

Отзыв

официального оппонента о диссертационной работе

Емельяновой Татьяны Вениаминовны

«Одноэтапные последовательные процедуры оценивания параметров динамических систем»,

представленной на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации

(в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации).

Актуальность темы диссертации. В задачах автоматического управления и регулирования, фильтрации и прогнозирования широко используются модели динамических объектов, подверженных действию неконтролируемых возмущений. При статистическом описании динамических систем возмущения рассматриваются как случайные процессы с некоторой априорной информацией относительно их распределений. Во многих случаях в качестве модели такой динамической системы используются процессы, задаваемые стохастическими дифференциальными или стохастическими разностными уравнениями с неизвестными структурными функциями или параметрами. Важным классом динамических систем со случайными возмущениями являются процессы авторегрессии с дискретным и непрерывным временем, а также модели стохастической (случайной) регрессии, рассматриваемые в диссертационной работе. Основная проблема работы заключается в построении оценок неизвестных параметров динамической системы с заданной среднеквадратической точностью. Актуальность тематики обусловлена тем, что для эффективного решения задач управления, фильтрации и прогнозирования требуется обеспечить построение качественных оценок неизвестных параметров

системы.

Новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертационной работе.

В своей диссертационной работе Т.В. Емельянова решила ряд задач идентификации динамических систем с помощью последовательных процедур. Новизна результатов заключается в том, что предлагаемые последовательные процедуры являются одноэтапными в отличие от известных двухэтапных последовательных процедур гарантированного оценивания. Одноэтапные процедуры близки по сложности реализации к обычным классическим методам с фиксированным объемом данных, на основе которых они строятся. Перейдем к более детальному анализу результатов, полученных соискателем.

Во введении приводится краткий обзор известных результатов по последовательным методам, применяемым в задачах идентификации динамических моделей. Объясняются трудности неасимптотического анализа классических оценок наименьших квадратов и максимального правдоподобия для параметров в стохастических динамических моделях с дискретным и непрерывным временем, возникающие в случае, когда структурные функции в уравнении являются случайными. Обосновывается необходимость разработки одноэтапной последовательной процедуры идентификации. Дается описание рассматриваемых моделей, отмечаются возможности их использования для анализа временных рядов и идентификации динамических систем. Формулируются основные цели работы и положения, выносимые на защиту.

Основные результаты диссертационной работы можно разделить на три группы.

В первой главе построена одноэтапная последовательная процедура для оценивания параметров $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p$ устойчивого процесса авторегрессии p -го порядка $AP(p)$:

$$dx_t^{(p-1)} = (\theta_1 x_t^{(p-1)} + \dots + \theta_p x_t) dt + \sigma dw_t, \quad x_0 = \xi, \quad (1)$$

имеющего рациональную спектральную плотность $f(\lambda) = \frac{1}{2\pi} \frac{\sigma^2}{|Q(i\lambda)|^2}$.

Предполагается, что неизвестные параметры $\theta_i, i = \overline{1, p}$, таковы, что все корни характеристического полинома $Q(z) = z^p - \theta_1 z^{p-1} - \dots - \theta_p$ имеют отрицательные вещественные части, а σ – известная положительная постоянная.

В прикладных задачах для оценивания вектора неизвестных параметров $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p)'$ наиболее часто применяют метод наименьших квадратов, согласно которому оценка $\hat{\theta}_p$ имеет вид

$$\hat{\theta}_p = M_T^{-1} \int_0^T X_s d\langle X_s \rangle_p, \quad (2)$$

где $\langle a \rangle_i$ обозначает i -ю координату вектора-столбца $a = (a_1, a_2, \dots, a_p)'$;

$$M_T = \int_0^T X_s X_s' ds \quad (3)$$

– выборочная информационная матрица Фишера, M_T^{-1} – обратная к M_T матрица. Наличие случайной матрицы M_T^{-1} в правой части (2) затрудняет анализ и не позволяет вычислить среднеквадратическую точность оценки $\hat{\theta}_p$.

Чтобы получить оценку для θ с контролируемой среднеквадратической точностью, автор предлагает строить последовательную оценку МНК, используя вместо фиксированной длительности наблюдений T специальный (случайный) момент остановки, определяемый с помощью выборочной информационной матрицы Фишера. Основными результатами главы 1 являются теоремы о средней длительности наблюдений и среднеквадратической точности оценок. Автором показано, что построенный последовательный план позволяет контролировать среднеквадратическую точность оценивания путем выбора порога процедуры. Имитационное моделирование подтверждает работоспособность предложенной последовательной процедуры, а также согласие выборочных и теоретических свойств оценок.

Во второй главе рассматривается задача оценивания неизвестных параметров α_0, α_{lk} , $k = 1, 2$, $l = 1, \dots, r$ тригонометрического сигнала с непрерывным временем

$$S_t = \alpha_0 + \sum_{l=1}^r [\alpha_{l1} \cos \omega_l t + \alpha_{l2} \sin \omega_l t], \quad 0 \leq t, \quad (4)$$

по наблюдениям процесса

$$X_t = S_t + \xi_t. \quad (5)$$

Здесь ω_l – известные положительные параметры, $\omega_l \neq \omega_k$ при $l \neq k$, ξ_t – стационарный шум, задаваемый процессом Орнштейна-Уленбека:

$$d\xi_t = \lambda \xi_t dt + dW_t, \quad (6)$$

где W_t – винеровский процесс, $\lambda < 0$ – мешающий параметр, начальное значение ξ_0 не зависит от процесса $(W_t)_{t \geq 0}$. Уравнение процесса (5) эквивалентно модели стохастической регрессии

$$dX_t = Y_t' a dt + dW_t,$$

где a – вектор-столбец неизвестных параметров сигнала и шума размерности $m = 2r + 2$.

Оценка максимального правдоподобия вектора a по наблюдениям процесса (5) на временном промежутке $[0, T]$ определяется формулами, типа (2), (3)

$$\hat{a}_T = M_T^{-1} \int_0^T Y_t dX_t, \quad M_T = \int_0^T Y_s Y_s' ds$$

Однако, структура выборочной информационной матрицы Фишера становится более сложной. Формула для момента останова в одноэтапной последовательной процедуре остается той же, что и в главе 1. Из-за изменений матрицы M_T анализ ее свойств и исследование последовательной процедуры проводятся заново. Основными результатами главы являются формулы для средней длительности оценивания параметров процесса и мешающего параметра шума, а также формулы для среднеквадратической точности оценок. В последнем разделе главы 2 приводятся результаты экспериментального исследования предлагаемой оценки тригонометрического сигнала по наблюдениям с зависимыми аддитивными шумами. Результаты моделирования оценок неизвестных

параметров сигнала и мешающего параметра шума представлены на графиках и в таблицах.

В третьей главе рассматривается задача восстановления сигнала по наблюдениям с зависимым шумом в регрессионной модели с дискретным временем. Сигнал имеет тригонометрический вид параметров $\mu_1, \mu_2, \beta_{l1}, \beta_{l2}, l = \overline{1, r}$, тригонометрического сигнала

$$S_n = \mu_1 + (-1)^n \mu_2 + \sum_{l=1}^r [\beta_{l1} \cos \omega_l n + \beta_{l2} \sin \omega_l n], \quad 0 \leq n$$

Требуется оценить параметры $\mu_1, \mu_2, \beta_{l1}, \beta_{l2}, l = 1, \dots, r$ по наблюдениям процесса

$$x_n = S_n + \xi_n, \quad (7)$$

где ξ_n – шум, являющийся стационарным процессом авторегрессии p -го порядка:

$$\xi_n = \lambda_1 \xi_{n-1} + \dots + \lambda_p \xi_{n-p} + \varepsilon_n.$$

Здесь $\{\varepsilon_n\}$ – последовательность независимых одинаково распределенных случайных величин с неизвестным распределением, $E\varepsilon_n = 0, E\varepsilon_n^2 = \sigma^2$; $\lambda_1, \dots, \lambda_p$ – неизвестные параметры такие, что все корни характеристического полинома $P(z) = z^p - \lambda_1 z^{p-1} - \dots - \lambda_p$ лежат внутри единичного круга комплексной плоскости. Относительно известных параметров ω_j предполагается, что $0 < \omega_j < \pi, \omega_i \neq \omega_j$ при $i \neq j$. Процесс (7) сводится к регрессионной модели вида

$$X_n = \alpha' Y_n + \varepsilon_n, \quad p+1 < n, \quad (8)$$

где Y_n – многомерный случайный процесс, α – вектор неизвестных параметров. Одноэтапная последовательная процедура оценивания вектора неизвестных параметров строится путем замены в оценке МНК

$$\alpha(n) = M_n^{-1} \sum_{k=1}^n Y_k x_k,$$

объема выборки n на специальный момент остановки, который определяется с помощью выборочной информационной матрицы Фишера. Основными результатами главы 3 являются теоремы, устанавливающие формулы для средней длительности одноэтапной последовательной процедуры и среднеквадратической точности оценок в зависимости от параметра h ,

определяющего момент остановки. Используя моделирование по методу Монте-Карло, получены оценки параметров сигнала и спектральной плотности аддитивного шума. Проводится сравнение последовательных оценок с оценками МНК.

В заключении к работе приводятся основные результаты и выводы.

В целом, можно заключить, что все результаты, полученные автором диссертации, представляют собой новые научные положения и выводы. Они вносят вклад в развитие современной теории идентификации динамических систем на основе последовательных методов.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, изложенных в диссертации

Полученные автором научные положения и выводы имеют строгие математические доказательства. При этом используется широкий спектр методов теории вероятностей, теории случайных процессов, анализа временных рядов, математического анализа, линейной алгебры, имитационного моделирования. Результаты компьютерного моделирования также подтверждают достоверность теоретических результатов. Изложенные в диссертации научные результаты в достаточной мере апробированы на конференциях различного уровня и при опубликовании в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования диссертационных исследований. В частных случаях полученные в диссертации результаты согласуются с известными результатами, полученными ранее другими авторами.

Сказанное выше свидетельствует о достоверности и обоснованности представленных в диссертации результатов.

Полнота опубликования результатов работы, соответствие автореферата содержанию диссертации

Все основные результаты диссертационной работы отражены в трех публикациях в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций, в том числе одна публикация в журнале, имеющем переводную версию. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на научных конференциях всероссийского и международного уровня. Автореферат логически структурирован и полностью отражает содержание диссертации.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит в развитии одноэтапных последовательных методов идентификации, обеспечивающих оценивание неизвестных параметров с гарантированной точностью. Эти результаты представляют интерес в связи с тем, что сложность реализации последовательных процедур не увеличивается с ростом размерности вектора неизвестных параметров.

Практическая значимость результатов заключается в том, что предлагаемые процедуры обеспечивают возможность построения оценок неизвестных параметров с указанным качеством. Относительная простота конструкции процедуры делает ее применимой для решения целого ряда задач идентификации и анализа временных рядов различной физической природы.

Замечания и недостатки диссертационной работы

1. По оформлению:

Чтение работы затрудняется тем, что в тексте не приводятся конструкции двухэтапных последовательных процедур, даются лишь ссылки на литературу и утверждается, что они достаточно трудоемки для практической реализации.

Определенные неудобства вызывает смена обозначений для одних и тех же параметров при переходе от одной главы к другой. Например, порог в моменте остановки последовательной процедуры обозначается через N в главах 1,2 и h — в главе 3.

Имеются опечатки, их число сравнительно невелико.

2. В выводах по главе 2 отмечается, что предлагаемый последовательный план восстановления тригонометрического сигнала на фоне шума с зависимыми значениями может использоваться в задачах автоматического управления. Однако, не приводится ни одной конкретной модели с управлением.

3. В модели главы 3 предполагается, что дисперсия авторегрессионного шума известна. Не обсуждается вопрос, как можно использовать построенную процедуру в случае неизвестной дисперсии.

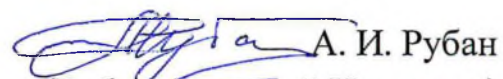
4. Автору диссертации в дальнейшем можно изучить асимптотическое распределение предложенной оценки.

Сделанные замечания не влияют на положительную оценку диссертации в целом.

Заключение

Диссертация Т. В. Емельяновой «Одноэтапные последовательные процедуры оценивания параметров динамических систем», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям пунктов 9–14 Положения о порядке присуждения ученых степеней. Считаю, что соискатель Емельянова Татьяна Вениаминовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации).

Официальный оппонент
заведующий кафедрой «Информатика»
Института космических и информационных технологий
Сибирского федерального университета,
доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ


А. И. Рубан
(Рубан Анатолий Иванович)

06.07.2016

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Сибирский федеральный университет»
Институт космических и информационных технологий (ИКИТ),
660074, г. Красноярск, ул. Киренского 26, корп. УЛК, 319 улк,
тел. 8 (391) 2-912-575 (секр. ИКИТ), 8 (391) 2-912-234,
8 (391) 2-912-296 (секр. каф),
email: ai-rouban@mail.ru; ARouban@sfu-kras.ru,
website: <http://ikit.sfu-kras.ru/Ruban>

Подпись
Рубана Анатолия Ивановича заверяю
Делопроизводитель



О.П. Герасимова