

УДК: 681.51:62-503.57:66.012

Бобух Анатолий Алексійович, канд. техн. наук, доцент, професор кафедри автоматизації хіміко-технологічних систем і екологічного моніторингу. Тел. +38-096-233-47-96. E - mail: aabobukh@ukr.net (orcid.org/0000-0002-3405-386X)

Дзевочко Александр Михайлович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизації хіміко-технологічних систем і екологічного моніторингу. Тел. +38-096-937-46-68. E - mail: sashadzevochko2@mail.ru (orcid.org/0000-0002-1297-1045)

Подустов Михайло Олексійович, д-р. техн. наук, проф., завідувач кафедрою автоматизації хіміко-технологічних систем і екологічного моніторингу. Тел. +38-067-577-65-57. E - mail: podustov@kpi.kharkov.ua (orcid.org/0000-0003-2119-1961)

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна. Вул.Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002

АЛГОРИТМ АДАПТАЦІЙНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ КЕРУВАННЯ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНОГО ПОСЛІДОВНОГО СІМПЛЕКС-МЕТОДУ

У статті розроблено алгоритм адаптаційної оптимізації технологічних об'єктів керування на основі модифікованого послідовного симплекс-методу, який не виконує оптимізацію безпосередньо на об'єкті, що виключає виникнення похибок, які пов'язані з процесом ідентифікації багатовимірних стохастичних об'єктів керування, дозволяє з високою точністю локалізувати екстремум при наявності переешкод.

Ключові слова: модифікований послідовний симплекс-матод, алгоритм адаптаційної оптимізації, комп'ютерно-інтегрована система керування.

Бобух Анатолий Алексеевич, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга. Тел. +38-096-233-47-96. E - mail: aabobukh@ukr.net (orcid.org/0000-0002-3405-386X)

Дзевочко Александр Михайлович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга. Тел. +38-096-937-46-68. E - mail: sashadzevochko2@mail.ru (orcid.org/0000-0002-1297-1045)

Подустов Михаил Алексеевич, д-р. техн. наук, проф., заведующий кафедрой автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга. Тел. +38-067-577-65-57. E - mail: podustov@kpi.kharkov.ua (orcid.org/0000-0003-2119-1961)

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина, Ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

АЛГОРИТМ АДАПТАЦИОННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СИМПЛЕКС-МЕТОДА

В статье разработан алгоритм адаптационной оптимизации технологических объектов управления на основе модифицированного последовательного симплекс-метода, который не выполняет оптимизацию непосредственно на объекте, что исключает возникновение погрешностей, связанных с процессом идентификации многомерных стохастических объектов управления, позволяет с высокой точностью локализовать экстремум при наличии помех.

Ключевые слова: модифицированный последовательный симплекс-матод, алгоритм адаптационной оптимизаций, компьютерно-интегрированная система управления .

Bobukh Anatoliy Alekseevich, Ph.D., associate professor, associate professor of department of automation of the chemical-technological systems and ecological monitoring. Тел. +38-096-233-47-96. E - mail: aabobukh@ukr.net (orcid.org/0000-0002-3405-386X)

Dzevochko Alexander Mikhajlovich, Ph.D., associate professor, associate professor of department of automation of the chemical-technological systems and ecological monitoring. Тел. +38-096-937-46-68. E - mail: sashadzevochko2@mail.ru (orcid.org/0000-0002-1297-1045)

Podustov Mikhail Alekseevich, Ph.D., Professor, head of department of automation of the chemical-technological systems and ecological monitoring. Тел. +38-067-577-65-57. E - mail: podustov@kpi.kharkov.ua (orcid.org/0000-0003-2119-1961)

The National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine. Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002

ALGORITHM OF ADAPTIVE OPTIMIZATION BASED ON A MODIFIED SEQUENTIAL SIMPLEX-METHOD FOR TECHNOLOGICAL OBJECTS OF CONTROL

In the article the algorithm of adaptive optimization of technological objects of control is worked out based on a modified sequential simplex-method possessing an enhanceable fast-acting and antijammingness, and also allowing to decide the tasks of extreme optimization of multidimensional stochastic technological objects of control of chemical and contiguous productions subject to influences of hindrances.

Keywords: a modified sequential simplex-method, algorithm of adaptive optimization, computer-integrated control system.

Введение

Для многомерных стохастических технологических объектов управления (ТОУ) с изменяющимися во времени характеристиками все больше внимания уделяют вопросам разработки современных компьютерно–интегрированных систем управления (КИСУ), при этом одной из основных задач становится разработка достаточно простых и удобных в использовании алгоритмов оптимизации, являющихся предметом рассмотрения теории адаптационной оптимизации [1–3]. Интерес представляет разработка алгоритма адаптационной оптимизации ТОУ на основе модифицированного последовательного симплекс-метода [4–6].

Цель работы

Разрабатываемый помехоустойчивый алгоритм адаптационной оптимизации ТОУ на основе модифицированного последовательного симплекс-метода не должен выполнять оптимизацию непосредственно на объекте управления, что исключит возникновение погрешностей, связанных с процессом идентификации стохастических объектов, позволит с более высокой точностью локализовать экстремум в обстановке помех и повысит точность оптимизации.

Реализация разрабатываемого алгоритма будет способствовать уменьшению расхода энергетических ресурсов, улучшению качества готовой продукции и снижению её себестоимости, что обеспечит возможность повышения энергетической эффективности таких объектов в целом и достижения соответствующего европейского уровня.

Основная часть

Разработанный алгоритм адаптационной оптимизации ТОУ на основе последовательного симплекс-метода [5] обеспечивает недостаточно высокую точность отыскания экстремума, объясняющуюся тем, что он отыскивает не саму точку экстремума, а некоторую её окрестность, в которой затем начинается блуждание симплекса.

Предлагаемый помехоустойчивый алгоритм адаптационной оптимизации реализует симплекс-метод модифицированного последовательного улучшения плана эксперимента и отыскивает экстремум статистической характеристики стохастического ТОУ [6]:

$$X_{k+1} = -LX_0 + \frac{1-L}{k} \sum_{i=1}^k X_i, \quad (1)$$

где X_0 – наихудшая (отражаемая) вершина симплекса;

X_{k+1} – отраженная вершина симплекса;

$X_i, i = \overline{1, k}$ – множество вершин симплекса за исключением наихудшей;

k – размерность пространства факторов;

L – программно изменяемый (в зависимости от номера итерации) параметр, определяющий характер деформации симплекса в процессе поиска.

Если параметр L в процессе поиска изменяется по правилу:

$$L[n] = \frac{2}{B + C \cdot n} - 1, \quad (2)$$

где n – номер итерации;

B и C – произвольные положительные константы,

то процесс оптимизации происходит по типу стохастической аппроксимации, то есть, обеспечивается сходимость с вероятностью “1” в условиях помех.

Благодаря использованию модифицированного последовательного симплекс-метода, являющегося алгоритмом адаптивной оптимизации ТОУ, предлагаемый алгоритм не производит оптимизацию непосредственно на ТОУ, что исключает возникновение погрешностей, связанных с процессом идентификации. Кроме того, предлагаемый алгоритм, осуществляя поиск по типу стохастической аппроксимации, позволяет с более высокой точностью локализовать экстремум в условиях помех.

Реализацию разрабатываемого помехоустойчивого алгоритма адаптивной оптимизации ТОУ на основе модифицированного последовательного симплекс-метода целесообразно выполнять на базе современных микропроцессорных контроллеров (МПК) [7–10], которые применяются при разработке современных КИСУ, с многофункциональным специальным программным обеспечением (СПО). Высокопроизводительные, быстродействующие, многоканальные и высоконадежные МПК в реальном масштабе времени с помощью СПО смогут обеспечивать выполнение всех необходимых стандартных функций разработанного алгоритма.

Рассмотрим процесс разработки помехоустойчивого алгоритма адаптивной оптимизации ТОУ на основе модифицированного последовательного симплекс-метода. На рисунке показан фрагмент упрощенной схемы соединения функциональных блоков разрабатываемого алгоритма.

В исходном состоянии в ячейках первого (3) и второго (6) блоков памяти алгоритма записаны нули, на первом (*a*) и втором (*b*) входах командного блока (9) алгоритма также – нули, а в блок (11) алгоритма управления шагом поиска (номером итераций) с выхода счетчика (10) итераций алгоритма вводятся значения констант *B* и *C*. Для начала работы алгоритма, то есть – формирования исходного симплекса, служит блок планирования эксперимента (8) алгоритма, представляющий собой генератор двоичных импульсов, описывающих по заданной программе исходный симплекс. Так, например, при числе факторов равном 3, необходимо сгенерировать последовательность импульсов вида: +1,+1,+1; +1,-1,+1; -1,+1,+1; -1,-1,+1; +1,+1,-1; +1,-1,-1; -1,+1,-1; -1,-1,-1. В момент пуска блок планирования эксперимента (8) алгоритма начинает формировать входные воздействия X_i согласно матрице насыщенного плана эксперимента (симплекс-план). Эти воздействия по первому (α) входу записываются во второй блок памяти (6) алгоритма, а также подаются на первый вход (*a*) командного блока (9) алгоритма, который включает первый (*a*) и второй (*b*) входы на первый (*c*) его выход. С первого (*c*) выхода командного блока (9) алгоритма через регулятор (2) входных переменных сигнал X_i , преобразованный в физические воздействия, подаются на вход ТОУ (1). Соответствующие отклики этого объекта Y_i по первому (α) входу записываются в ячейки первого блока памяти (3) алгоритма.

После формирования (*k*+1)-го воздействия блок (8) планирования эксперимента алгоритма отключается, при этом командный блок (9) алгоритма также отключается по первому (*a*) входу и открывается по второму (*b*) входу, а в ячейках первого (3) и второго (6) блоков памяти алгоритма записываются соответствующие значения откликов и факторов ТОУ(1).

Это состояние является исходным для осуществления собственно процесса оптимизации, который начинается в момент подачи командного импульса со второго (*d*) выхода командного блока (9) алгоритма на вход счетчика (10) итераций алгоритма и второй (β) вход анализатора (4) выхода объекта алгоритма. Анализатор (4) выхода объекта алгоритма служит для выбора с помощью операции сортировки минимального значения отклика, хранящегося в первом (3) блоке памяти алгоритма.

По командному импульсу блока (8) планирования эксперимента алгоритма включаются: счетчик итераций (10) алгоритма, который подает на вход блока (11) алгоритма управления шагом поиска (номером итераций) значение $n=1$, и анализатор (4) выхода объекта алгоритма, который, осуществляя сравнение записанных в ячейках первого (3) блока

памяти алгоритма значений откликов Y_i , выделяет наилучший из откликов Y_0 .

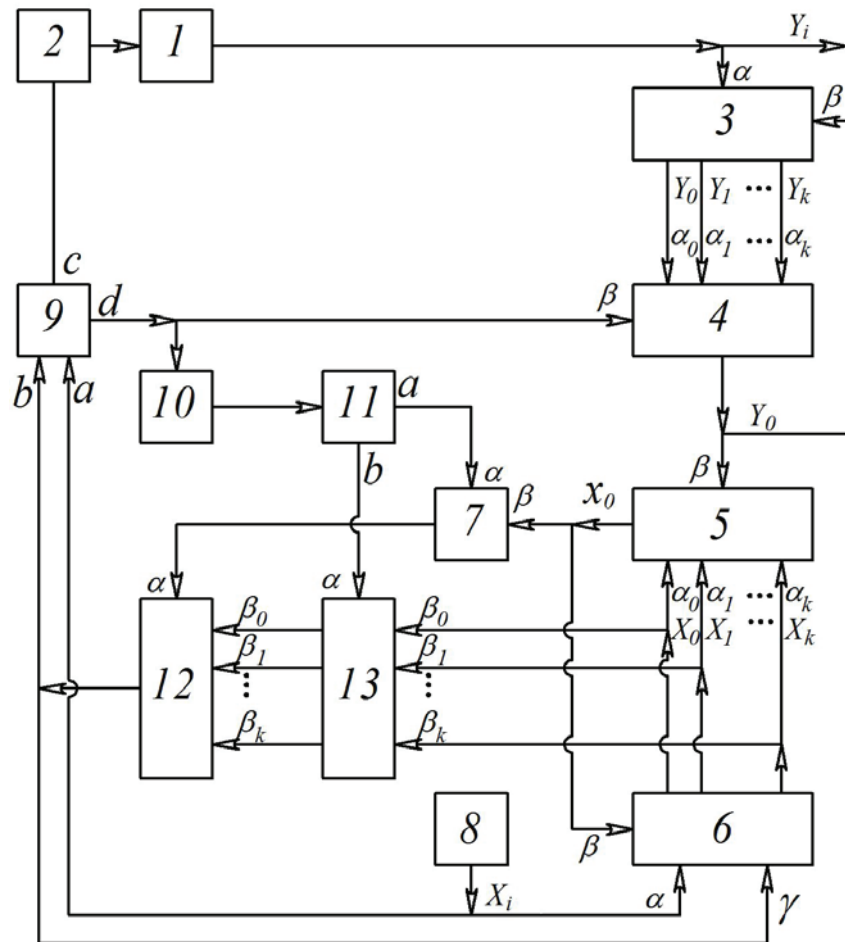


Рис. 1. Фрагмент упрощенной схемы соединения функциональных блоков алгоритма адаптивной оптимизации технологических объектов управления на основе модифицированного последовательного симплекс-метода

Выделенное значение отклика Y_0 с выхода анализатора выхода объекта (4) алгоритма подается на второй (β) вход первого (3) блока памяти алгоритма, где стирается в соответствующей ячейке, а также – на второй (β) вход анализатора (5) входа объекта алгоритма. По полученному сигналу анализатор (5) входа объекта алгоритма выделяет вектор факторов X_0 , соответствующий выделенному наилучшему отклику Y_0 , и подает его на второй (β) вход второго (6) блока памяти алгоритма, где соответствующая ячейка зануляется, а также – на второй (β) вход первого блока (7) умножения алгоритма.

Блок (11) алгоритма управления шагом поиска (номером итераций) вычисляет значение:

$$L[1] = \frac{2}{B + C \cdot 1} - 1, \quad (3)$$

которое с первого (a) его выхода подается на первый (α) вход первого блока (7) умножения алгоритма. На втором (b) выходе блока (11) алгоритма управления шагом поиска (номером итераций) появляется значение $1 - L[1]$, которое подается на первый (α) вход второго блока (13) умножения алгоритма, на вторые ($\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$) входы которого поступает значение факторов X_i , где $i = 0, 1, \dots, k$, с выходов второго (6) блоков памяти алгоритма. В первом блоке (7) умножения алгоритма осуществляется операция умножения, в результате которой на его

выходе появляется значение $L[1] \cdot X_0$, поступающее на первый (α) вход сумматора (12) алгоритма. Во втором блоке (13) умножения алгоритма значения факторов X_i умножаются на множитель $1 - L[1]$, в результате чего на его выходах получается набор значений $(1 - L[1]) \cdot X_i$, где $i = 0, 1, \dots, k$, поступающие на вторые ($\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$) входы сумматора (12) алгоритма.

Сумматор (12) алгоритма выполняет стандартную операцию суммирования сигналов, поступающих на него:

$$X_{k+1} = -L[k] \cdot X_0 + \frac{1 - L[k]}{k} \cdot \sum_{i=1}^k X_i. \quad (4)$$

Вычисленное значение X_{k+1} с выхода сумматора (12) алгоритма подается на третий (γ) вход второго блока (6) памяти алгоритма, где записывается в свободную ячейку. Этот же сигнал подается через второй (b) вход и первый (c) выход командного блока (9) алгоритма на регулятор (2), который подает соответствующее воздействие на вход ТООУ (1), реакция которого по первому (α) входу записывается в свободную ячейку первого блока памяти (3) алгоритма. На этом первая итерация заканчивается.

Вторая итерация осуществляется аналогично первой и начинается с подачи командного импульса со второго (d) выхода командного блока (9) алгоритма на вход счетчика (10) итераций алгоритма и второй (β) вход анализатора (4) выхода объекта алгоритма. По этому же импульсу с выхода счетчика (10) итераций алгоритма подается команда на вход блока (11) алгоритма управления шагом поиска (номером итераций), который вычисляет значение $L[2]$, подаваемое с первого его выхода (a) на первый (α) вход первого блока (7) умножения алгоритма, и значение $1 - L[2]$, подаваемое со второго его (b) выхода на первый (α) вход второго блока (13) умножения алгоритма.

Анализатор (4) выхода объекта алгоритма выделяет очередное наихудшее значение отклика, подаваемое через второй (β) вход в первый блок (3) памяти алгоритма, затем стирается в нём, а также – на второй (β) вход анализатора (5) входа объекта алгоритма, который выделяет соответствующий этому значению отклика вектор факторов X_0 . Это значение через второй (β) вход стирается в соответствующей ячейке второго блока (6) памяти алгоритма, после чего все значения X_i подаются на вторые ($\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$) входы второго блока (13) умножения алгоритма. Блоки первый (7) и второй (13) умножения алгоритма вычисляют значения $L[2] \cdot X_0$ и $1 - L[2] \cdot X_i$, соответственно, которые подаются на первый (α) вход и вторые ($\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$) входы сумматора (12) алгоритма. Сумматор (12) алгоритма вычисляет очередное значение:

$$X_{k+1} = -L[2] \cdot X_0 + \frac{1 - L[2]}{k} \cdot \sum_{i=1}^k X_i, \quad (5)$$

которое через третий (γ) вход второго блока (6) памяти алгоритма записывается в свободную ячейку этого блока (6) алгоритма, а через второй (b) вход и первый (c) выход командного блока (9) алгоритма и регулятор (2) подается на ТООУ (1).

Последующие итерации осуществляются аналогично предыдущим. Правило останова реализуется с помощью счетчика (10) итераций алгоритма и блока (11) алгоритма управления шагом поиска (номером итераций), где после итерации с достаточно большим номером могут быть изменены значения констант B и C , то есть, процесс продолжается с новыми параметрами.

Вывод

В процессе работы разработанного алгоритма адаптационной оптимизации на основе модифицированного последовательного симплекс-метода осуществляется отражение

симплекса и происходит последовательное улучшение значений откликов ТООУ. По мере движения к экстремуму происходит уменьшение размеров симплекса по правилам стохастической аппроксимации, что позволяет точно локализовать экстремум в условиях помех.

Обеспечивая более точное отыскание оптимальных режимов многомерных стохастических ТООУ, разработанный помехоустойчивый алгоритм адапционной оптимизации на основе модифицированного последовательного симплекс-метода, позволяет уменьшить расход энергетических ресурсов, улучшить качество готовой продукции и снизить её себестоимости, что обеспечит возможность повышения энергетической эффективности таких ТООУ в целом и достижения соответствующего европейского уровня.

Список использованной литературы:

1. Тюкин И. Ю. Адаптация в нелинейных динамических системах: монография [Текст] / И. Ю. Тюкин, В. А. Терехов. – СПб.: ЛКИ, 2008. – 384 с.
2. Мирошник И. В. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами [Текст] / И. В. Мирошник, В. О. Никифоров, А. Л. Фрадков. – СПб.: Наука, 2000. – 549 с.
3. Annaswamy A. M., Skantze F. P., Loh A.-P. Adaptive control of continuous time systems with convex/concave parametrization [Text] // Automatica. – 1998. – Vol.34, №1. – P. 33–49.
4. Понтрягин Л. С. Основы комбинаторной топологии: монография [Текст] / Л. С. Понтрягин. – М.: Наука, 1987. – 136 с.
5. Бобух А. А. Алгоритм адапционной оптимизации технологических объектов управления на основе последовательного симплекс-метода / А. А. Бобух, А. М. Дзевочко, М. А. Подустов, Д. А. Ковалев // Общегосудар. науч.-производ. и информ. журнал "Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит." Изд. при поддержке Академии наук Высш. образ. Украины. – 2015. № 5 (136). – С. 8–13.
6. А. с. SU 1125602 А СССР, G 05 В 13/00. Система автоматической оптимизации / А. А. Бобух, Е. В. Бодянский, И. Д. Зайцев и др. (СССР). № 3620710 / 24–24; заяв. 11.07.83; опубл. 23.11.84, Бюл. № 43.
7. Микропроцессорные системы [Текст]: учеб. пособие для вузов / под ред. Д. В. Пузанкова. – СПб.: Политехника, 2002. – 935 с.
8. Кузин А. В. Микропроцессорная техника [Текст]: учебник / А. В. Кузин, М.А. Жаворонков. – М.: Академия, 2004. – 304 с.
9. 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.
10. 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.

References:

1. Tjukin I. Ju., Terehov, V. A. (2008). Adaptation in the nonlinear dynamic systems: monograph [Adaptacija v nelinejnyh dinamicheskikh sistemah: monografija], LKI, SPb, 384 p.
2. Miroshnik I. V., Nikiforov, V. O., Fradkov A. L. (2000). Nonlinear and adaptive control by the difficult dynamic systems [Nelinejnoe i adaptivnoe upravlenie slozhnymi dinamicheskimi sistemami], Nauka, SPb, 549 p.
3. Annaswamy, A. M., Skantze, F. P., Loh, A.-P. (1998). Adaptive control of continuous time systems with convex/concave parametrization, Automatica, Vol. 34, № 1, pp. 33–49.
4. Pontrjagin L. S. (1987). Bases of combinatorics topology: monograph [Osnovy kombinatornoj topologii: monografija], Nauka, Moscow, 136 p.
5. Bobukh A. A., Dzevochko A. M., Podustov M. A., Kovalyov D. A. (2015). Algorithm of adaptation optimization of technological objects of control on basis of successive simplex-method [Alhorytm adaptatsiinoi optymizatsii tekhnolohichnykh obektiv keruvannia na osnovi poslidovnoho sympleks-metodu], Energy saving. Power engineering. Energy audit. № 5(136), P. 8–13.
6. A. s. 1125602 A SSSR, M. Kl.3 G 05 B 13/00. System of automatic optimization [Sistema avtomaticheskoy optimizacii] A. A. Bobuh, E. V. Bodjanskij, I. D. Zajzev, i dr. (SSSR). № 3620710 / 24–24; zajav. 11.07.83; opubl. 23.11.84. Bjul. № 43.
7. Puzankov D. V. (2002). Microsystems [Mikroprocessornye sistemy], Politehnika, SPb, 935 p.
8. Kuzin A. V. (2004). The microprocessor technique [Mikroprocessornaja tehnika], Akademija, Moscow, 304 p.
9. Zhuk, V. I. (2010). Microprocessor-based comptrollers and control system on their basis: experience of construction [Mikroprocessornye kontrollery i sistemy upravlenija na ih osnove: opyt postroenija], Jenergetika i TJEK, № 01 (82), pp. 41–43.
10. Sirotskij A. A. (2013). The microprocessor logical pios in the systems of automation and control [Mikroprocessornye programmiruemye logicheskie kontrollery v sistemah avtomatizacii i upravlenija], Sputnik, Moscow, 170 p.

Поступила в редакцию 27.05 2015 г.