

УДК 519.24

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ВТОРОГО ПОРЯДКА ПРИ ДЕЙСТВИИ ЗАШУМЛЕННЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ*

Г.В. ТРОШИНА

630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники. E-mail: troshina@corp.nstu.ru

Во многих практических исследованиях используются сложные модели высокого порядка. При этом не всегда можно получить значения переменных состояния объекта. Улучшить априорную информацию можно, если использовать измерения, полученные в процессе работы динамической системы, и осуществить настройку параметров объекта. В данной работе на примере динамического объекта второго порядка рассматривается процедура определения неизвестных параметров динамической системы при наличии гауссовских шумов. Представлены основные этапы, необходимые для моделирования информационной матрицы Фишера в среде Simulink. Для оценивания вектора состояния выполнено моделирование фильтра Калмана с обновленной последовательностью. Процедура вычисления элементов информационной матрицы Фишера приведена для установившегося режима. В качестве входных сигналов рассматриваются синусоида и тестовый сигнал типа меандра единичной амплитуды. Для определения неизвестных параметров динамического объекта с помощью рекуррентной схемы метода наименьших квадратов используется несколько блоков. Одна группа блоков отвечает за формирование динамической системы, другая группа блоков соответствует вычислению фильтра Калмана, третья группа блоков содержит формулы, необходимые для вычисления матрицы Фишера. В блоке, соответствующем определению неизвестных параметров динамического объекта, осуществлено пошаговое моделирование рекуррентного метода наименьших квадратов. Выполнено построение графиков поведения оценки параметров как для входного сигнала типа меандра, так и для синусоиды. Приведен график сходимости коэффициента усиления, который используется в рекуррентной процедуре метода наименьших квадратов. Все значения параметров получены для случая, когда динамический объект находится под действием гауссовских шумов динамики и измерителя.

Ключевые слова: идентификация, динамический объект, фильтр Калмана, оценивание параметров, матрица Фишера, математическая модель, установившийся режим, рекуррентный метод наименьших квадратов

DOI: 10.17212/2307-6879-2018-1-68-85

* Статья получена 04 декабря 2017 г.

ВВЕДЕНИЕ

При решении большого круга прикладных задач возникает необходимость идентификации математических моделей для управляемых объектов. Отметим работы [1–26], которые посвящены вопросам эффективного оценивания параметров моделей по результатам наблюдений. Ошибки в параметрах модели оказывают существенное влияние и при восстановлении сигнала, и при расчете систем управления. В данной работе предполагаем, что об объекте нам неизвестны лишь значения параметров модели.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассматривается динамический объект в следующей форме:

$$x_{k+1} = \Phi x_k + \Psi u_k + \Gamma w_k,$$

$$y_{k+1} = H x_{k+1} + v_{k+1},$$

где x_{k+1} – вектор состояния; u_k – вектор управления; w_k – вектор возмущения; y_{k+1} – вектор наблюдения; v_{k+1} – вектор ошибки измерения; Φ – матрица состояния; Γ – матрица возмущения; Ψ – матрица управления; H – матрица наблюдения; Q – неотрицательно определенная ковариационная матрица вектора возмущения. Предполагаем, что все переходные процессы закончились, т. е. рассматриваем установившийся режим.

В задаче активной идентификации при оценивании параметров линейных динамических дискретных объектов во многих работах используются фильтр Калмана с обновленной последовательностью и информационная матрица Фишера [14–26]. В данной работе рассматривается установившийся режим для вычисления фильтра Калмана и матрицы Фишера в среде Simulink.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В УСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ

Приведем процедуру вычислений оценок параметров динамических дискретных объектов для случая, когда неизвестные параметры находятся в матрице состояния. Вывод формул, используемых в данной работе, подробно изложен в работе [14]. В среде Simulink построена модель в виде блоков для

вычисления оценок параметров динамических объектов на основе метода наименьших квадратов. Каждый блок соответствует определенной группе формул. Ниже дан набор формул, необходимый для проведения расчетов.

Первая группа:

$$P_{k+1,k} = \Phi P_{k,k} \Phi^T + \Gamma Q \Gamma^T; \quad (1)$$

$$\Sigma_{k+1} = (H P_{k+1,k} H^T + R)^{1/2}; \quad (2)$$

$$K1_{k+1} = P_{k+1,k} H^T \Sigma_{k+1}^{-1}; \quad (3)$$

$$P_{k+1,k+1} = (I - K1_{k+1} \Sigma_{k+1}^{-1} H) P_{k+1,k}. \quad (4)$$

Первая группа формул соответствует вычислению фильтра Калмана с обновленной последовательностью в установившемся режиме. На рис. 1 дана схема моделирования уравнения (1). Матрицы Φ , Γ , Q являются входными данными для уравнения (1).

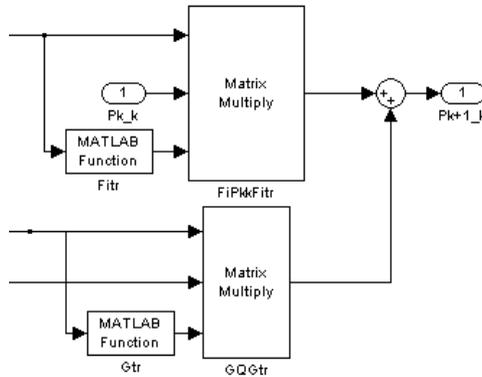


Рис. 1. Вычисление по уравнению (1)

На рис. 2 приведены результаты формирования уравнения (2). Матрицы H и R являются входными данными для уравнения (2).

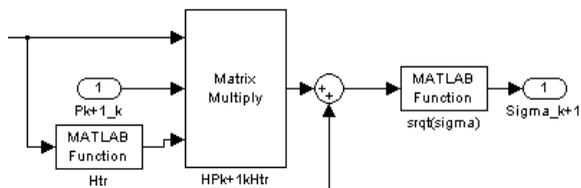


Рис. 2. Вычисление по уравнению (2)

На рис. 3 представлены результаты моделирования уравнения (3).

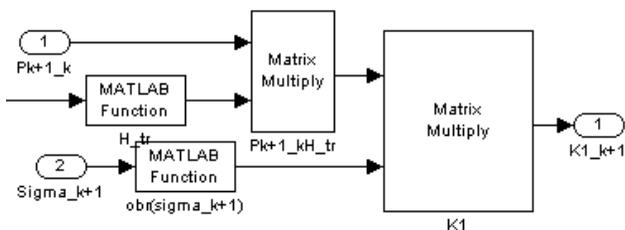


Рис. 3. Вычисление по уравнению (3)

Схема вычисления уравнения (4) показана на рис. 4.

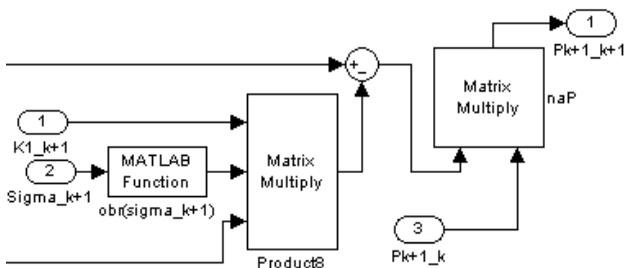


Рис. 4. Вычисление по уравнению (4)

Уравнения второй группы формул:

$$\frac{\partial P_1}{\partial \theta_i} = \frac{\partial \Phi}{\partial \theta_i} P_0 \Phi^T + \Phi \left(\frac{\partial P_0}{\partial \theta_i} \Phi^T + P_0 \frac{\partial \Phi^T}{\partial \theta_i} \right); \quad (5)$$

$$\frac{\partial \Sigma_{\infty}^{-1}}{\partial \theta_i} = \left(-\frac{1}{2} \right) \Sigma_{\infty}^{-3} H \frac{\partial P_1}{\partial \theta_i} H^T; \quad (6)$$

$$\frac{\partial K1_{\infty}}{\partial \theta_i} = \frac{\partial P_1}{\partial \theta_i} H^T \Sigma_{\infty}^{-1} + P_1 H^T \frac{\partial \Sigma_{\infty}^{-1}}{\partial \theta_i}; \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_0}{\partial \theta_i} = & \left(-\frac{\partial K1_{\infty}}{\partial \theta_i} \Sigma_{\infty}^{-1} H - K1_{\infty} \frac{\partial \Sigma_{\infty}^{-1}}{\partial \theta_i} H \right) P_1 + \\ & + \left(I - K1_{\infty} \Sigma_{\infty}^{-1} H \right) \frac{\partial P_1}{\partial \theta_i}. \end{aligned} \quad (8)$$

На рис. 5 приведена схема моделирования уравнения (5).

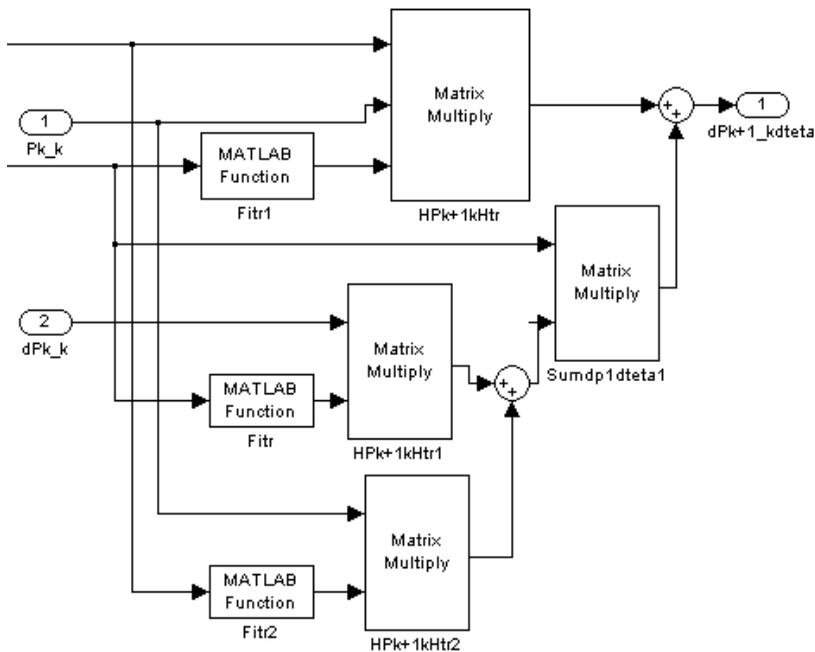


Рис. 5. Вычисление по уравнению (5)

На рис. 6 и 7 показаны блоки для формирования уравнений (6) и (7) соответственно.

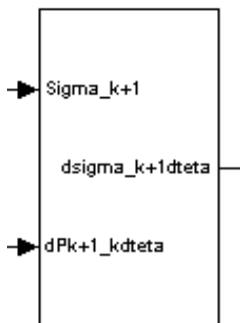


Рис. 6. Блок для вычисления по уравнению (6)

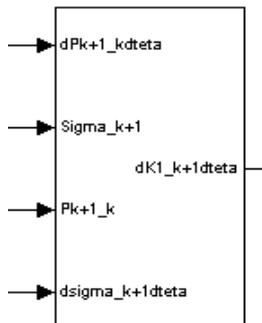


Рис. 7. Блок для вычисления по уравнению (7)

Схема вычисления по уравнению (8) сформирована в блоке, приведенном на рис. 8.

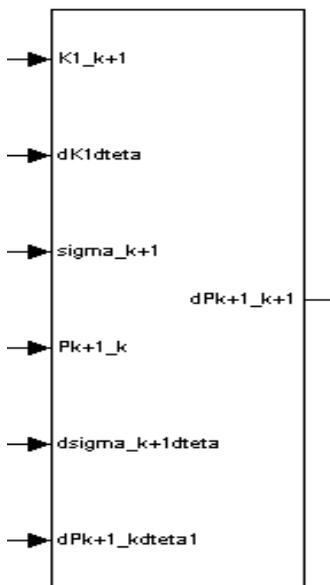


Рис. 8. Блок для вычисления по уравнению (8)

Третья группа формул:

$$K2_\infty = \Phi K1_\infty, \quad \frac{\partial K2_\infty}{\partial \theta_i} = \frac{\partial \Phi}{\partial \theta_i} K1_\infty + \Phi \frac{\partial K1_\infty}{\partial \theta_i},$$

$$\Phi_{A,1} = \begin{bmatrix} \Phi & 0 & 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \theta_1} & \Phi - K2_\infty \Sigma_\infty^{-1} H & 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \theta_2} & 0 & \Phi - K2_\infty \Sigma_\infty^{-1} H \end{bmatrix},$$

$$K_{A,1} = \begin{bmatrix} K2_\infty \\ \frac{\partial K2_\infty}{\partial \theta_1} - K2_\infty \Sigma_\infty^{-1} \frac{\partial \Sigma_\infty}{\partial \theta_1} \\ \frac{\partial K2_\infty}{\partial \theta_2} - K2_\infty \Sigma_\infty^{-1} \frac{\partial \Sigma_\infty}{\partial \theta_2} \end{bmatrix},$$

$$\Psi_{A,1} = \begin{bmatrix} \Psi \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \bar{x}_{A,1} = \Phi_{A,1} \bar{x}_{A,1} + \Psi_{A,1} u, \quad \Sigma_{A,1} = \Phi_{A,1} \Sigma_{A,1} \Phi_{A,1}^T + K_{A,1} K_{A,1}^T.$$

$$E \left\{ \begin{bmatrix} \frac{\partial \hat{x}_{k+1,k}}{\partial \theta_i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial \hat{x}_{k+1,k}}{\partial \theta_j} \end{bmatrix}^T \right\} = c_i \left[\Sigma_{A,k+1,k} + \bar{x}_{A,k+1,k} \bar{x}_{A,k+1,k}^T \right] c_j^T,$$

$$c_i = [0 : \dots : I : \dots : 0],$$

$$M_{ij} = \sum_{k=0}^{N-1} \left\{ Sp \left[\frac{\partial \Sigma_{k+1}}{\partial \theta_i} \Sigma_{k+1}^{-2} \frac{\partial \Sigma_{k+1}}{\partial \theta_j} \right] + \right.$$

$$+Sp \left[H^T \Sigma_{k+1}^{-2} H E \left\{ \left(\frac{\partial \hat{x}_{k+1,k}}{\partial \theta_i} \right) \left(\frac{\partial \hat{x}_{k+1,k}}{\partial \theta_j} \right)^T \right\} \right] + Sp \left[\Sigma_{k+1}^{-1} \frac{\partial \Sigma_{k+1}}{\partial \theta_i} \Sigma_{k+1}^{-1} \frac{\partial \Sigma_{k+1}}{\partial \theta_j} \right] \}.$$

Третья группа формул касается вычисления информационной матрицы Фишера и здесь подробно не рассматривается ввиду громоздкости вычислений. Для оценивания параметров динамических объектов используется рекуррентная схема метода наименьших квадратов [15].

3. ПРИМЕР

Порядок определения параметров иллюстрируется на примере объекта второго порядка с одним неизвестным параметром, входящим в матрицу состояния. Рассматривается установившийся режим, что дает возможность упростить математические соотношения. Допустим, что динамический объект описывается в следующем виде:

$$\begin{pmatrix} x_{k+1}^1 \\ x_{k+1}^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -0.5 \\ \theta_1 & 0.3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_k^1 \\ x_k^2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0 \end{pmatrix} u_k + \begin{pmatrix} w_{k+1}^1 \\ w_{k+1}^2 \end{pmatrix},$$

$$y_{k+1} = (0 \quad 1) x_{k+1} + v_{k+1},$$

где x_{k+1} – вектор состояния; u_k – управление; w_k – вектор возмущения с нулевым средним; y_{k+1} – наблюдение; v_{k+1} – вектор ошибки измерения с нулевым средним.

Моделирование осуществлялось при базовом значении $\theta_1 = 0.5$. Следующее значение матрицы P выбрано в качестве начального значения:

$$P_0 = \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{pmatrix}. \text{ В этой работе рассматривается активная идентификация.}$$

В качестве входного сигнала выбрана синусоида с периодом $T = 20$. Амплитуда входного сигнала равна единице. Эксперимент выполнен для 200 измерений. Для модели, находящейся под действием шумов, получаем следующие результаты оценивания: $\theta_1 = 0.99$. Результаты моделирования для модели с шумом и $\sigma^2 = 0.001$ даны на рис. 9.

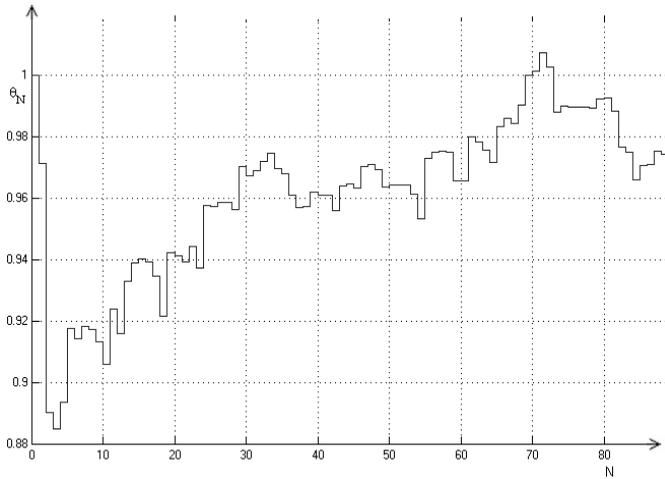


Рис. 9. Оценка параметра при действии входного сигнала в виде синусоиды

График сходимости параметра K_N при использовании синусоиды в качестве входного сигнала представлен на рис. 10.

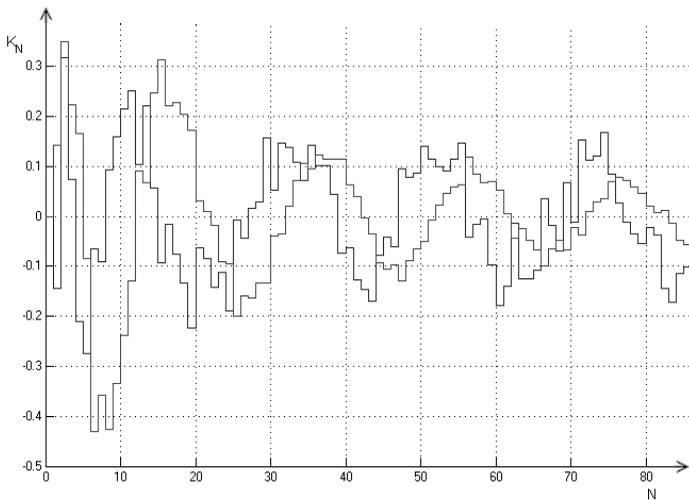


Рис. 10. Поведение параметра K_N (входной сигнал – синусоида)

График сходимости параметров P_N в случае, когда входной сигнал – синусоида, приводится на рис. 11.

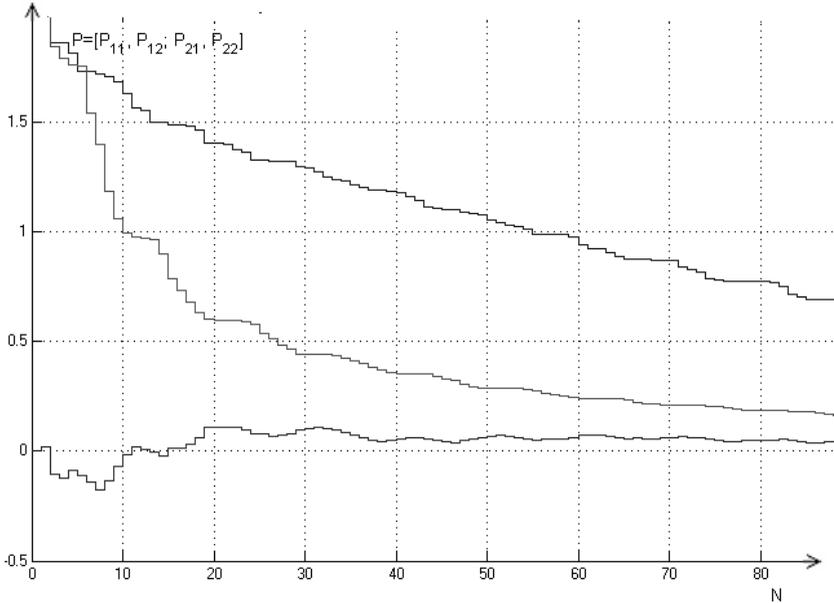


Рис. 11. Поведение параметров P_N (входной сигнал – синусоида)

Рассмотрим случай, когда в качестве входного сигнала выбран сигнал типа меандра с периодом $T = 20$. Амплитуда входного сигнала равна единице. Эксперимент выполнен для 100 измерений. Для модели, находящейся под действием шумов, получаем следующие результаты оценивания: $\theta_1 = 0.5659$. При увеличении числа измерений до $N = 200$ получаем более точную оценку неизвестного параметра: $\theta_1 = 0.5173$. Результаты моделирования для модели с шумом и $\sigma^2 = 0.001$ даны на рис. 12.

График сходимости параметра K_N при действии входного сигнала типа меандра представлен на рис. 13.

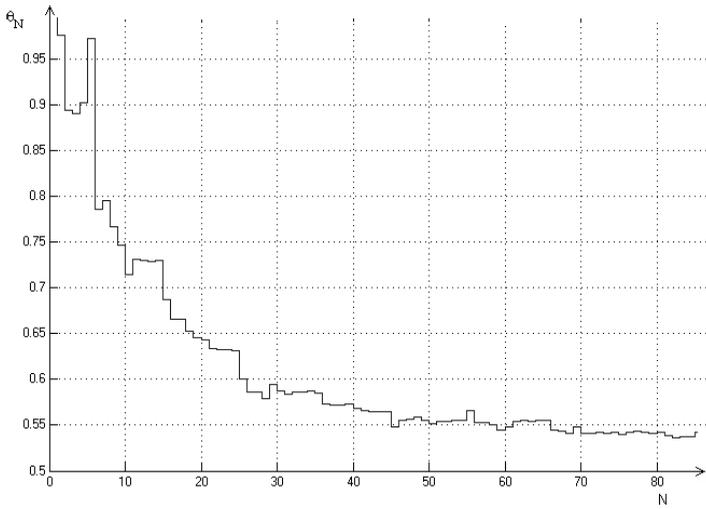


Рис. 12. Оценка параметра при действии входного сигнала типа меандра

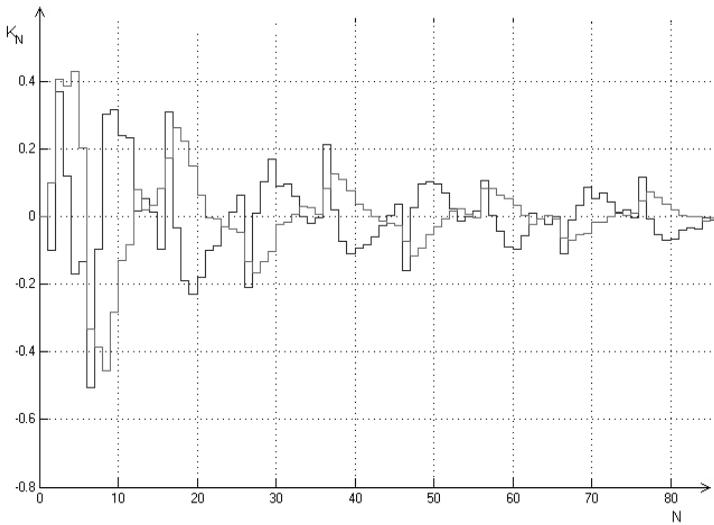


Рис. 13. Поведение параметра K_N (входной сигнал – меандр)

График сходимости параметров P_N при действии входного сигнала типа меандра приводится на рис. 14.

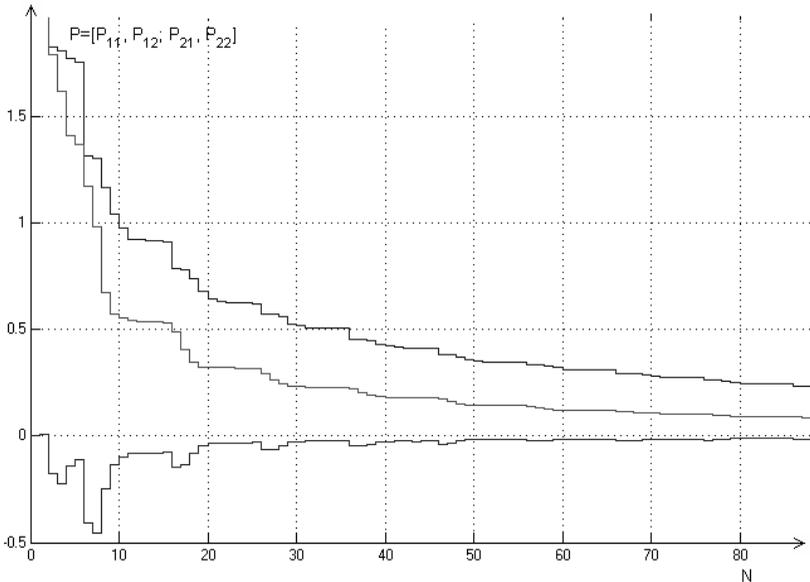


Рис. 14. Поведение параметров P_N (входной сигнал – меандр)

Рекуррентное оценивание сходится к истинному значению параметра приблизительно за 80–90 итераций. Ошибка измерений находится примерно в пределах 5...7 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделирование динамического объекта, фильтра Калмана с обновленной последовательностью и информационной матрицы Фишера выполнено в среде Simulink. Приводятся результаты оценивания динамических параметров на основе рекуррентного метода наименьших квадратов для динамического объекта второго порядка. В качестве входных сигналов используются входные сигналы типа меандра и синусоида.

В настоящее время разработка специальных входных сигналов признана полезной для повышения точности оценки параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Льюнг Л.* Идентификация систем: теория для пользователя / под ред. Я.З. Цыпкина. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
2. *Эйкхофф П.* Основы идентификации систем управления: оценивание параметров и состояния. – М.: Мир, 1975. – 683 с.
3. *Mehra R.K.* Optimal input signal for parameter estimation in dynamic system – survey and new results // IEEE Transactions on Automatic Control. – 1974. – Vol. AC-19, N 6. – P. 753–768.
4. *Mehra R.K.* On the identification of variances and adaptive Kalman filtering // IEEE Transactions on Automatic Control. – 1970. – Vol. AC-15, N 2. – P. 175–184.
5. *Сейдж Э.П., Уайт Ч.С.* Оптимальное управление системами. – М.: Радио и связь, 1982. – 392 с.
6. *Goodwin G.C., Payne R.L.* Dynamic system identification: experiment design and data analysis. – New York: Academic Press, 1977. – 291 p.
7. *Заболотнов Ю.М.* Оптимальное управление непрерывными динамическими системами: учебное пособие. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2005. – 129 с.
8. *Цыпкин Я.З.* Информационная теория идентификации. – М.: Наука: Физматлит, 1995. – 336 с.
9. *Sage A.P., Melsa J.L.* Estimation theory with application to communication and control. – New York: McGraw Hill, 1972. – 540 p.
10. *Chen C.T.* Linear system theory and design. – New York; Oxford: Oxford University Press, 1999. – 334 p.
11. *Antsaklis P.J., Michel A.N.* Linear systems. – New York: McGraw Hill, 1997. – 685 p.
12. *Черных И.В.* Simulink: среда создания инженерных приложений / под общ. ред. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с.
13. *Огарков М.А.* Методы статистического оценивания параметров случайных процессов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.
14. *Воевода А.А., Трошина Г.В.* Использование информационной матрицы Фишера при выборе сигнала управления для оценки параметров моделей динамики и наблюдения объектов невысокого порядка // Сборник научных трудов НГТУ. – 2006. – № 3 (45). – С. 19–24.
15. *Воевода А.А., Трошина Г.В.* Рекуррентный метод оценивания параметров в динамическом объекте // Научный вестник НГТУ. – 2016. – № 4 (65). – С. 7–18.

16. Воевода А.А., Трошина Г.В. О некоторых методах фильтрации в задаче идентификации // Сборник научных трудов НГТУ. – 2014. – № 2 (76). – С. 16–25.

17. Воевода А.А., Трошина Г.В. Об оценке вектора состояния и вектора параметров в задаче идентификации // Сборник научных трудов НГТУ. – 2014. – № 4 (78). – С. 53–68. – doi: 10.17212/2307-6879-2014-4-53-68.

18. Воевода А.А., Трошина Г.В. Моделирование фильтра Калмана с обновленной последовательностью в среде Simulink // Сборник научных трудов НГТУ. – 2015. – № 2 (80). – С. 7–17. – doi: 10.17212/2307-6879-2015-2-7-17.

19. Трошина Г.В. Вычислительные аспекты задачи восстановления вектора состояния для модели с неточно заданными параметрами // Сборник научных трудов НГТУ. – 2008. – № 3 (53). – С. 25–34.

20. Трошина Г.В. Моделирование динамических объектов в среде Simulink. Ч. 1 // Сборник научных трудов НГТУ. – 2015. – № 3 (81). – С. 55–68. – doi: 10.17212/2307-6879-2015-3-55-68.

21. Воевода А.А., Трошина Г.В. Стабилизация неминимально фазового объекта с использованием ПИ-регулятора // Сборник научных трудов НГТУ. – 2015. – № 4 (82). – С. 21–30. – doi: 10.17212/2307-6879-2015-4-21-30.

22. Трошина Г.В. Об использовании фильтра Калмана при идентификации динамических систем // Сборник научных трудов НГТУ. – 2014. – № 3 (77). – С. 37–52.

23. Трошина Г.В. Моделирование динамических объектов в среде Simulink. Ч. 2 // Сборник научных трудов НГТУ. – 2015. – № 4 (82). – С. 31–41. – doi: 10.17212/2307-6879-2015-4-31-41.

24. Трошина Г.В. О методах оценивания вектора состояния в задачах идентификации // Сборник научных трудов НГТУ. – 2012. – № 1 (67). – С. 69–78.

25. Voevoda A.A., Troshina G.V. Active identification of the inverted pendulum control system // Proceedings of the 18th International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM2015). – St. Petersburg: LETI Publ., 2015. – Vol. 1. – P. 153–156.

26. The object unknown parameters estimation for the 'inverted pendulum-Cart' system in the steady state / G.V. Troshina, A.A. Voevoda, V.M. Patrin, M.V. Simakina // Proceedings of the 16th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM 2015), Altai, Er-lagol, 29 June – 3 July 2015. – Novosibirsk, 2015. – P. 186–188.

Трошина Галина Васильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – идентификация динамических объектов. Имеет более 60 публикаций. E-mail: troshina@dean.cs.nstu.ru

Parameters determination for the second order dynamic object at the action of the noisy periodic signals *

G.V. Troshina

Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, candidate of Technical Sciences, associate professor of the computer engineering department. E-mail: troshina@corp.nstu.ru

Difficult models of a high order are used in many practical researches. At the same time it isn't always possible to receive the state values of an object. It is possible to improve the aprioristic information if to use the measurements received in the work process of dynamic system and to carry out the parameters control of an object. The unknown parameters determination procedure of dynamic system in the presence of the Gaussian noise is considered in this work on the example of the second order dynamic object. The main stages necessary for the modeling of Fischer information matrix in the Simulink environment are presented. For the state vector estimation the Kalman filter modeling with the updated sequence is executed. The calculation procedure of Fischer information matrix elements is provided for the steady-state. The test signal like a meander of single amplitude and the sinusoid are considered as input signals. The several blocks are used for the unknown parameters determination of a dynamic object by means of the least-squares method recurrent scheme. One group of blocks is responsible for the dynamic system formation, the other group of blocks corresponds to the Kalman filter calculation, the third group of blocks contains the formulas necessary for the Fischer matrix calculation. In the block which corresponds to the unknown parameters determination of a dynamic object, the step-by-step modeling of the recurrent least-squares method is carried out. The behavior schedules construction of the parameters estimation both for an input signal like a meander, and for a sinusoid is executed. The convergence schedule of the gain coefficient which is used in the least-squares method recurrent procedure is provided. All values of parameters are received for a case when a dynamic object is under the Gaussian noise of dynamics and measurement.

Keywords: identification, dynamic object, Kalman filter, parameter estimation, Fischer matrix, mathematical model, steady-state, recursive least-squares method

DOI: 10.17212/2307-6879-2018-1-68-85

* Received 04 December 2017.

REFERENCES

1. Ljung L. *System identification: theory for the user*. New Jersey, Prentice Hall, 1987. 384 p. (Russ. ed.: L'yung L. *Identifikatsiya sistem. Teoriya dlya pol'zovatelya*. Translated from English. Moscow, Nauka Publ., 1991. 432 p.).
2. Eykhoff P. *System identification: parameter and state estimation*. London, John Wiley & Sons, 1974. 555 p. (Russ. ed.: Eikkhoff P. *Osnovy identifikatsii sistem upravleniya: otsenivanie parametrov i sostoyaniya*. Translated from English. Moscow, Mir Publ., 1975. 683 p.).
3. Mehra R.K. Optimal input signal for parameter estimation in dynamic system – survey and new results. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1974, vol. AC-19, no. 6, pp. 753–768.
4. Mehra R.K. On the identification of variances and adaptive Kalman filtering. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1970, vol. AC-15, no. 2, pp. 175–184.
5. Sage A.P., White C.C. *Optimum system control*. 2nd ed. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1977 (Russ. ed.: Seidzh E.P., Uait Ch.S. *Optimal'noe upravlenie sistemami*. Moscow, Radio i sviaz' Publ., 1982. 392 p.).
6. Goodwin G.C., Payne R.L. *Dynamic system identification: experiment design and data analysis*. New York, Academic Press, 1977. 291 p.
7. Zabolotnov Yu.M. *Optimal'noe upravlenie nepreryvnymi dinamicheskimi sistemami* [The optimum control of the continuous dynamic systems]. Samara, Samarskii gosudarstvennyi aerokosmicheskii universitet Publ., 2005. 129 p.
8. Tsyipkin Ya.Z. *Informatsionnaya teoriya identifikatsii* [Information theory of identification]. Moscow, Nauka Publ., Fizmatlit Publ., 1995. 336 p.
9. Sage A.P., Melsa J.L. *Estimation theory with application to communication and control*. New York, McGraw Hill, 1972. 540 p.
10. Chen C.T. *Linear system theory and design*. New York, Oxford, Oxford University Press, 1999. 334 p.
11. Antsaklis P.J., Michel A.N. *Linear systems*. New York, McGraw Hill, 1997. 685 p.
12. Chernykh I.V. *Simulink: sreda sozdaniya inzhenernykh prilozhenii* [Simulink: the environment of the engineering applications construction]. Moscow, DIALOG-MIFI Publ., 2003. 496 p.
13. Ogarkov M.A. *Metody statisticheskogo otsenivaniya parametrov sluchainykh protsessov* [Statistical estimation methods of the noise processes parameters]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1990. 208 p.
14. Voevoda A.A., Troshina G.V. Ispol'zovanie informatsionnoi matritsy Fishera pri vybore signala upravleniya dlya otsenki parametrov modelei dinamiki i nablyudeniya ob"ektov nevysokogo poryadka [The Fischer information matrix use at the control signal choice for the parameters estimation in the dynamic and meas-

urement models of the low order objects]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2006, no. 3 (45), pp. 19–24.

15. Voevoda A.A., Troshina G.V. Rekurrentnyi metod otsenivaniya parametrov v dinamicheskom ob'ekte [A recurrent method for parameter estimation in the dynamic object]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2016, no. 4 (65), pp. 7–18.

16. Voevoda A.A., Troshina G.V. O nekotorykh metodakh fil'tratsii v zadache identifikatsii [About some filtration methods in the identification problem]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2014, no. 2 (76), pp. 16–25.

17. Voevoda A.A., Troshina G.V. Ob otsenke vektora sostoyaniya i vektora parametrov v zadache identifikatsii [About parameters vector estimation and state vector estimation in identification problem]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2014, no. 4 (78), pp. 53–68. doi: 10.17212/2307-6879-2014-4-53-68.

18. Voevoda A.A., Troshina G.V. Modelirovanie fil'tra Kalmana s obnovlennoi posledovatel'nost'yu v srede Simulink [The modelling of the Kalman filter with the updated sequence in Simulink environment]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2015, no. 2 (80), pp. 7–17. doi: 10.17212/2307-6879-2015-2-7-17.

19. Troshina G.V. Vychislitel'nye aspekty zadachi vosstanovleniya vektora sostoyaniya dlya modeli s netochno zadannymi parametrami [Computing aspects of problem of the state vector recovering for models with inexact given parameters]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2008, no. 3 (53), pp. 25–34.

20. Troshina G.V. Modelirovanie dinamicheskikh ob'ektov v srede Simulink. Ch. 1 [The dynamic objects modelling in Simulink environment. Pt. 1]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2015, no. 3 (81), pp. 55–68. doi: 10.17212/2307-6879-2015-3-55-68.

21. Voevoda A.A., Troshina G.V. Stabilizatsiya neminimal'no fazovogo ob'ekta s ispol'zovaniem PI-regulyatora [The stabilization of not-minimum-phase object with the PI regulator use]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the*

Novosibirsk state technical university, 2015, no. 4 (82), pp. 21–30. doi: 10.17212/2307-6879-2015-4-21-30.

22. Troshina G.V. Ob ispol'zovanii fil'tra Kalmana pri identifikatsii dinamicheskikh sistem [About Kalman filter using for dynamic systems identification]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2014, no. 3 (77), pp. 37–52.

23. Troshina G.V. Modelirovanie dinamicheskikh ob"ektov v srede Simulink. Ch. 2 [The dynamic objects modelling in Simulink environment. Pt. 2]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2015, no. 4 (82), pp. 31–41. doi: 10.17212/2307-6879-2015-4-31-41.

24. Troshina G.V. O metodakh otsenivaniya vektora sostoyaniya v zadachakh identifikatsii [About state vector estimation methods in identification problems]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2012, no. 1 (67), pp. 69–78.

25. Voevoda A.A., Troshina G.V., Active identification of the inverted pendulum control system [Aktivnaya identifikaciya sistemy upravleniya perevernutij mayatnik]. *Proceedings of the 18th International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM'2015)*. St. Petersburg, LETI Publ., 2015, vol. 1, pp. 153–156.

26. Troshina G.V., Voevoda A.A., Patrino V.M., Simakina M.V. The object unknown parameters estimation for the 'inverted pendulum-Cart' system in the steady state. *Proceedings of the 16th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM 2015)*, Altai, Erlagol, 29 June – 3 July 2015, pp. 186–188.

Для цитирования:

Трошина Г.В. Определение параметров динамического объекта второго порядка при действии зашумленных периодических сигналов // Сборник научных трудов НГТУ. – 2018. – № 1 (91). – С. 68–85. – doi: 10.17212/2307-6879-2018-1-68-85.

For citation:

Troshina G.V. Opredelenie parametrov dinamicheskogo ob"ekta vtorigo poryadka pri deistvii zashumlennykh periodicheskikh signalov [Parameters determination for the second order dynamic object at the action of the noisy periodic signals]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2018, no. 1 (91), pp. 68–85. doi: 10.17212/2307-6879-2018-1-68-85.