

Информационные технологии

УДК 621.391

СЕРТИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА СЖАТИЯ-ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ МОДИФИЦИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ПРОНИ

В.А. Баранов, А.В. Терехина, Б.В. Цыпин

Пензенский государственный университет

440026, г. Пенза, ул. Красная, 40

E-mail: baranov_va2202@mail.ru

Рассматриваются проблемы сертификации метрологической части программного обеспечения информационно-измерительных и управляющих систем. Представлены алгоритмы сжатия-восстановления измерительного сигнала на основе метода Прони. Получены оценки погрешности восстановления при применении модифицированного метода Прони в зависимости от объема информации.

Ключевые слова: сжатие-восстановление измерительного сигнала, метрологическое программное обеспечение, сертификация, метод Прони.

Введение

Развитие и усложнение информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУС) неизбежно приводит к увеличению количества измерительной информации, необходимой для определения состояния системы и управления. Наиболее серьезным ограничением роста интенсивности обмена информацией между компонентами системы выступает малая пропускная способность каналов связи. Совершенствование аппаратной части интерфейсов является длительной и затратной процедурой. Более эффективный путь решения проблемы – разработка алгоритмов сжатия и восстановления информации и их программная реализация. При этом актуальной задачей проектирования ИИУС становится оценка качества программного обеспечения (ПО) в целом и отдельных его компонентов.

Задача оценки качества ПО не является тривиальной, поскольку набор показателей качества программных продуктов и их конкретные значения зависят от функционального назначения и различны на разных этапах жизненного цикла (составление технического задания, разработка, отладка, эксплуатация), отличаются и представления о качестве ПО его разработчиков, специалистов по сопровождению и пользователей различного уровня [1].

Виктор Алексеевич Баранов, преподаватель кафедры «Метрология и системы качества».

Анастасия Валерьевна Терехина, аспирант.

Борис Вульфович Цыпин, профессор кафедры ИИТ.

Достоверная, корректная оценка качества ПО может быть получена только на основе соответствующих стандартов [2, 3].

ПО характеризуется рядом обобщенных показателей, в частности составом и требуемыми значениями характеристик качества в определенной области применения; допустимой длительностью ожидания результата решения задачи [4]. Помимо общих требований к качеству ПО устанавливаются специальные требования в каждой конкретной области его применения.

Специфический характер носит оценка качества программ обработки результатов измерений. Для оценки качества программы в метрологическом смысле необходимо провести метрологический анализ алгоритма программы. Оценка метрологических характеристик алгоритма программы необходима разработчикам систем с блочно-модульным построением ПО при выборе из ряда возможных вариантов алгоритма работы модуля цифровой обработки сигнала и конкретной аппаратной реализации вычислительной подсистемы ИИУС.

Стандарт [5] устанавливает основные метрологические требования к ПО, касающиеся наличия подробной документации, защиты, однозначной его идентификации и пригодности для применения. Пригодность в метрологическом аспекте понимается прежде всего как возможность достижения требуемой точности измерений при использовании ПО.

Точность цифровой обработки измерительной информации определяется выбранным алгоритмом обработки входных данных и его программной реализацией [6]. В связи с этим различают общую и метрологическую аттестации алгоритма программы. [7]. В результате общей аттестации получают оценки характеристик устойчивости и сложности алгоритма при различных моделях входных данных, а в результате метрологической аттестации – оценки характеристик составляющих погрешности (неопределенности) результатов обработки измерительного сигнала в конкретных условиях применения этого алгоритма. В большинстве практических случаев достоверность результатов аттестации ПО достигается за счет совместного использования методов аналитического исследования алгоритма ПО и испытаний его программной реализации.

Аттестация алгоритма ПО проводится на основе спецификации. Под спецификацией ПО понимается математическое описание исполняемой им задачи [8-10]. Наряду с формулировкой задачи должен быть описан и метод ее решения в форме алгоритма. Спецификация программного обеспечения не включает в себя описание конкретных методов программной реализации алгоритма. Формулы, эквивалентные с математической точки зрения, неразличимы с точки зрения спецификации ПО. Наиболее достоверные оценки метрологических характеристик ПО могут быть получены при проведении анализа исходного кода программ. Это позволяет применить аналитические методы при исследовании функциональных свойств ПО, его влияния на точность конечного результата и тем самым повышает достоверность результатов исследования. Анализ исходного кода требует высокой квалификации персонала и значительных затрат времени, поэтому на практике применяется только в особо ответственных случаях.

В процессе сертификации характеристики алгоритма рекомендуется разделить на функциональные и метрологические. При сертификации процедуры сжатия-восстановления к функциональным характеристикам следует отнести объем входной информации и коэффициент сжатия, к метрологическим – погрешность восстановления сигнала и время выполнения процедуры.

За оценку погрешности восстановления целесообразно принять среднеквадра-

тическое отклонение отсчетов исходного ряда от аппроксимирующей кривой, отнесенное к максимальному значению (пределу измерения) сигнала $y_{\max}$:

$$\sigma_{\text{восст}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \tilde{y}_i)^2 / N}}{y_{\max}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где $\tilde{y}_i$ – значения аппроксимирующей кривой, N – количество отсчетов.

В настоящее время известен ряд методов сжатия-восстановления информации, среди которых выделяется метод Прони, позволяющий восстанавливать сигнал не только по авторегрессионным коэффициентам, но и по параметрам разложения [11].

Еще одним современным методом в области цифровой обработки сигналов является метод декомпозиции на эмпирические моды (Empirical Mode Decomposition) [12]. Данный метод эффективен при обработке нестационарных сигналов.

Декомпозиция на эмпирические моды – разложение исходного сигнала на функции, удовлетворяющие необходимым условиям:

- общее число экстремумов сигнала равняется числу нулей с точностью до 1;
- полусумма верхней огибающей, интерполирующей локальные максимумы, и нижней огибающей, интерполирующей локальные минимумы, близка к нулю.

Так как при использовании метода декомпозиции на эмпирические моды сжатие осуществляется за счет хранения значений сигнала в точках экстремумов, число которых в исследуемом сигнале заранее неизвестно, целесообразным является рассмотрение методики обработки измерительного сигнала на основании декомпозиции на эмпирические моды с последующим применением к каждой из выделенных составляющих метода Прони. Использование такой комбинации методов, модифицированного метода Прони (EMD + Прони), позволяет практически решить некоторые проблемы, возникающие при применении метода Прони:

- уменьшается критичность результата анализа к порядку модели;
- уменьшается трудоемкость вычислений параметров составляющих (для каждой моды этот процесс сводится к решению квадратных или кубических уравнений);
- появляется возможность фильтрации сигнала еще до применения метода Прони.

Алгоритм, реализующий модифицированный метод Прони, представлен на рис. 1.

Сравнительные исследования характеристик метода Прони и EMD + Прони при решении задачи сжатия-восстановления проводились в относительных единицах в среде MatLab при объеме информации N от 100 до 30000 результатов измерения. Результаты исследований приведены на рис. 2.

Установлено, что по исследованным характеристикам модифицированный метод Прони превосходит традиционный, поэтому целесообразно рассмотреть функциональные и метрологические характеристики именно этого метода. При исследовании применялась следующая дискретная модель измерительного сигнала:

$$u_i = \sum_{m=1}^p U_m \cdot \cos(2\pi \cdot i \cdot \Delta t \cdot f_m + \varphi_m) + \xi_i \cdot \frac{1}{q}, \quad i = 1 \dots N, \quad (2)$$

где U_m , f_m , φ_m – амплитуда, частота и фаза m -той гармоники сигнала соответственно; i – номер отсчета сигнала (дискретное время); ξ_i – значения аддитивного белого шума с нулевым матожиданием и дисперсией $\sigma_{\text{ш}} = 0.1$ в моменты отсчетов; q – отношение сигнал/шум; N – количество зарегистрированных дискретных отсчетов

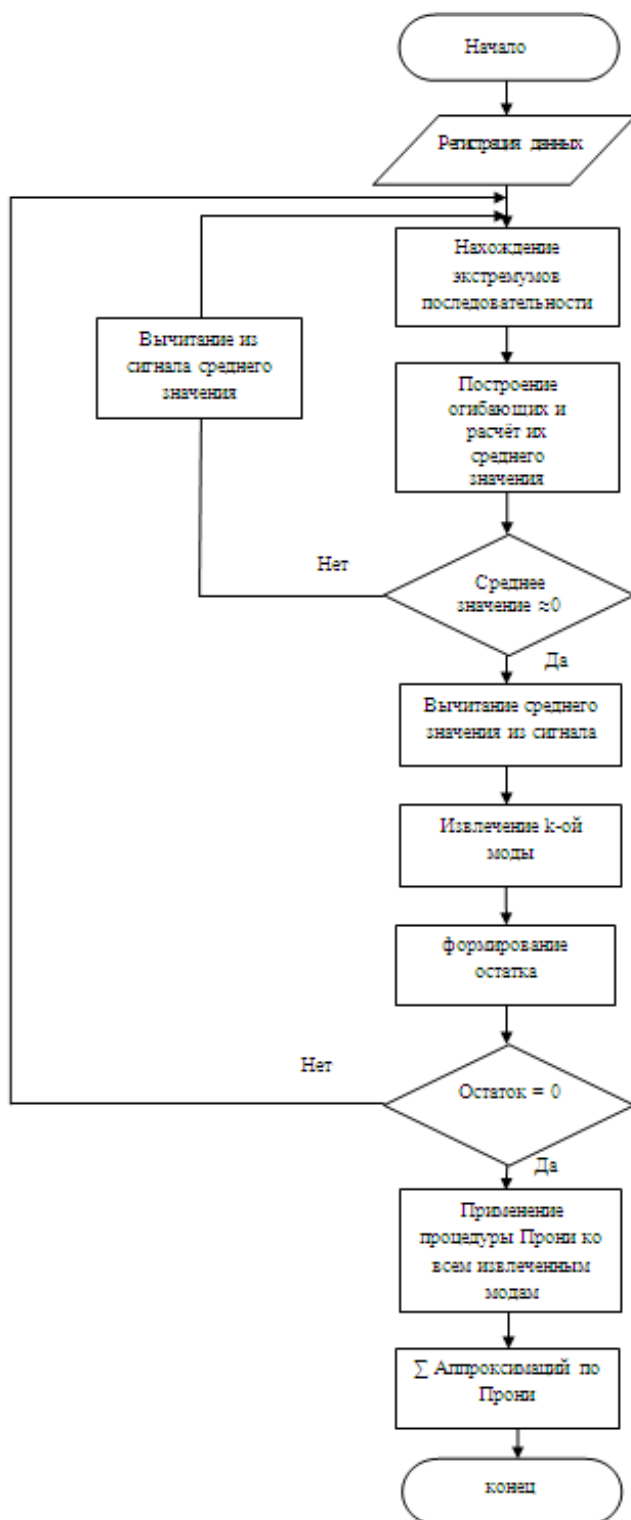


Рис. 1. Алгоритм сжатия-восстановления измерительной информации на основе модифицированного метода Прони

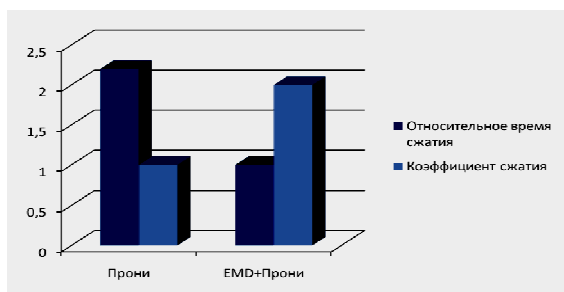


Рис. 2. Характеристики процедуры сжатия-восстановления методами Прони и EMD + Прони

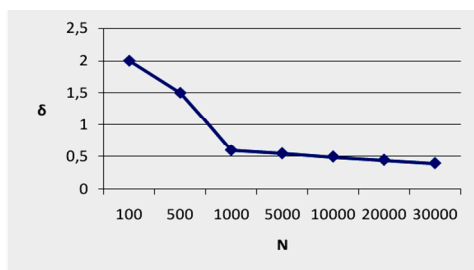


Рис. 3. Зависимость погрешности восстановления сигнала от объема информации

(результатов измерений); Δt – шаг дискретизации, согласно теореме Котельникова определяемый соотношением

$$\Delta t = n / (N \cdot f_{\max}), \quad (3)$$

где f_m – максимальная частота, n – число периодов сигнала за время измерения.

Для моделирования квантования уровня сигнала в процессе аналого-цифрового преобразования модель (2) была дополнена следующим образом [13]:

$$\tilde{u}_i = \frac{\text{round}\{2^d [u_i]\}}{2^d}, \quad (4)$$

где d – количество разрядов АЦП с двоичным шагом квантования; $\text{round}\{x\}$ – ближайшее целое число x .

С помощью функции $\text{round}\{x\}$ учитываются шумы квантования АЦП при условии, что значение амплитуды U_0 измеряемого сигнала $u(t)$ не выходит за пределы рабочего диапазона АЦП. Модель (2) позволяет формировать сигнал любой сложности, в частности при проведении исследования погрешности восстановления была принята модель в виде суммы трех гармоник [14].

В результате исследований были получены оценки погрешности восстановления результатов измерений в зависимости от объема информации (рис. 3) и значения коэффициентов сжатия для модифицированного метода Прони. В данном диапазоне коэффициент сжатия возрастает пропорционально увеличению числа отсчетов $K = N/12$, где знаменатель определяется произведением 3 извлеченных мод на 4 параметра моды, найденных по методу Прони.

Оценка времени выполнения алгоритма зависит от аппаратной реализации, выбранной пользователем, вследствие чего указание времени, затраченного на выполнение алгоритма при моделировании метода в среде MatLab, является некорректным.

Заключение

1. При разработке метрологической части программного обеспечения информационно-измерительных и управляющих систем алгоритмы цифровой обработки измерительных сигналов должны подвергаться сертификации, т. е. оценке их метрологических характеристик

2. Алгоритм сжатия-восстановления измерительных сигналов при передаче по каналам связи на основе метода Прони с предварительным разложением на эмпирические моды (модифицированный метод Прони) обладает более высокими функциональными и метрологическими характеристиками (коэффициент сжатия, погреш-

ность восстановления), чем алгоритм с применением только метода Прони.

3. Применение модифицированного метода Прони обеспечивает коэффициент сжатия информации, прямо пропорциональный объему информации (количеству результатов измерений), в диапазоне от 100 до 30000 с коэффициентом пропорциональности 1/12. При этом среднеквадратическая погрешность восстановления не превышает $\pm 0,5\%$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Слаев В.А., Чуновкина А.Г. Аттестация программного обеспечения, используемого в метрологии: Справочная книга / Под ред. В.А. Слаева. — СПб.: Профессионал, 2009. — 320 с.
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126–93. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководство по их применению.
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119–2000. Информационная технология. Пакеты программ. Требования к качеству и тестирование.
4. Липаев В.В. Качество программных средств: Методические рекомендации. — М.: Янус-К, 2002. — 400 с.
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025:1999. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
6. ГОСТ Р 8.596–2002 ГСИ. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения.
7. МИ 2174–91 ГСИ. Аттестация алгоритмов и программ обработки данных.
8. Best Practice Guide No. 1. Validation of Software in Measurement Systems. Version 2.1, March 2004.
9. Software Support for Metrology. Wichmann B., Parkin G.I., Barker R.M. NPL DEM-ES 014, January 2007.
10. Cook H.R., Cox M.G., Dainton M.P., Harris P.M. A Methodology for Testing Spreadsheets and Other Packages Used in Metrology. NPL Report CISE 25/99, September 1999.
11. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. — М.: Мир, 1990. — 584 с.
12. Huang N.E., etc. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for non-linear and non-stationary time series analysis. — Proc. Royal Soc. London, Vol. 454, pp. 903-995, 1998.
13. Мясникова М.Г. Измерение параметров электрических сигналов на основе метода Прони: Дис. ... канд. техн. наук: 05.11.01 / Пенза: Пенз. гос. ун-т, 2007. — 181 с.
14. Мясникова М.Г., Самсонкина Е.О., Самсонкина М.О. Оценивание погрешности метода Прони в измерительных задачах // Современные проблемы оптимизации в инженерных приложениях: сб. тр. Первой Междунар. науч.-техн. конф. — Ярославль, 2005.

Статья поступила в редакцию 5 декабря 2012 г.

THE COMPRESSION - RESTORATION ALGORITHM CERTIFICATION OF MEASURING SIGNALS BY MODIFIED PRONI METHOD

V.A. Baranov, A.V. Terekhina, B.V. Cypin

Penza State University
40, Krasnaja st., Penza, 440026

Problems of the software metrological part certification of information-measuring and managing systems are considered. Compression - restoration algorithms of a measuring signal on the basis of the Proni method are shown. Error restoration estimates at application of the Proni modified method depending on information capacity were received.

Keywords: *compression-restoration of measuring signal, metrological software, certification, Proni method.*

*Viktor A. Baranov, Teacher.
Anastasiya V. Terekhina, Postgraduate Student.
Boris V. Cypin, Professor.*