

В.І. Синиця, М.В. Подрубайло

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

## НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНИЦЬКА СИСТЕМА МОДЕЛЮВАННЯ АВТОРЕГРЕСІЙНИХ АЛГОРИТМІВ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ LABVIEW

Розглядається задача розробки програмно-алгоритмічне забезпечення (програмних інструментів) автоматизованих систем моделювання авторегресійних (АР) алгоритмів, які забезпечують рішення наукових, інженерних і навчальних завдань засобами NI LabVIEW з метою імітаційного (віртуального) моделювання процесу вимірювань і формування необхідної вимірвальної інформації про поведінку складних вимірвальних алгоритмів для проведення якісного та ефективного метрологічного аналізу. Запропоновано узагальнений алгоритм і програмна реалізація методу дослідження для інформаційно-вимірвальних систем на прикладі однієї з традиційних моделей АР-алгоритмів - модель на основі модифікованого коваріаційного методу.

**Ключові слова:** спектральний аналіз, авторегресійні алгоритми, інформаційно-вимірвальні системи, модифікований коваріаційний метод, імітаційне моделювання.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Розвиток інформаційних технологій дозволяє впроваджувати все складніші алгоритми обробки інформації при побудові вимірвальних приладів і інформаційно-вимірвальних систем, які стають невід'ємною частиною вимірвального процесу.

Таким чином, вимірвальний алгоритм стає елементом вимірвального кола і являє собою ядро вимірвальної процедури [1].

Одним з основних інструментів параметричного спектрального аналізу даних є авторегресійні методи, які забезпечують отримання оцінок спектральної щільності потужності шляхом оцінювання авторегресійних параметрів параметричних моделей випадкових процесів [2].

Особливістю таких алгоритмів є та обставина, що вони являють собою моделюючий алгоритм зі змінним внутрішнім станом, тобто, вимірвальна процедура передбачає можливість трансформації алгоритму в процесі її виконання з використанням додаткової інформації у вигляді проміжних результатів вимірювань.

Практично повна відсутність процедур автоматизованого вибору (і не тільки автоматизованого) методу оцінювання авторегресійних параметрів в залежності від похибки вихідних даних (спадкова похибка), не дають можливості встановити області працездатності та умови коректного застосування алгоритмів в конкретних вимірвальних задачах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На теперішній час створення інтелектуального вимірвального продукту тісно пов'язане з вирішенням завдань уявлення вимірвальних даних засобами сучасних інформаційно-вимірвальних технологій. Слід зазначити, що поряд з аналітич-

ними методами оцінювання характеристик похибок результатів вимірювань, активно розвиваються методи метрологічного аналізу на основі застосування імітаційного моделювання, яке є ефективним інструментом не тільки комп'ютерних експериментів і рішення вимірвальних завдань, а й метрологічного аналізу [3, 4].

Найбільш перспективною технологією рішення вимірвальних завдань в даний час є технологія віртуальних приладів і систем, переваги яких складається в можливості програмним шляхом створювати різноманітні вимірвальні прилади і системи, а також програмно-апаратні комплекси.

Подібні рішення забезпечують можливість легкої адаптації до зміни вимог, дозволяють виявляти латентні закономірності і випадкові компоненти реєстрованих процесів, проводити порівняльний аналіз інформації та забезпечити метрологічний автосупровід.

**Формулювання мети статті.** Була поставлена і вирішена задача створення програмного комплексу для комп'ютерного дослідження і відстеження поведінки алгоритмів, які мають досить складну структуру, для вивчення спектральних процедур вимірювання параметричними методами і оцінити якість отриманих результатів.

При розробці програмного комплексу була переслідувана ще одна мета - можливість використання в освітньому процесі для підготовки фахівців і забезпечення процесу підтримки кваліфікації інженерного персоналу.

### Викладення основного матеріалу

Навчально-дослідницька система призначена для аналізу і обробки сигналів при спектральних вимірюваннях, для комп'ютерного дослідження одного з традиційних АР-алгоритмів – алгоритму на

основі модифікованого коваріаційного методу. Розробка системи виконувалась із застосуванням програмного пакета LabVIEW версії 11, якому віддано перевагу завдяки простоті образних графічних конструкцій, наочності і читаність складених програм. В системі використані як стандартні елементи LabVIEW, що реалізують функції різноманітних вимірювальних приладів, так і розроблені на їх основі спеціалізовані підпрограми [5].

Моделювання в LabVIEW супроводжувалося моделюванням в середовищі MatLab за допомогою як стандартних функцій, так и розроблення програмного забезпечення.

### Склад системи і вид її подання

Навчально-дослідницька система являє собою пакет прикладних програм імітаційного моделювання (програмних інструментів), реалізуючи обраний АР-алгоритм спектрального аналізу, що містить як обробні, так і керуючі програми і складається з інтерфейсу користувача, математичного і методичного забезпечення [6].

Розробка структури пакета програм проводилась відповідно до модульного принципу, згідно з

яким пакет програм розбитий на шість модулів, обмін між якими здійснюється у вигляді передачі даних:

- модуль імпорту вихідних даних;
- модуль вимірювального алгоритму;
- модуль порівняльного аналізу;
- модуль верифікації адекватності моделі;
- модуль візуалізація та індикації
- модуль метрологічного супроводження.

Для зручності використання в навчальному процесі до модуля імпорту вихідних даних включена функція генерації детермінованих сигналів і випадкових процесів із заданими законами розподілу ймовірностей.

Модулі пакету прикладних програм системи виконані у вигляді набору віртуальних вимірювальних приладів, що забезпечують вимір спектральних характеристик і необхідний рівень деталізації всіх виконуваних вимірювальних процедур, тобто дозволяє відтворити віртуальний вимірювальний експеримент відповідно до встановленої процедури вимірювань.

Модулі пакету прикладних програм і їх взаємодія представлено на рис. 1.

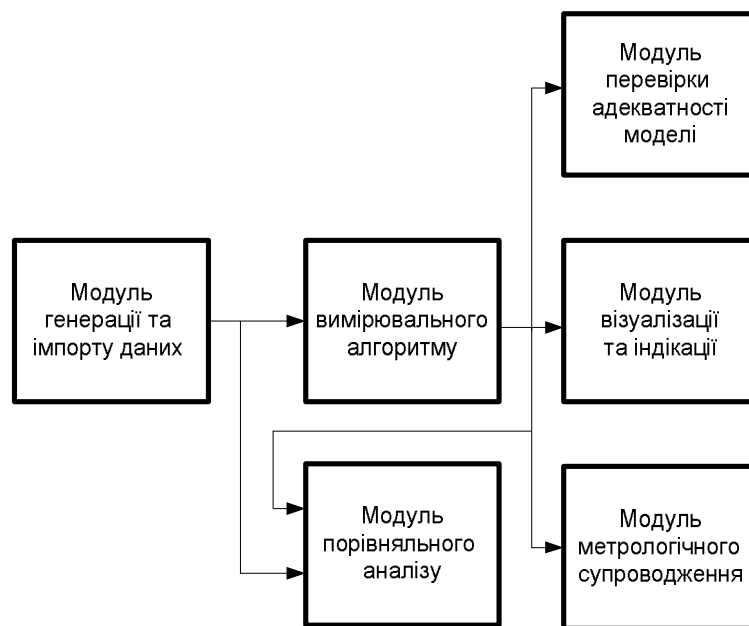


Рис. 1. Модулі пакету прикладних програм і їх взаємодія

### Опис модулів

Процес обробки даних в системі складається з декількох етапів, кожен з яких, являє собою окремий програмний модуль.

#### Модуль генерації та імпорту експериментальних даних

Модуль одержання статистичних даних поділяється, в свою чергу, на три частини:

- генерація детермінованих сигналів різного виду;
- генерація випадкового процесу з заданим видом закону розподілу;
- введення вибірки з N відліків випадкового процесу з обраного файлу.

В першому та другому випадках дані генеруються в самій програмі, в третьому - проявляються як результат експерименту або генеруються в іншій програмі та передаються в систему.

Масив генерованих або імпортованих вхідних відліків, скомбіновані різним способом даних, передається на модуль вимірювального алгоритму, де відбувається обробка.

### **Модуль вимірювального алгоритму**

Модуль вимірювального алгоритму (модуль ідентифікації моделі) являє собою програмне ядро вимірювальної процедури та реалізований у вигляді розкладання на елементарні вимірювальні операції [2].

Модуль складається з трьох підсистем: оцінки векторів даних вимірювального алгоритму, аналітичного розрахунку спектральної щільності потужності та розрахунку інформаційного критерію Акаїке.

Перша підсистема модуля виконує наступні операції:

- оцінку вектора коефіцієнтів лінійного передбачення вперед та назад;
- оцінку вектора лінійного передбачення вперед та назад;
- оцінку вектора похибок лінійного передбачення вперед та назад;
- оцінку кореляцій похибок лінійного передбачення вперед та назад.

Друга підсистема модуля виконує аналітичний розрахунок спектральної щільності потужності за наявним рівнянням вимірювання, а третя підсистема забезпечує мінімізацію середнього значення сум квадратів похибок лінійного передбачення вперед і назад, розрахунок інформаційного критерію Акаїке для корекції порядку моделі.

Наведене розкладання вимірювального алгоритму на елементарні вимірювальні операції однозначно визначає взаємозв'язок, вид і черговість виконання дії при проведенні вимірювань, на відміну від подання вимірювального алгоритму у вигляді аналітичної залежності.

Результати роботи модуля, які дозволяють визначити та ідентифікувати модель, передаються в модулі оцінки адекватності моделі, метрологічного супроводу, візуалізації і індикації результатів для інтерпретації результатів вимірювань.

### **Модуль оцінювання адекватності моделі**

Модуль складається з двох підсистем: підсистема перевірки працездатності моделі при різних умовах функціонування і підсистема статистичної обробки похибки результатів вимірювань.

Перша підсистема порівнює результати роботи алгоритму з тестовими значеннями (заздалегідь визначеним колом вимірювальних сигналів, в межах яких передбачається адекватність моделі), а

друга підсистема проводить перевірку на нормальність закону розподілу, виду спектральної щільності потужності і кореляційної функції.

Інформація з модуля оцінки адекватності моделі передається в модуль візуалізації і індикації результатів.

### **Модуль порівняльного аналізу**

Модуль призначений для порівняння результатів спектрального аналізу різними методами, в якості яких обрані: дискретне перетворення Фур'є; метод періодограм (Уелча).

Інформація з модуля порівняльного аналізу передається в модуль візуалізації і індикації результатів.

### **Модуль метрологічного супроводу**

Модуль призначений для інтерпретації природи експериментальних даних і проведення метрологічної оцінки отриманих результатів.

Модуль метрологічного супроводу поділяється на дві частини: розрахунок статистичних характеристик результатів, розрахунок похибок і оцінки їх характеристик.

Інформація з блоку метрологічного супроводу передається в блок візуалізації і індикації результатів.

### **Модуль візуалізації і індикації**

Модуль дозволяє отримати не тільки «сухі» цифри, необхідні для використання в наступних експериментах, але і побачити вимірювальний процес наочно. Модуль забезпечує зручність роботи з даними, спрощує їх інтерпретацію і забезпечує можливість проведення візуальної аналітики шляхом переходу на різні рівні деталізації даних, дозволяє оперативно аналізувати в режимі реального часу великі обсяги даних з можливістю їх глибокого опрацювання.

Завдяки модулю візуалізації і індикації користувачам зручніше і простіше розбиратися в тому, що відбувається: знаходити необхідні відомості, кореляції і залежності, робити висновки.

Модуль складається з двох підсистем:

- Формування і виведення числових масивів;
- Побудови та відображення графіків.

Інформація з модуля відображається у вигляді осцилограм і числових значень цифрових відлікових пристроїв віртуальних приладів

### **Висновки**

Наведені матеріали підтверджують, що використання технології LabVIEW виявляється надзви-

чайно зручним при побудові гнучкої інформаційно-виміральної системи.

Розроблена із застосуванням технології LabVIEW модель авторегресійного алгоритму у вигляді навчально-дослідницької системи дозволяє не тільки здійснювати технічні вимірювання, але й проводити дослідження різних режимів роботи системи, визначення складових похибки при проведенні імітаційного модельного експерименту.

Розроблена система пропонується для використання в складі інтелектуальних вимірвальних систем, при синтезі необхідних вимірвальних процедур на основі віртуальних вимірвальних засобів, при експлуатації вимірвальних засобів під час відсутності можливості використання метрологічного експерименту.

Може бути використана в якості вимірвального інструмента і пристрою збору, зберігання вимірвальної інформації, для проведення експериментальних наукових вимірювань, а також для налагодження і макетування авторегресійних вимірвальних алгоритмів.

Даний програмний комплекс розроблений в рамках досліджень по темі «Імітаційне моделювання вимірвальних алгоритмів зі складаний внутрішньою структурою», код 0115U002046 від 15.01.2015, а подальші дослідження у цьому напрямі мають на меті з'ясування впливу спадкової похибки на коректний роботу авторегресійних алгоритмів.

## Список літератури

1. Цветков Э. Основы математической метрологии [Текст] / Э. Цветков – СПб.: Политехника, 2005. – 510 с.
2. Марпл-мл, С. Цифровой спектральный анализ и его приложения [Текст] / С. Марпл-мл; перевод с англ. О. Хабарова и Г. Сидоров; – М.: Мир, 1990. – 584 с.: ил.; Перевод изд.: *Digital spectral analysis with applications* / S. Lawrence Marple Jr. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1987. – ISBN 5-03-001191-9 (в пер.).
3. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука [Текст] / Роберт Шеннон; перевод с англ. Е. Мословский; – М.: Мир, 1978. – 418 с.: ил.; Перевод изд.: *Systems simulation the art and science* / Robert E. Shennon. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1975.
4. Цветков Э. Имитационное моделирование как инструмент метрологического анализа [Текст] / Э. Цветков // Мир измерений. – 2013. – № 6. – С. 9-13.
5. Тревис Дж. LabVIEW для всех [Текст] / Джеффри Тревис; перевод с англ. Н. Клушин; – М.: ДМК Пресс, 2005. – 544 с.: ил., Перевод изд.: *LabVIEW for Everyone. Graphical. Programming. Made Easy and Fun. 3rd Edition* / Jeffrey Travis. Prentice Hall, PTR, 2002. – ISBN 5-94074-257-2 (в пер.).
6. Синица В. Виртуальный спектроанализатор модифицированным ковариационным методом [Текст] / В. Синица М. Подрубайло // Офіційний бюлетень "Авторське право і суміжні права". – 2014. - № 3. - С. 26-27.

Надійшла до редколегії 18.04.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Г. Здоренко, Київський національний університет технології і дизайну, Київ.

### УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ АВТОРЕГРЕССИОННЫХ АЛГОРИТМОВ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ LABVIEW

В.И. Синица, М.В. Подрубайло

Рассматривается задача разработки программно-алгоритмическое обеспечение (программных инструментов) автоматизированных систем моделирования АР-алгоритмов, которые обеспечивают решение научных, инженерных и учебных задач средствами NI LabVIEW с целью имитационного (виртуального) моделирования процесса измерений и формирования необходимой измерительной информации о поведении сложных измерительных алгоритмов для проведения качественного и эффективного метрологического анализа. Предложен обобщенный алгоритм и программная реализация метода исследования для информационно-измерительных систем на примере одной из традиционных моделей АР-алгоритмов – модель на основе модифицированного ковариационного метода – метода совместной минимизации квадратичных ошибок прямого и обратного линейного предсказания.

**Ключевые слова:** спектральный анализ, авторегрессионные алгоритмы, информационно-измерительные системы, модифицированный ковариационный метод, имитационное моделирование.

### TEACHING AND RESEARCH SYSTEM FOR THE SIMULATION OF AUTOREGRESSION ALGORITHMS ON THE BASIS OF LABVIEW TECHNOLOGY

V.I. Sinita, M.V. Podrubailo

Considered The problem of the development of software-algorithmic support (software tools), automated modeling systems AR-algorithms that provide solutions to scientific, engineering and educational problems using NI LabVIEW tools is considered. The purpose of developed software system is imitation (virtual) modelling of the measurement process and the formation of the necessary measurement information about the behavior of complex measurement algorithms. A generalized algorithm and software implementation of research methods for information-measuring systems on the example of one of the traditional models of the AR-algorithms - a model based on the modified covariance method - the method of joint minimization of squared errors of the direct and inverse linear prediction is proposed.

**Keywords:** spectral analysis, autoregression algorithms, information-measuring systems, modified covariance method, simulation.