

УДК 004.75

П.П. Маслянко, А.С. Вознюк, С.С. Вознюк

**УЗАГАЛЬНЕНА МОДЕЛЬ ЦИФРОВИХ СИГНАЛІВ У КОНТЕКСТІ ПАТЕРНУ ПРОЕКТУВАННЯ MVC****Вступ**

Під інформаційно-комунікаційною системою аналізу даних (ІКСАД) ми розуміємо необхідну і достатню множину сутностей та зумовлених зв'язків між ними, що забезпечує досягнення мети інформатизації з аналізу даних за допомогою інформаційно-комунікаційних технологій [1].

Однією з ключових сутностей ІКСАД є сигнал. У найбільш широкому формулюванні *сигнал* – це залежність однієї величини від інших [2], тобто з математичної точки зору сигнал є функцією. У контексті систем аналізу даних під сигналом, як правило, мають на увазі *цифровий сигнал*. Зазначимо, що в [2] сутність “цифровий сигнал” визначається як сигнал, дискретизований *за часом* та квантований *за рівнем*. Автори даної статті пропонують тут і в подальшому під сутністю “цифровий сигнал” розуміти сигнал, дискретизований *за змінними*, від яких він *залежить*, та квантований за рівнем. Це означення більш загальне і вміщує в себе попереднє у випадку, коли єдиною змінною є час.

Надалі під терміном “сигнал” матимемо на увазі саме цифровий сигнал. Зазначимо, що сигнал містить не лише власне дані, але й дані про їх структуру та спосіб їх інтерпретації, тобто *метадані*.

Автори пропонують проводити формалізацію сигналів із застосуванням патерну проектування MVC (Model–View–Controller (модель–представлення–контролер)) [3] як однієї з ключових парадигм створення ІКСАД.

Цінність реалізації ІКСАД з використанням патерну MVC полягає в наявності двох типів відокремлення: відокремлення представлення від моделі та відокремлення контролера від представлення. Відокремлення представлення від моделі – один з основоположних принципів проектування програмних систем. Знехтувати ним можна лише в разі проектування нескладних програмних продуктів, в яких модель взагалі не потребує динамічного представлення. Відокремлення контролера від представлення не грає такої важливої ролі, як відокремлення представлення від моделі [3].

Формалізація цифрових сигналів і їх представлення в ІКСАД залежно від завдань з їх обробки та застосування сьогодні є актуальною проблемою.

**Постановка задачі**

Мета даної статті – виділити критерії та провести класифікацію сигналів, на основі якої створити узагальнену модель сигналу в нотатції UML (діаграма класів), а також забезпечити несуперечливість узагальненої моделі одній з основних парадигм розробки програмних систем – патерну проектування “модель–представлення–контролер”.

**Критерії класифікації сигналів**

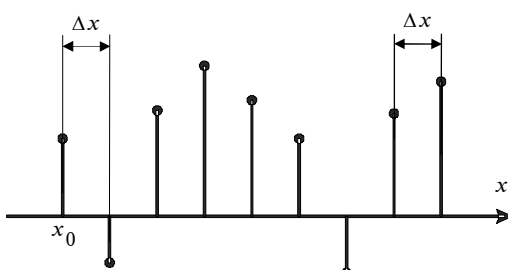
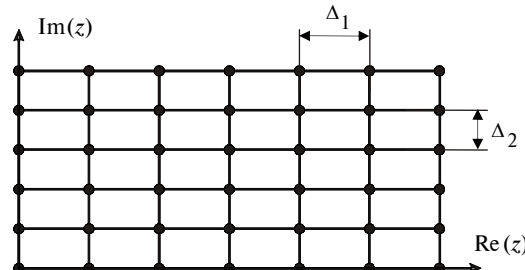
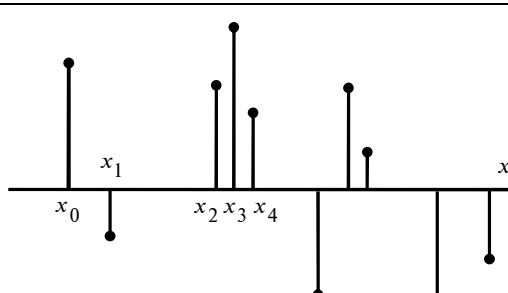
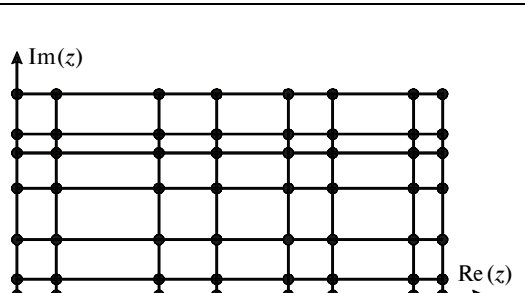
Як основні критерії класифікації сигналів було обрано *вимірність* і *кількість каналів* сигналу. Під *вимірністю сигналу* мається на увазі кількість незалежних змінних, від яких залежить значення сигналу. Тут і надалі під сутністю “канал” розуміється матеріальне середовище та спосіб забезпечення існування сигналу.

Результати класифікації сигналів, проведеної згідно з обраними критеріями, відображено в табл. 1.

Таблиця 1. Класифікація сигналів за критеріями вимірності і кількості каналів

| Кількість каналів сигналу | Класифікація сигналів                       |   |     |   |
|---------------------------|---|---|-----|---|
|                           | Кількість змінних, від яких залежить сигнал |   |     |   |
|                           | 1   | 2   | ... | $n$   |
| 1                         | $s = f(x)$                                  | $s = f(x, y)$                               | ... | $s = f(\mathbf{x}^{(n)})$                               |
| 2                         | $s_1 = f_1(x)$                              | $s_1 = f_1(x, y)$                           | ... | $s_1 = f_1(\mathbf{x}^{(n)})$                           |
|                           | $s_2 = f_2(x)$                              | $s_2 = f_2(x, y)$                           |     | $s_2 = f_2(\mathbf{x}^{(n)})$                           |
| ...                       | ...   | ...   | ... | ...   |
| $m$                       | $\mathbf{s}^{(m)} = \mathbf{f}^{(m)}(x)$    | $\mathbf{s}^{(m)} = \mathbf{f}^{(m)}(x, y)$ | ... | $\mathbf{s}^{(m)} = \mathbf{f}^{(m)}(\mathbf{x}^{(n)})$ |

Таблиця 2. Класифікація змінних згідно з типом змінної і однорідністю множини її значень

| Множина значень змінної | Тип змінної   |   |
|-------------------------|---|---|
|                         | Дійсна  | Комплексна  |
| Одно-рідна              |  <p style="text-align: center;"><math>x_0; \Delta x; N</math></p>          |  <p style="text-align: center;"><math>x_0; \Delta_1; N \text{ \&amp; } y_0; \Delta_2; M</math></p>                  |
| Неодно-рідна            |  <p style="text-align: center;"><math>x_0, x_1, \dots, x_{N-1}</math></p> |  <p style="text-align: center;"><math>x_0, x_1, \dots, x_{N-1} \text{ \&amp; } y_0, y_1, \dots, y_{M-1}</math></p> |

У табл. 1 наведено загальне представлення сигналу, що належить до відповідного класу. Так,  $n$ -вимірний  $m$ -канальний сигнал у загальному випадку має вигляд

$$\mathbf{s}^{(m)} = \mathbf{f}^{(m)}(\mathbf{x}^{(n)}).$$

Кожній змінній, від якої залежить сигнал, відповідає множина її значень. Щоб задати сигнал, треба задати його значення на декартовому добутку множин значень його змінних. Змінні, від яких залежить сигнал, можна поділити за такими критеріями:

1) *тип змінної*: цілі, дійсні і комплексні змінні. Залежно від типу змінної множина її значень є одновимірною, тобто відрізком (в разі цілих та дійсних змінних), або двовимірною, тобто прямокутною областю (у випадку комплексних змінних). Тут, говорячи про відрізок чи прямокутну область, ми знову маємо на увазі цифрові еквіваленти відповідних понять неперервної математики;

2) *однорідність множини значень змінної*: однорідна і неоднорідна. Строго означення поняття однорідності множини належить до сфери вивчення теоретичної математики.

Прикладне представлення класифікації змінних у контексті розробки ІКСАД зображено в табл. 2.

### Модель цифрового сигналу (Model)

Узагальнена вербальна модель цифрового сигналу може бути подана у вигляді ієрархічної структури, яка відображає необхідні та достатні складові для формалізації будь-якого цифрового сигналу (рис. 1).

За допомогою цієї моделі можна формалізувати всі існуючі цифрові сигнали. Приклади наведено в табл. 3.

Формалізація цифрового сигналу на вербальному рівні доступна і зручна для простих випадків. У більш складних ситуаціях необхідні складніші методології, наприклад об'єктно-орієнтована, та засоби формалізації, наприклад графічні мови моделювання, зокрема UML.

Адекватним зображенням узагальненої вербальної моделі цифрового сигналу є діаграма класів у нотації UML [4] як основна складова розробленої узагальненої моделі цифрового сигналу (рис. 2).

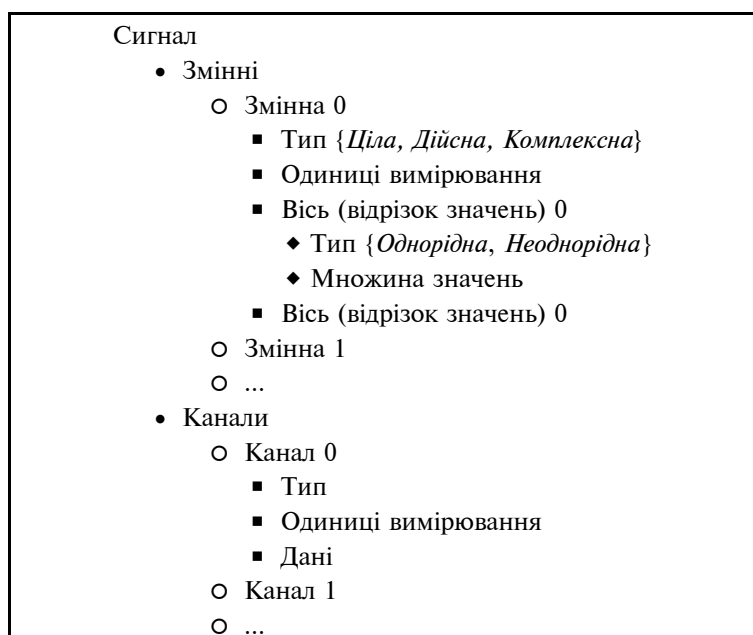


Рис. 1. Узагальнена вербальна модель цифрового сигналу

Таблиця 3. Приклади вербальних моделей поширених сигналів

|  |   |
|--|---|
| Монофонічний аудіосигнал тривалістю 1 с з частотою дискретизації 22 кГц  | Кольорове зображення у роздільності 1024×768 в кольоровому просторі RGB   |
| Одноканальний одновимірний дійсний сигнал дійсної змінної з однорідною віссю часу  | Триканальний двовимірний сигнал двох дійсних змінних з однорідними осями  |
| <p><b>Змінні</b></p> <p>Змінна <math>t</math>:</p> <p>Тип: дійсна</p> <p>Одиниця вимірювання: 1 с</p> <p>Вісь <math>T</math></p> <p>Тип: однорідна</p> <p>Множина значень: <math>[0;1]</math> з кроком <math>1/22000</math> с</p> <p><b>Канали</b></p> <p>Канал “Звук”</p> <p>Тип: дійсний</p> <p>Дані</p> | <p><b>Змінні</b></p> <p>Змінна <math>x</math>:</p> <p>Тип: дійсна</p> <p>Одиниця вимірювання: 1 с</p> <p>Вісь <math>X</math></p> <p>Тип: однорідна</p> <p>Множина значень: <math>0,1,\dots,1023</math></p> <p>Змінна <math>y</math>:</p> <p>Тип: дійсна</p> <p>Одиниця вимірювання: 1 с</p> <p>Вісь <math>Y</math></p> <p>Тип: однорідна</p> <p>Множина значень: <math>0,1,\dots,767</math></p> <p><b>Канали</b></p> <p>Канал RED:</p> <p>Тип: дійсний</p> <p>Дані</p> <p>Канал GREEN:</p> <p>Тип: дійсний</p> <p>Дані</p> <p>Канал BLUE:</p> <p>Тип: дійсний</p> <p>Дані</p> |

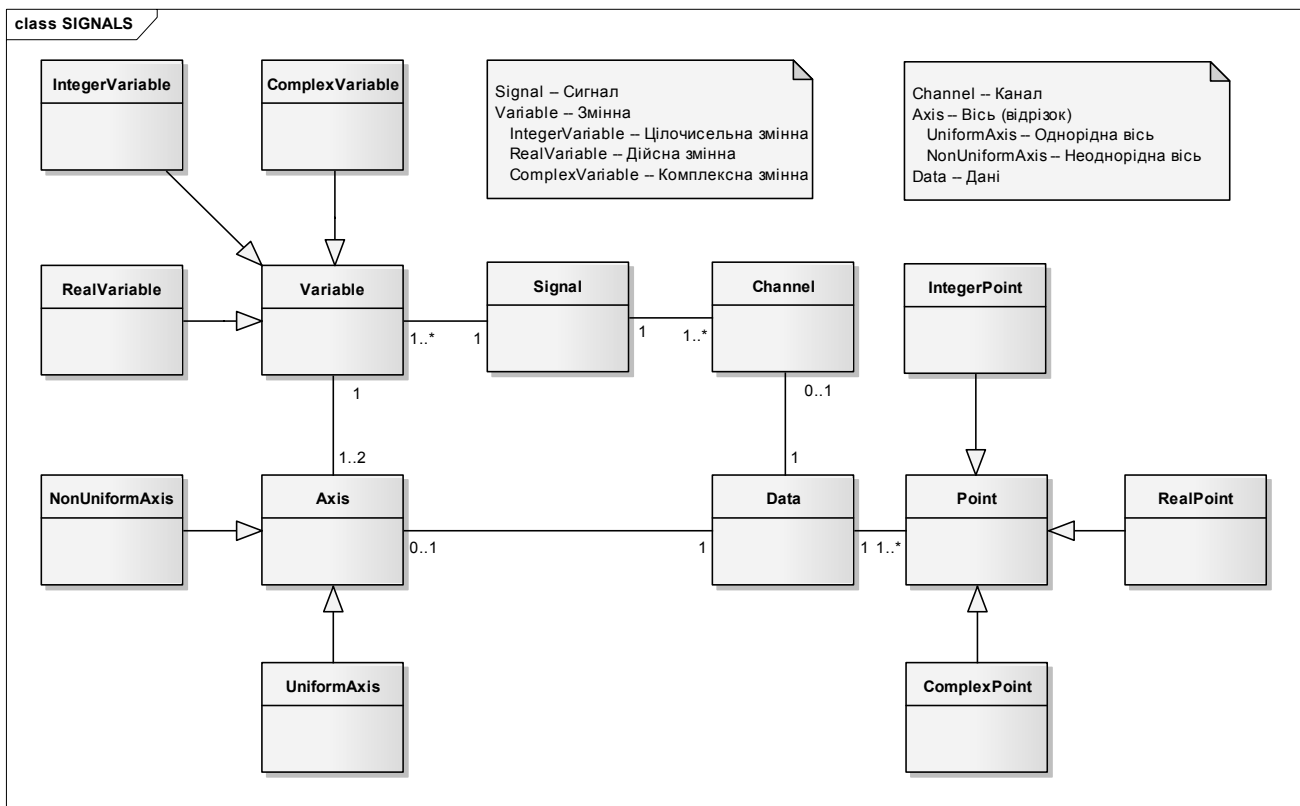


Рис. 2. Узагальнена модель цифрового сигналу. Діаграма класів у нотації UML

Таким чином, модель ІКСАД – це фактично множина діаграм у нотації UML, необхідних і достатніх для статичного та динамічного представлення ІКСАД на всіх етапах її життєвого циклу [1, 5]. Частиною компонентної моделі ІКСАД є компонент “сигнал”.

Узагальнена модель дає статичне представлення цифрового сигналу. Одним з основних компонентів цієї моделі є клас Data, який призначений для збереження, власне, даних як самого сигналу, так і множини можливих значень його змінних.

Зауважимо, що тут описані варіанти *структурної моделі організації даних* (data model) на рівні логічної організації інформації, а не її фізичного представлення. Тим не менше, зазначимо, що продуктивність роботи з даними (наприклад, час доступу і швидкість читування) на практиці залежить саме від фізичної організації даних в інформаційному ресурсі, тобто від *моделі збереження даних* (storage model) [6]. Це твердження справедливе як для зосереджених, так і для розподілених інформаційних ресурсів [7].

Покажемо детальніше можливі варіанти структурної моделі організації даних.

### Структурні моделі організації даних

Ядром форматів даних у наукових дослідженнях є  $N$ -вимірний масив чисел [8]. Розглянемо два можливі способи побудови  $N$ -вимірного масиву, що часто трапляється на практиці. Для формалізації конкретного способу визначимо базовий елемент, операцію для побудови та алгоритм її реалізації.

Для зручності домовимося надалі називати структурні моделі відповідно до операції, яка використовується для побудови.

1. **Назва структурної моделі:** векторна модель.

**Базовий елемент:** число.

**Операція:** побудова одновимірного масиву (вектора) елементів.

**Алгоритм (рекурсивний):**  $(n + 1)$ -вимірний масив є результатом операції побудови одновимірного масиву, де як елементи використано  $n$ -вимірні масиви ( $n \in \mathbb{N} \cup \{0\}$ ). 0-вимірний масив є числом. Ілюстрацію алгоритму наведено на рис. 3.

2. **Назва структурної моделі:** матрична модель.

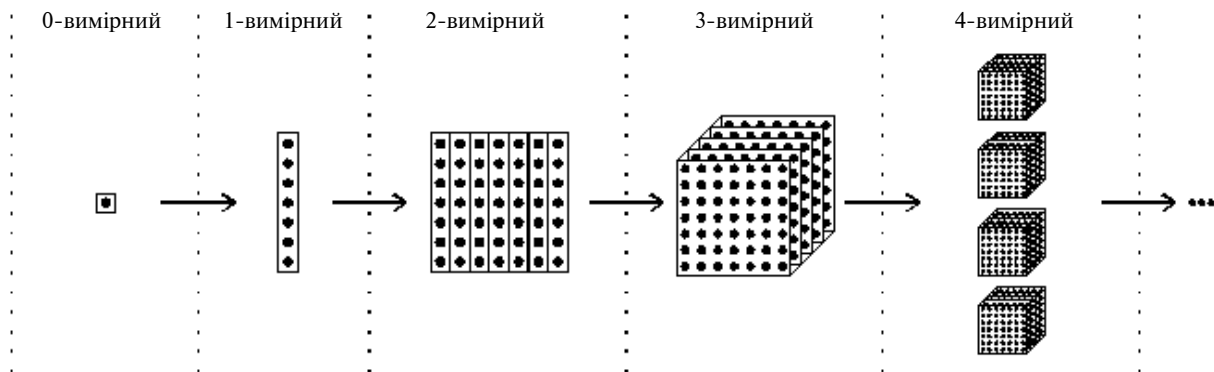


Рис. 3. Векторна модель. Базовий елемент: 0-вимірний масив (число). Операція: побудова одновимірного масиву

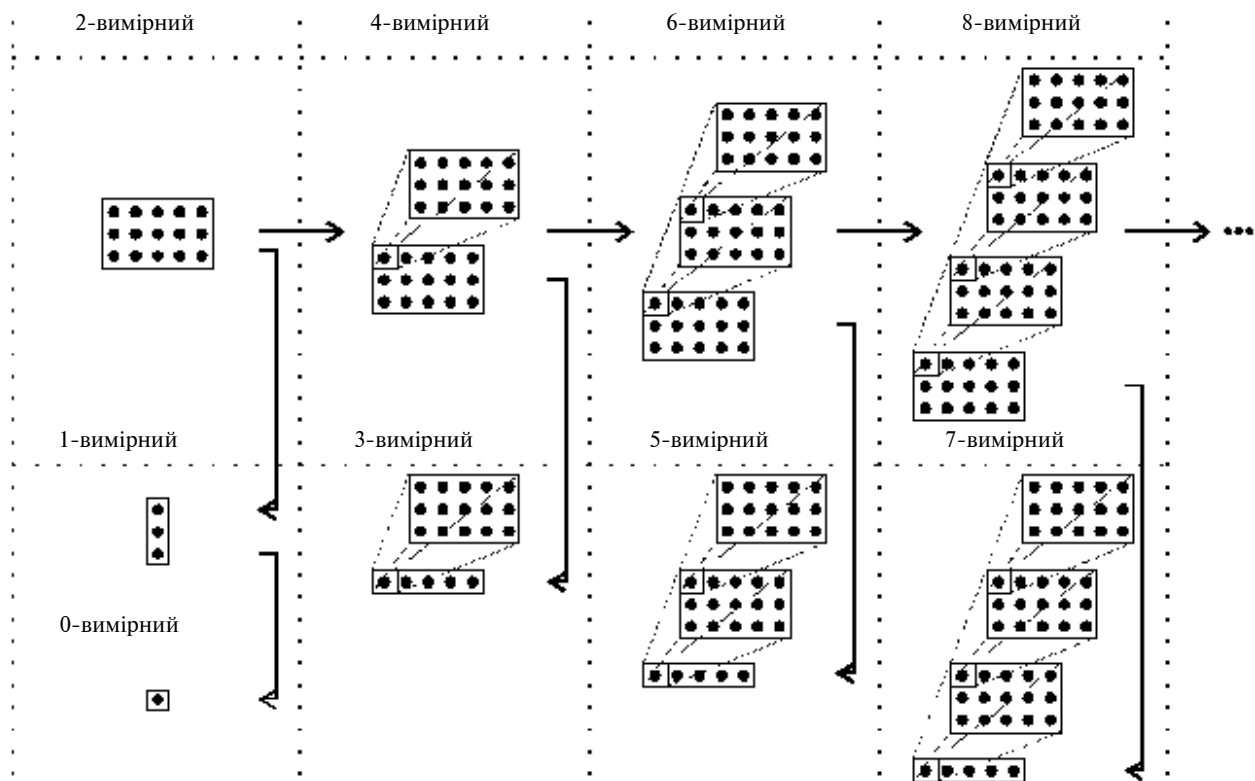


Рис. 4. Матрична модель. Базовий елемент: 2-вимірний масив (матриця). Операція: побудова двовимірного масиву

**Базовий елемент:** двовимірний масив (матриця) розмірності  $M \times N$ .

**Операція:** побудова двовимірного масиву (матриці) елементів. 0-вимірний масив – матриця розміру  $1 \times 1$ .

**Алгоритм:** 1-вимірний масив задається як матриця, в якій один із вимірів дорівнює 1. 0-вимірний масив будується як матриця (2-вимірний масив), в якій обидва виміри дорівнюють 1.  $2(n+1)$ -вимірний масив є результатом операції побудови матриці, де як елементи використано  $2n$ -вимірні масиви ( $n \in \mathbb{N}$ ).  $(2n+1)$ -

вимірний масив будується як  $2n$ -вимірний масив, в якому один з вимірів дорівнює 1 ( $n \in \mathbb{N}$ ). Ілюстрацію алгоритму наведено на рис. 4.

Векторну модель даних зручно застосовувати у зв'язку з простотою її реалізації, а матрична модель дозволяє використовувати значну кількість існуючих ефективних алгоритмів для роботи з матрицями (наприклад, алгоритми для роботи з розрідженими матрицями). Крім того, матрична модель має багато застосувань у реальному світі, оскільки часто результати досліджень подаються у вигляді таблиць.

### Представлення сигналу (View)

Відповідно до патерну проектування MVC, представлення має відобразити стан моделі. При кожній зміні внутрішніх даних модель повідомляє всі представлення, які залежать від неї, в результаті чого вони оновлюються. Такий підхід дозволяє приєднати до однієї моделі кілька представлень і створити нове представ-

лення, не переписуючи моделі, зображеної на рис. 2 [9].

У більшості випадків для користувача-дослідника сигнал становить інтерес лише при наявності засобів його візуалізації. В контексті ІКСАД нас цікавить *наукова візуалізація* – процес створення зображення (чи відеоряду) на основі даних з метою проведення їх якісного та/або кількісного аналізу [10].

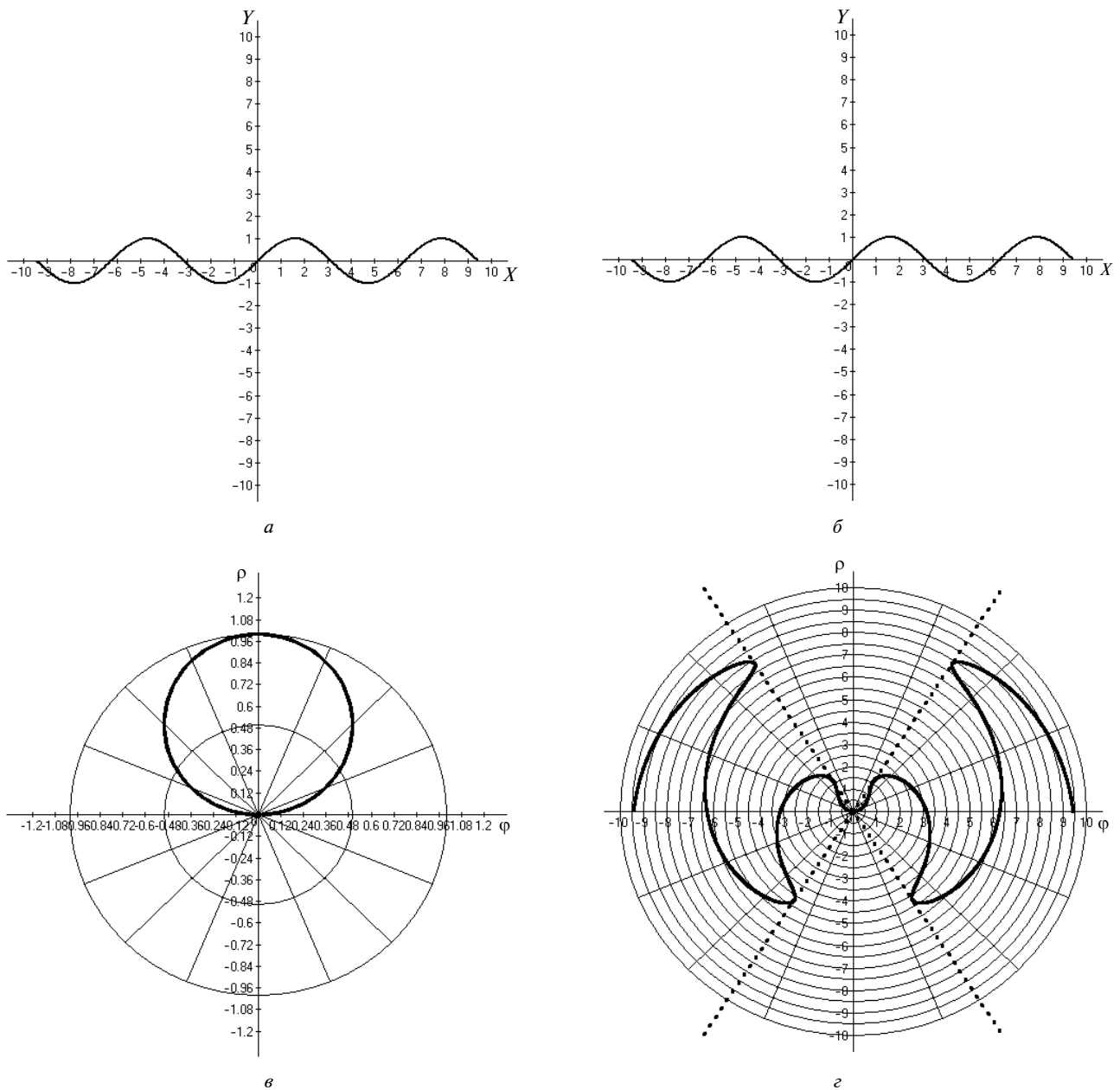


Рис. 5. Приклади візуалізації сигналу (1): *a* – прямокутна декартова система координат; на осі *OX* відкладений аргумент; на осі *OY* відкладене значення сигналу; *б* – прямокутна декартова система координат; на осі *OY* відкладено аргумент; на осі *OX* відкладене значення сигналу; *в* – полярна система координат; аргумент відкладений на осі  $\varphi$ ; значення сигналу відкладене на осі  $\rho$ ; *г* – полярна система координат; аргумент відкладено на осі  $\rho$ ; значення сигналу відкладено на осі  $\varphi$

У публікаціях [11–14] наводяться результати досліджень і реалізації засобів візуалізації, що свідчать про високу складність та актуальність цих задач у найрізноманітніших напрямках досліджень. При проектуванні ІКСАД ми розглядаємо засоби візуалізації як одну з необхідних складових надання послуг з обробки й аналізу даних.

Розглянемо кілька простих прикладів візуалізації сигналів в ІКСАД у контексті патерну MVC.

Нехай сигнал задано аналітично:

$$\begin{cases} x \in -3\pi, -3\pi + \frac{\pi}{50}, \dots, 3\pi - \frac{\pi}{50}, 3\pi, \\ y = \sin(x). \end{cases} \quad (1)$$

Візуалізацію цього сигналу в різних системах координат і при різних способах відображення даних на осі координат наведено на рис. 5.

Зображення сигналу (1) у різних системах координат і при різних способах відображення даних на осі координат наглядно демонструє різний вигляд одного й того самого сигналу. Різні представлення надають досліднику додаткові можливості для аналізу властивостей об'єкта дослідження.

## Висновки

Результатом дослідження є узагальнена модель сигналу в нотації UML. Вона дозволяє описувати сигнали всіх наведених у статті класів і призначена для формалізації цифрових сигналів та проектування алгоритмів аналізу і обробки.

Формалізацію сигналу проведено з використанням патерну MVC, тобто відокремлено представлення і контролер сигналу від його моделі. Це дає можливість надалі незалежно проводити дослідження окремо по кожному з напрямків (моделі, представленню, контролеру).

Відокремлення представлення від моделі цифрового сигналу відображає один із фундаментальних принципів створення ІКСАД.

Узагальнена модель цифрових сигналів дозволяє формалізувати сигнали на статичному і динамічному рівнях представлення та на рівні представлення процесів використання.

Подальша робота авторами ведеться в напрямку розробки специфікацій окремих класів, наявних у моделі, і створення формату даних для збереження та передачі сигналів. Як основа для такого формату може бути використаний формат XML, який дозволяє описувати ієрархічні структури даних та ефективно організувати доступ до окремих її частин.

П.П. Маслянюк, А.С. Вознюк, С.С. Вознюк

ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ В КОНТЕКСТЕ ПАТТЕРНА ПРОЕКТИРОВАНИЯ MVC

Определены критерии и проведена классификация цифровых сигналов. На основе этой классификации предложена обобщенная модель сигналов в нотации UML, обеспечена непротиворечивость обобщенной модели с одной из основных парадигм разработки программных систем – паттерна проектирования “модель–представление–контроллер”.

P.P. Maslyanko, A.S. Vozniuk, S.S. Vozniuk

A GENERALIZED MODEL OF DIGITAL SIGNALS IN THE CONTEXT OF PATTERN DESIGNING MVC

In this paper we define the criteria and classify the digital signals. Based on this classification, we propose the generalized model of signals in UML notation (class diagram). Moreover, we provide the consistency of the model with a principal paradigm of software development – pattern design “model–notation–controller”.

1. *Маслянюк П.П., Вознюк А.С., Вознюк С.С.* Дослідження засобів та розробка компонентної моделі інформаційно-комунікаційної системи аналізу даних // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2008. – № 5. – С. 47–56.
2. *Сергиенко А.Б.* Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2002.
3. *Фаулер М.* Архитектура корпоративных программных приложений / Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2006. – 544 с.
4. *Фаулер М., Скотт К.* UML. Основы / Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2002. – 192 с.
5. *Маслянюк П.П.* Системне проектування процесів інформатизації // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2008. – № 2. – С. 201–208.

6. *Hierarchical Data Format* <http://hdfgroup.org/>
7. *Масляко П.П., Лісов П.М.* Дослідження засобів та розробка технології продукування інформаційних ресурсів // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2008. – № 4. – С. 76–89.
8. *Gray J., Liu D., Nieto-Santisteban M. et al.* Scientific data management in the coming decade. Tech. Rep. MSR-TR-2005-10, Microsoft.
9. *Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влссидес Дж.* Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. – СПб.: Питер, 2009. – 366 с.
10. *From Wikipedia, the free encyclopedia:* [http://en.wikipedia.org/wiki/Scientific\\_visualization](http://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_visualization)
11. *Heijmans J.* An Introduction to Distributed Visualization: Technical report.
12. *Schroeder W., Martin K., Lorensen B.* The Visualization Toolkit: An Object Oriented Approach to 3D Graphics 3rd Edition. – Prentice Hall PTR, 2003.
13. *Publications of Scientific Computing and Imaging Institute:* [http://www.sci.utah.edu/sci\\_publications.php](http://www.sci.utah.edu/sci_publications.php)
14. *Senay H., Ignatius E.* Rules and principles of scientific data visualization. Technical Report GWU-IIST-90-13, Institute for Information Science and Technology. – Washington: Washington University, 1990.

Рекомендована Радою факультету  
прикладної математики  
НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції  
18 березня 2009 року