УДК 681.513.6

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВУМЕРНЫМИ СТОХАСТИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ

ПЛИСС И.П., ПОПОВ С.В.

Предлагается решение задачи адаптивного управления двумерными стохастическими дискретными полями. Синтезирован самонастраивающийся регулятор, являющийся расширением известного адаптивного регулятора с обобщенной минимальной дисперсией на случай управления стохастическими полями.

Данная работа описывает развитие и обобщение регуляторов, полученных в [1-4]. Она посвящена решению задачи управления двумерными стохастическими полями в условиях априорной неопределенности об их параметрах.

Введем в рассмотрение управляемое двумерное дискретное поле:

$$X_n = \sum_{h=1}^{r} A^h * \left(z^{-h} X_n\right) + \sum_{k=1}^{p} C^k * \left(z^{-k} U_n\right) + W_n \, , \quad (1)$$

где X_n – $(M\times N)$-матрица состояния поля в дискретный момент времени $n = 0, 1, 2,$; U_n – управляющее матричное воздействие в общем случае произвольной размерности; A^h, C^k – операторы матричной свертки [5], в общем случае неизвестные; * – символ операции матричной свертки; z^{-h} – оператор сдвига назад, определяемый соотношением $z^{-h}X_n = X_{n-h}$; $W_n = (w_{ij,n})$ – дискретный матричный белый шум. В дальнейшем без потери общности мы будем рассматривать случай, когда размерность матрицы U_n совпадает с размерностью матрицы X_n, при этом общее число неизвестных параметров преобразования в структуре (1) составляет $(MN)^2(r+p)$.

В соответствие управляемому полю (1) можно поставить матричную модель

$$X_n = \sum_{h=1}^{r} A^h X_{n-h} B^h + \sum_{k=1}^{p} C^k U_{n-k} D^k + W_n \, , \quad (2)$$

(здесь A^h, B^h, C^h, D^h – $(M\times M)$, $(N\times N)$, $(M\times M)$, $(N\times N)$-неизвестные матрицы преобразования), которую, вводя матрицы

$$\widetilde{A} = \left(A^1 \vdots \cdots \vdots A^r \vdots C^1 \vdots \cdots \vdots C^p\right),$$

$$\widetilde{B} = \begin{pmatrix} B^1 \\ \vdots \\ B^r \\ D^1 \\ \vdots \\ D^p \end{pmatrix}, \widetilde{X}_{n-1} = \begin{pmatrix} X_{n-1} & & & & & 0 \\ & \ddots & & & & \\ & & X_{n-r} & & & \\ & & & U_{n-1} & & \\ & & & & \ddots & \\ 0 & & & & & U_{n-p} \end{pmatrix},$$

можно представить в виде

$$X_n = \widetilde{A}\widetilde{X}_{n-1}\widetilde{B} + W_n \, . \quad (3)$$

Заметим, что структура (3) содержит $(M^2+N^2)(r+p)$ неизвестных параметров.

Далее, вводя в рассмотрение настраиваемую модель

$$\hat{X}_n = \widetilde{A}_{n-1}\widetilde{X}_{n-1}\widetilde{B}_{n-1} \, , \quad (4)$$

можно организовать в реальном времени процесс уточнения ее параметров с помощью рекуррентных процедур оценивания, введенных в [1-4].

Для синтеза закона управления уравнения (2)-(4) удобно переписать в форме

$$X_n = CU_{n-1}D + AZ_{n-1}B + W_n \, , \quad (5)$$

$$\hat{X}_n = C_{n-1}U_{n-1}D_{n-1} + A_{n-1}Z_{n-1}B_{n-1} \, , \quad (6)$$

где

$$A = \left(A^1 \vdots \cdots \vdots A^r \vdots C^2 \vdots \cdots \vdots C^p\right), C = C^1, D = D^1,$$

$$B = \begin{pmatrix} B^1 \\ \vdots \\ B^r \\ D^2 \\ \vdots \\ D^p \end{pmatrix}, Z_{n-1} = \begin{pmatrix} X_{n-1} & & & & & 0 \\ & \ddots & & & & \\ & & X_{n-r} & & & \\ & & & U_{n-2} & & \\ & & & & \ddots & \\ 0 & & & & & U_{n-p} \end{pmatrix},$$

после чего, используя принцип стохастической эквивалентности, можно ввести критерий управления

$$\hat{J}_n = \mathrm{Tr}\left(X^*_{n+1} - \hat{X}_{n+1}\right)Q\left(X^*_{n+1} - \hat{X}_{n+1}\right)^T \quad (7)$$

с учетом ограничений на область допустимых управлений

$$\mathrm{Tr}\, U_n R U_n^T \le U^2 \, . \quad (8)$$

Здесь X^*_{n+1} – некоторое априорно заданное матричное задающее воздействие; Q и R – положительно определенные весовые матрицы.

Сформировав лагранжиан

$$L_n = \hat{J}_n + \lambda\left(\mathrm{Tr}\, U_n R U_n^T - U^2\right) \quad (9)$$

и воспользовавшись для его оптимизации процедурой Эрроу-Гурвица-Удзавы, можно получить соотношения для адаптивного закона управления и настройки неотрицательного неопределенного множителя Лагранжа l:

$$\begin{cases} C_n^T\left(X^*_{n+1} - A_n Z_n B_n\right)QD_n^T = C_n^T C_n U_n D_n Q D_n^T + \\ + \lambda_n U_n R, \\ \lambda_{n+1} = \left[\lambda_n + \gamma^{\lambda}_{n+1}\left(\mathrm{Tr}\, U_n R U_n^T - U^2\right)\right]_+, \end{cases} \quad (10)$$

где γ^{λ}_{n+1} – скалярный параметр шага градиентного поиска, $[\lambda]_+ = \max\{0, \lambda\}$.

Первое соотношение (10) требует разрешения относительно матрицы U_n, для чего перепишем его в виде

$$\begin{aligned} &C_n^T\left(X^*_{n+1} - A_n Z_n B_n\right)QD_n^T R^{-1}\lambda_n^{-1} = \\ &= C_n^T C_n U_n D_n Q D_n^T R^{-1}\lambda_n^{-1} + U_n, \end{aligned} \quad (11)$$

или, переобозначая переменные,

$$F_n = L_n U_n S_n + U_n \, . \quad (12)$$

Для нахождения U_n можно либо векторизовать (12), тогда

$$\overline{F}_n = \overline{U}_n\left(S_n \otimes L_n^T + I\right) \quad (13)$$

и
$$U_n = \underline{\left(\overline{F}_n\left(S_n \otimes L_n^T + I\right)^{-1}\right)}, \qquad (14)$$

(здесь $\overline{(\bullet)}, \underline{(\bullet)}$ — символы строчной векторизации и девекторизации соответственно; I — единичная матрица соответствующей размерности), либо воспользоваться методами решения матричных уравнений [6] и отыскивать U_n с помощью рекуррентной процедуры, реализуемой в ускоренном масштабе времени между тактами работы регулятора:

$$U_{n,t} = U_{n,t-1} + K_1^T\left(L_n U_{n,t-1} S_n + U_{n,t-1} - F_n\right)K_2 . \qquad (15)$$

Здесь индекс t обозначает машинные итерации, при этом процесс вычислений организуется так, что между тактами n-1 и n реального времени производится N машинных итераций, т.е. $U_{n,0}==U_{n-1,N}=U_{n-1}$ и $U_n=U_{n,N}$; K_1, K_2 — матричные коэффициенты усиления, подбираемые эмпирически.

Ситуация значительно упрощается в случае отсутствия ограничений на энергетику управлений ($R = 0 \cdot I$). Тогда

$$U_n = \left(C_n^T C_n\right)^{-1} C_n^T\left(X_{n+1}^* - A_n Z_n B_n\right) Q D_n^T \left(D_n Q D_n^T\right)^{-1}, \qquad (16)$$

при этом требуется невырожденность соответствующих матриц. Если же Q=I, приходим к достаточно простому закону управления

$$U_n = C_n^+\left(X_{n+1}^* - A_n Z_n B_n\right)D_n^+ , \qquad (17)$$

где $(\bullet)^+$ — обобщенная псевдообратная матрица Мура-Пенроуза.

Видно, что алгоритм (10) является обобщением адаптивного регулятора Тойвонена [7, 8] на матричный объект, а при постоянном значении λ соответствует известному адаптивному регулятору с обобщенной минимальной дисперсией Кларка-Гофтропа [9].

Литература: 1. *Бодянский Е.В., Плисс И.П.* О решении задачи управления матричным объектом в условиях неопределенности // Автоматика и телемеханика. 1990. №2. С. 175-178. 2. *Bodyanskiy Ye. V., Pliss I.P., Timofeev V.A.* Discrete adaptive identification and extrapolation of two-dimensional fields // Pattern Recognition and Image Analysis. 1995. Vol. 5, №3. P. 410-416. 3. *Плисс И.П., Попов С.В.* Адаптивная фильтрация и экстраполяция полей наблюдений // Радиоэлектроника и информатика. 1997. №1. С. 60-62. 4. *Плисс И.П., Попов С.В.* Адаптивное сглаживание двумерных полей наблюдений // Радиоэлектроника и информатика. 1998. №4. С. 54-56. 5. *Кунцевич В.М.* О решении задачи двумерной дискретной фильтрации // Автоматика и телемеханика. 1987. №6. С. 68-78. 6. *Икрамов Х.Д.* Численное решение матричных уравнений. М.: Наука. 1984. 192 с. 7. *Toivonen H.T.* Variance constrained self-tuning control // Automatica. 1983. Vol. 19, №4. P. 415-418. 8. *Toivonen H.T.* A self-tuning regulator with on-line cost function adaptation // Int. J. Syst. Sci. 1984. Vol. 15, №11. P. 1185-1189. 9. *Clark D.W., Gawthrop P.J.* Self-tuning controller // Proc. IEE. 1975. Vol. 122, №9. P. 929-934.

Поступила в редколлегию 01.06.99

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Любчик Л.М.

Плисс Ирина Павловна, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ПНИЛ АСУ ХТУРЭ. Научные интересы: адаптивные системы обработки информации и управления. Увлечения: фелинология, приготовление экзотических блюд. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14; тел. 40-98-90.

Попов Сергей Витальевич, аспирант кафедры ТК ХТУРЭ. Научные интересы: адаптивная обработка информации в многомерных системах. Увлечения: музыка, компьютеры, автомобили. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14; тел. 40-98-90.

E-mail: Serge.Popov@writeme.com

УДК 621.391(07)

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТОВ ЭКСПЕДИЦИОННОГО КЛАССА

КУЗЬМЕНКО В.М., ШУЛЬГА Ю.В., КОВТУНОВИЧ С.А.

Рассматривается информационная модель, особенности и структура объектов экспедиционного класса. Выполняется формализация объектов данного класса. При описании модели используется методология SSADM, выделяются основные процессы, внешние объекты и хранилища данных.

Предприятия, осуществляющие экспедирование периодических изданий, при переходе на прогрессивные информационные технологии, что стало возможным в результате разработки методологии оперативного получения сопроводительных документов [1, 2], инженерных методик и методов [3], превратились из некогда ориентированных на ручной труд производств в производства, ориентированные на человеко-машинные комплексы. К основным особенностям этих предприятий относятся:

1) многоуровневая, иерархическая структура. Эта особенность проявляется как в структуре системы управления процессами экспедирования периодических изданий, так и в структуре информационной базы и технических средств управления (рис. 1). Система управления объектом имеет 3 уровня управления: предприятием, структурным функциональным подразделением (цехом, участком), сменой.

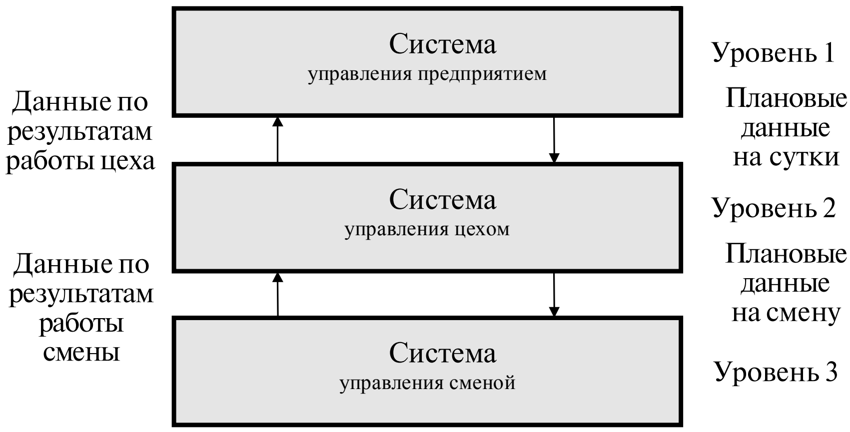

Рис. 1. Структурная схема управления процессами экспедирования периодических изданий