

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ
И ИДЕНТИФИКАЦИЯ

AUTOMATIC CONTROL
AND IDENTIFICATION

УДК 519.24

Рекуррентный метод оценивания параметра в динамическом объекте*

А.А. ВОЕВОДА¹, Г.В. ТРОШИНА²

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор. E-mail: ucit@ucit.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент. E-mail: troshina@corp.nstu.ru

Развитие рекуррентных методов теории оценивания обусловлено требованиями современного производства, где необходимо внедрение сложных систем управления. Сложность таких систем характеризуется, прежде всего, необходимостью работы в условиях априорной неопределенности о свойствах внешней среды, в режимах, где затруднен контроль со стороны человека. Многие алгоритмы поиска неизвестных параметров объекта управления базируются на рекуррентном приближении к экстремуму некоторого выбранного критерия качества. Одним из наиболее широко распространенных рекуррентных методов оценивания является рекуррентный метод наименьших квадратов. В данной работе выполнено оценивание параметра динамического объекта по данным входных и выходных сигналов системы в пакете MatLab. Процедура рекуррентного оценивания параметра рассматривается для случая, когда отсутствуют помехи измерений, а также для случая, когда предполагается наличие гауссовских шумов. В отличие от пассивных методов идентификации в данной работе предполагается возможность подачи требуемого воздействия на объект. Входное воздействие представляет собой сигнал типа меандра. Процедура рекуррентного оценивания в пакете MatLab представлена тремя уровнями. Блоки верхнего уровня отражают результаты моделирования динамического объекта, входного сигнала и помех измерения. Блоки следующих уровней формируют рекуррентный метод оценивания параметра. Результаты оценивания параметра объекта приводятся на графиках для случая, когда шумы измерений отсутствуют, и для случая, когда они присутствуют. Также приводятся результаты поведения коэффициента усиления, который применяется для оценивания параметра. Надо отметить, что рекуррентный синтез, при котором настройка параметров объекта осуществляется по мере поступления новых измерений, широко используется при проектировании адаптивных фильтров, что позволяет обеспечить своевременную обработку больших объемов данных.

Ключевые слова: активная идентификация, моделирование, рекуррентный метод наименьших квадратов, входной сигнал, оценивание параметров, динамический объект, шумы измерений, математическая модель

DOI: 10.17212/1814-1196-2016-4-7-18

* Статья получена 04 мая 2016 г.

ВВЕДЕНИЕ

Работы [1–28] охватывают различные аспекты теории идентификации и управления, в том числе и существенные для практических применений. Рекуррентные схемы оценивания используются при решении многих задач, возникающих в инженерной практике. Под оцениванием параметров принято понимать способ уточнения значений параметров сигнала, измеряемого с некоторыми помехами. Далее рассматривается рекуррентная форма метода наименьших квадратов для оценивания параметра динамического объекта.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассматривается динамический объект, который в общем виде можно выразить следующим образом [20–22]:

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

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

где x_{k+1} – вектор состояния; u_k – вектор управления; w_k – вектор возмущения; y_{k+1} – вектор измерения; v_{k+1} – вектор ошибки измерения; Φ – матрица состояния размера 2×2 ; Ψ – матрица управления размера 2×1 ; H – матрица измерения размера 1×2 ; Q – неотрицательно определенная матрица ковариации вектора возмущения; R – положительно определенная матрица ковариации вектора ошибки измерения.

Суть метода наименьших квадратов заключается в минимизации следующей функции квадратичного отклонения [11]:

$$s(\theta) = \sum_{i=1}^N (y_i - x_i^T \theta)^2.$$

Тогда оценку неизвестных параметров $\hat{\theta}_N$ на основе метода наименьших квадратов можно получить, исходя из формулы [14]:

$$\hat{\theta}_N = (X_N^T X_N)^{-1} X_N^T Y_N, \quad (1)$$

где приняты обозначения:

$$X_N = \begin{pmatrix} x_1^T \\ x_2^T \\ \vdots \\ x_N^T \end{pmatrix}, \quad Y_N = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{pmatrix}.$$

Для получения рекуррентной оценки неизвестных параметров $\hat{\theta}$ на основе $N + 1$ измерений необходимо воспользоваться ниже приведенной группой формул [11]:

$$\hat{\theta}_{N+1} = \hat{\theta}_N + K_{N+1} (y_{N+1} - x_{N+1}^T \hat{\theta}_N), \quad (2)$$

$$K_{N+1} = \frac{P_N x_{N+1}}{(1 + x_{N+1}^T P_N x_{N+1})}, \quad (3)$$

$$P_{N+1} = \left(I - P_N \frac{x_{N+1} x_{N+1}^T}{1 + x_{N+1}^T P_N x_{N+1}} \right) P_N, \quad (4)$$

где K_{N+1} и P_{N+1} вычисляются по результатам $N + 1$ измерений.

Результаты вычислений в значительной мере зависят как от задания начального значения θ_0 , так и от начальных значений K_0 и P_0 . Как следует из формулы (4), при нулевом значении P_0 рекуррентный процесс не сходится, и получить удовлетворительную оценку $\hat{\theta}_N$ не удастся.

ПРИМЕР

Рассматривается динамический объект в виде

$$\begin{pmatrix} x_{k+1}^1 \\ x_{k+1}^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -0.3 & \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_k^1 \\ x_k^2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} u_k + \begin{pmatrix} w_{k+1}^1 \\ w_{k+1}^2 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$y_{k+1} = (1 \quad 0) x_{k+1} + v_{k+1}, \quad (6)$$

где x – вектор состояния; y – выходной сигнал; θ – оцениваемый параметр объекта; u – входной сигнал; w, v – гауссовские шумы с нулевым математическим ожиданием. Вычисления производятся шаг за шагом, в порядке поступления входных и выходных сигналов. После некоторых преобразований получаем следующие выражения для сигналов x_i и y_i :

$$\bar{y}_{k+1} = y_{k+2} + 0.3 y_{k+1} - u_{k+1}, \quad (7)$$

$$\bar{x}_{k+1} = y_{k+1}. \quad (8)$$

Эти выражения в дальнейшем используются при моделировании рекуррентной схемы метода наименьших квадратов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕКУРРЕНТНОЙ СХЕМЫ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

Оценивание параметра объекта для системы, описываемой уравнениями (5) и (6), осуществляется с помощью следующих блоков: генератора входного сигнала Input_U, динамического объекта Object, шума измерений v_{k+1} – Noise_v, шума системы w_{k+1} – Noise_w, искажающего вектор состояния си-

стемы и блока Estimation для моделирования рекуррентной формы метода наименьших квадратов (рис. 1).

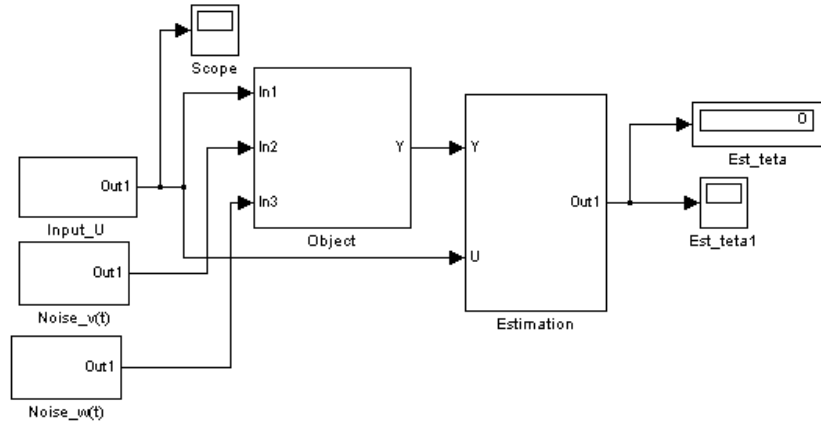


Рис. 1. Схема рекуррентного вычисления оцениваемого параметра

Блок вычисления оценки параметра Estimation в общем виде демонстрируется на рис. 2, а блоки, в которых выполняется моделирование по уравнениям (2)–(4), представлены на рис. 3–5 соответственно.

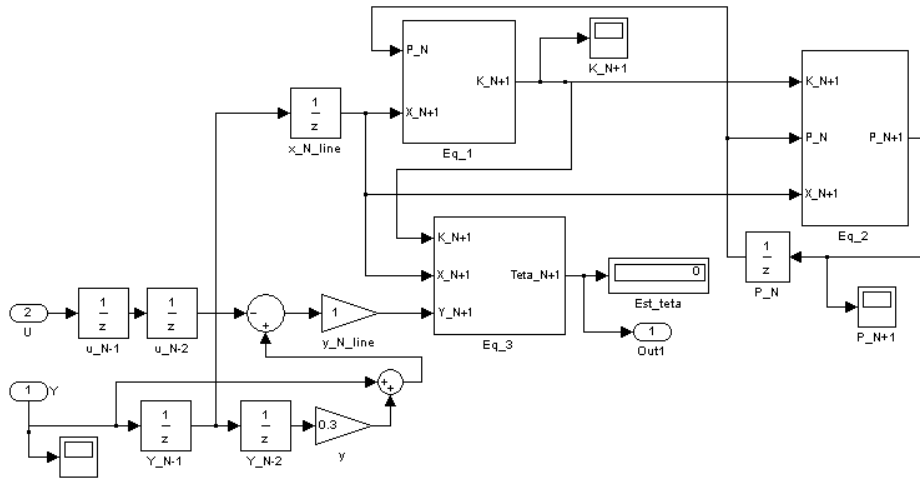


Рис. 2. Блок вычисления оцениваемого параметра Estimation

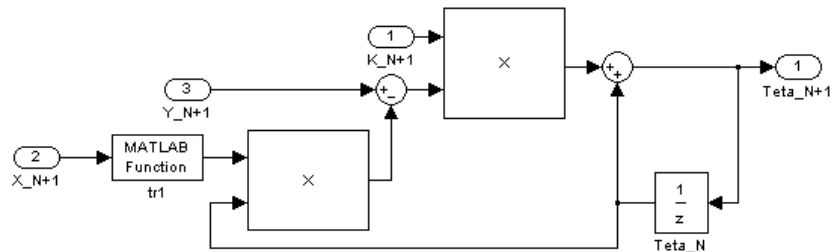
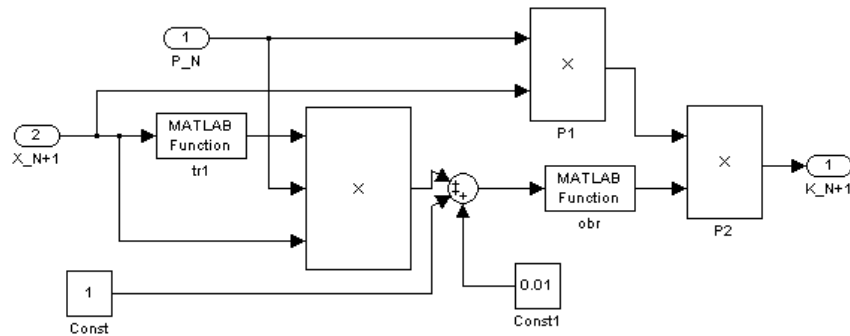
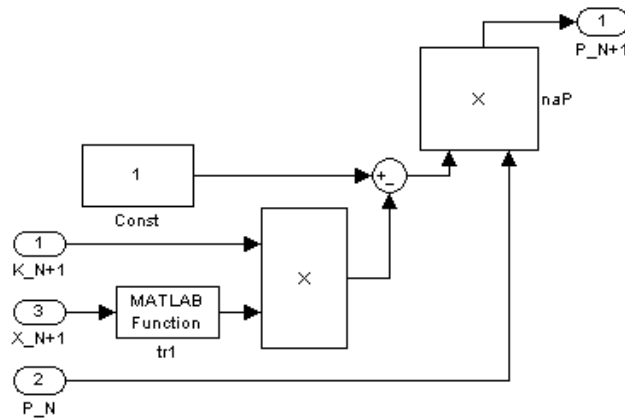


Рис. 3. Схема рекуррентного получения оценки параметра $\hat{\theta}_{N+1}$

Рис. 4. Вычисление коэффициента усиления K_{N+1} Рис. 5. Схема рекуррентного вычисления P_{N+1}

Таким образом, процедура рекуррентного оценивания по формулам (2)–(4) в пакете MatLab представлена тремя уровнями. Блоки верхнего уровня (см. рис. 1) отражают результаты моделирования динамического объекта, входного сигнала и помех измерения. Блоки следующих уровней, представленные на рис. 2–5, формируют рекуррентный метод оценивания параметра $\hat{\theta}_N$. Структура модели сохранит этот же вид и при оценивании большего количества параметров объекта.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ АЛГОРИТМА РЕКУРРЕНТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ

Моделирование выполнено при базовом значении параметра объекта $\theta = 0.5$. На рис. 6–10 демонстрируются результаты рекуррентного оценивания параметра для динамического объекта без шума измерений ($v = 0$) с математическим ожиданием $m = 0$. Начальное значение $P_0 = 0.5$, что является очевидным, если проанализировать уравнение (4). Отметим, что в данной работе рассматривается активная идентификация. Это означает, что можно выбрать такой воздействующий сигнал, который в наибольшей степени «рас-

качивает» объект. В данном случае выбран входной сигнал типа меандра с периодом $T = 6$ и с амплитудой, равной единице. Эксперимент проводился для 500 измерений. Для случая, когда шумы измерений отсутствуют, результат оценивания довольно точный, а именно $\theta = -0.5008$.

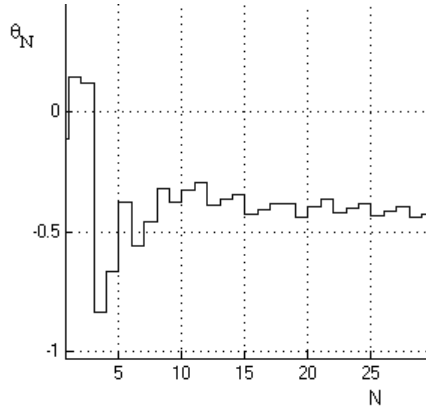


Рис. 6. Оценка параметра $\hat{\theta}_N$ без шума измерений

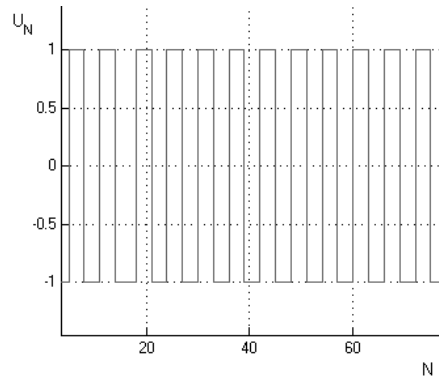


Рис. 7. Входной сигнал u_N

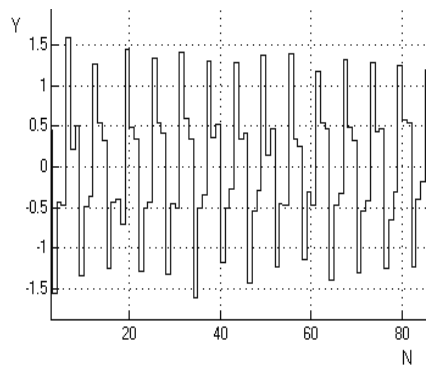


Рис. 8. Выходной сигнал объекта Y без шума измерений

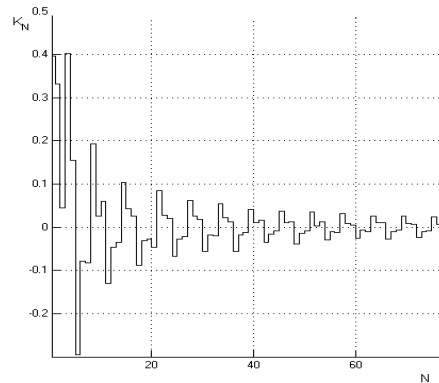


Рис. 9. Параметр K_N без шума измерений

Рекуррентная оценка сходится к истинному значению параметра примерно за 50–60 итераций. То же самое можно сказать и о сходимости значений K_N и P_N . На рис. 11–14 приведены результаты рекуррентного оценивания для случая, когда присутствует шум измерений v с нулевым математическим ожиданием m и дисперсией $\sigma^2 = 0.025$, что означает наличие погрешности измерений примерно в пределах 5...7 %. После 500 измерений получена следующая оценка параметра: $\theta = -0.4613$.

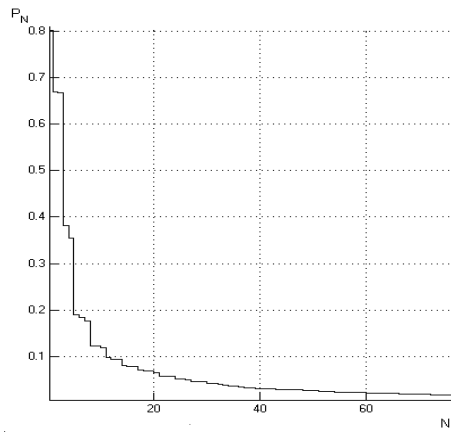


Рис. 10. Параметр P_N без шума измерений

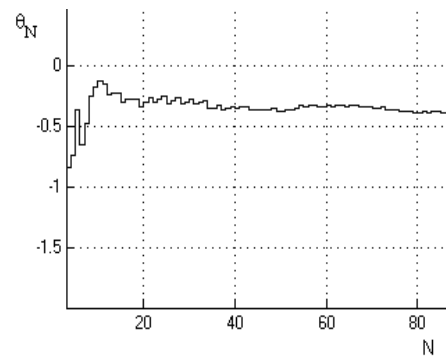


Рис. 11. Оценка $\hat{\theta}_N$ при наличии шума измерений

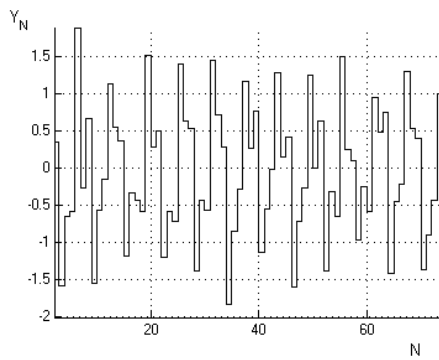


Рис. 12. Выход объекта Y_N при наличии шума измерений

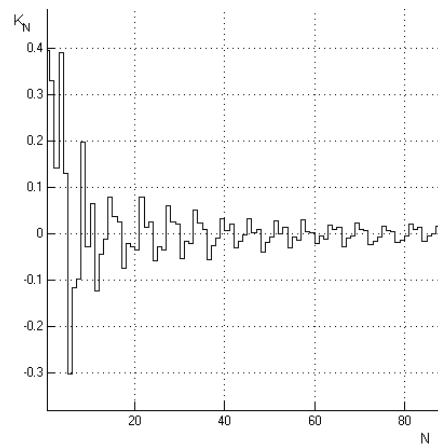


Рис. 13. Параметр K_N при наличии шума измерений

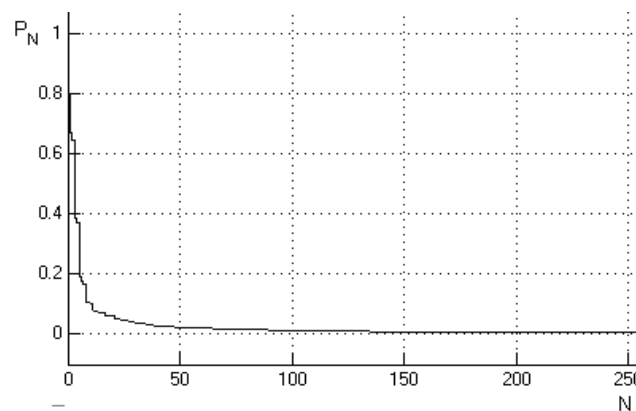


Рис. 14. Параметр P_N при наличии шума измерений

Процесс сходится примерно за 50–70 шагов, что видно из рис. 11–14. Как следует из результатов моделирования рекуррентного метода оценивания параметра, алгоритм успешно работает даже при наличии значительных шумов измерений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе продемонстрирован рекуррентный алгоритм оценивания параметра динамического объекта невысокого порядка. Данный алгоритм реализован в пакете MatLab. Наблюдается быстрая сходимость алгоритма. Это позволяет надеяться на его успешное использование для объектов более высоких порядков со значительным количеством оцениваемых параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Острем К.* Введение в стохастическую теорию управления. – М.: Мир, 1973. – 320 с.
2. *Льюнг Л.* Идентификация систем: теория для пользователя / под ред. Я.З. Цыпкина. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
3. *Эйхгофф П.* Основы идентификации систем управления: оценивание параметров и состояния. – М.: Мир, 1975. – 683 с.
4. *Медич Дж.* Статистически оптимальные линейные оценки и управление. – М.: Энергия, 1973. – 440 с.
5. *Сейдж Э.П., Мелса Дж.* Теория оценивания и ее применение в связи и управлении. – М.: Связь, 1976. – 495 с.
6. *Gupta H.K., Mehra R.K.* Computational aspects of maximum likelihood estimation and reduction in sensitivity function calculation // IEEE Transactions on Automatic Control. – 1974. – Vol. 19, N 7. – P. 774–785.
7. *Åström K.J.* Maximum likelihood and prediction error methods // Automatica. – 1980. – Vol. 16, N 5. – P. 551–574.
8. *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.
9. *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.
10. *Mehra R.K.* Optimal Input for linear system identification // IEEE Transactions on Automatic Control. – 1974. – Vol. 19, N 3. – P. 192–200.
11. *Goodwin G.C., Payne R.L.* Dynamic system identification: experiment design and data analysis. – New York: Academic Press, 1977. – 291 p.
12. *Antsaklis P.J., Michel A.N.* Linear systems. – New York: McGraw-Hill, 1997. – 685 p.
13. *Brown R.J., Sage A.P.* Error analysis of modeling and bias errors in continuous time state estimation // Automatica. – 1971. – Vol. 7. – P. 577–590.
14. *Goodwin G.C.* Optimal input signals for nonlinear-system identification // Proceedings of the Institution of Electrical Engineers. – 1971. – Vol. 118. – P. 922–926.
15. *Сейдж Э.П., Уайт Ч.С.* Оптимальное управление системами. – М.: Радио и связь, 1982. – 392 с.
16. *Воскобойников Ю.Е.* Критерий расходимости и алгоритм адаптации рекуррентного алгоритма оценивания вектора состояния // Научный вестник НГТУ. – 2015. – № 3 (60). – С. 7–22. – doi: 10.17212/1814-1196-2015-3-7-22.
17. *Денисов В.И., Чубич В.М., Черникова О.С.* Активная параметрическая идентификация гауссовских линейных непрерывно-дискретных систем на основе планирования входных сигналов и начальных условий // Научный вестник НГТУ. – 2014. – № 4 (57). – С. 19–30. – doi: 10.17212/1814-1196-2014-4-19-30.
18. *Чубич В.М., Черникова О.С.* Особенности задачи планирования эксперимента для гауссовских линейных систем // Научный вестник НГТУ. – 2015. – № 3 (60). – С. 178–191. – doi: 10.17212/1814-1196-2015-3-178-191.

19. Боловин Е.В. Критический экспертный анализ методов идентификации параметров асинхронных двигателей // Научный вестник НГТУ. – 2015. – № 1 (58). – С. 7–27. – doi: 10.17212/1814-1196-2015-1-7-27.
20. Воевода А.А., Трошина Г.В. Оценивание параметров моделей динамики и наблюдения для линейных стационарных дискретных систем с использованием информационной матрицы Фишера // Научный вестник НГТУ. – 2006. – № 3 (24). – С. 199–200.
21. Трошина Г.В. Активная идентификация линейных динамических дискретных стационарных объектов во временной области: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск, 2007. – 171 с.
22. Трошина Г.В. Вычислительные аспекты задачи восстановления вектора состояния для модели с неточно заданными параметрами // Сборник научных трудов НГТУ. – 2008. – Вып. 3 (53). – С. 25–34.
23. Voevoda A.A., Troshina G.V. Active identification of linear stationary dynamic object on base of the Fisher information matrix: the steady state // Proceedings of the XII International Conference "Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE-2014)", Novosibirsk, Russia, 2–4 October 2014. – Novosibirsk, 2014. – P. 745–749. – doi: 10.1109/APEIE.2014.7040785.
24. 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 (SCM'2015). – St. Petersburg: LETI Publ., 2015. – Vol. 1. – P. 153–156.
25. 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, Erlagol, 29 June – 3 July 2015. – Novosibirsk, 2015. – P. 186–188.
26. Воевода А.А., Трошина Г.В. О некоторых методах фильтрации в задаче идентификации // Сборник научных трудов НГТУ. – 2014. – № 2 (76). – С. 16–25.
27. 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.
28. 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.

Воевода Александр Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры автоматики Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – управление многоканальными объектами. Имеет более 200 публикаций. E-mail: ucit@ucit.ru

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

*A recurrent method for parameter estimation in the dynamic object**

A.A. VOEVODA¹, G.V. TROSHINA²

¹ Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, D.Sc. (Eng.), professor at the automation department. E-mail: ucit@ucit.ru

² Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, PhD (Eng.), associate professor at the computer engineering department. E-mail: troshina@dean.cs.nstu.ru

The development of recurrent methods in the estimation theory is caused by the requirements of modern production where it is necessary to introduce complex control systems. The complexity of such systems is characterized, first of all, by the need to work under conditions of a priori uncertainty about external environment properties in the operation where human control is complicated. Many search algorithms of unknown parameters of the control object are based on the recurrent approach to an extremum of some chosen quality criterion. One of the most widespread recurrent estimation methods is the recursive least-squares method. In this work the estimation of a dynamic object parameter based on input system and output system signals is executed in the Matlab package. The parameter recurrent estimation procedure is considered for the case when there are no measurements noises, and also for the case when Gaussian noises are supposed to be present. In contrast to passive identification methods a possibility of applying the required input signal to an object is supposed in this work. An input signal is a meander-like signal. The recurrent estimation procedure in the MatLab package is presented by three levels. The top level blocks show the modeling results of the dynamic object, the input signal and measurement noises. Blocks of the following levels form the parameter recurrent estimation procedure. The object parameter estimation results are plotted for the case when measurement noises are absent and also for the case when they are present. In addition, the results of the behavior of the amplification coefficient which is used to estimate the parameter are given. It should be noted that recurrent synthesis in which object parameters are adjusted on receiving results of new measurements is widely used in the adaptive filter design that makes it possible to process large data amounts timely.

Keywords: active identification, modeling, recursive least-squares method, input signal, parameter estimation, dynamic object, measurement noises, mathematical model

DOI: 10.17212/1814-1196-2016-4-7-18

REFERENCES

1. Åström K.J. *Introduction to stochastic control theory*. New York, London, Academic Press, 1970. 298 p. (Russ. ed.: Ostrem K. *Vvedenie v stokhasticheskuyu teoriyu upravleniya*. Translated from English. Moscow, Mir Publ., 1973. 320 p.).
2. 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.).
3. Eykhoff P. *System identification: parameter and state estimation*. London, John Wiley & Sons, 1974. 555 p. (Russ. ed.: Eikhoff P. *Osnovy identifikatsii sistem upravleniya: otsenivanie parametrov i sostoyaniya*. Translated from English. Moscow, Mir Publ., 1975. 680 p.).
4. Meditch J.S. *Stochastic optimal linear estimation and control*. New York, McGraw-Hill, 1969. 384 p. (Russ. ed.: Medich Dzh. *Statisticheski optimal'nye lineinye otsenki i upravlenie*. Translated from English. Moscow, Energiya Publ., 1973. 440 p.).
5. Sage A.P., Melse J.L. *Estimation theory with application to communication and control*. New York, McGraw-Hill, 1972. 540 p. (Russ. ed.: Seidzh E.P., Melsa Dzh. *Teoriya otsenivaniya i ee primeneniye v svyazi i upravlenii*. Translated from English. Moscow, Svyaz' Publ., 1976. 495 p.).

* Received 04 May 2016.

6. Gupta H.K., Mehra R.K. Computational aspects of maximum likelihood estimation and reduction in sensitivity function calculation. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1974, vol. 19, no. 7, pp. 774–785.
7. Åström K.J. Maximum likelihood and prediction error methods. *Automatica*, 1980, vol. 16, no. 5, pp. 551–574.
8. 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.
9. 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.
10. Mehra R.K. Optimal input for linear system identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1974, vol. 19, no. 3, pp. 192–200.
11. Goodwin G.C., Payne R.L. *Dynamic system identification: experiment design and data analysis*. New York, Academic Press, 1977. 291 p.
12. Antsaklis P.J., Michel A.N. *Linear systems*. New York, McGraw-Hill, 1997. 685 p.
13. Brown R.J., Sage A.P. Error analysis of modeling and bias errors in continuous time state estimation. *Automatica*, 1971, vol. 7, pp. 577–590.
14. Goodwin G.C. Optimal input signals for nonlinear-system identification. *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, 1971, vol. 118, pp. 922–926.
15. 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 svyaz' Publ., 1982. 392 p.
16. Voskoboinikov Yu.E. Kriterii raskhodimosti i algoritm adaptatsii rekurrentnogo algoritma otsenivaniya vektora sostoyaniya [The divergence criterion and the adaptation algorithm of the recurrent algorithm of the state vector estimation]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2015, no. 3 (60), pp. 7–22. doi: 10.17212/1814-1196-2015-3-7-22
17. Denisov V.I., Chubich V.M., Chernikova O.S. Aktivnaya parametriceskaya identifikatsiya gaussovskikh lineinykh nepreryvno-diskretnykh sistem na osnove planirovaniya vkhodnykh signalov i nachal'nykh uslovii [Active parametric identification of Gaussian linear continuous-discrete systems based on designing input signals and initial conditions]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2014, no. 4 (57), pp. 19–30. doi: 10.17212/1814-1196-2014-4-19-30
18. Chubich V.M., Chernikova O.S. Osobennosti zadachi planirovaniya eksperimenta dlya gaussovskikh lineinykh sistem [Peculiarities of the experiment design problem for Gaussian linear systems]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2015, no. 3 (60), pp. 178–191. doi: 10.17212/1814-1196-2015-3-178-191
19. Bolovin E.V. Kriticheskii ekspertnyi analiz metodov identifikatsii parametrov asinkhronnykh dvigatelei [Critical expert analysis of the induction motor parameters identification methods]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2015, no. 1 (58), pp. 7–27. doi: 10.17212/1814-1196-2015-1-7-27
20. Voevoda A.A., Troshina G.V. Otsenivanie parametrov modeli dinamiki i nablyudeniya dlya lineinykh statsionarnykh diskretnykh sistem s ispol'zovaniem informatsionnoi matritsy Fishera [Parameters estimation of dynamics and supervision models for linear stationary discrete systems with use of Fischer information matrix]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2006, no. 3 (24), pp. 199–200.
21. Troshina G.V. *Aktivnaya identifikatsiya lineinykh dinamicheskikh diskretnykh statsionarnykh ob"ektov vo vremennoi oblasti*. Diss. kand. tekhn. nauk [Active identification of linear dynamic discrete stationary objects in a time domain. PhD eng. sci. diss.]. Novosibirsk, 2007. 171 p.
22. 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 gosudar-*

stvennogo tekhnicheskogo universiteta – *Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2008, no. 3 (53), pp. 25–34.

23. Voevoda A.A., Troshina G.V. Active identification of linear stationary dynamic object on base of the Fisher information matrix: the steady state. *Proceedings of the XII International Conference "Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE-2014)"*, Novosibirsk, Russia, 2–4 October 2014, pp. 745–749. doi: 10.1109/APEIE.2014.7040785

24. Voevoda A.A., Troshina G.V., Active identification of the inverted pendulum control system [Aktivnaya identifikatsiya 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.

25. Troshina G.V., Voevoda A.A., Patrin 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.

26. 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.

27. 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

28. 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