процедура обращения к подпрограмме, которая в настоящее время хорошо минимизирована по процессорному времени и объему памяти.

На основе алгоритма функционирования многомерного четкого логического регулятора разработана ее структурная схема [9] (рисунок 4), состоящая из четырех основных блоков: Ф – фаззификатора; СДП МОУ – сканирования дискретных входных ($X_1 \div X_s$) и выходных ($Y_1 \div Y_k$) переменных многосвязного объекта управления, где s и k – их количество соответственно; ОСПП – отработки ситуационных подпрограмм; МОУ – многосвязный объект управления с n регулируруемыми параметрами.

Фаззификатор Ф имеет входы задающих воздействий ($Z_1 \div Z_n$) и обратных связей ($P_1 \div P_n$). Его выход соединен с блоком СДП МОУ, на входы которого подаются дискретные входные ($X_1 \div X_s$) и выходные переменные ($Y_1 \div Y_k$) объекта управления. Выход блока СДП МОУ соединен с входом блока ОСПП, выходные сигналы ($U_1 \div U_m$) которого в аналоговом (четком) формате подаются на исполнительный орган многосвязного объекта управления.

Интерпретация i -ой регулируемой (P_i) и задающей (Z_i) переменных совокупностью из m четких термов приведено на рисунке 5, а. Из него следует, что в любой момент времени только один терм равен логической единице, причем тот, внутри которого в настоящий момент находится четкое значение P_i и Z_i , что соответствует здравому смыслу. В свою очередь, из-за этого в системе продукционных правил, оперирующей четкими термами, в любой момент времени только у одного правила антецедент равен логической единице. Именно эти фундаментальные свойства рассматриваемых совокупности четких термов и системы продукционных правил является теоретической основой повышения быстродействия и снижения погрешности МЧЛР.

Аналитически базовое терм-множество, изображенное на рисунке 5, а, можно представить следующим выражением:

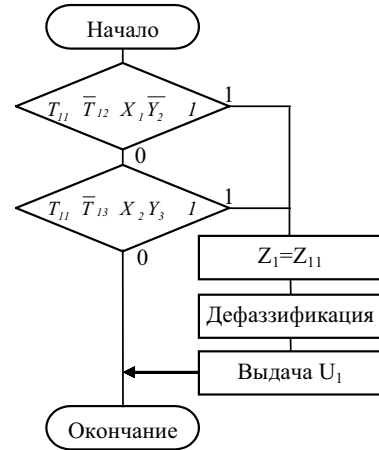


Рисунок 2. Программная реализация продукционного правила (1)

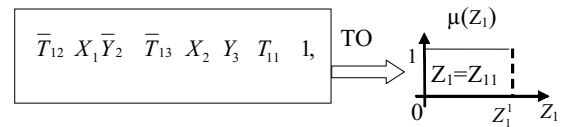


Рисунок 3. Схема обработки продукционного правила (1)

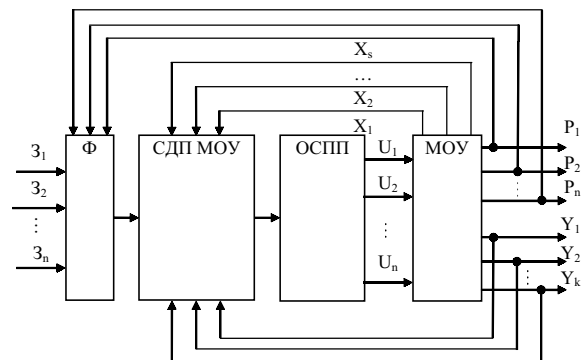


Рисунок 4. Структурная схема многомерного четкого логического регулятора

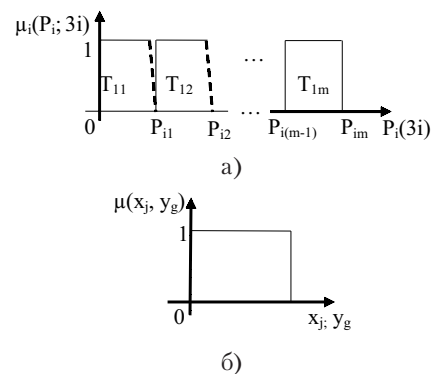


Рисунок 5. Функции принадлежности четких термов (а) и дискретных переменных (б) многомерного объекта управления

$$T(p) = \{T_1(0 \leq p < l), T_2(l \leq p < 2l), T_3(2l \leq p < 3l), \dots, T_i((i-1)l \leq p < il), T_m((m-1)l \leq p < ml)\}, \quad (2)$$

где l – ширина четкого терма.

Однако на практике выражение (2) удобнее использовать в следующей форме:

$$T(p) = \sum_{i=1}^m T_i((i-1)l \leq p < il) = \sum_{i=1}^m T_i(il). \quad (3)$$

Функция принадлежности дискретных входных (X_j) и выходных (Y_g) переменных объекта управления представлена на рисунке 5, б. И она может принимать два логических значения:

$$\mu(x_j \text{ или } y_g) = \begin{cases} 1, & \text{если } x_j \text{ или } y_g \text{ включены;} \\ 0, & \text{если } x_j \text{ или } y_g \text{ отключены.} \end{cases} \quad (4)$$

Из рисунков 5, а и б, а также формул (2 – 4) следует, что четкие термы и дискретные сигналы имеют единую логическую природу – они являются аргументами двузначной логики, что является теоретическим обоснованием для совместного использования их в продукционных правилах.

Произведем количественную оценку снижения времени сканирования программы, реализующей МЧЛР, по сравнению с типовым нечетким регулятором. Время, необходимое для выполнения одного цикла сканирования фаззификаторов для предлагаемого нечеткого регулятора, равно

$$T_{\Phi n} = \sum_{i=1}^n (m_{i\Phi} t_{y_i}^{\Phi} + t_{z_i}^{\Phi}), \quad (5)$$

где $m_{i\Phi}$ – количество продукций, отработанных в текущем цикле сканирования i -го фаззификатора n -мерного четкого логического регулятора; $t_{y_i}^{\Phi}$, $t_{z_i}^{\Phi}$ – длительность отработки условной и заключительной частей продукционного правила i -го фаззификатора соответственно (предполагается, что $t_{y_i}^{\Phi}$ и $t_{z_i}^{\Phi}$ являются постоянными величинами).

Для подавляющего большинства программируемых контроллеров [1], на которых реализованы МЧЛР $t_{y_i}^{\Phi} = t_{z_i}^{\Phi} = \text{Const}$, а $m_{i\Phi} = 0,2m_i$. Здесь m_i – число продукционных правил в i -м фаззификаторе МЧЛР ($i = 1 \div n$). С учетом приведенных условий и при $m_i = m = \text{Const}$ для всех фаззификаторов МЧЛР выражение (5) принимает следующий вид:

$$T_{\Phi n} = n(0,2m+1)t_{y_i}^{\Phi}, \quad (6)$$

При тех же условиях, что и для выражения (5) продолжительность цикла сканирования

системы ситуационных подпрограмм (ССПП) определяется по формуле

$$T_{cm} = \sum_{j=1}^n (t_{y_j}^{cn} + t_{z_j}^{cn}), \quad (7)$$

где $t_{y_j}^{cn}$ и $t_{z_j}^{cn}$ – длительность отработки условной и заключительной частей продукционного правила j -ой ситуационной подпрограммы соответственно (предполагается, что $t_{y_j}^{cn}$ и $t_{z_j}^{cn}$ являются постоянными величинами).

Для подавляющего большинства программируемых контроллеров [1, 5], на которых реализован МЧЛР $t_{y_j}^{cn} = 2t_{z_j}^{cn} = \text{Const}$, поэтому выражение (7) можно привести к следующему виду:

$$T_{cm} = 1,5nt_{y_j}^{cn}. \quad (8)$$

Общее время сканирования фаззификаторов и ССПП предлагаемого МЧЛР равно сумме правых частей выражений (6) и (8):

$$Tcn = T\Phi n + Tcm = n(0,2m+2,5)t_{y_j}^{cn}, \quad (9)$$

где $t_{y_j}^{cn} = t_{y_i}^{\Phi} = t_{z_j}^{cn} = \text{Const}$.

Аналогичным образом при тех же условиях выражение для продолжительности сканирования фаззификаторов и системы продукционных правил в типовом многомерном нечетком логическом регуляторе:

$$T_{cm} = 4nmt_{y_m}, \quad (10)$$

где t_{y_m} – время сканирования условной части продукционного правила типового нечеткого регулятора.

Определим во сколько раз снизилось время сканирования в предлагаемом МЧЛР по сравнению в типовом многомерном нечетком регуляторе, в котором, как известно [1], в каждом цикле сканирования безусловно обрабатывается вся программа, реализующая фаззификацию и регулирование. С этой целью при условии $t_{y_m} = t_{y_m}$ разделим правую часть выражения (10) на таковую выражения (9):

$$K_{но} = \frac{4m}{0,2m+2,5}, \quad (11)$$

где $K_{но}$ – коэффициент повышения быстродействия предлагаемого МЧЛР.

Как следует из выражения (11) $K_{но}$ не зависит от n и, например, при $m=9$ быстродействие МЧЛР по сравнению с типовым многомерным нечетким логическим регулятором повышается в 8,37 раза.

19.01.2012

Список литературы:

1. Гостев В.И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011 – 411 с.: ил.
2. Муравьева Е.А. Дискретно-логический регулятор с any-time алгоритмом минимизации времени отклика. // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий. Уфа: Гилем, 2007. С. 63–65.
3. Муравьева Е.А., Антипин А.Ф. Многомерный дискретно-логический регулятор расхода воздуха парового котла с минимизацией времени отклика // Вестник УГАТУ. Серия «Управление, вычислительная техника и информатика», 2009, Т.13, №2(35). С.83–87.
4. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия–Телеком, 2009. – 608 с., ил.
5. Круглов В.В., Дли М.И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. М.: Физматлит, 2002.
6. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и Fuzzy TECH.-СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736с.: ил.
7. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с., ил.
8. Муравьева Е.А., Байманов И.Ф. Нечеткая система регулирования величины рН электролита в производстве хлора методом электролиза. // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности: Науч.-техн. Журнал. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2008. №1.
9. Каяшев А.И., Муравьева Е.А., Габитов Р.Ф. Четкий логический регулятор для управления технологическими процессами. Решение от 06.10.2011 года о выдаче патента на изобретение по заявке №2010105461/08(007677).

Сведения об авторах:

Богданов Артур Венерович, преподаватель кафедры электроснабжение промышленных предприятий Кумертауского филиала Оренбургского государственного университета, аспирант,
e-mail: bogdan-ogu@rambler.ru

453300, Республика Башкортостан, г. Кумертау, ул. Машиностроителей 3-84, 8(34761)3-12-68.

Муравьева Елена Александровна, доцент кафедры автоматиз. технол. и инф. систем филиала УГНТУ в г. Стерлитамаке, кандидат технических наук

Сазонова Татьяна Васильевна, старший преподаватель кафедры электроснабжение промышленных предприятий Кумертауского филиала Оренбургского государственного университета
e-mail: t.sazonova@yandex.ru

453300, Республика Башкортостан, г. Кумертау, 2-ой пер. Советский, 3б. (34761)21838

UDC 62.529 (075.8)

Bogdanov A.V., Muravieva E.A., Sazonova T.V.

Kumertau branch OSU, E-mail: muraveva_ea@mail.ru, bogdan-ogu@rambler.ru

MULTIDIMENSIONAL ACCURATE LOGIC CONTROLLER ON THE SITUATIONAL SUBPROGRAMMES

Use of a multidimensional accurate logic regulator on the testing of production rules in the situational subprogrammes is offered. The structural scheme of the multidimensional accurate logic regulator based on performance algorithm is developed.

Key words: scheme of algorithm, accurate terms, the system of production rules, multidimensional accurate logic regulator, technological process.

Bibliography:

1. Gostev V.I. Design of fuzzy controllers for automatic control systems. – St. Petersburg.: BHV-Petersburg, 2011 – 411 with. Ill.
2. Muravieva E.A. A discrete-logic controller with any-time algorithm to minimize the response time. // Electrotechnology, power and electric companies. Ufa: Gilem, 2007. S. 63-65.
3. Muravieva E.A., Antipin, A.F. Multidimensional discrete-logic control of air flow steam boiler with the minimization of response time // Herald USATU. Series, «Management, Computer Engineering and Computer Science», 2009, T.13, №2 (35). P.83-87.
4. Denisenko V.V. Computer control of technological process experiment, equipment. – М.: Hotline Telecom, 2009. – 608 sec., Il.
5. Kruglov V.V., Dli M.I. Intelligent information systems: computer support systems of fuzzy logic and fuzzy inference. Fizmatlit, 2002.
6. Leonenkov A. Fuzzy modeling in MATLAB and Fuzzy TECH.-Petersburg.: BHV-Petersburg, 2005. – 736s. Ill.
7. Shtovba S.D. Design of fuzzy systems by means of MATLAB. – М.: Hot line – Telecom, 2007. – 288., Il.
8. Muravieva E.A. Baimanov I.F. Fuzzy control system the pH of the electrolyte in the production of chlorine by electrolysis. // Automation, telemechanization and communications in the oil industry: Scientific-Technical journal. – Moscow: «VNIIOENG», 2008. Number 1.
9. Kayashev A.I., Muravieva E.A., Gabitov R.F. The clear logic controller for process control solution from 06/10/2011 on the grant of a patent for the invention of the application №2010105461/08 (007 677).