

УДК: 681.5

Бобух А.А., Ковалев Д.А., Дзевочко А.М., Климов А.А., Подустов М.А.,
Переверзева А.Н.

ОПТИМАЛЬНЫЙ В КЛАССЕ АДАПТИВНЫХ РЕКУРРЕНТНЫХ ПРОЦЕДУР АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ

Введение

На предприятиях химической промышленности и смежных отраслей с нестационарными и многомерными объектами все больше внимания уделяют вопросам разработки компьютерно-интегрированных систем управления (КИСУ) такими сложными объектами. Одной из основных задач при этом становится разработка достаточно простых и удобных в использовании оптимальных в классе адаптивных рекуррентных процедур алгоритмов управления, подстраивающихся к изменяющимся характеристикам объектов управления и своевременно вырабатывающие корректирующие воздействия.

Цель работы

Разработка оптимального в классе адаптивных рекуррентных процедур алгоритма управления, подстраивающегося к изменяющимся характеристикам объекта управления, позволяющего с высокой точностью и быстродействием отслеживать изменения в нем и своевременно вырабатывающего корректирующие воздействия.

Основная часть

Реализацию предложенного оптимального в классе адаптивных рекуррентных процедур алгоритма управления, подстраивающегося к изменяющимся характеристикам объекта управления и своевременно вырабатывающего корректирующие воздействия, целесообразно выполнять на базе современных микропроцессорных контроллеров (МПК), которые применяются при разработке КИСУ, с многофункциональными специальными программными обеспечениями (СПО). Высокопроизводительные, многоканальные, быстродействующие и высоконадежные МПК в реальном масштабе времени по СПО смогут обеспечивать выполнение всех необходимых функциональных задач разрабатываемого алгоритма управления [1–5].

Рассмотрим процесс разработки предлагаемого алгоритма управления для варианта нестационарного многомерного объекта управления с m - входами и одним выходом [6–9]. На рисунке 1 показан фрагмент упрощенной схемы соединения 17 функциональных блоков предлагаемого алгоритма управления.

С выхода блока сумматора объекта (1) алгоритма входные управляющие воздействия $X_i (i = \overline{1, m})$ поступают на вход блока объекта управления (ОУ) (2) алгоритма, вход α блока модели объекта управления (МОУ) (3) алгоритма, вход α первой группы сдвоенного блока квадратора (12) алгоритма и вход α' первой группы сдвоенного блока умножения (11) алгоритма. Сдвоенные блоки алгоритма соответственно квадратора (12), умножения (11), сумматора (13), деления (14) и масштабных коэффициентов (15) состоят из двух параллельно работающих групп, причем первая группа блоков работает в контуре, решающем задачу идентификации, а вторая группа – в контуре, решающем собственно задачу управления.

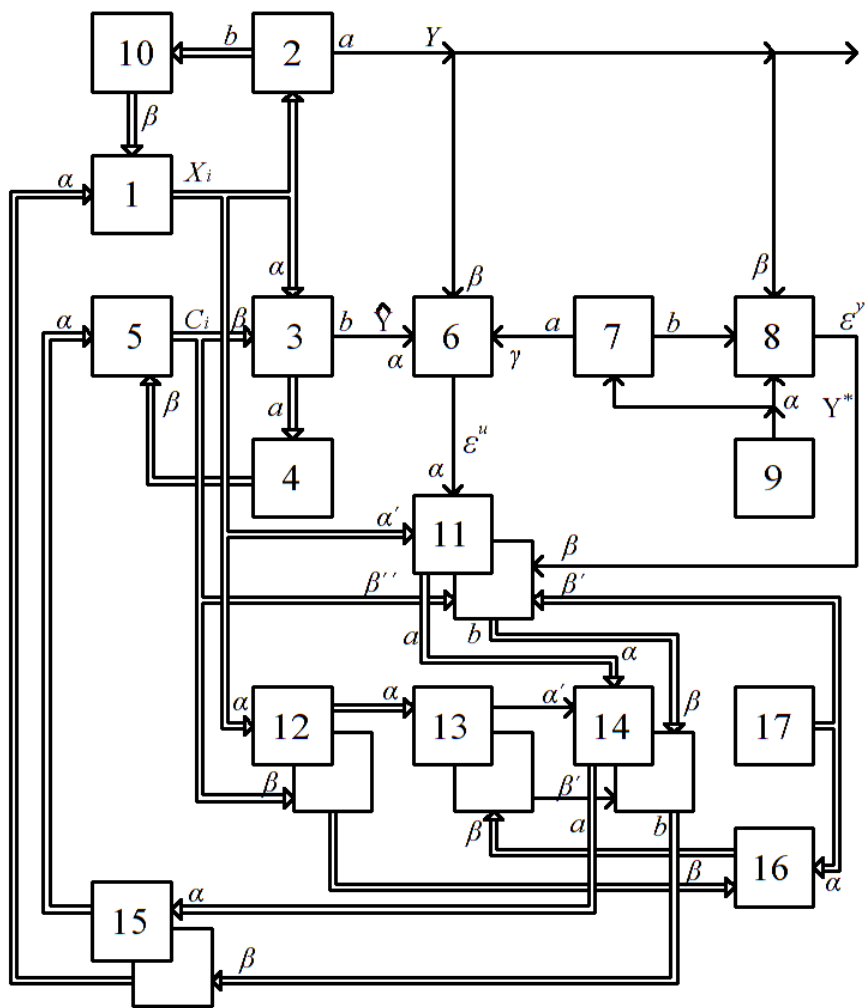


Рисунок 1 – Фрагмент упрощенной схемы соединения функциональных блоков оптимального в классе адаптивных рекуррентных процедур алгоритма управления

Информация об управляющих воздействиях $X_i (i = \overline{1, m})$ с выхода b состояния блока ОУ (2) алгоритма через блок задержки (10) алгоритма с запаздыванием на один такт работы алгоритма подается на вход β блока сумматора объекта (1) алгоритма. С выхода a блока ОУ (2) алгоритма снимается информация об отклике Y на управляющие воздействия X_i и подается на вторые входы β блоков сумматора ошибки идентификации (6) и сумматора ошибки управления (8) алгоритма.

По командам, поступающим с выходов a и b блока управления (7) алгоритма, на вход которого подается сигнал задающего воздействия Y^* с блока задающих воздействий (9) алгоритма, блок сумматора ошибки идентификации (6) вычисляет сигнал рассогласования между откликом блока ОУ (2) алгоритма Y и откликом блока МОУ (3) алгоритма $\hat{Y}$, поступающим с его выхода b на первый вход α блока сумматора ошибки идентификации (6) $\epsilon^u = Y - \hat{Y}$, а блок сумматора ошибки управления (8), на вход α которого также подается сигнал задающего воздействия Y^* с блока задающих воздействий (9) алгоритма, вычисляет рассогласование между откликом ОУ (2) алгоритма Y и сигналом задающего воздействия Y^* $\epsilon^y = Y^* - Y$.

Информация об ошибках идентификации и управления (ε'' и ε''') подается на входы α и β первой и второй групп сдвоенного блока умножения (11) алгоритма соответственно.

Информация о последнем значении коэффициентов блока МОУ (3) алгоритма через выход коэффициентов a и блок их задержки (4) алгоритма с задержкой на один такт его работы подается на вход β блока сумматора модели (5) алгоритма, который служит для настройки коэффициентов $C_i (i = \overline{1, m})$ через вход β блока МОУ (3). Информация с выхода сумматора модели (5) алгоритма поступает также на вход β второй группы сдвоенного блока квадратора (12) алгоритма и на третий вход β'' второй группы сдвоенного блока умножения (11) алгоритма.

Элементы векторов управляющих воздействий $X_i (i = \overline{1, m})$ из блока сумматора объекта (1) алгоритма и коэффициентов модели $C_i (i = \overline{1, m})$ из блока сумматора модели (5) алгоритма через входы α и β соответственно подаются в сдвоенный блок квадратора (12) алгоритма, в котором возводятся в квадрат. После этого элементы $X_i^2 (i = \overline{1, m})$ подаются на вход α первой группы сдвоенного блока сумматора (13) алгоритма, а элементы $C_i^2 (i = \overline{1, m})$ подаются на вход β блока умножения (16) алгоритма, где умножаются на величины, обратно пропорциональные стоимости управляющих воздействий d_i , которые поступают на вход α блока умножения (16) от блока задания стоимости управляющих воздействий (17) алгоритма.

С выхода блока умножения (16) алгоритма величины $d_i^{-1} C_i^2$ подаются на вход β второй группы сдвоенного блока сумматора (13) алгоритма. В этом (13) блоке алгоритма вычисляются квадраты евклидовых норм соответствующих векторов $\sum_{i=1}^m X_i^2$ и $\sum_{i=1}^m d_i^{-1} C_i^2$, которые подаются на входы делителя α' и β' сдвоенного блока деления (14) алгоритма соответственно.

На входы делимого α и β этого же (14) блока алгоритма поступает информация с выходов a и b сдвоенного блока умножения (11) алгоритма, у которого первая группа на основании информации, поступающей с выхода блока сумматора ошибки идентификации (6) алгоритма и выхода блока сумматора объекта (1) алгоритма, вычисляет значение $(Y - \hat{Y})X_i$, а вторая группа на основании информации, поступающей с блока сумматора ошибки управления (8) алгоритма, блока задания стоимости управляющих воздействий (17) алгоритма и выхода блока сумматора модели (5) алгоритма, вычисляет значение $(Y^* - Y)D^{-1}C_i$.

Сдвоенный блок деления (14) алгоритма на основании поступающей в него информации вычисляет управляющие воздействия, которые через его выходы a и b , а также входы α и β сдвоенного блока масштабных коэффициентов (15) алгоритма, подаются на входы α блоков сумматоров объекта (1) и модели (5) алгоритма, которые, в свою очередь, вычисляют оптимальные значения управляющих воздействий X_i и коэффициентов C_i МОУ (3).

Рассмотрим пример. Пусть блок ОУ (2) алгоритма описывается уравнением:

$$Y[n] = C_i^{*T}[n]X_i[n], \quad (1)$$

где $Y[n]$ – отклик блока ОУ (2) алгоритма на n -м такте; $X_i[n]$ ($i = \overline{1, m}$) – мерный вектор управляющих воздействий на n -м такте; $C_i^{*T}[n]$ ($i = \overline{1, m}$) – мерный вектор неизвестных коэффициентов ОУ на n -м такте.

Блок МОУ (3) алгоритма задается уравнением:

$$\hat{Y}[n] = C_i^T[n-1]X_i[n], \quad (2)$$

где $\hat{Y}[n]$ – отклик блока МОУ (3) алгоритма на n -м такте; $C_i^T[n-1]$ ($i = \overline{1, m}$) – мерный вектор настраиваемых коэффициентов МОУ (3) на $[n-1]$ -такте.

Необходимо в процессе управления минимизировать отклонение отклика блока алгоритма ОУ (2) Y от задающего воздействия Y^* по критерию минимума суммы квадратов отклонений на каждом такте работы алгоритма. Пусть блок ОУ (2) алгоритма находится в некотором исходном состоянии $X_i[0]$, а в блоке МОУ (3) алгоритма установлены значения коэффициентов $C_i[0]$.

На первом такте работы блок управления (7) алгоритма по выходу b дает команду на блок сумматора ошибки управления (8) алгоритма на вычисление ошибки управления $\varepsilon^y = Y^* - Y[0]$, а по выходу a подается команда на запрещение вычислений на вход γ блока сумматора ошибки идентификации (6) алгоритма. При этом на выходе этого блока (6) алгоритма появляется нуль. А двойные блоки квадратора (12) и сумматора (13) алгоритма, а также блок умножения (16) алгоритма вычисляют величины $\sum_{i=1}^m X_i^2$ и $\sum_{i=1}^m d_i^{-1} C_i^2$, которые подаются на входы делителя α' и β' двойного блока деления (14) алгоритма.

Вычисленные ошибки управления $\varepsilon^y = Y^* - Y[0]$ с выхода блока сумматора ошибки управления (8) алгоритма и нуль с выхода блока сумматора ошибки идентификации (6) алгоритма подаются на входы β и α двойного блока умножения (11) алгоритма, на входы α' , β' и β'' которого подаются значения $X_i[0]$, D^{-1} и $C_i[0]$, где

$$D = \begin{pmatrix} d_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & d_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & d_m \end{pmatrix} \quad (3)$$

матрица стоимости управляющих воздействий. В результате операции умножения на выходе a двойного блока умножения (11) алгоритма появляется нуль, а на выходе b этого же блока (11) появляется вектор $(Y^* - Y[n])D^{-1}C_i[0]$, которые поступают на входы делимого α и β двойного блока деления (14) алгоритма.

В результате операции деления на выходе a двойного блока деления (14)

алгоритма появляется нуль, а на выходе b этого же блока (14) алгоритма появляется вектор:

$$\frac{Y^* - Y[n]}{\sum_{i=1}^m d_i^{-1} C_i^2[n]} D^{-1} C_i[0], \quad (4)$$

который поступает на вход β сдвоенного блока масштабных коэффициентов (15) алгоритма, на вход α которого поступает нуль. В блоке масштабных коэффициентов (15) алгоритма вектор (4) преобразуется в вектор вида:

$$\rho_x \frac{Y^* - Y[n]}{\sum_{i=1}^m d_i^{-1} C_i^2[n]} D^{-1} C_i[0]. \quad (5)$$

Информация из блока масштабных коэффициентов (15) алгоритма поступает на входы α блоков сумматоров объекта (1) и модели (5) алгоритма, в которых выполняются операции суммирования, а на их выходах появляются сигналы:

$$X_i[1] = X_i[0] + \rho_x \frac{Y^* - Y[n]}{\sum_{i=1}^m d_i^{-1} C_i^2[n]} D^{-1} C_i[0] \quad \text{и} \quad C_i[1] = C_i[0] \quad (6)$$

соответственно. Следовательно, на первом такте работы алгоритма происходит уточнение управляющего воздействия при неизменных параметрах МОУ (3) алгоритма.

На втором такте работы блок управления (7) алгоритма выдает команду на вычисление ошибки идентификации в соответствующем блоке (6) алгоритма и запрет на вычисление в блоке сумматора ошибки управления (8) алгоритма, поэтому на его выходе появляется нуль. В результате аналогичных операций в блоке сумматора модели (5) алгоритма вычисляется новый вектор коэффициентов МОУ (3):

$$C_i[2] = C_i[1] + \rho_c \frac{Y[1] - \hat{Y}[1]}{\sum_{i=1}^m X_i^2[1]} X_i[1], \quad (7)$$

а на выходе блока сумматора объекта (1) алгоритма сохраняется управляющее воздействие: $X_i[2] = X_i[1]$.

Таким образом, на n -м и $(n+1)$ -м тактах работы алгоритм вычисляет управляющие воздействия и скорректированные значения коэффициентов МОУ (3) в виде соответственно:

$$X_i[n] = X_i[n-1] + \rho_x \frac{Y^* - Y[n-1]}{\sum_{i=1}^m d_i^{-1} C_i^2[n-1]} D^{-1} C_i[n-1], \quad (8)$$

$$C_i[n+1] = C_i[n] + \rho_c \frac{(Y[n] - \hat{Y}[n])X_i[n]}{\sum_{i=1}^m X_i^2[n]}. \quad (9)$$

Несложно показать, что указанные составляющие (8) и (9) разработанного алгоритма управления являются оптимальными в классе адаптивных рекуррентных процедур, минимизирующих рассогласование $\varepsilon^y = Y^* - Y[n]$ при ограничениях на энергетическую норму $\|\Delta X_i[n]\|^2 = \Delta X_i^T[n] D^{-1} \Delta X_i[n]$.

Вывод

В результате исследований разработан оптимальный в классе адаптивных рекуррентных процедур алгоритм управления, подстраивающейся к изменяющимся характеристикам объектов управления предприятий химической и смежных отраслей, позволяющий с высокой точностью и быстродействием отслеживать изменения в этих объектах и своевременно вырабатывать корректирующие воздействия.

Литература

1. Микропроцессорные системы [Текст] : учеб. пособие для вузов / под ред. Д.В. Пузанкова. – СПб.: Политехника, 2002. – 935 с.
2. Кузин А.В. Микропроцессорная техника [Текст]: учебник / А.В. Кузин, М.А. Жаворонков. – М. : Академия, 2004. – 304 с.
3. Жук В.И. Микропроцессорные контроллеры и системы управления на их основе : опыт построения [Текст] / В. И. Жук. Энергетика и ТЭК. – 2010. – № 01 (82). – С. 41-43.
4. Сиротский А.А. Микропроцессорные программируемые логические контроллеры в системах автоматизации и управления [Текст]: учеб. пособие для вузов / А.А. Сиротский. – М.: Спутник, 2013. 170 с.
5. Бобух А.А. Компьютерно-интегрированная система автоматизации технологических объектов управления централизованным теплоснабжением: монография [Текст] / А.А. Бобух, Д.А. Ковалев; под ред. А.А. Бобуха. – Х.: ХНУГХ им. А.Н. Бекетова, 2013. – 226 с.
6. Kushner H.J. Stochastic Approximation and Recursive Algorithms and Applications / H.J. Kushner, G.G. Yin. – New-York: Springer-Verlag-New-York-Inc., 2003. – 498 p.
7. Мальцев А.И. Алгоритмы и рекурсивные функции / А.И. Мальцев. – М.: Наука, 1986. – 367 с.
8. А.с. SU 1071996 А, G 05 В 13/00 Адаптивная система управления / И.Д. Зайцев, В.И. Салыга, А.А. Бобух и др. (СССР). № 3506739 / 18–24; заяв. 27.10.82; опубл. 07.02.84, Бюл. № 5.
9. Тюкин И.Ю. Адаптация в нелинейных динамических системах: монография [Текст] / И.Ю. Тюкин, В.А. Терехов. – СПб.: ЛКИ, 2008. – 384 с.

Bibliography (transliterated)

1. Mikroprotsessornyye sistemyi [Tekst] : ucheb. posobie dlya vuzov. pod red. D.V. Puzankova. – SPb.: Politehnika, 2002. – 935 p.

2. Kuzin A.V. Mikroprotsessornaya tehnika [Tekst]: uchebnik. A.V. Kuzin, M.A. Zhavoronkov. – M. : Akademiya, 2004. – 304 p.
3. Zhuk V.I. Mikroprotsessornyye kontrollery i sistemy upravleniya na ih osnove: opyt postroeniya [Tekst] V.I. Zhuk. Energetika i TEK. – 2010. – # 01 (82). – P. 41–43.
4. Sirotskiy A.A. Mikroprotsessornyye programmirovaniye logicheskie kontrollery i sistemy avtomatizatsii i upravleniya [Tekst]: ucheb. posobie dlya vuzov. A.A. Sirotskiy. – M.: Sputnik, 2013. 170 p.
5. Bobuh A.A. Kompyuterno-integrirovannaya sistema avtomatizatsii tekhnologicheskikh ob'ektov upravleniya tsentralizovannym teplosnabzheniem: monografiya [Tekst]. A.A. Bobuh, D.A. Kovalev; pod red. A.A. Bobuha. – H.: HNUGH im. A.N. Beketova, 2013. – 226 p.
6. Kushner H.J. Stochastic Approximation and Recursive Algorithms and Applications. H.J. Kushner, G.G. Yin. – New-York: Springer-Verlag-New-York-Inc., 2003. – 498 p.
7. Maltsev A.I. Algoritmy i rekursivnyye funktsii. A.I. Maltsev. – M.: Nauka, 1986. – 367 p.
8. A.s. SU 1071996 A, G 05 B 13/00 Adaptivnaya sistema upravleniya. I.D. Zaytsev, V.I. Salyiga, A.A. Bobuh i dr. (SSSR). # 3506739. 18–24; zayav. 27.10.82; opubl. 07.02.84, Byul. # 5.
9. Tyukin I.Yu. Adaptatsiya v nelineynykh dinamicheskikh sistemah: monografiya [Tekst]. I.Yu. Tyukin, V.A. Terehov. – SPb.: LKI, 2008. – 384 p.

УДК: 681.5

Бобух А.О., Ковальов Д.О., Дзевочко О.М., Клімов А.О., Подустов М.О.,
Переверзева А.М.

ОПТИМАЛЬНИЙ В КЛАСІ АДАПТИВНИХ РЕКУРЕНТНИХ ПРОЦЕДУР АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ

У статті розроблено оптимальний в класі адаптивних рекурентних процедур алгоритм керування, який підлаштовується до змін характеристик об'єктів керування підприємств хімічної і суміжних галузей, та дозволяє з високою точністю і швидкістю відстежувати зміни в цих об'єктах і своєчасно виробляти коригуючі впливи.

Bobukh A.A., Kovalyov D.A., Dzevochko A.M., Klimov A.O., Podustov M.A.,
Pereverzieva A.N.

OPTIMAL IN CLASS OF ADAPTIVE RECURRENT PROCEDURES CONTROL ALGORITHM

In the article the optimal is worked out in the class of adaptive recurrent procedures control algorithm, tuned to changing descriptions of objects of control of enterprises of chemical and contiguous industries, allowing with high exactness and fast-acting to watch changes in these objects and in good time produce correcting influences.