

УДК 004.891: 004.946: 681.518.5

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2219-3804172017123924>

В. І. Синиця¹, доцент, к. т. н., **М. В. Подрубайло**², аспірантка

ФОРМУВАННЯ ШАБЛОНІВ ФАЗОВИХ ПОРТРЕТІВ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ФУНКЦІЇ

En

The article deals with the formation of phase portraits patterns of the correlation function of uncertain time series. Those patterns are used in expert software systems for determination of hidden regularities in random processes. Problem of the identification and classification of the irregular random events is particularly relevant in the case of complete absence of a priori information about the investigated

¹ НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», кафедра інформаційно-виміральної техніки

² НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», кафедра інформаційно-виміральної техніки

process. This problem becomes much more complicated in case of inability to repeat the experiment.

The methods of nonlinear dynamics for the hidden patterns identification, which may significantly affect the behavior of the system and the change nature of the phase trajectories, are proposed. A correlation function is proposed as a behavioral characteristic of informative systems because it fully displays properties of time series. The phase portrait of correlation function is used as an indicator of hidden events.

The structure of simulation modeling software bundle, which implements the selected algorithm of phase portrait building, is described. The implementation of some modules in LabView, which allows the creation of different types of phase portraits for specific application, is provided.

The database of reference signal patterns, their spectral and correlation characteristics is created. On this basis, a set of phase portraits templates was developed. Particular attention is paid to the model of the signal providing the turbulence regime.

This paper contains partial results of model experiments that confirmed the possibility of using this approach for the phase portraits modeling which are similar to the phase portraits of real time series.

Results obtained from studies can be used practically for analysis of undetermined data from dynamical systems analysis, which model is presented as a “black box” with single output.

Ru

Рассмотрена проблема создания шаблонов базы знаний для выявления взаимосвязей и цикличности сложных процессов в условиях неполной и нечеткой априорной информации. Разработано программное обеспечение для создания шаблонов(образцов) фазовых портретов, по которым можно будет классифицировать объект.

Вступ

Програмні засоби, що базуються на технології експертних систем, набули значного поширення під час вивчення складних об'єктів. Така технологія розглядається як інтелектуалізація вимірювальних процесів у разі вирішення складних прикладних проблем. Експертні системи призначені для вирішення завдань, які зазвичай мають наступні особливості: помилковість, невизначеність, неповнота і суперечливість вихідних даних [1].

Проблема полягає у необхідності побудови основного компонента експертних систем – бази знань для аналізу прихованих закономірностей у даних із використанням архівних даних (фазових портретів кореляційної функції), що знаходяться у сховищах даних. Практично повна відсутність априорної інформації про досліджуваний об'єкт є характерною рисою сучасних наукових досліджень. Це стає причиною актуальності завдань структурно-параметричної ідентифікації.

Постановка задачі

Метою даної роботи є створення інструмента конструювання шаблонів (компонента бази знань) фазових портретів (ФП) кореляційної функції та його реалізація у вигляді програмного модуля, що входить до складу експертної системи, яка призначена для класифікації та ідентифікації часових рядів із прихованою циклічністю.

Основний матеріал

Дуже часто у вимірювальній техніці зустрічається ситуація, коли модель процесу, що розглядається, зводиться до диференціальних рівнянь. Притому у більшості реальних задач це рівняння досить складно або зовсім неможливо вирішити, або неможливо скласти. Особливо така проблема проявляється у разі динамічних систем, які, абстрагуючись від конкретної природи об'єкту, можна уявити у вигляді «чорної скриньки», на виході якої реєструється невизначений часовий ряд.

Повна відсутність апріорної інформації про досліджуваний об'єкт суттєво ускладнює застосування великої кількості існуючих методів ідентифікації, тим більше, що практичну цікавість представляють методи виявлення прихованих закономірностей у зашумленому процесі.

Внутрішній стан об'єкта можна розглядати як результат послідовної зміни станів об'єкта, що практично не спостерігаємо, але його можна оцінити за станом виходів (значенням вихідних змінних) системи. У такій якості можуть виступати не тільки самі вихідні змінні, але й характеристики їх зміни – швидкість, прискорення тощо. Таким чином, вихідний часовий ряд є дискретний процес, який сам може розглядатися як система, що складається із сукупності станів, пов'язаних послідовністю їх зміни.

Вивчення часових рядів пропонується проводити на основі вивчення поведінки кореляційних функцій, які найбільш повно відображають властивості часових рядів і, крім того, дають можливість визначити, чи мають вони властивість циклічності як такої, виявити нові регулярності, на які вказує автокореляційна функція (АКФ) (англомовний варіант ACF – *auto-correlation function*). Іншими словами, пропонується використовувати АКФ як індикатор зовнішнього прояву властивостей об'єкта, який може бути використаний для оперативного визначення параметрів прихованих циклічних складових процесу.

Практична побудова кореляційної функції часових рядів здійснюється на основі виразу, де в якості вихідних даних виступає сам часовий ряд $x(n)$.

$$\hat{B}_x(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) x(n-k),$$

де N – число відліків часового ряду $x(n)$.

Однак, АКФ не є унікальною характеристикою (може однаково описувати сигнали із різною структурою), тому завдання встановлення стану динамічного об'єкта за результатами вимірювань його вихідних змінних пропонується вирішувати із залученням методів нелінійної динаміки, зокрема методом фазової площини – побудовою фазових портретів [2] АКФ часових рядів, щоб можна було стежити за відхиленнями (аномаліями) особливостей у досліджуваних часових рядах, віднести сигнал до тієї чи іншої групи відомих сигналів або дізнатися/опізнати/ідентифікувати/класифікувати сигнал у складній вимірювальній обстановці. Фазовий простір (ФП) дозволяє представити поведінку динамічної системи в наочній геометричній формі.

Під ФП розуміють графічну залежність, побудовану у координатах: $\rho_x(\tau)$ і $\rho'(\tau)$:

$$\rho'(\tau) = F_x[\rho_x(\tau)],$$

де $\rho_x(\tau)$ – нормована кореляційна функція запису часового ряду.

Відповідно до поставленої мети розроблено програмне забезпечення у інженерному середовищі графічного програмування *LabVIEW* [3] фірми *National Instruments*, яке серед відомих інструментальних середовищ графічного програмування де-факто є стандартом у галузі розробки контрольно-вимірювальних і автоматизованих систем.

Програмне забезпечення по суті визначає вимірювальний прилад у системі віртуального інструментарію, запропонованого американською фірмою *National Instruments*. Графічні можливості «віртуальних інструментів» забезпечують зручність інтерпретації та аналізу даних під час досліджень, мають важливе застосування як ефективний спосіб сумарного розгляду та подання складних невизначених даних, за їх допомогою часто можна виявити незвичайну поведінку експериментальних даних.

Склад віртуального інструменту і вид його подання

Віртуальна система являє собою пакет прикладних програм імітаційного моделювання (програмних інструментів), реалізуючи обраний алгоритм побудови фазового портрету кореляційної функції, що містить як обробні, так і керуючі програми, і складається із інтерфейсу користувача, математичного і методичного забезпечення.

Розробка структури пакета програм проводилась відповідно до модульного принципу, згідно із яким пакет програм розбитий на шість модулів, обмін між якими здійснюється у вигляді передачі даних.

Модулі пакету прикладних програм, їх склад і взаємодія наведено на рис. 1.

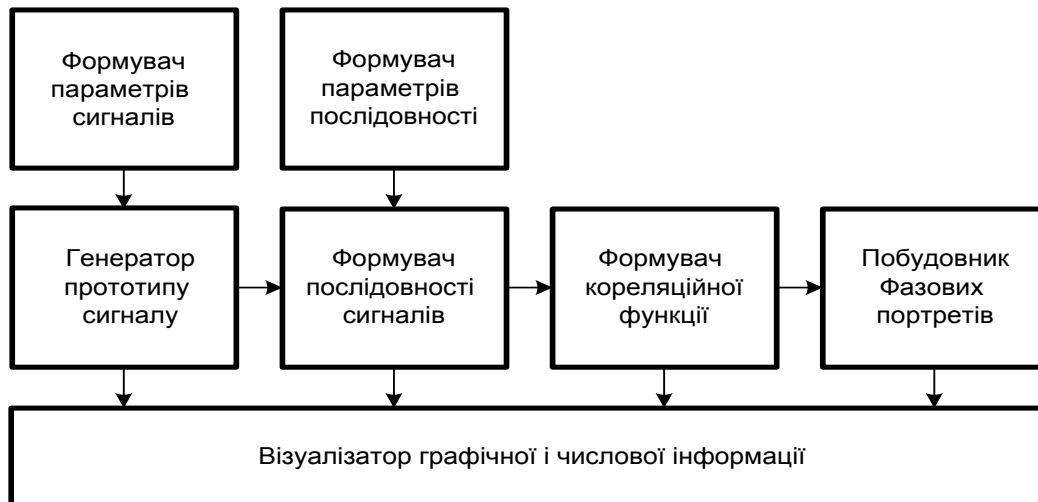


Рис. 1. Модулі пакету прикладних програм і їх взаємодія

Модулі пакету прикладних програм системи забезпечують виконання ряду послідовних етапів: генерацію прототипу сигналу різного виду із заданими параметрами; формування послідовності сигналів, їх кореляційної функції, формування ФП (контрольних відбитків). Модулі пакету забезпечують необхідний рівень деталізації всіх виконаних вимірювальних процедур, тобто дозволяють відтворити віртуальний вимірювальний експеримент відповідно до встановленої процедури вимірювань, забезпечують візуальне надання результатів кожного етапу конструювання у вигляді конкретних графічних зображень. Інтерфейс віртуальної системи формування шаблонів фазових портретів кореляційної функції часових рядів наведено на рис. 2.

Моделі вихідних даних під час досліджень формуються як комбінація корисних сигналів і моделей похибок вихідних даних та надаються у вигляді випадкових чи детермінованих послідовностей. Структурна схема генератора моделей вихідних сигналів наведена на рис. 3.

Генератор вихідних сигналів турбулентності призначений для забезпечення в сигналі ділянок із різним ступенем турбулентності (так званий ковзаний режим типу «бряккіт контактів»). Приклади типів опорних сигналів, які використовуються для генерації, наведені на рис. 4.

Результати досліджень

У табл. 1 наведено часткові результати роботи віртуальної системи – фазові портрети кореляційних функцій для різних типів сигналів. ФП сигналів спрофільовані під визначені маски реальних ФП експериментальних даних. У клітинках табл. 1 зображені фазові портрети АКФ для аперіодичних збіжних часових рядів, відповідні позитивному початковому збуренню. Фазова траєкторія у цьому випадку прагне у початок координат фазової площини.

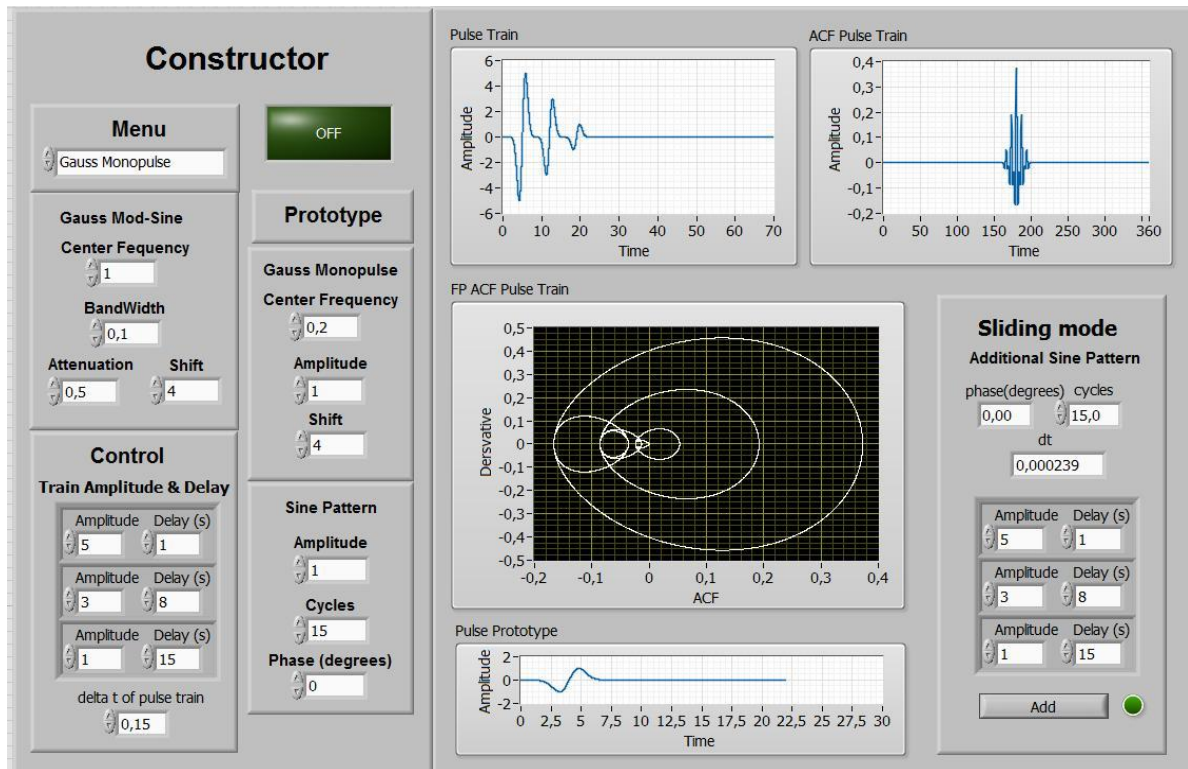
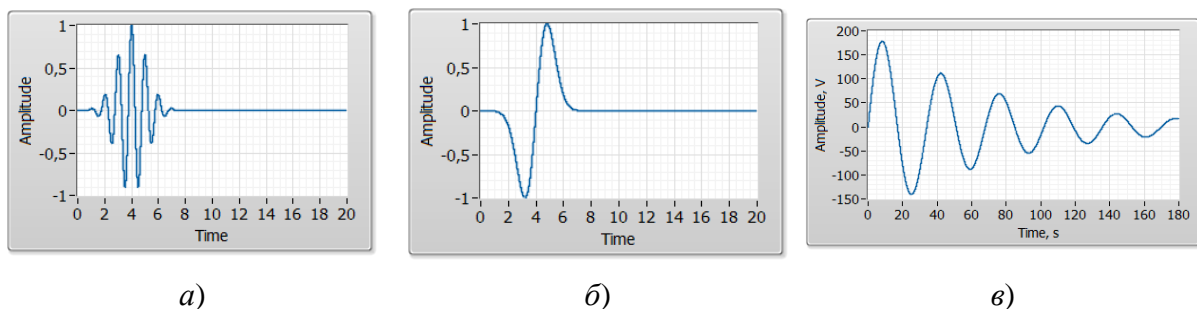


Рис. 2. Головне вікно інтерфейсу користувача віртуальної системи



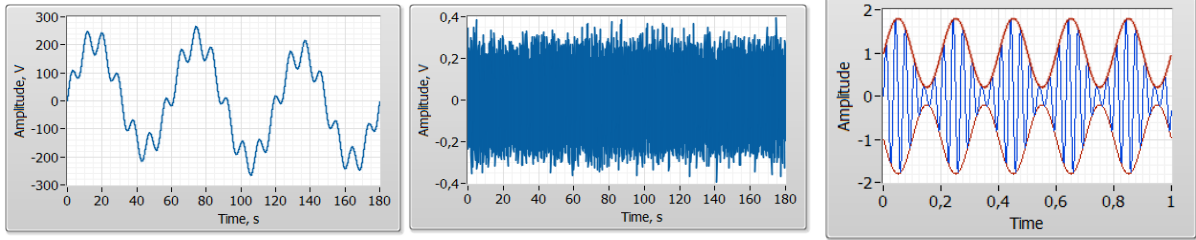
Рис. 3. Структурна схема генератора вихідних моделей сигналу



a)

б)

в)



г)

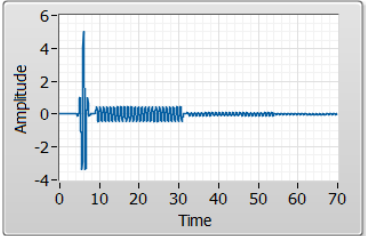
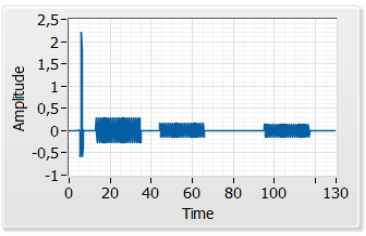
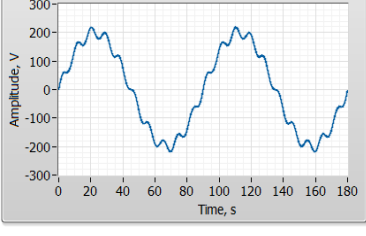
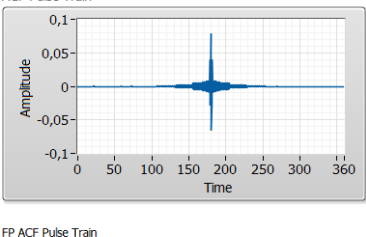
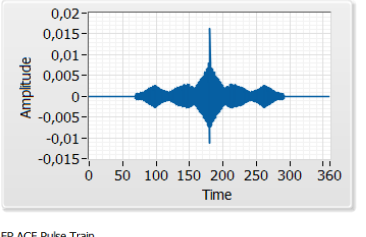
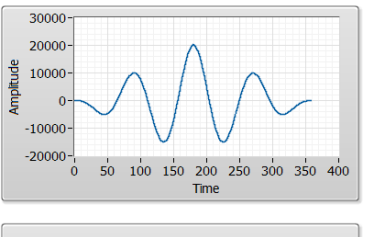
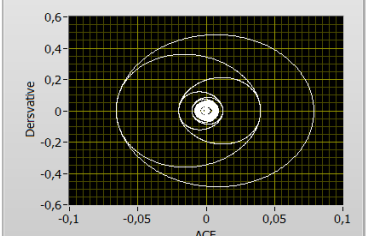
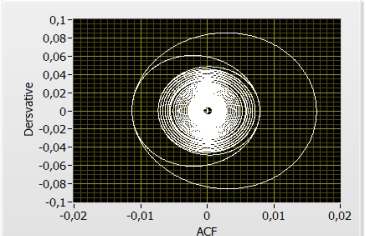
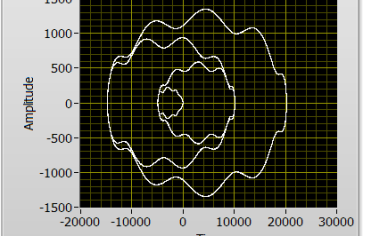
д)

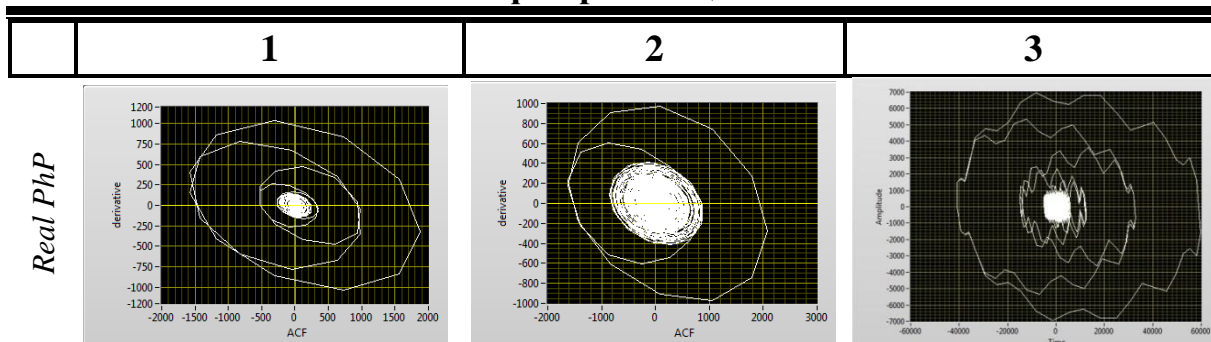
е)

Рис. 4. Типи опорних сигналів: а) *Gauss Mod-Sine*; б) *Gauss Monopulse*; в) синусоїда модульована по амплітуді експонентою; г) адитивні комбінації гармонійних компонент; д) випадковий шум; е) модульований сигнал

Таблиця 1.

Деякі можливі випадки поєднання часових рядів і відповідних їм фазових траєкторій

	1	2	3
	<i>Model Gauss Mod-Sine + Sliding Mode</i>	<i>Model Gauss Mod-Sine + Sliding Mode</i>	<i>Model Sine+ Sine</i>
<i>Time series</i>			
<i>ACF</i>			
<i>Model PhP</i>			



У таких часових рядах амплітуда коливань і максимальна швидкість зміни вихідної величини безперервно зменшуються, а знак відхилень періодично змінюється, що відображається на фазовій площині у вигляді збіжної в початок координат траєкторії. Оскільки і вихідна величина, і швидкість її зміни не залишаються позитивними, то фазова траєкторія займає різні квадранти фазової площини.

Відстані між «оборотами» фазової траєкторії поступово скорочуються, що призводить до зміни характеру аттрактора – фокус переходить у граничний цикл, який свідчить про наявність утворення турбулентних вихорів. Виникнення «дивного аттрактора» пов'язане із утворенням детермінованого хаосу і відображається обмеженою областю фазового простору, заповненою траєкторією, що безперервно розвивається у часі і може бути промодельоване за допомогою ковзного режиму.

Висновки

Аналіз отриманих результатів показує, що фазові портрети автокореляційної функції модельованих часових рядів практично збігаються із фазовими портретами АКФ реальних записів. Отже, використанні опорні сигнали можуть бути покладені за основу для формування шаблонів для баз даних експертних систем класифікації та ідентифікації часових рядів.

Складені бібліотеки шаблонів фазових портретів кореляційних функцій для бази знань експертної системи відповідають положенню, що кожному типу кореляційних функцій відповідає свій унікальний фазовий портрет. Такі бібліотеки можуть бути використані для класифікації та ідентифікації певних подій складних процесів в умовах невизначеності.

Розроблена віртуальна система у вигляді програмного забезпечення у доступній і наочній формі забезпечує створення різних видів шаблонів фазових портретів для конкретної галузі застосування.

Список використаної літератури

1. Джарратано, Дж. Экспертные системы. Принципы разработки и программирование/ Джарратано, Джозеф; Райли, Гари; – Вильямс, 2007.– 1152 с.

2. *Молевич Н. Е.* Нелинейная динамика: учеб. пособие / Н. Е. Молевич. – Самара: Изд - во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 160 с.
3. *Тревис, Дж.* LabVIEW для всех /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.).