

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ АЛГОРИТМОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

С.В. КУХАРЕНКО

В статье предложен модифицированный подход к синтезу стратегии управления технологическими процессами и организацией.

Ключевые слова: адаптивные системы, стратегия управления, метод, синтез.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе управления технологическими процессами необходимо постоянно принимать непростые решения, связанные с учетом многих критериев качества и ограничений на ресурсы. Математическим аппаратом для решения этой проблемы является теория адаптивных систем управления [1-3], в связи с чем большое внимание уделяется задачам синтеза алгоритмов управления в этих системах, а создание адаптивных систем, позволяющих активно осуществлять адаптацию к изменяющимся условиям, требованиям, целям является перспективным направлением в автоматизации управления производственными процессами.

В результате анализа опубликованных работ, которые посвящены адаптивным системам [4-9], установлено, что в них рассматриваются вопросы адаптивной коммутации с приоритетом [4], адаптивной дискретизации с использованием метода наименьших квадратов [5] и экспоненциальных функций [6], адаптивной идентификации [7], задач условной оптимизации синтеза [8], банка алгоритмов адаптации [9], целью которого является определение наибольшего семейства законов адаптации, которые гарантируют стойкость адаптивных систем в целом, среди которых следует выбрать наилучшей в смысле некоторого критерия качества. Среди известных работ отсутствуют работы, посвященные синтезу стратегии управления удовлетворяющей критерию адаптации и минимума критерия качества переходного процесса.

Целью статьи является разработка нового подхода, основанного на модифицированной основе, который обеспечивает синтез стратегии управления удовлетворяющей заданному критерию адаптации и минимума критерия качества переходного процесса. В качестве объекта исследований приняты адаптивные системы с самообучением и перестройкой структуры. Предметом исследований являются стратегии управления, которые наиболее полно используют получаемую и обрабатываемую статистическую информацию. Поставленная цель определила необходимость разработки нового подхода, основанного на модифицированной фидуциальной оценке плотности распределения вероятностей, для решения которой использовались методы математического моделирования и методы теории вероятностей. Научная проблема заключается в разработке методологии синтеза такой стратегии.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрим некоторую систему, на которую оказывают влияние в каждый момент времени $t = k$ (время t – дискретно) неуправляемое воздействие S_k (в общем случае вектор) и управляемое воздействие U_k (в общем случае вектор). Воздействие S_k , $k = 1, 2, \dots$, представляет собой последовательность независимых одинаково распределенных значений случайной величины

$$S \in dF(S / \Theta),$$

где $F(S / \Theta)$ – функция распределения вероятностей S , принадлежащая параметрическому семейству $\{F(S / \Theta), \Theta \in \Omega\}$.

Функциональная форма $F(S / \Theta)$ – известна, а параметр $\Theta \in \Omega$ (в общем случае – вектор односвязной области Ω в евклидовом пространстве) неизвестен. Обозначим через $\varphi(S_k, U_k)$ некоторую функцию, определяющую состояние текущих потерь системы в k -м такте. Введем усредненную характеристику состояния текущих потерь:

$$\bar{\varphi}(U_k, \Theta) = M_{S_k} \{ \varphi(S_k, U_k) \} = \int \varphi(S, U_k) f(S / \Theta) dS,$$

где $M\{ \cdot \}$ – оператор математического ожидания относительно случайной величины S_k ; $f(S / \Theta)$ – плотность распределения вероятностей случайной величины S .

В течение определенного времени происходит накопление информации в форме результатов наблюдений за неуправляемым воздействием S_k . Пусть S^k – вектор с компонентами (S_1, S_2, \dots, S_k) – выборка наблюдений объемом k . Вектор S^{k-1} содержит всю информацию, на основе которой нужно сделать выбор U_k . Будем называть S^{k-1} информационным состоянием системы на момент времени k , а функцию вида $U_k = V_k(S^{k-1})$ – законом управления к k -м такте. Последовательность законов управления $\pi = \{V_1, \dots, V_k, \dots, V_N\}$ назовем стратегией управления, где N – длина интервала управления.

Систему считаем адаптивной по отношению к моменту l , если, начиная с этого момента, ее алгоритм управления вырабатывает такую стратегию $\pi_l = \{V_l, \dots, V_k, \dots, V_N\}$, которая переводит при $N \rightarrow \infty$ систему из состояния средних ожидаемых потерь $\bar{\varphi}(V_l(S^{l-1}), \Theta)$ в состояние $\bar{\varphi}(U^0(\Theta), \Theta)$ (состояние минимальных ожидаемых потерь при оптимальном управлении $U^0(\Theta)$), определя-

емом в условиях наличия полной информации о параметре $\Theta \in \Omega$). Сходимость $\bar{\varphi}(V_l(S^{l-1}), \Theta)$ к $\bar{\varphi}(U^0(\Theta), \Theta)$ в упомянутом выше вероятностном смысле является критерием адаптации. Из определения адаптивности системы следует, что на этом пути можно построить множество стратегий управления, при которых система будет адаптивной, т.е. удовлетворять заданному критерию адаптации. Однако каждой стратегии π_l соответствуют свои ожидаемые потери переходного процесса

$$W_N(\pi_l) = \sum_{k=l}^N M_{S^{k-1}} \left\{ \Phi \left(\begin{array}{l} \bar{\varphi}(V_k(S^{k-1}), \Theta), \\ \bar{\varphi}(U^0(\Theta), \Theta), V_k(S^{k-1}), U^0(\Theta) \end{array} \right) \right\}, \quad (1)$$

где предполагается, что $V_k(S^{k-1})$ выбираются в соответствии со стратегией π_l , математическое ожидание вычисляется относительно случайного процесса S^{k-1} ,

$\Phi(\bar{\varphi}(V_k(S^{k-1}), \Theta), \varphi(U^0(\Theta), \Theta), V_k(S^{k-1}), U^0(\Theta))$ – некоторый функционал, определяющий текущие потери переходного процесса в k -м такте.

Определение по S^{k-1} приводит к ожидаемым (средним) потерям переходного процесса в k -м такте. Таким образом $W_N(\pi_l)$ – критерий качества переходного процесса приближения от управления в l -м такте (по неполной информации) к оптимальному управлению в условиях полной информации на интервале управления длины N для стратегии π_l .

Поставим задачу синтеза равномерно оптимальной (наилучшей для каждого k , из всех возможных стратегий в свете получаемой и обрабатываемой статистической информации) стратегии $\pi_l^{\text{опт}}$, которая осуществляет перевод системы (в определенном выше вероятностном смысле) из состояния $\varphi(V_l(S^{l-1}), \Theta)$ в состояние $\bar{\varphi}(U^0(\Theta), \Theta)$ при наименьших ожидаемых потерях переходного процесса (1). Другими словами, необходимо найти такую стратегию управления $\pi_l^{\text{опт}}$, которая удовлетворяла бы заданному критерию адаптации и доставляла бы минимум заданному критерию качества переходного процесса на подинтервале времени длины N , начиная с момента l , т.е. наиболее полно использовала бы получаемую и обрабатываемую статистическую информацию.

Из литературных источников [10-12] известно несколько подходов к решению этой проблемы: мини-максный подход; подход Вальда; подход Бернулли в сочетании с теоремой Байеса; фидуциальный подход; подход максимального правдоподобия.

Подходы мини-максный и максимального правдоподобия основаны на предположении, что всякому параметру в статистической задаче решения может быть приписано некоторое апри-

орное распределение, отвечают так называемому байесовскому статистическому подходу. В работе [10] показано, что при довольно общих условиях мини-максный подход также является байесовским. Более того, мини-максный подход при некоторых слабых ограничениях является байесовским относительно наименее благоприятного распределения.

Уязвимая сторона байесовского подхода состоит в необходимости постулировать существование априорного распределения. От этого недостатка свободны фидуциальный и подход максимального правдоподобия, которым, в основном, и посвящена работа [13].

Проведенные нами исследования показали, что:

– фидуциальный и подход максимального правдоподобия не могут привести к оптимальному решению проблемы;

– можно получить рациональный метод выбора (в отношении простоты обработки наблюдений и качества переходного процесса) априорного распределения для байесовского подхода в случае использования его в задачах синтеза алгоритмов адаптивного управления.

В работе предлагается новый подход, основанный на модифицированной основе, сущность которого рассмотрим на конкретном примере.

Пусть

$$f(S/\Theta) = \frac{1}{\Theta} \exp\left\{-\frac{S}{\Theta}\right\}, \quad 0 < S < \infty$$

(плотность экспоненциального распределения),

$$\varphi(S_k, U_k) = (U_k - S_k)^2,$$

$$Z_{k-1} = t_{k-1} =$$

$$= \sum_{i=1}^{k-1} S_i, \mathcal{S} \left(\begin{array}{l} \varphi\left(\omega_k\left(\hat{\Theta}, \alpha_k\right), \Theta\right), \\ \bar{\varphi}\left(U^0(\Theta), \Theta\right), \omega_k\left(\hat{\Theta}_k, \alpha_k\right), U^0(\Theta) \end{array} \right) = \\ = \bar{\varphi}\left(\omega_k\left(\hat{\Theta}_k, \alpha_k\right), \Theta\right).$$

Решение задачи:

1. Выборочное распределение $Z_{k-1} = t_{k-1}$:

$$dP(t_{k-1}/\Theta) = \frac{1}{T(k-1)\Theta^{k-1}} t_{k-1}^{k-2} \exp\left\{-\frac{t_{k-1}}{\Theta}\right\} \alpha t_{k-1},$$

$$0 < t_{k-1} < \infty.$$

2. Фидуциальное распределение параметра Θ :

$$dP^*(\Theta/t_{k-1}) = \frac{t_{k-1}^{k-1}}{T(k-1)} \left(\frac{1}{\Theta}\right)^k \exp\left\{-\frac{t_{k-1}}{\Theta}\right\} d\Theta,$$

$$0 < \Theta < \infty.$$

3. Фидуциальная оценка плотности распределения вероятностей S_k :

$$f^*(S_k/t_{k-1}) = \frac{k-1}{t_{k-1}} \left(1 + \frac{S_k}{t_{k-1}}\right)^{-k}, \quad 0 < S_k < \infty.$$

4. Модифицированная фидуциальная оценка плотности распределения вероятностей S_k :

$$f^*(S_k/t_{k-1}, \alpha_k) = \frac{k-1+\alpha_k}{t_{k-1}} \left(1 + \frac{S_k}{t_{k-1}}\right)^{-k-\alpha_k},$$

$$0 < S_k < \infty,$$

а оптимальная функция $\omega_k^*(t_{k-1}, \alpha_k)$ из условия

найти
$$\min_{U_k} \int_0^\infty (U_k - S)^2 \frac{k-1+\alpha_k}{t_{k-1}} \left(1 + \frac{S}{t_{k-1}}\right)^{-k-\alpha_k} dS,$$

получаем
$$\omega_k^*(t_{k-1}, \alpha_k) = \frac{t_{k-1}}{k-2+\alpha_k}.$$

5. Оптимальный параметр α_k^0 из условия найти

$$\min_{\alpha_k} M \left\{ \bar{\varphi}(\omega_k^*(t_{k-1}, \alpha_k), \Theta) \right\},$$

где

$$\bar{\varphi}(\omega_k^*(t_{k-1}, \alpha_k), \Theta) = \frac{t_{k-1}^2}{(k-2+\alpha_k)^2} - 2 \frac{t_{k-1}}{(k-2+\alpha_k)} \Theta + 2\Theta^2,$$

получаем $\alpha_k^0 = 2$.

6. Оптимальное управление $U_k^0(t_{k-1})$ в k -м такте: $U_k^0(t_{k-1}) = \frac{t_{k-1}}{k}$.

7. Оптимальная стратегия управления на базе информативной статистики $z=t$:

$$\pi_l^{\text{опт}}(t) = \left\{ \frac{t_{l-1}}{l}, \dots, \frac{t_{k-1}}{k}, \dots, \frac{t_{N-1}}{N} \right\}.$$

При этом достигается довольно существенное улучшение качества переходного процесса приближения от управления в условиях неполной информации к оптимальному управлению в условиях полной информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Преимущество предлагаемого метода состоит в том, что он позволяет также довольно легко определять равномерно оптимальные стратегии управления при наличии ограничений на управление (в этом случае используются оптимальные модифицированные фидуциальные оценки плотностей $f^*(S_k/Z_{k-1}, \alpha_k^0)$, $k=l(1)N$) и, кроме того, указать рациональное (в отношении простоты обработки наблюдений и качества переходного процесса) априорное распределение для байесовского подхода. При этом устраняется субъективный момент при выборе подхода.

Использование предлагаемого модифицированного подхода будет способствовать повышению качества проектирования новых алгоритмов адаптивного управления производством и функционирования существующих.

Литература.

[1] Александров А. Г. Оптимальные и адаптивные системы. – М.: Высш. шк., 1989. – 263с.
 [2] Цыпкин Я.З., Кельманс Г.К. Дискретные адаптивные системы управления // Итоги науки и техники. Техн. кибернетика. – Т. 17. – М.: ВИНТИ, 1984. – С. 3-73.
 [3] Иванов В.А., Шапировский М.Р. Адаптивные системы управления с моделями // Итоги науки и тех-

ники. Техн. кибернетика. – Т.18. – М.: ВИНТИ, 1986. – С. 210-240.

[4] Авдеев Б.Я. Анализ погрешности аппроксимации адаптивной коммутации с приоритетом / Известия Ленингр. электротехн. ин-та им. В.И. Ульянова (Ленина). – Вып. 182. – 1975.
 [5] Виттих В.А. Адаптивная дискретизация с использованием метода наименьших квадратов / Автометрия, №4. – 1969.
 [6] Виттих В.А., Сабилло В.П. Адаптивная дискретизация с использованием экспоненциальных функций / Приборостроение, № 9. – 1974.
 [7] Костюк В.И., Сильвестров А.Н. Многократно адаптивная система идентификации МАСИ-1 и ее применение / Вестник Киев. политехн. ин-та // Техническая кибернетика. – Вып. 2. – 1978.
 [8] Гуменикова А.В. Применение локального поиска для повышения эффективности алгоритма решения многокритериальных задач условной оптимизации // VIII Всерос. науч. конф. / СибГАУ. – Красноярск, 2004. – С. 183.
 [9] Теоретические и прикладные проблемы создания систем управления технологическими процессами / Тезисы докладов Всесоюзного совещания. – Часть 1. – Москва, 1990.
 [10] Вальд А. Статические решающие функции. В кн.: Позиционные игры. – М.: Наука, 1967. – 522 с.
 [11] Кендалл М., Стюарт А. Статистические выводы и связи. – М.: Наука, 1973. – 899 с.
 [12] Кендалл М., Стюарт А. Теория распределений. – М.: Наука, 1966. – 587 с.
 [13] Закс Ш. Теория статистических выводов. – М.: Мир, 1975. – 776 с.

Поступила в редколлегию 26.02.2011.

Кухаренко Сергей Викторович, кандидат технических наук, начальник научно-исследовательской лаборатории разработки и использования специальных технических средств и фотоскопии Национальной академии внутренних дел. Область научных интересов: математическое моделирование объектов производства.



УДК 681.513

Модифікований підхід до розробки алгоритмів адаптивного управління / С.В. Кухаренко // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. – 2011. Том 10. № 1. – С. 86–88.

У статті запропоновано модифікований підхід до синтезу стратегії управління технологічними процесами та організацією.

Ключові слова: адаптивні системи, стратегія управління, метод, синтез.

Бібліогр.: 13 найм.

UDC 681.513

Modified approach to development of algorithms of adaptive control / S.V. Kukharenko // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. – 2011. Vol. 10. № 1. – P. 86–88.

The paper offers a modified approach to the synthesis of strategy of controlling technological processes and managing an organization.

Keywords: adaptive systems, control and management strategy, method, synthesis.

Ref.: 13 items.