УДК 681.513.6
DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-9-818-825

СИНТЕЗ АЛГОРИТМА АДАПТИВНОЙ НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ С УЛУЧШЕННОЙ СХОДИМОСТЬЮ ДЛЯ ЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОШИБКИ

А. В. Парамонов, Д. Н. Герасимов, В. О. Никифоров

Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: avp.atrax@gmail.com

Рассматривается задача улучшения сходимости алгоритма адаптивной настройки параметров. Известные ранее результаты, основанные на применении специальных динамических фильтров с памятью, расширены на класс динамических моделей ошибки. Показана применимость предложенного алгоритма для решения задач адаптивного управления классом линейных стационарных объектов. Приведены результаты моделирования.

Ключевые слова: *адаптивное управление, линейная система, динамическая модель*

Введение. Один из основных методов синтеза алгоритмов настройки параметров адаптивных регуляторов, базирующийся на методе функций Ляпунова [1—3], впервые был предложен в работах [4, 5]. В дальнейшем данный метод нашел широкое применение при решении различных задач адаптивного управления линейными [6—9] и нелинейными [10, 11] объектами по вектору состояния и по выходной переменной [12, 13], а также в задачах слежения и компенсации внешних возмущений [14—20].

Данному методу, однако, присущи недостатки, один из которых заключается в том, что в общем случае качество переходных процессов в адаптивной системе может быть произвольно плохим. Метод функций Ляпунова гарантирует на бесконечном интервале времени только асимптотическое достижение цели управления по регулируемым переменным, при этом остается открытым вопрос о времени переходного процесса и перерегулировании. Получить экспоненциальную оценку качества переходных процессов удается только в частном случае обеспечения так называемого условия неисчезающего возбуждения [1]. Это условие выполняется, в частности, если спектральная плотность регрессора содержит число частот, равное количеству настраиваемых параметров или превышающее его. Поэтому задача улучшения сходимости алгоритмов адаптации имеет важное теоретическое и прикладное значения.

Однако, несмотря на актуальность, данная задача не может считаться удовлетворительно решенной, а в посвященных ей исследованиях, как правило, рассматриваются частные или специальные случаи. Так, в работе [21] построена мажоранта переходных процессов по настраиваемым параметрам для линейного стационарного объекта. В работах [22, 23] рассматривается процедура динамического расширения размерности регрессора, которая позволяет улучшить качество переходных процессов.

Идея использования линейных фильтров с памятью (интегратора, апериодического звена первого порядка) для улучшения сходимости алгоритмов адаптации предложена в работах [1, 24, 25]. Данные решения получены с использованием так называемых моделей ошибок, которые впервые были описаны в литературе по адаптивному управлению [26]. Впоследствии модели ошибок были введены для того, чтобы представить методы адаптивной идентификации в единой форме [27]. Использованию моделей ошибок в задачах управления посвящена работа [28]. Данные модели предназначены для непрерывных систем, в которых отсутствуют внешние возмущения, и применяются для описания свойств устойчивости уравнения состояния.

Тем не менее решения, представленные в работах [1, 24, 25], относятся только к статической модели ошибки и ориентированы на применение в задачах идентификации. В настоящей статье предложено расширение этих решений на класс динамических моделей ошибки; произведен синтез алгоритма адаптации с улучшенной сходимостью для динамической модели ошибки и демонстрируется применение алгоритма в задаче адаптивного слежения.

Постановка задачи. Рассмотрим модель ошибки вида

$$\dot{\varepsilon} = A\varepsilon + b\omega^T\tilde{\theta}, \tag{1}$$

где $\varepsilon \in \mathbb{R}^n$ — вектор ошибки состояния (например, разность состояний эталонной модели и объекта управления); $\omega \in \mathbb{R}^m$ — вектор известных функций (регрессор); $\tilde{\theta} = \theta - \hat{\theta}$ — вектор параметрических ошибок; $\theta \in \mathbb{R}^m$ — вектор неизвестных постоянных параметров, $\hat{\theta} \in \mathbb{R}^m$ — вектор настраиваемых параметров, генерируемый алгоритмом адаптации; A и b — известные постоянные матрица и вектор-столбец соответствующих размерностей; матрица A считается гурвицевой, регрессор ω — ограниченным.

Рассматриваемая задача состоит в синтезе алгоритма настройки параметров $\hat{\theta}$ (алгоритма адаптации) , такого чтобы выполнялось целевое условие

$$\lim_{t\to\infty} \varepsilon(t) = 0. \tag{2}$$

Модель ошибки (1) и сформулированная задача адаптивной настройки присутствуют во многих задачах адаптивной стабилизации, слежения и компенсации внешних детерминированных возмущений [14—18, 20, 29].

Стандартное решение заключается в использовании алгоритма адаптации вида [3]

$$\dot{\hat{\theta}} = \gamma\omega b^T P\varepsilon, \tag{3}$$

где $\gamma > 0$ — коэффициент адаптации, $P = P^T \succ 0$ — решение уравнения Ляпунова $A^T P + PA = -Q$, здесь $Q = Q^T \succ 0$.

Алгоритм адаптации (3) в силу уравнения (1) обеспечивает для функции Ляпунова

$$V(\varepsilon,\theta) = \varepsilon^T P\varepsilon + \frac{1}{2\gamma}\tilde{\theta}^T\tilde{\theta}$$

выполнение неравенства

$$\dot{V} = -\varepsilon^T Q\varepsilon \le 0,$$

откуда следует ограниченность функций $\varepsilon(t)$ и $\tilde{\theta}(t)$, а также выполнение целевого условия (2) [3, 14, 15]. При этом в общем случае сходимость по вектору параметрических ошибок, т.е. выполнение равенства $\lim\limits_{t\to\infty} \tilde{\theta}(t) = 0$, не гарантируется [14].

Основной недостаток стандартного алгоритма адаптации (3) заключается в невозможности в общем случае получения каких-либо оценок качества переходных процессов. Экспоненциальная сходимость по вектору настраиваемых параметров (и, как следствие, хорошее качество переходных процессов по вектору ошибки состояния ε) достигается только в частном случае, когда регрессор ω удовлетворяет достаточно жесткому условию неисчезающего возбуждения [1].

Синтез алгоритма адаптации. Приведем сначала модель параметрических ошибок, порождаемую алгоритмом адаптации (3):

$$\dot{\tilde{\theta}} = -\gamma\omega H(s)\left[\omega^T\tilde{\theta}\right], \tag{4}$$

где $H(s) = b^T P(s\mathbf{I} - A)^{-1}b$, $s = d/dt$ — оператор дифференцирования.

Для улучшения параметрической сходимости желательно получить следующую модель параметрических ошибок:

$$\dot{\tilde{\theta}} = -\gamma L(s)\left[\bar{\omega}\bar{\omega}^T\right]\tilde{\theta}, \tag{5}$$

где $\bar{\omega} = H(s)[\omega]$ — отфильтрованный регрессор, $L(s)$ — линейный оператор с памятью; в качестве $L(s)$ может быть выбран, например, интегратор $L(s) = 1/s$ или устойчивое апериодическое звено первого порядка $L(s) = 1/(s+q)$, где $q > 0$.

Для получения физически реализуемого алгоритма адаптации, соответствующего модели параметрических ошибок вида (5), следует учесть, что

$$b^T P\varepsilon = H(s)\left[\omega^T\tilde{\theta}\right] = H(s)\left[\omega^T\theta\right] - H(s)\left[\omega^T\hat{\theta}\right] = \bar{\omega}^T\theta - b^T P\xi, \tag{6}$$

где вектор ξ генерируется дополнительным фильтром:

$$\dot{\xi} = A\xi + b\omega^T\hat{\theta}. \tag{7}$$

Тогда с учетом свойств линейности оператора L алгоритм адаптации, позволяющий сформировать модель параметрических ошибок вида (5), может быть представлен как

$$\dot{\hat{\theta}} = \gamma L(s)\left[\bar{\omega}b^T P\varepsilon\right] + \gamma L(s)\left[\bar{\omega}H(s)\left[\omega^T\hat{\theta}\right]\right] - \gamma L(s)\left[\bar{\omega}\bar{\omega}^T\right]\hat{\theta} \tag{8}$$

или

$$\left.\begin{aligned} &\dot{\hat{\theta}} = \gamma L(s)\left[\bar{\omega}b^T P\varepsilon\right] + \gamma L(s)\left[\bar{\omega}b^T P\xi\right] - \gamma L(s)\left[\bar{\omega}\bar{\omega}^T\right]\hat{\theta},\\ &\dot{\xi} = A\xi + b\omega^T\hat{\theta}. \end{aligned}\right\} \tag{9}$$

В частном случае, когда $L(s) = 1/(s+q)$, система уравнений (9) может быть преобразована в систему дифференциальных уравнений:

$$\left.\begin{aligned} &\dot{\hat{\theta}} = \gamma\left[\eta + \chi - W\hat{\theta}\right];\\ &\dot{\eta} = -q\eta + \bar{\omega}b^T P\varepsilon;\\ &\dot{\chi} = -q\chi + \bar{\omega}b^T P\xi;\\ &\dot{\xi} = A\xi + b\omega^T\hat{\theta};\\ &\dot{W} = -qW + \bar{\omega}\bar{\omega}^T, \end{aligned}\right\} \tag{10}$$

где η, χ и W — векторы и квадратная матрица соответствующих размерностей.

Для задачи идентификации, относящейся к рассматриваемой задаче управления, доказано [1, 25], что алгоритм адаптации (10) обеспечивает следующие свойства замкнутой системы:

1) $\|\varepsilon\| \in L_\infty$, $\|\tilde{\theta}\| \in L_\infty$;

2) $\|\varepsilon\| \to 0$ при $t \to \infty$;

3) если вектор $\bar{\omega}$ удовлетворяет условию неисчезающего возбуждения, то выполняется неравенство $W \geq \beta\mathbf{I}$, где β — некоторая положительная константа, и $\|\tilde{\theta}\|$ экспоненциально сходится к нулю;

4) если вектор $\bar{\omega}$ удовлетворяет условию неисчезающего возбуждения, то скорость параметрической сходимости может быть произвольно увеличена за счет увеличения коэффициента адаптации γ.

Дальнейшее улучшение параметрической сходимости может быть достигнуто за счет выбора некоторого нестационарного коэффициента [1, 22, 23].

Применение алгоритма к задаче адаптивного слежения. Продемонстрируем применимость разработанного алгоритма к практическим задачам адаптивного управления. Рассмотрим задачу управления линейным объектом управления канонической формы:

$$\left.\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + bu;\\ y &= c^T x,\end{aligned}\right\} \tag{11}$$

где x — n-мерный вектор состояния, доступный прямым измерениям; u — сигнал управления; y — регулируемая переменная;

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & & 0 \\ & & & \ddots & \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -a_0 & -a_1 & -a_2 & \dots & -a_{n-1} \end{vmatrix},\ b = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ b_0 \end{vmatrix},\ c = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{vmatrix}.$$

Параметры a_i, $i = \overline{0, n-1}$, объекта управления считаются неизвестными, а коэффициент $b_0 > 0$ — известным.

Пусть желаемый характер поведения регулируемой переменной y определяется эталонной моделью

$$\left.\begin{aligned}\dot{x}_м &= A_м x_м + b_м g;\\ y_м &= c^T x_м,\end{aligned}\right\} \tag{12}$$

где $x_м$ — n-мерный вектор состояния эталонной модели; $y_м$ — эталонный выход; g — задающий сигнал;

$$A_м = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & & 0 \\ & & & \ddots & \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -a_0^м & -a_1^м & -a_2^м & \dots & -a_{n-1}^м \end{vmatrix},\ b_м = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ b_0^м \end{vmatrix}.$$

Параметры $a_i^м$, $i = \overline{1, n-1}$, предполагаемые известными, задают динамические характеристики эталонной модели.

Рассматриваемая задача состоит в синтезе закона управления, обеспечивающего в замкнутой системе ограниченность всех сигналов и выполнение целевого условия

$$\lim_{t\to\infty}\left(y(t) - y_м(t)\right) = 0 .$$

Для синтеза управления запишем модель ошибки слежения по состоянию:

$$\varepsilon = x - x_м . \tag{13}$$

Дифференцируя (13) по времени с учетом выражений (11) и (12), получаем

$$\dot{\varepsilon} = Ax - A_м x_м + bu - b_м g .$$

Учитывая, что

$$Ax - A_м x_м = Ax - A_м x_м \pm A_м x = A_м \varepsilon + h\theta^T \omega;\ \ bu - b_м g = b_0 h\left(u - \frac{b_0^м}{b_0} g\right),$$

где $h^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$, $\theta^T = [a_0^м - a_0\ \ a_1^м - a_1\ \dots\ a_{n-1}^м - a_{n-1}]$, $\omega = x$, окончательно получаем

$$\dot{\varepsilon} = A_{\text{м}}\varepsilon + b_0 h\left(u + \omega^T\theta - \frac{b_0^{\text{м}}}{b_0} g\right). \quad (14)$$

Анализ модели (14) позволяет выбрать структуру настраиваемого регулятора вида

$$u = -\omega^T\hat{\theta} + \frac{b_0^{\text{м}}}{b_0} g\ . \quad (15)$$

Подставляя (15) в (14), выводим модель ошибки слежения для адаптивной системы (11), (12) и (15):

$$\dot{\varepsilon} = A_{\text{м}}\varepsilon + b_0 h\omega^T\tilde{\theta},\quad \tilde{\theta} = \theta - \hat{\theta}. \quad (16)$$

Модель ошибки (16) соответствует по своей структуре исходной модели (1). Поэтому предложенный метод улучшения сходимости процессов адаптивной настройки может быть применен, в частности, для практически значимой задачи адаптивного слежения за эталонной моделью.

Моделирование. Моделирование проведено для объекта управления второго порядка, описываемого системой уравнений (11), где $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -6 & -5 \end{bmatrix}$, $b = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$, $c = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$, $x(0) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$.

При моделировании рассматривались две схемы алгоритма адаптации. Для обеих схем желаемый характер поведения регулируемой переменной y определяется эталонной моделью (12), где $g = 5\sin(3t)$, $A_{\text{м}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -2 \end{bmatrix}$, $b_{\text{м}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$.

Схема 1. Алгоритм адаптации представлен как

$$\dot{\hat{\theta}} = \gamma x b^T P\varepsilon\ ,$$

где $\gamma = 100$, $\varepsilon = x - x_{\text{м}}$, $P = \begin{bmatrix} 1{,}75 & 1 \\ 1 & 0{,}75 \end{bmatrix}$.

Результаты моделирования для первой схемы слежения представлены на рис. 1 графиками переходных процессов.

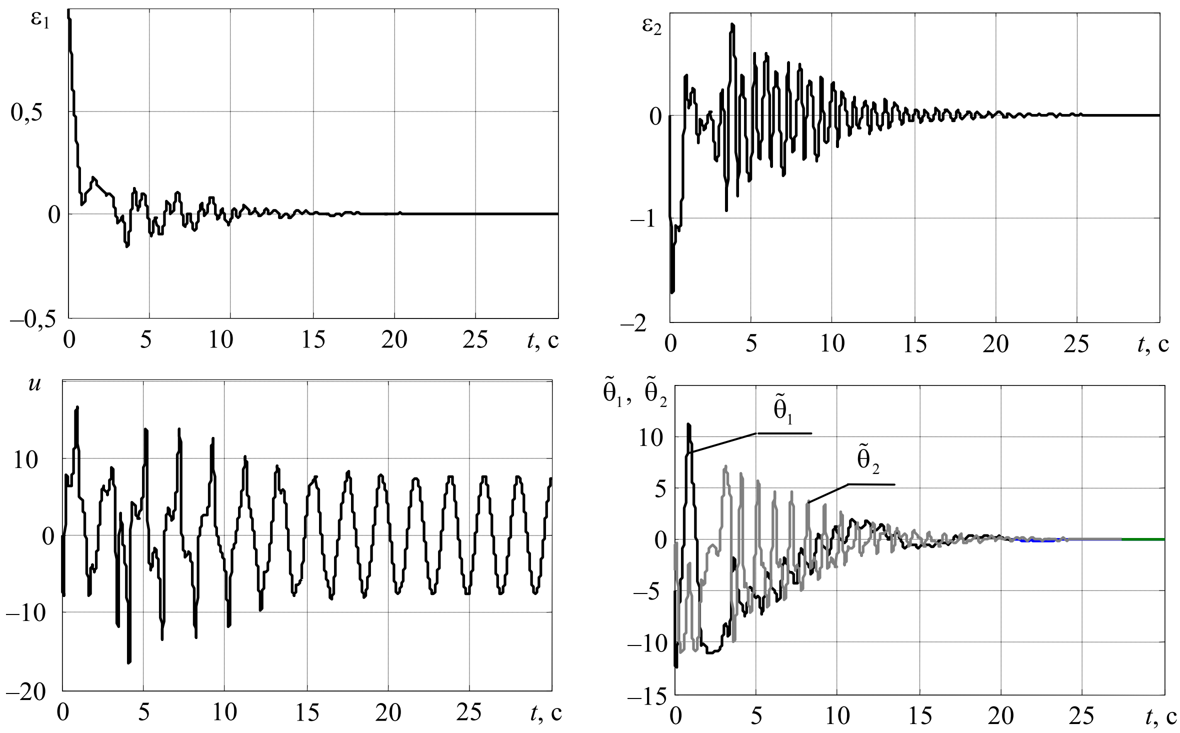

Рис. 1

Схема 2. Алгоритм адаптации представлен как система уравнений (10), где $\gamma = 100$, $q = 2$, $\bar{x} = H(s)[x]$, $H(s) = b^T P(s\mathbf{I} - A_{\text{м}})^{-1} b$, $\varepsilon = x - x_{\text{м}}$, $P = \begin{bmatrix} 1,75 & 1 \\ 1 & 0,75 \end{bmatrix}$.

Результаты моделирования, представленные на рис. 2 графиками переходных процессов в адаптивной системе слежения с использованием дополнительной фильтрации составляющих задающего сигнала и модели объекта, демонстрируют значительное повышение скорости параметрической сходимости.

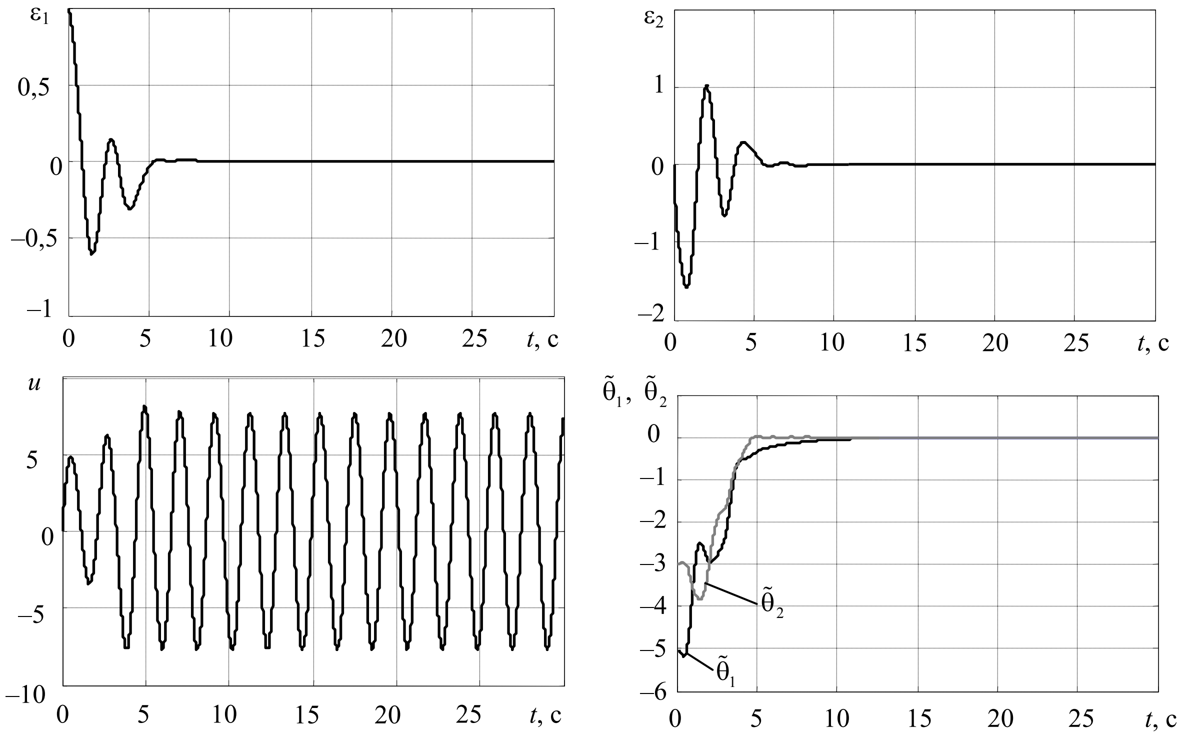

Рис. 2

Заключение. Предложена схема адаптивного управления для линейных систем с известными параметрами. Алгоритм адаптации построен посредством динамической модели ошибки с использованием дополнительной фильтрации составляющих задающего сигнала и модели объекта, в связи с чем обладает ускоренной параметрической сходимостью.

Разработанный алгоритм может быть применен в задачах адаптивной стабилизации, слежения и компенсации внешних детерминированных возмущений

Логическим продолжением предложенного подхода является его применение в задачах управления объектами с запаздыванием и неустойчивыми объектами, а также в задачах управления параметрически неопределенными объектами по выходу.

Работа выполнена при государственной финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации (субсидия 074-U01), Министерства образования и науки РФ (проект 14.Z50.31.0031) и гранта Президента Российской Федерации (№ 14.Y3116.9281-НШ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Narendra K. S., Annaswamy A. M.* Stable Adaptive Systems. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1989.

2. *Krstic M., Kanellakopoulos I., Kokoiovic P. V.* Nonlinear and Adaptive Control Design. N.Y.: John Willey and Sons, 1995.

3. *Мирошник И. В., Никифоров В. О., Фрадков А. Л.* Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. СПб: Наука, 2000. 549 с.

4. *Shackcloth B., Butchart R. L.* Synthesis of model reference adaptive control systems by Lyapunov's second method // Proc. IFAC Symp. on Adaptive Control. 1965. P. 145—152.

5. *Parks P. C.* Lyapunov redesign of model reference adaptive control systems // IEEE Transact. on Automatic Control. 1966. Vol. I 1, N 3. P. 362—367.

6. *Narendra K. S., Valavani L. S.* Direct and indirect model reference adaptive control // Automatica. 1979. Vol. 15. P. 653—664. DOI: 10.1016/0005-1098(79)90033-5.

7. *Tsakalis K., Ioannou P.* Adaptive control of linear time-varying plants // Automatica. 1987. Vol. 23. P. 459—468. DOI: 10.1016/0005-1098(87)90075-6.

8. *Costa R. R., Hsu L., Imai A. K., Kokotović P.* Lyapunov-based adaptive control of MIMO systems // Automatica. 2003. Vol. 39. P. 1251—1257. DOI: 10.1016/S0005-1098(03)00085-2.

9. *Ortega R., Hsu L., Astolfi A.* Immersion and invariance adaptive control of linear multivariable systems // Systems and Control Lett. 2003. Vol. 49. P. 37—47. DOI: 10.1016/S0167-6911(02)00341-9.

10. *Kanellakopoulos I., Kokotovic P. V., Marino R.* An extended direct scheme for robust adaptive nonlinear control // Automatica. 1991. Vol. 27. P. 247—255. DOI: 10.1016/0005-1098(91)90075-D.

11. *Krstić M., Kokotović P. V.* Control Lyapunov functions for adaptive nonlinear stabilization // Automatica. 1995. Vol. 26. P. 17—23. DOI: 10.1016/0167-6911(94)00107-7.

12. *Kokotovic P. V., Ioannou P. A.* Instability analysis and improvement of robustness of adaptive control // Automatica. 1984. Vol. 20. P. 583—594. DOI: 10.1016/0005-1098(84)90009-8.

13. *Krstić M., Kanellakopoulos I., Kokotović P. V.* Passivity and parametric robustness of a new class of adaptive systems // Automatica. 1994. Vol. 30. P. 1703—1716. DOI: 10.1016/0005-1098(94)90073-6.

14. *Nikiforov V. O.* Adaptive servocompensation of input disturbances // Proc. of the 13th IFAC World Congress, San-Francisco, USA. 1996. P. 175—180.

15. *Никифоров В. О.* Адаптивное и робастное управление с компенсацией внешних возмущений. СПб: Наука, 2003. 282 с.

16. *Basturk H. I., Krstic M.* State derivative feedback for adaptive cancelation of unmatched disturbances in unknown strict-feedback LTI systems // Automatica. 2014. Vol. 50. P. 2539—2545. DOI: 10.1016/j.automatica.2014.08.002.

17. *Basturk H. I., Krstic M.* Adaptive sinusoidal disturbance cancellation for unknown LTI systems despite input delay // Automatica. 2015. Vol. 58. P. 131—138. DOI: 10.1016/j.automatica.2015.05.013.

18. *Basturk H. I.* Cancellation of unmatched biased sinusoidal disturbances for unknown LTI systems in the presence of state delay // Automatica. 2017. Vol. 76. P. 169—176. DOI: 10.1016/j.automatica.2016.10.006

19. *Пыркин А. А. , Бобцов А. А., Никифоров В. О., Колюбин С. А., Ведяков А. А., Борисов О. И., Громов В. С.* Компенсация полигармонического возмущения, действующего на состояние и выход линейного объекта с запаздыванием в канале управления // Автоматика и телемеханика. 2015. № 12. С.43—64.

20. *Nikiforov V. O.* Adaptive servomechanism controller with an implicit reference model // Intern. Journal of Control. 1997. Vol. 68, N 2. P. 277—286. DOI: 10.1080/002071797223604.

21. *Мирошник И. В., Никифоров В. О.* Ускорение сходимости градиентных алгоритмов адаптации // Изв. вузов СССР. Приборостроение. 1991. Т. 34, № 8. С. 76—83.

22. *Aranovskiy S., Bobtsov A., Ortega R., Pyrkin A.* Performance enhancement of parameter estimators via dynamic regressor extension and mixing // IEEE Transact. on Automatic Control. 2016. Art. 7581106. DOI: 10.1109/TAC.2016.2614889.

23. *Wang J., Gritsenko P. A., Aranovskiy S. V., Bobtsov A. A., Pyrkin A. A.* A method for increasing the rate of parametric convergence in the problem of identification of the sinusoidal signal parameters// Automation and Remote Control. 2017. Vol. 78. P. 389—396. DOI: 10.1134/S0005117917030018.

24. *Lion P. M.* Rapid identification of linear and nonlinear systems // AIAA Journal. 1967. Vol. 5 P. 1835—1842.

25. *Kreisselmeier G.* Adaptive observers with exponential rate of convergence // IEEE Transact. on Automatic Control. 1977. Vol. 22, N 1. P. 2—8. DOI: 10.1109/TAC.1977.1101401.

26. *Narendra K. S., Kudva P.* Stable adaptive schemes for system identification and control. P. I & II // IEEE Transact. on Systems, Man and Cybernetics. 1974.Vol. SMC-4. P. 542—560.

27. *Narendra K. S.* Stable Identification Schemes: System Identification: Advances and Case Studies. N.Y.: Academic Press, 1976.

28. *Lin Y. H., Narendra K. S.* A new error model for adaptive systems // IEEE Transact. on Automatic Control. 1980. Vol. 25. P. 585—587. DOI: 10.1109/TAC.1980.1102339.

29. *Никифоров В. О.* Наблюдатели внешних возмущений. 1. Объекты с известными параметрами // Автоматика и телемеханика. 2004. № 10. С. 13—23.

Сведения об авторах

Алексей Владимирович Парамонов — аспирант; Университет ИТМО; кафедра систем управления и информатики; E-mail: avp.atrax@gmail.com

Дмитрий Николаевич Герасимов — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО; кафедра систем управления и информатики; E-mail: gerasimovdn@mail.ru

Владимир Олегович Никифоров — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; проректор по научной работе; E-mail: nikiforov@mail.ifmo.ru

Рекомендована кафедрой
систем управления и информатики

Поступила в редакцию
21.03.17 г.

Ссылка для цитирования: *Парамонов А. В., Герасимов Д. Н., Никифоров В. О.* Синтез алгоритма адаптивной настройки параметров с улучшенной сходимостью для линейной динамической модели ошибки // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 9. С. 818—825.

SYNTHESIS OF ADAPTIVE ADJUSTMENT ALGORITHM WITH IMPROVED CONVERGENCE FOR PARAMETERS OF LINEAR DYNAMIC ERROR MODEL

A. V. Paramonov, D. N. Gerasimov, V. O. Nikiforov

ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia
E-mail: avp.atrax@gmail.com

The problem of improved convergence for algorithm of adaptive parameter adjustment is considered. Previously known results based on application of special dynamic filters with memory are expanded to the class of dynamic error model. Applicability of proposed algorithm for solving of adaptive control problems for linear time-invariant plants is demonstrated. Simulation results are presented.

Keywords: adaptive control, linear system, dynamic model

Data on authors

Alexey V. Paramonov — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Computer Science and Control Systems; E-mail: avp.atrax@gmail.com

Dmitry N. Gerasimov — PhD, Associate Professor; ITMO University, Department of Computer Science and Control Systems; E-mail: gerasimovdn@mail.ru

Vladimir O. Nikiforov — Dr. Sci., Professor; ITMO University; Vice-Rector for Scientific Research; E-mail: nikiforov@mail.ifmo.ru

For citation: Paramonov A. V., Gerasimov D. N., Nikiforov V. O. Synthesis of adaptive adjustment algorithm with improved convergence for parameters of linear dynamic error model. *Journal of Instrument Engineering*. 2017. Vol. 60, N 9. P. 818—825 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-9-818-825