1- сурет. $\vec{S}$ спин векторының қозғалысы. Тұрақты параметрлер:
$a=\sqrt{3}, b=c\sqrt{3}, m=k=l=1, \psi=\alpha=0.$

2- сурет. $\vec{S}$ спин векторының қозғалысы Тұрақты параметрлер:
$a=\sqrt{3}, b=c\sqrt{3}, m=k=l=1, \psi=\alpha=\frac{\pi}{2}.$

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Kosevich A., Ivanov B., and Kovalev A. Nonlinear Magnetization Waves: Dynamical and Topological Solitons (in Russian) // Kiev: Naukowa Dumka., 1983.
2. Ishimori Y. Multi-Vortex Solutions of a Two-Dimensional Nonlinear Wave Equation// Prog. Theor. Phys . T. 72, 1984, C. 33-7.
3. Myrzakulov R., Vijayalakshmi S., Nugmanova G., and Lakshmanan M. A (2+1)-Dimensional Integrable Spin Model: Geometrical and Gauge Equivalent Counterpart, Solitons and Localized Coherent Structures // Phys. Lett. A, T. 233: 391-6, 1997.
4. Nugmanova G., Sagidullayeva Zh., and Myrzakulov R. Hirota's Method for a Spin Model with Self-Consistent Potential.. // J. of Phys. Conf. Series, T. 804: 012035., 2017.
5. Yersultanova Z., Zhassybayeva M., Yesmakhanova K., Nugmanova G., and Myrzakulov R. Darboux Transformation and Exact Solutions of the Integrable Heisenberg Ferromagnetic Equation with Self-Consistent Potentials // Int. J. of Geom. Meth. in Mod. Phys., T. 13: 1550134, 2016.
6. Hirota R. Exact Solution of the Korteweg-de Vries Equation for Multiple Collisions of Solitons // Phys. Rev. Lett. T. 27: 1192, 1971.

УДК 519.71

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СЛЕЖЕНИЕМ ЗА ВЫХОДОМ ДЛЯ КЛАССА НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА С ВРЕМЕННОЙ ЗАДЕРЖКОЙ

Ахметкалиева Альмира Серикқановна
almira_vko@mail.ru
ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, механико-математический факультет. Докторант 2 курса специальности математическое и компьютерное моделирование, г. Нур-Султан, Казахстан
Научный руководитель – К. Алимхан

Проблемы стабилизации управления и отслеживания выхода нелинейных систем являются актуальными для теоретических исследований в области управления [1-3]. В последние десятилетия было успешно разработано множество подходов к управлению глобально-асимптотической стабилизацией нелинейных систем. Одним из самых популярных методов является так называемый подход «обратноступенчатый». С 1990-х годов с помощью обратноступенчатого метода был получен ряд результатов исследований, разработанных для контроллеров нелинейных систем, по каждому аспекту строгого управления с обратной связью.

Вей Лин и его сотрудники впервые подробно изучили проблему управления для класса так называемых нелинейных систем высокого порядка с параметризованными неопределенностями [4-7], а в [11] они также обсудили проблему практического отслеживания выхода для нелинейных систем высокого порядка с неуправляемой линеаризацией. В [8-10] Цзунъяо Сунь и его сотрудники изучили проблему построения адаптивного стабилизирующего управления с обратной связью по состоянию для класса нелинейных систем высокого порядка с неизвестными коэффициентами управления. Их исследования также способствуют развитию традиционного метода проектирования обратноступенчатого управления. Однако эти значительные исследования не рассматривали ситуацию системы с запаздыванием по времени.

Поэтому в этой статье исследуемая система переводится в класс нелинейных систем высшего порядка с задержкой по времени и параметризованными неопределенностями, и для таких систем исследуется проблема надежного адаптивного отслеживания выхода. В то же время для этой нелинейной системы высокого порядка с задержкой по времени предлагается новая программа. Построив подходящую функцию Ляпунова и используя неравенство Юнга для определения срока задержки системы, для такой системы был разработан робастный адаптивный контроллер слежения за выходом. Кроме того, в соответствии с теорией устойчивости Ляпунова, леммой Барбалата и неравенством Гронуолла доказано, что разработанный контроллер обратной связи по состоянию не только гарантирует, что состояние систем является равномерно ограниченным, но и обеспечивает сходство ошибки отслеживания системы в относительно небольшой окрестности. Поэтому поясняется, что предложенная вся схема является разумной и эффективной.

В настоящей работе рассматривается нелинейная система высокого порядка с запаздыванием по времени и параметризованными неопределенностями следующим образом:

$$\begin{aligned}
&\dot{x}_i = d_i\left(t,x,u\right)x_{i+1}{}^{p_i} + \theta^T\psi_i\left(\bar{x}_i,t\right) + g_i\left(\bar{x}_i,t\right) + h_i\left(x_1\left(t-\tau_i\right)\right)_{1\le i\le n-1} \\
&\dot{x}_n = d_n\left(t,x,u\right)u^{p_i} + \theta^T\psi_n\left(\bar{x}_n,t\right) + g_n\left(\bar{x}_n,t\right) + h_n\left(x_1\left(t-\tau_n\right)\right) \qquad (1) \\
&y = x_1
\end{aligned}$$

где $\bar{x}_i = \left[x_1,\cdots,x_i\right]^T \in R^i\left(i=1,\cdots,n\right), u \in R$ и $y \in R$ соответственно состояния, вход управления и выход системы, $\theta = \left[\theta_1,\cdots\theta_q\right]^T \in R^q$ вектор неизвестных постоянных параметров, $d_i\left(\cdot\right) \ne 0, \psi_i\left(\cdot\right)$ и $g_i\left(\cdot\right)$ неизвестные гладкие функции, $h_i\left(0\right)=0\left(1\le i\le n\right)$ также неизвестная гладкая функция, τ_i задержка, удовлетворяющая $\tau_i \in \left[0,\tau_M\right]$, где τ_M - положительная постоянная.

Целью настоящей работы является разработка адаптивного контроллера обратной связи, обеспечивающего равномерное ограничение систем и траекторию выхода $y\left(t\right)$, который может асимптотически отслеживать заданный опорный сигнал $y_r\left(t\right)$. Основные результаты в этой статье основаны на следующих предположениях.

Предположение 1. Для гладкой функции $d_i\left(t,x,u\right), i=1\cdots n$ существуют функции c_i: $R^i - R$ и $\bar{c}_i$: $R^{i+1} - R$ такой, что

$$0 < c_i\left(x_1,\cdots,x_i\right) \le d_i\left(t,x,u\right) \le \bar{c}_i\left(x_1,\cdots,x_{i+1}\right), x_{n+1} = u .$$

Предположение 2. $p_1 \geq p_2 \geq \cdots \geq p_n \geq 1$ нечетные целые числа, где $p = \max\{p_1, p_2, \cdots, p_n\}$.

Предположение 3. Поскольку у нас есть $h_i(0) = 0$, то $h_i(x_1(t))$ можно выразить как $h_i(x_1(t)) = x_1(t)\gamma_i(x_1(t))$ и $\gamma_i(x_1(t))$ удовлетворяет следующему предположению

$$\left|\gamma_i(x_1(t))\right| \leq \left|\Delta_i(x_1(t))\right|$$

где $\Delta_i(x_1(t))$ это известная и достаточно гладкая функция.

Лемма 1. Если действительное число $a \geq 0, b > 0, m \geq 1$, то существует следующее неравенство

$$a \leq b + \left(\frac{a}{m}\right)^m \left(\frac{m-1}{b}\right)^{m-1}$$

Лемма 2. Для действительных чисел $a, b, p \in R$ и $p \geq 1$, выполняется следующее неравенство

$$\left|a^p - b^p\right| \leq p\left|a-b\right|\left|a^{p-1} + b^{p-1}\right|.$$

Лемма 3. Если постоянная $p \geq 1$, то для случайного действительного числа $a \in R, b \in R$ выполняется следующее неравенство

$$\left|a+b\right|^p \leq 2^{p-1}\left(\left|a\right|^p + \left|b\right|^p\right).$$

Лемма Барбалата. Если $x(t)$ - равномерно непрерывная функция и $\lim\limits_{t\to\infty}\int_0^t x(\tau)d\tau$ существует и ограничен, то $\lim\limits_{t\to\infty} x(t) = 0$.

Используя рекурсивный обратноступенчатый метод, мы разрабатываем надежный адаптивный контроллер слежения за выходом для класса нелинейных систем высокого порядка с задержкой по времени и параметризованными неопределенностями.

Функция Ляпунова строится как

$$V_n = V_{n-1} + \frac{1}{p - p_n + 2}\varepsilon_n^{p-p_n+2} + \frac{p_n}{p+1}\int_{t-\tau}^{t} q\left(x(s)\right)ds$$

Ее производная определяется

$$\begin{aligned}\dot{V}_n \leq & -\sum_{j=1}^{n}\varepsilon_j^{p+1} + \overline{c}_n\left|\varepsilon_n^{p-p_n+1}\right|\cdot\left|x_{n+1}^{p_n} - \alpha_{n+1}^{p_n}\right| + n\sigma \\ & -\left(n - \sum_{j=1}^{n}\frac{p_j}{p+1}\left\|\rho_j\left(x_1(t)\right)\right\|^{p+1}\right)\varepsilon_1^{p+1} - \left(\frac{1}{\lambda}\tilde{\theta} + \eta_n\right)^T\left(\dot{\hat{\theta}} - z_n\right)\end{aligned} \quad (2)$$

Следовательно, мы можем получить закон адаптивного управления u и параметр закона управления $\dot{\hat{\theta}}$ из (3)

$$u=\alpha_{n+1}=-\varepsilon_n\left(\frac{1+\beta_n(\cdot)+\tilde{\beta}_n(\cdot)+\dfrac{p-p_n+1}{p+1}}{c_n(x_1,\cdots,x_n)}\right)^{\frac{1}{p_n}} \qquad (3)$$

$$=-\varepsilon_n\phi_n(\cdot)$$

$$\dot{\hat{\theta}}=z_n \quad (4)$$

где гладкая функция $\phi_n(\cdot)>0$.

Подставляя (3) и (4) в (2), получим

$$\dot{V}_n\le-\sum_{j=1}^{n}\varepsilon_j^{p+1}+n\sigma-\left(n-\sum_{j=1}^{n}\frac{p_j}{p+1}\left\|\rho_j\left(x_1(t)\right)\right\|^{p+1}\right)\varepsilon_1^{p+1}$$

Когда n достаточно велико, тогда мы имеем

$$\dot{V}_n\le-\left(\sum_{j=1}^{n}\varepsilon_j^{p+1}\right)+n\sigma$$

Выбрав $p_n=\sum_{j=1}^{n}\varepsilon_j^{p+1}$, то мы имеем

$$V_n(t)-V_0(t)\le-\int_o^t(p_n)\,dt+n\sigma t$$

Поэтому мы получаем

$$0\le\int_o^t(p_n)\,dt\le V_o(t)+n\sigma t<\infty$$

По лемме Барбалата получаем $\lim\limits_{t\to\infty}p_n=0$, и тогда у нас есть $\lim\limits_{t\to\infty}\varepsilon_j=0,\ j=1,\cdots,n$. Так что мы получаем $\lim\limits_{t\to\infty}\left|y(t)-y_r(t)\right|=0$

Поэтому состояние нелинейной системы высокого порядка с задержкой по времени и неопределенностью параметров является равномерно ограниченным.

Теорема 1. Рассматривая нелинейную систему (1), в ситуации, когда выполняются предположения и леммы, существует закон управления обратной связью состояния u и параметр закона управления $\dot{\hat{\theta}}$. Замкнутая система ограничена для всех допустимых неопределенностей, и выходная ошибка слежения сходится к относительно небольшой области, которая удовлетворяет

$$|y(t)-y_r(t)|\le[(p-p_1+2)(A/B+V_n(0)e^{-Bt})]^{\frac{1}{p-p_1+2}}$$

Доказательство. По Лемме 1 получаем

$$-\varepsilon_j^{p+1}\le-(p+1)\sigma^{\frac{p_j-1}{p+1}}\frac{\varepsilon_j^{p-p_j+2}}{p-p_j+2}+\frac{p_j-1}{p-p_j+2}\sigma$$

Тогда мы имеем

$$\dot{V}_n\le-\sum_{j=1}^{n}(p+1)\sigma^{\frac{p_j-1}{p+1}}\frac{\varepsilon_j^{p-p_j+2}}{p-p_j+2}+\left(\sum_{j=1}^{n}\frac{p_j-1}{p-p_j+2}+n\right)\sigma\le-BV_n+A$$

где $B=\min\left\{(p+1)\sigma^{\frac{p_j-1}{p+1}},\lambda\sigma\right\}>0,\ j=1,2,\ldots,n,$

$$A = \left(\sum_{j=1}^{n} \left(\frac{p_j - 1}{p - p_j + 2} \right) + n \right) \sigma + \sum_{j=1}^{n} \frac{p_j}{p+1} \int_{t-d}^{t} q\left(x(s)\right) ds$$

По неравенству Гронволла мы получаем

$$V_n(t) \le -\sum_{j=1}^{n} \frac{\varepsilon_j^{p-p_j+2}}{p - p_j + 2} + \frac{1}{2\lambda} \tilde{\theta}^T \tilde{\theta} + \sum_{j=1}^{n} \frac{p_j}{p+1} \int_{t-d}^{t} q\left(x(s)\right) ds$$

$$\le A / \mathrm{B} + \left[V_n(0) - A / B \right] e^{-Bt} \le A / \mathrm{B} + V_n(0) e^{-Bt}$$

И потому что $\frac{\varepsilon_j^{p-p_j+2}}{p - p_j + 2} \le V_n(t) \le A / B + V_n(0) e^{-Bt}$,

тогда мы получаем

$$\left| y(t) - y_r(t) \right| \le \left[\left(p - p_1 + 2 \right) \left(A / B + V_n(0) e^{-Bt} \right) \right]^{\frac{1}{p - p_1 + 2}}$$

Таким образом, для любого действительного числа $\varepsilon_0 > 0$, в ограниченном время $T > 0$, замкнутая система удовлетворяет

$$\left| y(t) - y_r(t) \right| < \varepsilon_0, \forall t \ge T > 0$$

В настоящей работе с помощью обратноступенчатого метода разработан адаптивный выходной следящий контроллер для класса нелинейных систем высокого порядка с запаздыванием по времени и параметризованными неопределенностями. Теоретический анализ и результаты моделирования доказывают, что разработанный контроллер не только гарантирует, что состояние нелинейной системы высокого порядка с временной задержкой и неопределенностью параметров равномерно ограничено, но также гарантирует, что ошибка отслеживания системы сходится к небольшой окрестности. Поэтому разработанная схема выполнима.

ЛИТЕРАТУРА

1. P.V. Kokotovi´c, M. Arcak. Constructive nonlinear control: a historical perspective, Automatica,Vol.37,No.5, 637-662, 2001.

2. Y.G. Liu, Z. Pan and S. Shi. Output feedback controldesign for strict-feedback stochastic nonlinear system sunder a risk sensitive cost, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol.48, No.3, 509-513,2003.

3. N. Duan and X. J. Xie. State-feedback regulation of nonlinear systems with iISS un modeled dynamics. Acta Automatica Sinica, Vol.36, No.7, 1033-1036,2010.

4. W.Lin and C.J.Qian. Adding one power integrator: atool for global stabilization of high-order lower - triangular systems, Systems and Control Letters,Vol.39, No.5, 339-351, 2000.

5. W.Lin, C.J.Qian. Adaptive regulation of high-order lower-triangular systems: an adding a power integrator technique. Systems and Control Letters, Vol.39, No.5, 353-364, 2000.

6. W.Lin, C.J.Qian. Adaptive control of nonlinear parameterized systems: the non smooth feedback framework, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol.47, No.4, 757-774, 2002.

7. W.Lin, C.J.Qian. Adaptive control of nonlinearparameterized systems: the smooth feedback case, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol.47, No.8, 1249-1266, 2002.

8. Z. Y. Sun, Y. G. Liu. State-feedback adaptivestabilizing control design for a class of high-order nonlinear systems with unknown control coefficients, Journal of Systems Science and Complexity, Vol.20, No.10, 350-361, 2007.

9. Z. Y. Sun, Y. G. Liu. Adaptive practical outputtracking control for high-order nonlinear uncertain systems, Acta Automatica Sinica, Vol.34, No.8, 984-988, 2008.

10. Z. Y. Sun, Y. G. Liu. Adaptive stabilization for a largeclass of high-order uncertain nonlinear systems,International Journal of Control, Vol.82, No.7,1275-1287, 2009.

11. C.J.Qian, W.Lin. Practical output tracking ofnonlinearly systems with uncontrollable unstable linearization, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol.47, No.1, 21-37, 2002.

12. N.B.He, C.S.Jiang, Q.Gao. Robust adaptive backstepping control of nonlinear systems with uncertainty, Journal of Applied Sciences Electronicsand Information Engineering, Vol.26, No.6, 650-654,2008.

13. Jimin YU, Haiyan Zeng, Linyan Huang, Baohua Wu. Adaptive output tracking control for a class of high-order nonlinear systems with time-delay, 25th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), 3838 – 3843, 2013.

14. Jimin Yu, Haiyan Zeng. Adaptive output tracking for nonlinear network control systems with time-delay, International Journal of Modern Nonlinear Theory and Application, 73 – 80, 2012.

ҚАШЫҚТЫҚТАН ОҚЫТУ ЖҮЙЕСІН ҰЙЫМДАСТЫРУ

Әшірбаев Нурлыбек Асқарбекұлы

Nurlybek7997@mail.ru

Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ механика және математика факультеті математикалық және компьютерлік моделдеу мамандығының 2 курс магистранты.

Ғылыми жетекші – Б.Г. Муканова

Аннотация.

LMS студенттерді қабылдау процесін автоматтандыру, жазбалар, есептер, транскрипттер және кестелерді басқару, дамыту мен жеткізудің түрлі әдістерін ұсынады. Ол сонымен қатар бағалау, деңгейін анықтау және тестілеу мүмкіндіктерін қамтиды. LMS-тің маңызды функциясы - пікірталас тақтасы, чат, электрондық почта және лездік хабарламалар арқылы қатысушылардың өзара әрекеттесуін қолдау, сонымен қатар оқушылардың белсенділігі мен оқушылардың жұмысын бақылау тетігі. Қазіргі әлемдегі LMS – білім алудың тиімді әдістерінің бірі. Осы мақалада біз ең танымал LMS жүйелерін және олардың негізгі функцияларын талдаймыз.

***Кілтсөздер**: Learning Management System, Open Source, E-Learning, Synchronous, Asynchronous, Education*

Кіріспе

Білім беру жүйесі - жеке адамдар мен мекемелердің білімі мен ресурстарын басқару және оларды барлық студенттерге қол жетімді ету үшін қолданылатын құралдар жиынтығы. Бұл функцияны орындайтын технология әдетте LMS деп аталады. LMS - бұл жалпыға бірдей әкімшілік интерфейс арқылы қол жетімді электрондық оқыту құралдарының жиынтығы. LMS оқыту және оқуды басқаруға арналған платформамен қамтамасыз етеді, сонымен қатар студенттер, жаттықтырушылар, контент әзірлеушілер және әкімшілер болып табылатын пайдаланушыларға қол жетімділікті қамтамасыз етеді. Білім беру, бизнес және мемлекеттік ұйымдар оқу мақсаттарына жету үшін LMS қолданады. LMS мұғалімдерге онлайн курстарын құруға көмектеседі, бұл мұғалімдерге жоспарлауды, контент пен ресурстарды жоспарлауды, онлайн курстарды басқаруды жеңілдетеді.

Оқуды басқару жүйелері пайдаланушылар мен оқу ресурстарының өзара әрекеттесуін басқару үшін интернет технологияларын қолданады. Ол электронды оқыту мазмұны мен курстың сипаттамаларын орналастыра алады, сонымен қатар қол жетімді сыныптардағы