

УДК 519-7

А. К. Клименко, канд. техн. наук

ОБ УЛУЧШЕННОМ БЛОКЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ С ДИСКРЕТНОЙ ОБРАТНОЙ МОДЕЛЬЮ

Аннотация. Существуют системы с адаптивной корректировкой циклически повторяющихся управляющих программ. Для оптимизации сходимости процесса адаптации в условиях случайных помех требуется использование блока статистического анализа. Предлагается техническое решение блока статистического анализа, ускоряющее сходимость процесса адаптации.

Ключевые слова: управляющая программа, автоматизированный объект, обратная модель, сходимость процесса адаптации, скорость сходимости.

А. К. Klymenko, PhD.

ABOUT THE IMPROVED UNIT OF STATISTICAL ANALYSIS FOR ADAPTIVE SYSTEM WITH DISCRETE INVERSE MODEL

Abstract. There are systems with adaptive adjustment of the cyclically repeating controlling programs. To optimize the convergence of the adaptation process in a random noise the using the unit of statistical analysis is required. The technical solution for the unit of statistical analysis, accelerating the convergence of the adaptation process is offered.

Keywords: controlling program, automated object, inverse model, convergence of the adaptation process, speed of convergence.

О. К. Клименко, канд. техн. наук

ПРО ПОЛПШЕНИЙ БЛОК СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ З ДИСКРЕТНОЮ ОБЕРНЕНОЮ МОДЕЛЛЮ

Анотація. Існують системи з адаптивним коректуванням циклічно повторюваних керуючих програм. Для оптимізації збіжності процесу адаптації в умовах випадкових перехід використовується блок статистичного аналізу. Пропонується технічне рішення блоку статистичного аналізу, що прискорює збіжність процесу адаптації.

Ключові слова: керуюча програма, автоматизований об'єкт, обернена модель, збіжність процесу адаптації, швидкість збіжності.

Введение. В настоящее время возникают проблемы при создании адаптивных систем управления. В числе адаптивных называются самонастраивающиеся, самоорганизующиеся, самообучающиеся и обучаемые системы. В качестве обучаемых можно назвать системы программного управления циклически повторяющимися технологическими процессами с адаптивной корректировкой управляющих программ.

Важным показателем качества обучаемых систем является скорость сходимости процесса адаптации при работе в условиях случайных возмущающих воздействий. Для оптимизации процесса адаптации в условия помех требуется использование блока статистического анализа. В данной работе рассматривается реализация указанного блока, ускоряющая сходимость процесса в адаптивной системе с дискретной обратной моделью (ОМ).

Анализ известных источников. Известны автоматизированные технологические объекты (АТО), в которых управление

осуществляется по циклически повторяющимся программам. Примерами таких АТО являются металлорежущие станки с программным управлением и станы горячей прокатки. Они могут рассматриваться как системы автоматического управления. Управляющие программы для них готовятся в условиях неполной информации об объекте управления и возмущающих воздействиях. Поэтому требуется корректировка управляющих программ как во время их разработки, так и в процессе эксплуатации.

Основные проблемы при создании систем с адаптивной корректировкой управляющих программ – обеспечение сходимости и ускорение процесса адаптации в условиях помех. Этим проблемам посвящено определенное количество работ. Так, например, в работе [8] рассмотрена задача повышения скорости процесса самонастройки в случае отсутствия случайных возмущений. Получаемая скорость оказалась весьма низкой. В работе [7] предложен способ оптимизации коэффициента усиления в адаптивном контуре системы при работе в условиях случайных помех. Но скорость процесса оптимизации

© Клименко А.К., 2012

ции и в этом случае весьма низка из-за необходимости выполнения большого объема статистического анализа.

Основопологающим техническим решением в задачах обеспечения сходимости процесса адаптации как для регулярной, так и случайной составляющих ошибки, явилось использование в адаптивном контуре системы обратной модели (ОМ) АТО. Указанная ОМ должна удовлетворять следующему требованию: переходная характеристика комплекса из последовательно соединенных ОМ и АТО в дискретном времени имеет вид

$$h_k(n) = \begin{cases} 1 \cdot \delta(n) & n \geq 1, \\ 0 & n \leq 0, \end{cases} \quad (1)$$

где n – дискретное время.

Техническое решение дискретной ОМ, удовлетворяющей условию (1), было найдено на базе компьютерных технологий. Оно защищено авторским свидетельством [1] и описано, например, в [4]. Упрощенное численное конструирование дискретной ОМ изложено в [5].

В работе [6] показано, что в случае отсутствия помех и использования в адаптивной системе ОМ, удовлетворяющей условию (1), процесс адаптации ускоряется и сводится к одному циклу. Если же помехи имеются, то, согласно [9], процесс адаптации в общем случае является бесконечным и поэтому представляет интерес задача его ускорения.

В работе [2] предложено техническое решение по оптимизации коэффициента усиления в адаптивном контуре системы с ОМ АТО при работе в условиях случайных помех. Целью оптимизации является сведение к минимуму среднего квадрата ошибки воспроизведения управляющей программы после ее корректировки. Для достижения этой цели используется блок статистического анализа (БСА). Как показано в [3], применение описанного в [2] БСА замедляет скорость сходимости процесса адаптации из-за необходимости двух воспроизведений управляющей программы для обеспечения возможности каждой ее корректировки.

В данной статье рассматривается устранение указанного недостатка. Предполагается такое осуществление БСА в адаптивном контуре системы, которое обеспечивает возможность адаптивной корректировки управ-

ляющей программы в каждом цикле ее воспроизведения с выполнением условия оптимальности. Необходимость введения вспомогательных циклов воспроизведения программы при этом устраняется, что ускоряет процесс адаптации.

Исходные данные. Вопрос создания улучшенного блока статистического анализа будем рассматривать на примере его применения в системе, описанной в [2]. Структурная схема указанной адаптивной системы изображена на рис. 1.

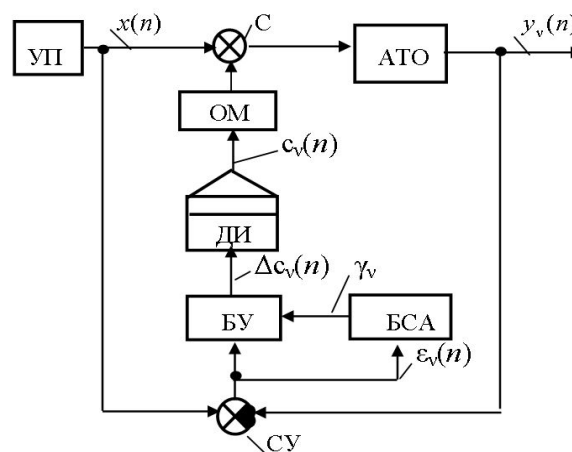


Рис. 1. Структурная схема адаптивной системы

Символами на схеме обозначены: УП – управляющая программа; АТО – автоматизированный технологический объект; ОМ – обратная модель; ДИ – дискретный интегратор; БСА – блок статистического анализа; БУ – блок умножения; СУ – сравнивающее устройство; С – сумматор.

Обратная модель, входящая в адаптивный контур системы, представляет собой дискретную следящую систему, а АТО, как правило, имеет непрерывный выходной сигнал, измеряемый в дискретные моменты времени. В качестве исходного математического описания АТО при осуществлении ОМ, как показано в [5], используется импульсная переходная функция (ИПФ) АТО в дискретном времени.

Если при создании ОМ исходным математическим описанием АТО является его передаточная функция, то она преобразуется в ИПФ следующим образом. Из передаточной функции путем преобразования Лапласа строится переходная характеристика $h(t)$. За-

дается шаг квантования ОМ по времени T .
 Формируется числовой массив ИПФ

$$k(n + \tau) = h(t) \Big|_{t=(n+\tau)T} - h(t) \Big|_{t=(n-1+\tau)T},$$

$$n \in [0, N_1],$$

где n – дискретное время; τ – конструктивный временной сдвиг в сторону опережения; N_1 – время затухания.

В ОМ, как это показано в [5], может быть реализована зависимость

$$c(n) = \left[x(n) - \sum_{m=1}^{N_1} c(n-m)k(m+\tau) \right] / k(\tau), \quad (2)$$

где $x(n)$ и $c(n)$ – соответственно входной и выходной сигналы ОМ.

Если входящий в зависимость (2) конструктивный временной сдвиг выбран равным единице ($\tau = 1$), то переходная характеристика комплекса ОМ-АТО удовлетворяет требованиям (1).

В качестве исходных данных ниже приведены некоторые математические зависимости, заимствованные из работы [2].

Поскольку ОМ имеет временное запаздывание на один такт дискретного времени, зарегистрированный сигнал ошибки подается на вход ДИ с опережающим временным сдвигом на ту же величину. Это приводит к приращению корректирующего сигнала

$$\Delta c_v(n) = \gamma_v \varepsilon_v(n+1). \quad (3)$$

Из приращения (3) следует, что переходная характеристика последовательно соединенных адаптивного контура системы по рис. 1 и АТО становится равной единице.

В адаптивной системе имеют место случайные возмущающие воздействия, которые приложены к точке измерения ошибки воспроизведения программы. Для общей ошибки v -го цикла воспроизведения программы, представляющей собой отклонение размеров обработанных деталей от заданных, принимается выражение

$$\varepsilon_v(n) = \bar{\varepsilon}_v(n) + \tilde{\varepsilon}_v(n), \quad n \in [0, N], \quad (4)$$

где $\bar{\varepsilon}_v(n)$ и $\tilde{\varepsilon}_v(n)$ – соответственно регулярная и случайная составляющие ошибки.

Поскольку случайная составляющая принимается аддитивной, между средним квадратом общей ошибки и средними квадратами ее составляющих справедливо соотношение:

$$M\{\varepsilon_v(n)^2\} = M\{\bar{\varepsilon}_v(n)^2\} + M\{\tilde{\varepsilon}_v(n)^2\},$$

$$n \in [0, N]. \quad (5)$$

Входящий в адаптивную систему по рис.1 блок статистического анализа БСА предназначен для нахождения оптимального коэффициента усиления γ_{v+1} , обеспечивающего минимум среднеквадратичной ошибки воспроизведения программы. Условие оптимальности определяется следующим соотношением:

$$\gamma_{v+1} = \frac{M\{\bar{\varepsilon}_v(n)^2\}}{M\{\bar{\varepsilon}_v(n)^2\} + M\{\tilde{\varepsilon}_v(n)^2\}}. \quad (6)$$

Возмущающие воздействия являются аддитивными. Поэтому составляющие ошибок соседних циклов воспроизведения программы удовлетворяют требованиям

$$\bar{\varepsilon}_v(n) = \bar{\varepsilon}_{v-1}(n), \quad \tilde{\varepsilon}_v(n) \neq \tilde{\varepsilon}_{v-1}(n),$$

$$M\{\tilde{\varepsilon}_v(n)^2\} = M\{\tilde{\varepsilon}_{v-1}(n)^2\}. \quad (7)$$

Реализация адаптивной системы, в которой коэффициент усиления адаптивного контура определяется условием (6), оптимизирует процесс адаптации и дает некоторое ускорение его. Но это ускорение лишь частично компенсирует потерю скорости из-за необходимости двукратного воспроизведения управляющей программы.

Постановка задачи. Целью данной статьи является устранение указанного недостатка. Предполагается такое осуществление адаптивного контура системы, которое обеспечивает возможность адаптивной корректировки управляющей программы в каждом цикле ее воспроизведения с выполнением условия оптимальности (6). Необходимость введения вспомогательных циклов воспроизведения программы при этом устраняется, что ускоряет процесс адаптации.

Эта задача решается разработкой такого БСА, входящего в адаптивную систему, для функционирования которого достаточно информация об ошибках воспроизведения управляющей программы в предшествующих рабочих циклах независимо от того, корректировалась ли в то время программа. При этом БСА должен сохранить выполнение условия оптимальности (6). Требуется найти математическое описание вновь созда-

ваемого БСА и предложить его структурную схему.

Изложение результатов. Для упрощения задачи создания БСА, соответствующего указанным требованиям, преобразуем запись условия оптимальности (6). Из него следует, что для регулярной составляющей ошибки справедливо выражение

$$M\{\bar{\varepsilon}_v(n)^2\} = M\{\varepsilon_v(n)^2\} - M\{\tilde{\varepsilon}_v(n)^2\}.$$

Подставляя $M\{\bar{\varepsilon}_v(n)^2\}$ из полученного выражения в соотношение (6), после преобразований получим более удобную формулу для оптимального коэффициента усиления в адаптивном контуре:

$$\gamma_{v+1} = 1 - \frac{M\{\tilde{\varepsilon}_v(n)^2\}}{M\{\varepsilon_v(n)^2\}}. \quad (8)$$

Сначала рассмотрим задачу определения численных значений входящих в выражение (8) средних квадратов при работе адаптивной системы (рис. 1). Эта задача выполняется с помощью блока статистического анализа БСА, структурная схема которого изображена на рис. 2. В состав БСА входят буферная память, элемент задержки, сумматор, блок умножения и вычислитель.

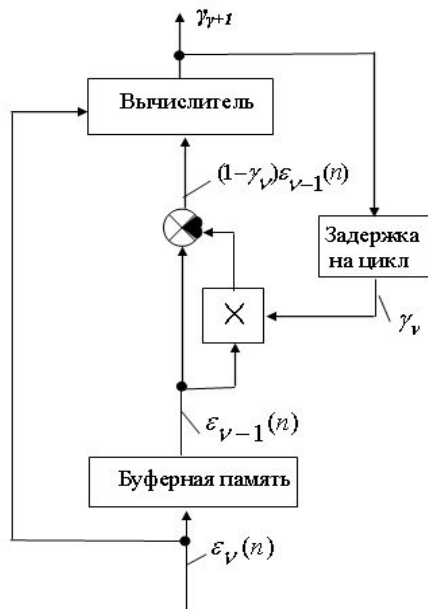


Рис. 2. Структурная схема блока статистического анализа

Блок БСА предназначен для нахождения оптимального коэффициента усиления γ_{v+1} в адаптивном контуре системы после v -го цик-

ла воспроизведения программы. Он функционирует следующим образом.

Регистрируются ошибки двух предшествующих циклов воспроизведения программы. В промежутках между циклами в ДИ вносится поправка в соответствии с выражением (3). Ошибка до корректировки

$$\varepsilon_{v-1}(n) = \bar{\varepsilon}_{v-1}(n) + \tilde{\varepsilon}_{v-1}(n), \quad (9)$$

а после корректировки преобразуется к виду

$$\varepsilon_v(n) = (1 - \gamma_v)\varepsilon_{v-1}(n) + \tilde{\varepsilon}_v(n), \quad (10)$$

где γ_v – коэффициент усиления в адаптивном контуре при v -м цикле воспроизведения программы.

В БСА формируется следующая разность между зарегистрированными ошибками:

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_v(n) - (1 - \gamma_v)\varepsilon_{v-1}(n),$$

которая после преобразований с учетом соотношений (7,9,10) преобразуется:

$$\Delta\varepsilon = \tilde{\varepsilon}_v(n) - \tilde{\varepsilon}_{v-1}(n).$$

Находим средний квадрат полученной разности с учетом аддитивности помехи:

$$\begin{aligned} M\{[\Delta\varepsilon]^2\} &= M\{[\varepsilon_v(n) - (1 - \gamma_v)\varepsilon_{v-1}(n)]^2\} = \\ &= M\{\tilde{\varepsilon}_v(n)^2\} + M\{\tilde{\varepsilon}_{v-1}(n)^2\} = 2M\{\tilde{\varepsilon}_v(n)^2\}. \end{aligned}$$

Из полученной зависимости находим выражение для среднего квадрата случайной составляющей ошибки при v -м воспроизведении программы:

$$M\{\tilde{\varepsilon}_v(n)^2\} = \frac{M\{[\varepsilon_v(n) - (1 - \gamma_v)\varepsilon_{v-1}(n)]^2\}}{2}.$$

Подставив полученное значение среднего квадрата случайной составляющей ошибки в формулу (8), находим математическое описание для искомого БСА, структурная схема которого изображена на рис. 2:

$$\gamma_{v+1} = 1 - \frac{M\{[\varepsilon_v(n) - (1 - \gamma_v)\varepsilon_{v-1}(n)]^2\}}{2M\{\varepsilon_v(n)^2\}}. \quad (11)$$

Реализация БСА с использованием в его вычислителе формулы (11) дает возможность находить оптимальный коэффициент усиления без промежуточных вспомогательных воспроизведений программы. При этом необходимо иметь информацию о зарегистрированных ошибках двух предшествующих циклов воспроизведения программы, а также информацию о коэффициенте усиления γ_v , использованном при корректировке про-

граммы в v -м цикле. Если же указанная корректировка не производилась, то в формуле (11) необходимо принять коэффициент усиления предыдущего цикла воспроизведения программы равным нулю ($\gamma_v = 0$).

Работоспособность БСА, описываемого выражением (11), и его эффективность были подтверждены моделированием.

Выводы

Использование в адаптивной системе ОМ АТО совместно с предлагаемым способом подстройки коэффициента усиления обеспечивает оптимальную корректировку программы в любых циклах ее воспроизведения. Возмущающие воздействия при этом могут быть как стационарными, так и медленно изменяющимися во времени. Для получения статистических данных об ошибках не требуется проведения экспериментальных выполнений программы, что вдвое ускоряет процесс адаптации. Изложенные результаты могут быть применены, например, при решении задачи отладки управляющих программ для станков с ЧПУ. При этом автоматическое измерение обработанных деталей может выполняться как на автоматизированной координатно-измерительной машине, так и на станке, где деталь обработана. Устройства адаптации могут быть внешними, а действующие системы ЧПУ могут не усложняться.

Список использованной литературы

1. А. с. СССР 1406563, МКИ G 05 B 5/01. Корректирующее устройство / А. К. Клименко, В. Г. Клименко (СССР). – № 4041877/24-24; заявл. 25.03.86; опублик. 30.06.88, Бюл. № 24.
2. Клименко, А. К. Об оптимизации коэффициента усиления в адаптивной системе с обратной моделью / А. К. Клименко // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2006. – № 2. – С.125–131.
3. Клименко, А. К. Об оценке скорости сходимости процесса в адаптивной системе с дискретной обратной моделью / А. К. Клименко // Электротехнические и компьютер-

ные системы. – К. : Техніка. – 2012. – № 05 (81). – С. 145–151.

4. Клименко, А. К. Обратная модель для решения задач управления и контроля качества / А. К. Клименко // Методы менеджмента качества. Надежность и контроль качества. – 1999. – № 8. – С. 32–39.

5. Клименко, А. К. Об упрощенном численном конструировании обратной модели динамического объекта / А. К. Клименко // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2007. – № 1. – С. 14–24.

6. Клименко, А. К. О сходимости процессов адаптации в цифровых системах программного управления станками / А. К. Клименко // Адаптивные системы управления металлорежущими станками: под ред. А. Е. Кобринского. – М. : НИИМАШ. – 1971. – Сер. С-1. – С. 58–67.

7. Перельман, И. И. Выбор оптимального коэффициента усиления в системе регулирования по самоуставляющейся программе / И. И. Перельман // Автоматика и телемеханика. – 1959. – № 2. – С.184–191.

8. Перельман, И. И. Самонастраивающаяся программа как средство для получения заданной реакции на выходе линейного динамического объекта регулирования / И. И. Перельман // Автоматика и телемеханика. – 1958. – № 4. – С. 312–320.

9. Цыпкин, Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах / Я. З. Цыпкин. – М. : Наука, 1968. – 400 с.

Получено 12.09.2012

References

1. A. a. 1406563 USSR, MKI G 05 B 5/01. Correction unit / A. K. Klymenko, V. G. Klymenko (USSR). – № 4041877/24-24; appl. 25.03.86, publ. 30.06.88, Bull. Number 24 [in Russian].
2. Klymenko, A. K. On the optimization of the coefficient of amplification in an adaptive system with feedback model / A. K. Klymenko // Automatik. Automation. Electrical complexes and systems. – 2006. – № 2. – P.125–131 [in Russian].

3. Klivenko, A.K. About the estimation of a velocity of convergence of process in the adaptive system with discrete reverse model / A.K. Klivenko // *Electrotechnic and computer systems*. – Kiev : Technika. – 2012. – № 05 (81). – P.145–151 [in Russian].

4. Klymenko, A. K. Inverse model for solving the problems of management and quality assurance / A. K. Klymenko // *Methods of quality management. Reliability and quality control*. – 1999. – № 8. – P. 32–39 [in Russian].

5. Klymenko, A. K. About simplified umerical development of the inverse model of a dynamic object / A. K. Klymenko // *Automatics. Automation. Electrical equipment and systems*. – 2007. – № 1. – P. 16–24 [in Russian].

6. Klymenko, A. K. The convergence of processes of adaptation in digital systems software machine control / A. K. Klymenko // *Adaptive control machine tools*, ed. A. E. Kobrinsky. – Moscow : NIIMASH. – 1971. – Ser. C-1. – P.58–67 [in Russian].

7. Perelman, I. I. Selection of the optimal gain in the regulation of self-setting program // *Automation and Remote Control*. – 1959. – № 2. – P.184–191 [in Russian].

8. Perelman, I. I. Adaptive program as a means to obtain a given output of the linear response of the dynamic object management / I. I. Perelman // *Automation and Remote Control*. – 1958. – № 4. – P.312–320 [in Russian].

9. Tsyarkin, J. Z. Adaptation and Learning in Automatic Systems / J. Z. Tsyarkin. – Moscow : Nauka, 1968. – 400 p. [in Russian].



Клименко
Александр Константинович,
канд.техн. наук, доцент
Бердянского Гос.пед.ун-та,
т.д. +380-(6153)-70329,
моб. +380-99-304-73-79.
E-mail: aklym@ukr.net