

[tekst] / V.N. SHorohov, M.YU. Osokin, E.V. Hekert // uchebnoe posobie dlya obucheniya kursantov (studentov) na fakul'tetah voennogo obucheniya (voenno-morskih kafedrah) grazhdanskikh vuzov /

Federal'noe gos. obrazovatel'noe uchrezhdenie vyssh. prof. obrazovaniya "Morskaya gos. akad. im. F. F. Ushakova". Novorossiysk, 2010.

УДК: 656.61.052.4

DOI: 10.34046/aumsuomt100/8

АДАПТАЦИЯ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО СГЛАЖИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ СУДНА

А.Н. Штанько, аспирант

В статье произведена адаптация математической модели прогнозирования угловой скорости движения судна методом экспоненциального сглаживания. Предложен способ выбора параметра адаптации с использованием скользящего контрольного сигнала методом Тригга-Лича. Определены оптимальные коэффициенты постоянной сглаживания.

Ключевые слова: маневрирование судна, адаптация, метод экспоненциального сглаживания, параметр адаптации, метод Тригга-Лича.

ADAPTATION OF EXPONENTIAL SMOOTHING OF VESSEL MOTION PARAMETERS

A. N. Shtanko

The article adapts a mathematical model for predicting the angular velocity of a vessel by the exponential smoothing method. A method for selecting the adaptation parameter using a sliding control signal by the Trigg-Lich method is proposed. The optimal coefficients of the smoothing constant are determined.

Keywords: ship maneuvering, adaptation, exponential smoothing method, adaptation parameter, Trigg-Lich method.

Одним из важных преимуществ методов параметрической идентификации является возможность использования рекуррентных алгоритмов, позволяющих проводить текущую идентификацию в реальном времени при номинальных режимах работы динамической системы (судна). В настоящее время наиболее распространены такие методы идентификации как метод наименьших квадратов, максимального правдоподобия, которые предполагают вычисление оценок параметров модели после формирования всего массива изменений входа-выхода объекта [1, 2, 8, 12, 13].

После идентификации модели и настройки параметров часто возникает задача обеспечения адаптации модели в реальном времени для повышения адекватности модели к изменившимся условиям. В свою очередь работа в реальном режиме времени, накладывает серьезные ограничения на алгоритмы адаптации. Такие алгоритмы должны обладать малой вычислительной сложностью и достаточной скоростью сходимости, что накладывает некоторые ограничения на применение рекуррентных алгоритмов идентификации.

При построении адаптивных систем управления судном необходимо учитывать и тот факт, что чем больше период упреждения, тем большее влияние на идентифицированную модель могут

оказывать различные в том числе непредсказуемые факторы. В связи с этим адаптивные модели в таких системах предназначаются, прежде всего, для краткосрочного прогнозирования [7].

У истоков адаптивного управления лежит простейшая модель экспоненциального сглаживания. Метод экспоненциального сглаживания применяется для прогнозирования нестационарных временных рядов и известен под названием метода Р. Брауна [5, 6, 7, 9, 10, 11].

Использование модели экспоненциального сглаживания предполагает решение следующих задач:

- выбор параметра адаптации α ;
- выбор начального условия адаптации S_0 ;
- выбор начального момента адаптации.

Наблюдаемые при управлении судном временные ряды описывает простейшая модель временного ряда

$$y_t = a_{0,t} + \varepsilon_t, \quad (1)$$

где $a_{0,t}$ – варьирующий во времени средний уровень ряда, ε_t – случайные неавтокоррелированные отклонения с нулевым математическим ожиданием. Прогнозная модель определяется равенством:

$$\hat{y}_{t+\tau} = \hat{a}_{0,t}, \quad (2)$$

где $\hat{y}_{t+\tau}$ – прогноз, сделанный в момент t на τ единиц времени (шагов) вперед; $\hat{a}_{0,t}$ – прогноз $a_{0,t}$.

Единственный параметр модели $\hat{a}_{0,t}$ определяется экспоненциальной средней: $\hat{a}_{0,t} = S_t$ которое будет равно

$$S_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)S_0, \quad (3)$$

где α – определенная константа, причем $(1 > \alpha > 0)$; S_0 – некоторая величина, характеризующая начальные условия.

При краткосрочном прогнозировании желательно как можно быстрее отразить изменения $a_{0,t}$ и в то же время как можно эффективнее очистить ряд от случайных колебаний [7]. Величина параметра адаптации α выбирается малой если есть уверенность в точности расчета величины S_0 , в противном случае параметр адаптации необходимо выбирать ближе к значению 0,9. Таким образом величина параметра адаптации зависит от скорости изменения элементов ряда. Поиск компромиссного значения α требует постановки и решения задачи оптимизации модели.

Выбор начального момента адаптации

Последовательность процесса адаптации как правило выглядит следующим образом:

- модель находится в исходном состоянии (определены текущие значения ее коэффициентов) и по ней делается прогноз $\hat{y}_{t+\tau}$;

- по истечении одной единицы времени анализируется насколько далек полученный по модели результат \hat{y}_{t+1} от фактического значения \hat{y}_{t+1} ;

- ошибка прогноза e_t через обратную связь поступает на вход системы и используется моделью для согласования своего поведения и настройки коэффициентов.

Для сглаживания поведения адаптивной модели введем такое понятие как допустимое отклонение d , только при превышении ошибкой прогноза e_t данной заданной судоводителем величины, модель будет осуществлять свою перенастройку. Также для исключения разовых выбросов вызванных различными инструментальными погрешностями измерительных приборов адаптацию будем производить в момент e_{t+3} .

Выбор начального условия адаптации S_0

Экспоненциальное сглаживание всегда требует предыдущего значения экспоненциальной средней. На основании работы [7] в качестве начального значения S_0 возможно использовать арифметическую среднюю всех имеющихся фактических измеренных значений \hat{y}_t или некоторой их части. Если процесс моделирования только начался и таких данных нет, то требуется предсказание начального уровня ряда.

Данное предсказание может быть сделано исходя из априорных знаний о процессе. Если нет уверенности в справедливости начального значения S_0 , то коэффициент адаптации берется α с значением близким к единице, с расчетом, чтобы влияние начального значения быстро уменьшалось.

В дальнейшем начальное условие S_0 определим как арифметическую среднюю пяти измеренных значений \hat{y}_t предшествующих начальному моменту адаптации, выражение (4).

$$S_0 = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 y_i. \quad (4)$$

Выбор параметра адаптации α

Параметр адаптации подбирается, как правило, интуитивно, эмпирическим путем. Чаше рекомендуется выбирать его в пределах от 0,35 до 1 [3, 4, 5, 7, 9, 10]. Свойства наблюдаемого параметра движения судна изменяются во времени, соответственно используемая для прогноза модель должна реагировать на колебания ряда данных, что в случае экспоненциального сглаживания должно отражаться на величине параметра адаптации. В качестве такого инструмента можно использовать модель адаптивной скорости реакции Тригга-Лича, согласно которой параметр адаптации определяется с помощью следящего контрольного сигнала K_t по выражению (5).

$$K_t = \frac{\gamma e_t + (1 - \gamma)\hat{e}_t}{\gamma|e_t| + (1 - \gamma)\bar{e}_t}, \quad (5)$$

где $0 < \gamma < 1$ – постоянная сглаживания; \hat{e}_t – сглаженная погрешность прогнозирования; \bar{e}_t – сглаженное абсолютное значение погрешности.

Соответственно параметр адаптации

$$\alpha = |K_t|.$$

С целью сравнения эффективности адаптации методом простого экспоненциального среднего и с адаптивным изменением параметра адаптации α проведено моделирование временного ряда характеризующего изменение угловой скорости судна на циркуляции. На рисунке 1 представлены:

- 1) Исходный временной ряд, полученный в ходе маневрирования судна водоизмещением 630 тонн, длиной 62,5 метра. Погода на момент маневрирования: ветер $180^\circ - 9$ м/с, волнение моря 2,0 м – 180° . Скорость судна – 12 узлов. Заданная величина допустимого отклонения 10 град/минуту (кривая 1).

- 2) Прогнозируемый временной ряд, построенный с помощью линейной модели пространства состояний (построение математической модели осуществлялось с использованием временных рядов параметров движения судна, полученных в

ходе маневрирования на спокойной воде) (пунктирная кривая 2).

3) Адаптированные временные ряды с различными параметрами адаптации $\alpha = 0,1$ (кривая 3), $\alpha = 0,5$ (кривая 4), $\alpha = 0,9$ (кривая 5).

4) Адаптированный временной ряд, параметр адаптации α в котором получен при помощи следящего контрольного сигнала методом Тригга-Лича (кривая 6).

Моделированием и экспериментами установлено, что подбор параметра адаптации методом Тригга-Лича наилучшим образом осуществляется при значениях постоянной сглаживания $\gamma = 0,1 \div 0,35$.

В приведенном эксперименте моделирования значение величины $\gamma = 0,235$.

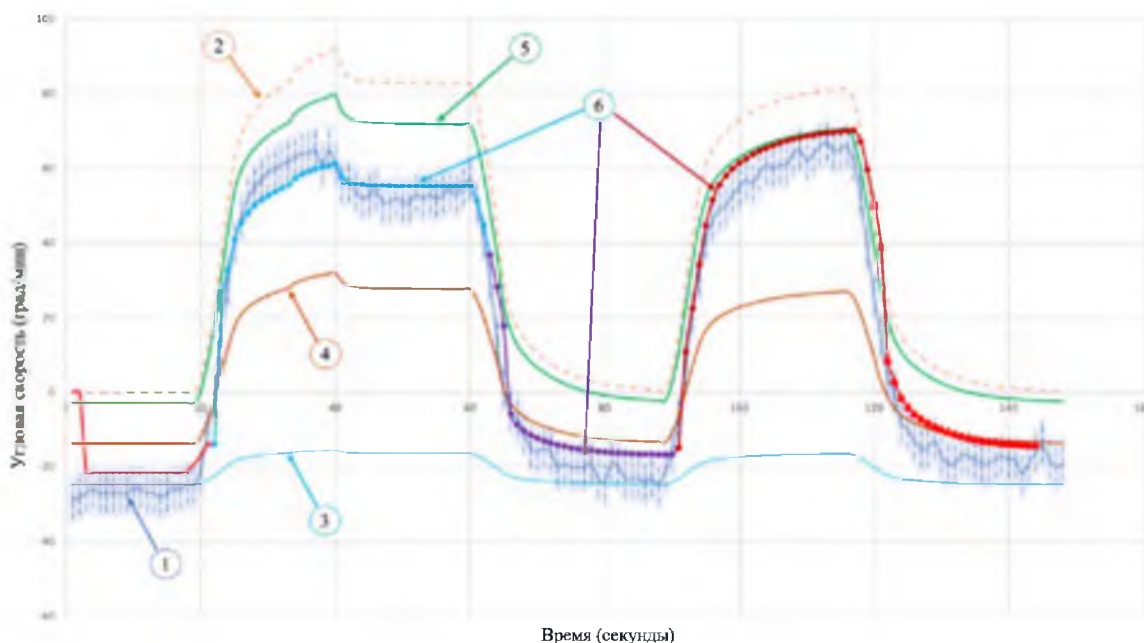


Рисунок 1 – Результат адаптации смоделированных данных методом экспоненциальной средней

Заключение. Метод Тригга-Лича прост и эффективен, если динамика ряда не изменяется, то шум фильтруется столь же эффективно, как и обычным методом с постоянным параметром адаптации α .

Этот метод особенно ценен для моделирования рядов с короткой историей или на первоначальном этапе построения модели. Чтобы им воспользоваться, достаточно провести грубую оценку коэффициентов прогнозирующей модели. Если ошибки прогнозов по этой модели велики, то у контрольного сигнала появляется тенденция к быстрому абсолютному росту и система приспосабливается с соответствующей скоростью.

Литература

1. Дейч А.М. Методы идентификации динамических объектов [Текст]. – М.: Энергия, 1979. – 240 с.
2. Дилигенская А.Н. Идентификация объектов управления [Текст]. – Самара: Самарский ГТУ, 2009. – 136 с.
3. Керенский А.М. О текущем предупредительном контроле процесса на базе экспоненциального

сглаживания [Текст]// Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2009. – № 3(19) – С. 227-230.

4. Кузнецов А.А. К вопросу о выборе констант в методах экспоненциального сглаживания при анализе временных рядов [Текст]/ А.А. Кузнецов, А.В. Журов. // Вестник Сиб. Гос. аэрокосмического ун-та им. академика М.Ф. Решетнева. – 2007. – № 3. – С. 76-76.
5. Кузнецов М.П. Сглаживающие алгоритмы прогнозирования [Текст]/ М.П. Кузнецов, А.А. Мафусалов, Н.К. Живтовский, Е.Ю. Зайцев, Д.С. Сунгуров// Машинное обучение и анализ данных. – 2011. – Т.1.-№ 1. – С. 104-112.
6. Лукашев А.В. Модели и алгоритмы поддержки принятия решений на основе анализа временных рядов [Текст]: автореф. дисс. на соиск. уч. ст. к.т.н. (05.13.01). – СПб. : ЛЭТИ, 2012. -18 с.
7. Лукашин Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: учебное пособие / Ю. П. Лукашин. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
8. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя: пер. с англ. / под ред. Я.З. Цыпкина [Текст]. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. – 432 с.

9. Мельник В.Г. Методы обработки рядов траекторных измерений в системах прогнозирования и контроля движения судна [Текст]: автореф. дисс. на соиск. уч. ст. к.т.н. (05.22.19) – Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2016. – 24 с.
10. Мельник В.Г. Оценка коэффициента экспоненциального сглаживания навигационных данных по результатам измерений [Текст]// Эксплуатация морского транспорта. – 2014. – № 1(73) – С. 29-32.
11. Петрушин В.Н. Формализация временного ряда методом двойного сглаживания [Электронный ресурс]/ В.Н. Петрушин, Г.О. Рытиков. – Электронный журнал CloudofScience. – 2014. – Т.1. – № 2. – С. 230-238. <http://cloudofscience.ru>
12. Современные методы идентификации систем: пер. с англ. / Под ред. П. Эйкоффа. – М.: Мир, 1983. – 402 с.
13. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. Оценивание параметров и состояния: пер. с англ. / под ред. Н.С. Райбмана [Текст]. – М.: Мир, 1975. – 680 с.
5. Kuznetsov M.P. Smoothing algorithms of forecasting [Text]/ M. P. Kuznetsov, A. A. Mafusalov, N. K. Zhivotovsky, E. Yu. Zaitsev, D. S. Sungurov/ / Machine learning and data analysis. – 2011. – Vol. 1. – No. 1. – pp. 104-112.
6. Lukashov A.V. Models and algorithms for decision support based on time series analysis [Text]/ Autoref. diss. for the degree of Candidate of Technical Sciences (05.13.01). – St. Petersburg : LETI, 2012. – 18 p.
7. Lukashin Y.P. Adaptive methods of short-term forecasting of time series: a textbook / Y.P. Lukashin. – M.: Finance and statistics, 2003 – 416 p.
8. Leung L. Identification of systems. Theory for the user: Trans. from English / Edited by Ya. Z. Tsyppin [Text]. – M.: Nauka. Gl. ed. phys. - mat. lit., 1991 – 432 p.
9. Melnik V.G. Methods of processing series of trajectory measurements in systems of forecasting and control of ship movement [Text]: Abstract. diss. candidate of Technical Sciences (05.22.19) - Novorossiysk: State Medical University named after Adm. F. F. Ushakov, 2016. – 24 p.
10. Melnik V.G. Estimation of the exponential smoothing coefficient of navigation data based on measurement results [Text]/ Operation of marine transport. – 2014. – № 1(73) – Pp. 29-32.
11. Petrushin V.N. Formalization of a time series by the method of double smoothing [Electronic resource]/ V. N. Petrushin, G. O. Rytikov. – Electronic journal Cloud of Science. – 2014. – Vol. 1. – No. 2. – pp. 230-238. <http://cloudofscience.ru>
12. Modern methods of identification of systems: Translated from English / Edited by P. Eikoff. – M.: Mir, 1983 – 402 p.
13. Eickhoff P. Fundamentals of identification of control systems. Estimation of parameters and state: Trans. from English / Edited by N. S. Raibman [Text]. – Moscow: Mir, 1975 – 680 p.

References

1. Deich A.M. Methods of identification of dynamic objects [Text]. – M.: Energiya, 1979. – 240 p.
2. Diligenskaya A.N. Identification of control objects [Text]. – Samara: Samara State Technical University, 2009. – 136 p.
3. Kerensky A.M. On the current preventive control of the process based on exponential smoothing [Text]/ Bulletin of the Samara State Aerospace University. – 2009. – № 3(19) – Pp. 227-230.
4. Kuznetsov A.A. On the question of the choice of constants in the methods of exponential smoothing in the analysis of time series [Text]/ A. A. Kuznetsov, A.V. Zhurov. – Bulletin of the Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. – 2007. – No. 3. – pp. 76-76.

УДК 656.61: 621.37

DOI: 10.34046/aumsuomt100/9

ОБРАБОТКА И ВЫЧИСЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ ТЕЛЕМЕТРИИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ БЕЗЭКИПАЖНОГО СУДОВОЖДЕНИЯ

Н.П. Ардельянов, аспирант

В статье предложена обобщенная модель радиоканала передачи данных. Применяется модель Пуртова, использующая характеристики потока ошибок с пакетированием. Проверка правильности кодовой комбинации метрики проведена в двоичной форме.

В результате предложен метод оценивания случайной последовательности двоичных чисел, описывающих некоторый реальный сигнал телеметрии с условиями наложения помех с метрикой вейвлетов Добеши.

Предложенный способ передачи данных является альтернативой широкополосному интернету, позволяет передавать информацию о движении морских подвижных объектов и производить запись навигационной информации в виде бинарного набора множеств с учетом условий распространения канала передачи данных.

Ключевые слова: безэкипажное судовождение, навигационная информация, E-навигация, телеметрическая система, системы управления движения судов, интегрированные системы ходового мостика, канал передачи данных, фильтрация, поток ошибок.