Chemical Technology, Control and Management

Volume 2018
Issue 1 *SPECIAL ISSUE 1-2*

Article 23

4-28-2018

Steady synthesis algorithms of the adaptive observers in control systems dynamic objects

H.Z Igamberdiyev
Academic at Academy of Science, Uzbekistan,Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Information Processing and Management Systems, Tashkent State Technical University

A.H Rasulev
Applicant, Department of Information Processing and Management Systems, Tashkent State Technical University, Tel.: 246-03-45,, akb-81@mail.ru

Steady synthesis algorithms of the adaptive observers in control systems dynamic objects

Cover Page Footnote

Tashkent State Technical University, SSC «UZSTROYMATERIALY», SSC «UZKIMYOSANOAT», JV «SOVPLASTITAL», Agency on Intellectual Property of the Republic of Uzbekistan

ISSN 1815-4840
Himičeskaâ tehnologiâ. Kontrol' i upravlenie
CHEMICAL TECHNOLOGY. CONTROL AND MANAGEMENT
2018, №1-2 (79-80) pp.138-143. https://doi.org/10.34920/2018.1-2.138-142
International scientific and technical journal
journal homepage: https://uzjournals.edu.uz/ijctcm/
Since 2005

УДК 62.505-681.3

Х.З.ИГАМБЕРДИЕВ, А.Х.РАСУЛЕВ (ТГТУ)

УСТОЙЧИВЫЕ АЛГОРИТМЫ СИНТЕЗА АДАПТИВНЫХ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Параметрлар идентификаторларидан ташкил топган, дастлабки ва жорий ҳолат векторларини баҳосини ўз ичига олган чизиқли динамик тизимлар учун адаптив кузатувчиларни синтезлаш масалалари кўриб чиқилган. Идентификация тенгламасининг матрица операторини меъёрлаштирилган ажралишига асосан объект параметрларини турғун баҳолаш учун итерация жараёнидан фойдаланилади. Келтирилган алгоритмлар мунтазам ҳисоблаш усулларидан фойдаланиш асосида бошқариш объекти параметрларини турғун идентификациялаш имконини беради ва шу билан бирга адаптив кузатувчи қурилмалар ишлаш сифатини оширади.

Таянч сўзлар: *динамик объект, тенгламалар тизими, адаптив кузатувчи, турғун баҳолаш алгоритмлари.*

Рассматриваются вопросы синтеза адаптивных наблюдателей для линейных динамических систем, содержащих идентификаторы параметров, оцениватели начального и текущего вектора состояния. Для устойчивого оценивания параметров объекта используется итерационный процесс, основанный на нормализованном разложении матричного оператора уравнения идентификации. Приведенные алгоритмы позволяют осуществлять устойчивую идентификацию параметров управляемых объектов на основе использования регулярных вычислительных процедур и тем самым повысить качество функционирования адаптивного наблюдающего устройства.

Ключевые слова: *динамический объект, система управления, адаптивный наблюдатель, устойчивые алгоритмы оценивания.*

The problems of synthesis of adaptive observers are considered, for linear dynamic systems containing parameter identifiers, estimators of the initial and current state vectors. For a stable estimation of object parameters, an iterative process is used, based on the normalized decomposition of the matrix operator of the identification equation. These algorithms allow the stable identification of the parameters of the controlled objects on the basis of the use of regular computational procedures and thereby improve the quality of the functioning of the adaptive observing device.

Key words: *dynamic object, control system, adaptive observer, stable estimation algorithms.*

К настоящему времени известны различные постановки задач синтеза адаптивных наблюдателей. Так, например, в работах [1-3] сформулированы подобные постановки задач адаптивного наблюдения и приведены алгоритмы их решения, но рассматриваемые там методы предназначены для синтеза адаптивных наблюдателей, основанных только на идентификации. К тому же в этих работах не дается решение задачи оценки начального вектора состояния. Широкое распространение получили адаптивные наблюдающие устройства, обладающие адаптацией в отношении приложенных к объекту управления внешних воздействий, не доступных прямому измерению, а также наблюдающие устройства с адаптацией к неизвестным параметрам объекта управления [1,4]. Эти наблюдающие устройства, помимо оценки переменных состояния объекта, идентифицируют неизвестные факторы, т.е. неподдающиеся прямому измерению внешние воздействия и параметры системы, значения которых вначале были неизвестны. Известны также схемы построения адаптивных наблюдателей [3,4], в которых используются процедуры выбора канонической формы представления модели объекта и наблюдателя, приведения модели ошибки к расширенному представлению путем введения в модель и системы вектора дополнительных сигналов, выбора алгоритма адаптации и сигналов обратной связи, гарантирующих устойчивость адаптивного наблюдателя. Будем рассматривать адаптивные наблюдатели, включающие идентификаторы параметров, оптимальные оцениватели начального и текущего вектора состояния [5].

Рассмотрим наблюдаемые системы в дискретном времени вида

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k), \; x(0) = x_0, \tag{1}$$

$$y(k) = Cx(k), \; k = 0,1,2,..., \tag{2}$$

где $x(k) \in R^n$ – неизвестный текущий вектор состояния, $x(0) \in R^n$ – неизвестный начальный вектор состояния, $u(k) \in R^r$ – вектор входа, $r \leq n$, $y(k) \in R^m$ – вектор выхода, A и B – неизвестные матрицы вида

$$A = \begin{bmatrix} 0 & I_{n-1} \\ \hline & a^T \end{bmatrix}, \; a^T = [a_1, a_2, ..., a_n],$$

где I_{n-1} – единичная $(n-1)\times(n-1)$ матрица,

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ \hline B^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & 0 & & \\ \hline b_1 & b_2 & \ldots & b_r \end{bmatrix},$$

где $b_i^T = [b_{i,m+1}, b_{i,m+2}, ..., b_{i,n}], \; 1 \leq i \leq r$;

$$C = [I_m \vdots 0_{n-m}],$$

где I_m – единичная $m \times m$ матрица, 0_{n-m} – нулевая $m\times(n-m)$ матрица.

Весьма конструктивный подход к решению рассматриваемой триединой задачи предложен в [5]. В соответствии с этим подходом вначале на основе модели объекта (1) и (2) формируются векторы и матрицы вход–выходных данных

$$y_i(0), \; i = 1,2,..., m;$$

$$Y_j^T = [y_j(0), y_j(1), ..., y_j(n-1+Nr)], \; j = 1,2,..., m;$$

$$\bar{Y}_m^T = [y_m(1), y_m(2), ..., y_m(n+N(r+1))];$$

$$U_{1i} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ u_i(0) & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ u_i(1) & u_i(0) & \ldots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_i(N-2) & u_i(N-3) & \ldots & u_i(0) & 0 \end{bmatrix}, \; U_{1i}, \; (1 \leq i \leq r) \; - N \times N;$$

$$U_{2i} = \begin{bmatrix} u_i(N-1) & u_i(N-2) & \cdots & u_i(0) \\ u_i(N) & u_i(N-1) & \cdots & u_i(1) \\ u_i(N+1) & u_i(N) & \cdots & u_i(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_i(n-2+N(r+1)) & u_i(n-3+N(r+1)) & \cdots & u_i(n-1+Nr) \end{bmatrix}, \; U_{2i}, \; (1 \leq i \leq r);$$

$$Y_{m,m+1}=\begin{bmatrix} y_m(1) & y_m(2) & \cdots & y_m(N) \\ y_m(2) & y_m(3) & \cdots & y(N+1) \\ y_m(3) & y_m(4) & \cdots & y_m(N+2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_m(n+Nr) & y_m(n+1+Nr) & \cdots & y_m(n-1+N(r+1)) \end{bmatrix}.$$

Далее векторы $\hat{h}_1,\hat{h}_2,...,\hat{h}_r$, $\hat{a}$ и $\hat{\eta}(0)$, где $\hat{h}_i^T=[\hat{h}_{i,m+1},\hat{h}_{i,m+2},...,\hat{h}_{i,n}]$, $1\le i\le r$, $\hat{a}^T=[\hat{a}_1,\hat{a}_2,...,\hat{a}_n]$, $\hat{h}^T=[\hat{h}_1(0),\hat{h}_2(0),...,\hat{h}_N(0)]$, вычисляются с помощью системы линейных алгебраических уравнений вида

$$\Omega\hat{\Theta}=\bar{Y}_m, \tag{3}$$

где

$$\Omega_1=\left[\begin{array}{c:c:c:c:c:c:c:c:c:c} U_{11} & U_{12} & \dots & U_{1r} & \multicolumn{4}{l:}{0_{1,r+1}} & \multicolumn{2}{l}{I_{1,r+2}} \\ \hdashline U_{21} & U_{22} & \dots & U_{2r} & Y_1 & Y_2 & \dots & Y_m & Y_{m,m+1} & 0_{2,r+2} \end{array}\right]$$

– квадратная, $0_{1,r+1}$ – нулевая $N\times(N+m)$ матрица, $I_{1,r+2}$ – $N\times N$ матрица, $0_{2,r+2}$ – нулевая матрица соответствующей размерности, $\hat{\Theta}^{\mathrm{T}}=[\hat{h}_1^T\vdots\hat{h}_2^T\vdots\ldots\vdots\hat{h}_r^T\vdots\hat{a}^T\vdots\hat{\eta}^T(0)]$.

Векторы $\hat{b}_i$, $(1\le i\le r)$, где $\hat{b}_i^T=[\hat{b}_{i,m+1},\hat{b}_{i,m+2},...,\hat{b}_{i,n}]$, вычисляются с помощью системы линейных алгебраических уравнений [5]

$$T\hat{b}_i=\hat{h}_i,\ (1\le i\le r),$$

где T – левая треугольная $N\times N$ теплицева матрица.

Оценка начального вектора состояния $w(0)$, где

$$\hat{w}^T(0)=[\hat{w}_1(0),\hat{w}_2(0),...,\hat{w}_N(0)]=[\hat{x}_{m+1}(0),\hat{x}_{m+2}(0),...,\hat{x}_n(0)],$$

вычисляется с помощью оптимального оценивателя пониженного порядка вида

$$\hat{w}(0)=\hat{\eta}(0)+\overline{U}(\hat{h}^*-\hat{b}^*),$$

где $\overline{U}=[U_{11}\vdots U_{12}\vdots\ldots\vdots U_{1r}]$ – теплицева матрица соответствующей размерности

$$\hat{h}^{*T}=[\hat{h}_1^T\vdots\hat{h}_2^T\vdots...\vdots\hat{h}_r^T],\ \hat{b}^{*T}=[\hat{b}_1^T\vdots\hat{b}_2^T\vdots...\vdots\hat{b}_r^T],\ \hat{x}_i(0)=y_i(0),\ i=1,2,...,m.$$

Текущий вектор состояния $w(k)$, $k=1,2,...,$ где

$$\hat{w}^T(k)=[\hat{w}_1(k),\hat{w}_2(k),...,\hat{w}_N(k)]=[\hat{x}_{m+1}(k),\hat{x}_{m+2}(k),...,\hat{x}_n(k)]$$

оценивается с помощью полного оптимального сингулярного адаптивного наблюдателя пониженного порядка вида [5]:

$$\hat{w}(k+1)=(\hat{A}_{22}-gc^T)\hat{w}(k)+[\hat{B}^*\vdots\hat{A}_{21}]\left[\begin{array}{c} u(k) \\ \hdashline y(k) \end{array}\right]+gy_m(k+1),\ \hat{w}(0)=\hat{w}_0,\ k=0,1,...,$$

где

$$\hat{A}_{22}=\left[\begin{array}{c:c} 0 & I_{N-1} \\ \hdashline \multicolumn{2}{c}{\hat{\hat{a}}^T} \end{array}\right],\ \hat{\hat{a}}^T=[\hat{a}_{m+1},\hat{a}_{m+2},...,\hat{a}_n],\ c^T=[1,0,...,0],$$

$$\hat{A}_{21} = \begin{bmatrix} 0_{(N-1)\times m} \\ \hat{\tilde{a}}^T \end{bmatrix}, \ \hat{\tilde{a}}^T = [\hat{a}_1, \hat{a}_2, ..., \hat{a}_m] \text{ – матрица } N \times m,$$

$g^T = [g_1, g_2, ..., g_N]$, $g \overset{\Delta}{=} b_i$, $i = 1,2,..., r+m$, $\overset{\Delta}{b_i}$ – вектор–столбцы матрицы $[\hat{B}^* \vdots \hat{A}_{21}]$.

При решении системы (3) могут возникнуть трудности вычислительного характера. Это обусловлено тем, что система (3) может быть плохо обусловленной. В таких случаях целесообразно использовать устойчивые методы решения такого рода систем [6,7]. Для решения системы (3) будем использовать итерационные алгоритмы [8-10].

Будем полагать, что матрица Ω в системе уравнений (3) является неособенной порядка $p = N(r+1) + n$. Представим матрицу Ω в следующем виде [11,12]:

$$R\Omega = LQ^T, \tag{4}$$

где R – результирующая матрица перестановок, Q – ортогональная $p \times p$-матрица, L – левая треугольная с элементами l_{ij}, удовлетворяющими неравенствам

$$|l_{11}| \ge |l_{22}| \ge \ldots \ge |l_{pp}|, \ |l_{ji}| \le |l_{ii}|, \ i = 1,..., p-1, \ j = i+1,..., p.$$

Для правой части построим две последовательности векторов:

$$d_1 = (0,...,0,1)^T, \qquad f_1 = -\zeta \overline{Y}_m;$$

$$d_2 = \mu_1 d_1 - s_1 t_1, \qquad f_2 = \mu_1 f_1 - s_1 l_1;$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$d_{p+1} = \mu_p d_p - s_p t_p, \quad g_p = \mu_{p-1} f_{p-1} - s_{p-1} l_{p-1},$$

где $l_1,..., l_p$ – столбцы матрицы L, t_i – i-й столбец ортогональной матрицы Q, дополненный нулевой последней компонентой, так что $t_i \in E_{p+1}$, E_{p+1} – пространство векторов размерности $p+1$.

Числа p_i, s_i представляют собой коэффициенты матриц вращения [12,13]:

$$\mu_i = l_{ii} \Big/ \sqrt{(l_{ii}^2 + \xi_i^2)}, \quad s_i = \xi_i \Big/ \sqrt{(l_{ii}^2 + \xi_i^2)},$$

где $l_{11},..., l_{pp}$ – диагональные элементы левой треугольной матрицы L; ξ_i – i-я компонента вектора $f_i = (\xi_1, \xi_2, ..., \xi_p)$.

Последний вектор d_{p+1} представляет собой вектор $\tilde{q}_{p+1}$. Нормируя d_{p+1} к единичной последней компоненте, найдем вектор $\tilde{\hat{\theta}}$ – приближение к решению системы (3). Разложение (4) может быть использовано [13,14] для анализа системы (3) на обусловленность, если диагональные элементы матрицы L можно разбить на группы «больших» и «малых» с резким разрывом. Пусть этот разрыв происходит при переходе от l_{rr} к $l_{r+1,r+1}$, – так, что

$$|l_{r+1,r+1} / l_{rr}| = \delta_0 << 1.$$

В этом случае матрица LL^T, равная с точностью до перестановки строк и столбцов матрице $\Omega\Omega^T$, будет иметь r больших и $p-r$ малых собственных значений. Аналогичная ситуация будет иметь место и для матриц QQ^T. Учитывая это обстоятельство можно написать

$$\tilde{\hat{\theta}}_r = Q_r Q_r^T \tilde{\hat{\theta}}, \qquad \tilde{\hat{\theta}}_{p-r} = Q_{p-r} Q_{p-r}^T \tilde{\hat{\theta}},$$

где $\tilde{\hat{\theta}}_r$, $\tilde{\hat{\theta}}_{p-r}$ – ортогональные проекции вычисленного решения $\tilde{\hat{\theta}}$ системы (3) на подпространства Q_r и Q_{p-r}.

Для уточнения решения $\tilde{\hat{\theta}}$ можно применить также следующий итерационный процесс [8-10]. Исходя из начального вектора $z_0 = \tilde{\hat{\theta}}$, будем использовать последовательность приближений вида

$$z_{k+1} = \alpha(\Omega + \alpha I)^{-1} z_k + (\Omega + \alpha I)^{-1} \bar{Y}_m, \quad k = 0,1,..., \qquad \alpha > 0 . \tag{5}$$

Итерационная схема (5) реализует метод последовательных приближений для системы

$$(\Omega + \alpha I) z = \alpha z + \bar{Y}_m .$$

Можно показать [9,10], что вычисления по формуле (5) эквивалентны применению метода обратных итераций к уточнению собственного вектора, соответствующего нулевому собственному значению матрицы

$$F = \left[\begin{array}{c|c} \Omega & -\bar{Y}_m \\ \hline 0...0 & 0 \end{array} \right].$$

Пусть $K_0 = (z_0,1)^T = (\tilde{\hat{\theta}},1)^T$ – приближение к искомому собственному вектору. Применение метода обратных итераций сводится к построению последовательности векторов $K_1, K_2,...$ такой, что

$$F_\alpha \bar{K}_{k+1} = K_k, \quad K_{k+1} = \frac{1}{v_{k+1}} \bar{K}_{k+1}, \tag{6}$$

где v_{k+1} – последняя компонента вектора $\bar{K}_{k+1}$, $F_\alpha = F + \alpha I$.

Сравнивая (5) и (6) и учитывая строение матрицы F_α, можно заключить, что вектор z_k, построенный по формуле (5), совпадает с первыми *p* компонентами K_k .

Приведенные алгоритмы позволяют осуществлять устойчивую идентификацию параметров управляемых объектов на основе использования регулярных вычислительных процедур и тем самым повысить качество функционирования адаптивного наблюдающего устройства.

Список литературы:

1. V.N.Afanas'ev, “Upravlenie neopredelenny'mi dinamicheskimi ob`ektami” [Control of uncertain dynamic objects], Moskva: FIZMATLIT, 2008, 208 p. (in Russian).
2. A.A.Bobcov, V.O.Nikiforov, A.A.Py'rkin, O.V.Slita, A.V.Ushakov, *“Metody' adaptivnogo i robastnogo upravleniya nelineyny'mi ob`ektami v priborostroenii: uchebnoe posobie dlya vy'sshih uchebny'h zavedeniy” [Methods of adaptive and robust control of nonlinear objects in instrument engineering: textbook for higher educational institutions],* SPb: NIU ITMO, 2013, 277 p.
3. N.D. Egupovak, *“Metody' robastnogo, neyro-nechetkogo i adaptivnogo upravleniya” [Robust, neuro-fuzzy, and adaptive control methods],* Moskva: Izd-vo MGTU im. N.E`. Baumana, 2001, 744 p. (in Russian)
4. N.N.Karabutov, *“Adaptivnaya identifikaciya sistem: Informacionny'y sintez” [Adaptive identification of systems: information synthesis],* Izd. Stereotip: 2016, 384 p. (in Russian)
5. L.N.Sotirov, “Optimal'noe singulyarnoe adaptivnoe nablyudenie ponijennogo poryadka dlya odnogo klassa diskretny'h system” [Optimal singular adaptive observation of the understood order for a single class of discrete systems], *AiT* no. 2, pp. 75-82, 1999. (in Russian).
6. A.N.Tihonov, V.YA.Arsenin, “Metody' resheniya nekorrektny'h zadach” [Methods for solving incorrect problems], Moskva: Nauka, 1986, 288 p. (in Russian).

7. A.I.Jdanov, “Vvedenie v metody' resheniya nekorrektny'h zadach” [Introduction to methods for solving incorrect problems], Izd. Samarskogo gos. ae`rokosmicheskogo un-ta, 2006, 87 p. (in Russian).
8. G.M.Vaynikko, A.YU.Veretennikov, *“Iteracionny'e procedury' v nekorrektny'h zadachah” [Iterative procedures in incorrect problems]*, Moskva: Nauka, 1986. (in Russian).
9. A.B.Bakushinskiy, A.V.Goncharskiy *“Iterativny'e metody' resheniya nekorrektny'h zadach” [Iterative methods for solving incorrect problems]*, Moskva: Nauka, 1989, 128 p. (in Russian).
10. V.I.Lebedev, *“Funkcional'ny'y analiz i vy'chislitel'naya matematika: 4-e izdanie”, [Functional analysis and computational mathematics: 4th edition]*, Moskva: FIZMATLIT, 2000, 296 p. (in Russian).
11. F.R.Gantmaher, *“Teoriya matric” [Matrix theory], 4-e izd*, Moskva: Nauka. Fiz.-mat. lit., 1988, 552 p. (in Russian).
12. R.Horn, CH.Djonson, *“Matrichny'y analiz” [Matrix analysis]*, Moskva: Mir, 1989, 655 p. (in Russian).
13. CH.Louson, R.Henson, *“CHislennoe reshenie zadach metoda naimen'shih kvadratov” [Numerical solution of the problem of the least squares method]*, Moskva: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., 1986, 232 p. (in Russian).
14. S.K.Godunov, A.G.Antonov, O.P.Kirilyuk, V.I.Kostin, *“Garantirovannaya tochnost' resheniya sistem lineyny'h uravneniy v evklidovy'h prostranstvah” [Guaranteed accuracy of solving systems of linear equations in Euclidean spaces],* Novosibirsk: Nauka, 1988, 456 p. (in Russian).

Игамбердиев Хусан Закирович – академик АН РУз, доктор технических наук, профессор кафедры «Системы обработки информации и управления» ТашГТУ;
Расулев Алиакбар Хамидуллаевич – соискатель кафедры «Системы обработки информации и управления» ТашГТУ.
Тел.: 246-03-45, Email: akb-81@mail.ru.