

# Ефективні методи фільтрації – стиску сигналів і зображень для побудови пристроїв і систем тривалого моніторингу станів об'єктів.

Богдан Шевчук, Сергій Фраєр

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України  
incors@ukr.net

## Анотація

З позицій відновлення огинаючої сигналів і зображень з мінімальними спотвореннями, на основі аналізу вимог до способів отримання достовірних даних в процесі тривалого моніторингу станів об'єктів та на основі дослідження характерних спотворень поширених методів фільтрації сигналів та зображень запропоновані функціональні характеристики методу фільтрації – стиску сигналів, оптимізованого по швидкодії і точності обробки даних.

## 1. Вступ

Ефективне вирішення проблем моніторингу станів об'єктів по результатам аналізу сигналів і зображень, які відбираються від об'єктів і є первинним інформаційним відображенням поведінки об'єктів, вимагає використання високоінтелектуальних об'єктових терміналів і систем комп'ютерних мереж. Фактично основна обробка даних моніторингу повинна здійснюватись в місцях виникнення інформаційних потоків, тобто на об'єктах. При цьому обробка сигналів і зображень повинна бути багатофункціональною, включаючи фільтрацію і стиск сигналів, визначення інформаційних станів об'єктів [1], захист даних від підміни та від несанкціонованих користувачів [2], завадостійке кодування пакетів інформації, які передаються по каналам зв'язку з шумами. Ключовою проблемою обробки даних на об'єктах є оптимізація формування первинних інформаційних потоків для завантаження каналів зв'язку та засобів накопичення даних комп'ютерних систем і мереж достовірною та стислою інформацією. Проаналізуємо вимоги до способів отримання достовірних даних в процесі тривалого моніторингу станів об'єктів, дослідимо характерні спотворення вихідних сигналів, які виникають при використанні поширених методів фільтрації сигналів і зображень і на основі результатів аналізу та досліджень опишемо функціональні характеристики методів фільтрації і стиску, оптимізованих по швидкодії і точності обробки вхідних даних. Слід підкреслити, що динамічні характеристики відфільтрованого сигналу суттєво впливають на процес стиску відліків сигналів, тому операції фільтрації і стиску даних моніторингу доцільно розглядати як спільний процес "фільтрації – стиску". Також слід зазначити, що фільтрація сигналів і зображень розглядається з єдиних позицій – з врахуванням

відновлення огинаючої аналогового сигналу (АС) з мінімальними спотвореннями.

## 2. Аналіз вимог до способів отримання достовірних даних моніторингу

Ефективне функціонування об'єктових терміналів і абонентських систем комп'ютерних мереж дистанційного моніторингу станів об'єктів ґрунтується на відборі інформативних АС з мінімальними спотвореннями форми кривої. В роботі [1] показано, що первинні інформаційні потоки суттєво залежать від вимог до метрологічних характеристик засобів підсилення, аналогової фільтрації та аналого – кодового перетворення сигналів. Зменшення інформаційних потоків без втрат по точності відновлення огинаючої кривої сигналів вимагає використання складних та дорогих ФНЧ, АЦП та ускладнених методів цифрової фільтрації, стиску інформації та апроксимації відліків сигналів. Це пов'язано з тим, що частота опиту сигналів є функцією багатьох параметрів. Для багатоканального пристрою введення і перетворення інформації можна записати такий вираз:

$$f_{\text{оп}}^N = f(N, f_{\text{max}}^m, K_{\phi}^m, P^m, n^m, A_{\text{max}}^m, A_{\text{min}}^m, q_{\text{max}}^m, \delta_s^m)$$

де  $f_{\text{оп}}^N$  – частота опиту  $N$  – каналного АЦП,  $f_{\text{max}}^m$  – максимальна частота  $m$ -го сигналу з найбільш високочастотною складовою,  $K_{\phi}^m$  – коефіцієнт степені підвищення частоти дискретизації  $m$ -го сигналу в залежності від типу  $P^m$  і порядку  $n^m$  ФНЧ, значення розмаху пульсацій  $A_{\text{max}}^m$  у смузі пропускання ФНЧ та значення подавлення  $A_{\text{min}}^m$  сигналу в смузі подавлення ФНЧ,  $q_{\text{max}}^m$  – максимальна кількість двійкових біт при кодуванні  $m$ -го сигналу,  $\delta_s^m \approx \delta_{\text{mi}}^m + \delta_{\text{n}}^m + \delta_{\text{ФНЧ}}^m + \delta_{\text{АЦП}}^m + \delta_{\text{а}}^m$ ,  $\delta_s^m$  – сумарна відносна похибка всього тракту введення та обробки інформації  $m$ -го каналу,  $\delta_{\text{mi}}^m$  – похибка первинного перетворювача інформації  $m$ -го каналу,  $\delta_{\text{n}}^m$  – похибка засобів підсилення  $m$ -го сигналу,  $\delta_{\text{ФНЧ}}^m$  – похибка ФНЧ,  $\delta_{\text{АЦП}}^m$  – похибка АЦП,  $\delta_{\text{а}}^m$  – похибка способу апроксимації у процесі відновлення огинаючої  $m$ -го сигналу.

Таким чином за точну і достовірну інформацію про амплітудо – частотні та фазові характеристики сигналів,

які підлягають тривалому контролю, необхідно "платити" формуванням суттєво підвищених інформаційних потоків, точними та складними первинними апаратними засобами. Дослідження показали [1], що в порівнянні з частотою дискретизації по Котельникову, коли  $f_{оп} = 2f_{max}$ , на практиці величину  $f_{оп}$  необхідно вибирати в  $K_{\phi}$  разів більшою згідно виразу  $f_{оп} = 2 \cdot K_{\phi} \cdot f_{max}$ . При використанні ФНЧ типу Чебишева і Баттерворта з порядками  $n = 4-5$  в таблиці наведенні рекомендовані величини  $K_{\phi}$ , які дозволяють отримати достовірні  $Q_{max}$  – бітові відліки сигналів в процесі аналого – кодового перетворення. При виконанні точних вимірювань, коли  $Q_{max} \geq 12$ , для забезпечення мінімальних потоків даних доцільно використовувати сігма – дельта – АЦП.

Таблиця

$Q_{max}$ (біт)	$K_{\phi}$			
	ФНЧ Чебишева		ФНЧ Баттерворта	
	$n = 4$	$n = 5$	$n = 4$	$n = 5$
10	13	8	22	12
11	18	9	28	14
12	22	10	36	18

З метою виявлення, класифікації та відображення ділянок сигналів з різним  $[с/ш]_{вх}$  в процесі фільтрації і стиску сигналів доцільно визначати та компактно кодувати ділянки сигналів з різним рівнем високочастотних шумів. Слід підкреслити, що ті чи інші методи фільтрації сигналів призводять до появи характерних, часто не контрольованих спотворень форми огинаючої вихідного сигналу. При проведенні точних досліджень, наприклад, під час кардіомоніторингу, фірми – виробники пристроїв і систем (електрокардіографів, холтерівських моніторів) не рекомендують використовувати аналогові та цифрові фільтри, а пропонують в десятки разів підвищувати частоту опиту сигналів та рекомендують дотримуватись практично ідеальних умов відбору інформації. Тому опосередковано якість введених даних, степінь їх "зашумленості" можливо проконтролювати по рівню високочастотних шумів та дрейфу ізоляції. При цьому на ділянках де спостерігаються великі шуми, після фільтрації слід очікувати спотворення форми кривої. Тому на цих ділянках доцільно використовувати спрощені та швидкодіючі методи фільтрації, а для зменшення інформаційних потоків відліки вихідного сигналу доцільно кодувати більш стисло, тобто меншою кількістю біт. Найпростішим і швидким способом визначення степені зашумленості ділянок сигналів є обчислення поточної різниці  $\Delta X_i^{ш1} = |X_i^{ш1} - X_{i-1}^{ш1}|$  між сусідніми відліками вхідного (зашумленого) сигналу, а шляхом порівняння величини  $\Delta X_i^{ш1}$  з відповідними пороговими величинами  $P_1, P_2, \dots, P_s$  визначається поточний стан зашумленості ділянки сигналу, де  $s$  – кількість станів. Більш точніше степінь зашумленості відліків сигналів визначається шляхом порівняння

величини  $\Delta X_i^{ш2} = |X_i^{ш} - X_i^{\phi}|$  з відносними величинами відфільтрованого відліку  $X_i^{\phi}$ . Прикладом класифікації станів зашумленості сигналів є визначення таких чотирьох станів: "11" – суттєво зашумлена ділянка ( $\Delta X_i^{ш2} \geq P_1, P_1 = X_i^{\phi} / 4$ ), "10" – зашумлена ділянка ( $P_2 \leq \Delta X_i^{ш2} < P_1, P_2 = X_i^{\phi} / 8$ ), "01" – менш зашумлена ділянка ( $P_3 \leq \Delta X_i^{ш2} < P_2, P_3 = X_i^{\phi} / 16$ ), "00" – практично чиста ділянка ( $P_4 \leq \Delta X_i^{ш2} < P_3, P_4 = X_i^{\phi} / 32$ ).

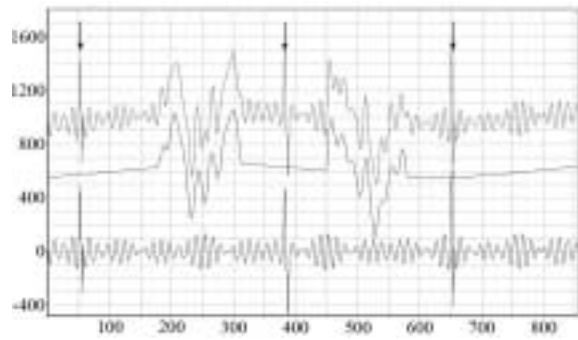
Таким чином на етапі введення і первинної фільтрації сигналів визначаються ділянки, які кодуються різною достовірною кількістю біт  $q_d = f([с/ш]_{вх})$ . В наведеному прикладі відліки ділянки з кодом  $[с/ш]_{вх}$  "11" кодуються з  $Q_d = 7-8$  біт, ділянки з кодом "10" – відповідають  $Q_d = 8-9$  біт, ділянки з кодом "01" – відповідають  $Q_d = 9-10$  біт, а ділянки з кодом "00" –  $Q_d = 11-12$  біт.

### 3. Дослідження спотворень форми сигналів поширеними методами фільтрації

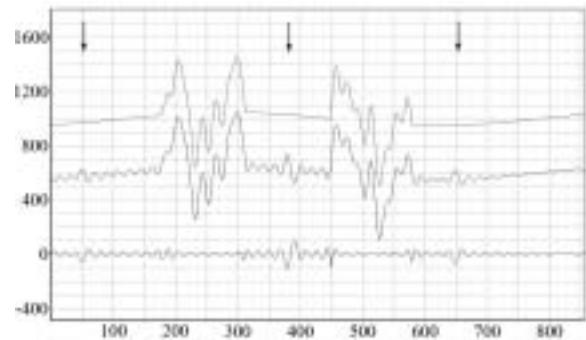
Аналіз умов отримання достовірних даних моніторингу показує, що операції фільтрації і стиску є взаємозалежними або виконуються шляхом реалізації базових перетворень інформації. Прикладами таких процедур є методи фільтрації і стиску АС на основі узагальнених ортогональних Фур'є і вейвлет – перетворень[3,4]. Для виявлення характерних спотворень, які виникають при використанні поширених методів фільтрації сигналів і зображень, проаналізуємо алгоритми фільтрації на основі ковзкого усереднення, медіанної фільтрації та фільтрації на основі ортогональних перетворень (дискретно – косинусне перетворення (ДКП), вейвлет – перетворення з використанням вейвлетів Хаара, Добеші 6 та Добеші 8). Аналіз здійснимо з використанням теоретичного сигналу з відомими інформативними та шумовими складовими при  $K_{\phi} = 10$  (рис. 1,а), де верхня крива – сигнал з шумами, середня – сигнал без шумів, нижня – шумова складова. На рис. 1 стрілками вказуються місцезнаходження імпульсних завод. Фільтрації АС в режимі обчислення ковзкого середнього (рис. 1,б) вимагає адаптивного підбору довжини вікна усереднення, усереднене спотворені (зашумлені) відліки АС, що призводить до появи недостовірних динамічних змін у вихідному сигналі. Враховуючи простоту обробки даних ковзке згладжування доцільно здійснювати на практично чистих ділянках, а також на ділянках з шумами для приблизного визначення місцезнаходження екстремумів. Медіанна фільтрація (МФ) ґрунтується на операції упорядкування відліків у вікні (рис. 1,в) та на визначенні центрального відліку  $X_i^{\phi}$ . Недоліком МФ є спотворення форми сигналу на ділянках з екстремумами. Позитивною рисою ДКП [5] є якісне відновлення амплітудних значень відліків АС при реалізації операції

фільтрації – стиску шляхом відкидання високочастотних та низькочітних коефіцієнтів перетворення (рис. 1,д). Проте оскільки реальні сигнали складаються з різних

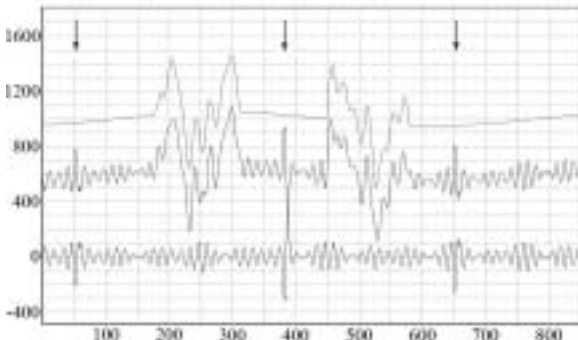
які тим помітніші, чим більші амплітудні значення імпульсних завад. В порівнянні з ДКП – фільтрацією більш ефективною є фільтрація на основі дискретного



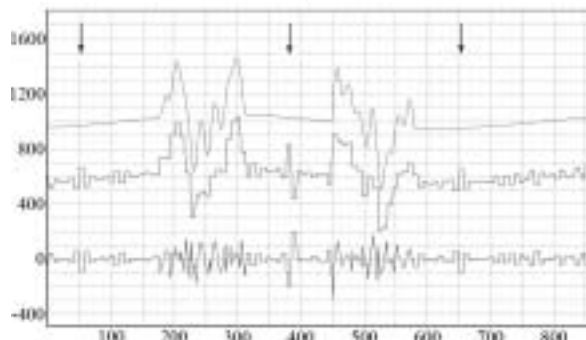
а)



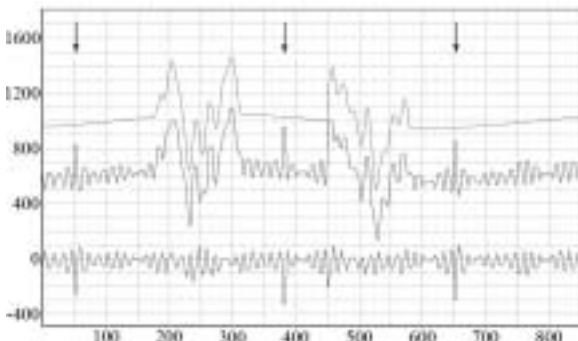
д)



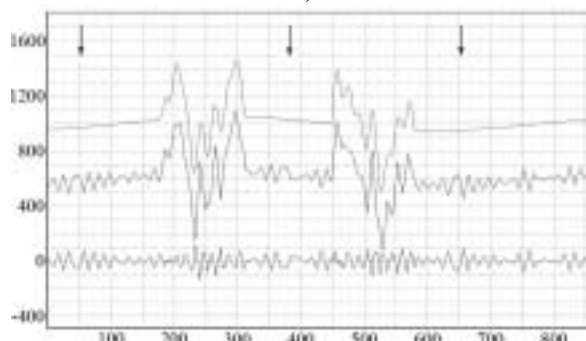
б)



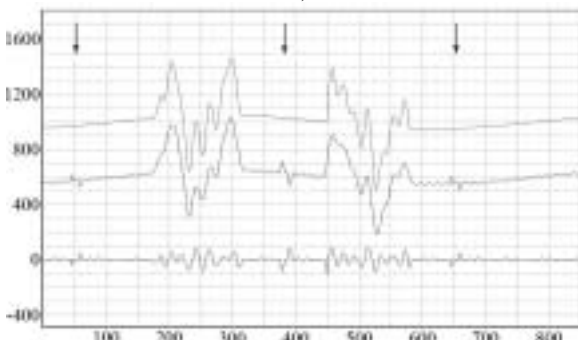
е)



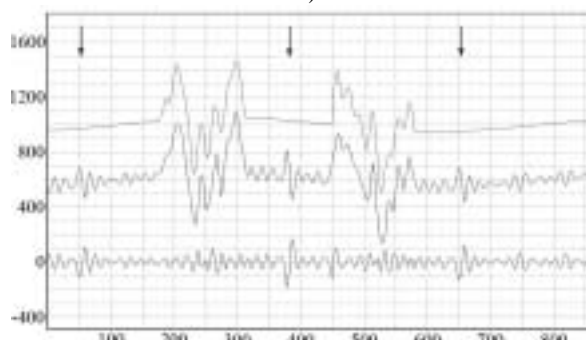
в)



ж)



г)



з)

Рис. 1

періодичних та хаотичних компонент, то таких спотворень при використанні ДКП може бути багато. Тому на ділянках вхідного сигналу з різкими переходами огинаючої з шумами після фільтрації на вихідному сигналі появляються значні спотворення форми кривої,

вейвлет – перетворення (ДВП)[3]. Найбільш швидкодіючою фільтрацією з ДВП є використання вейвлетів Хаара (рис. 1,е), а для більш точного відновлення огинаючої кривої АС при досягненні мінімальних інформаційних потоків доцільно використовувати для

фільтрації більш складні вейвлети Добеші 6 (рис. 1,ж) та Добеші 8 (рис. 1,з).

Дослідження вихідних сигналів поширених методів фільтрації показують, що кожен з методів вносить відповідні характерні спотворення, які суттєво залежать від величини  $[c/ш]_{вх}$ . Тому доцільно виконувати операцію фільтрації – стиску сигналів, яка враховує їх стан зашумленості.

#### 4. Функціональна характеристика ефективного методу фільтрації – стиску АС

З метою уникнення суттєвих спотворень огинаючої АС пропонується оптимізований по точності і швидкодії ефективний метод фільтрації, побудований на основі адаптивної МФ. На відміну від МФ в адаптивній версії МФ (рис. 1,г) в ковзкому режимі здійснюється визначення та класифікація степені зашумленості ділянок сигналів, а відфільтрований відлік є середнім значенням трьох упорядкованих відліків з п'яти. На першому етапі фільтрації сигналів здійснюється згладжування сигналу з мінімальним вікном 3 – 4 (4 – 5) відліки і після визначення місцезнаходження екстремумів, приростів  $\Delta_{\phi}^1$  і орієнтовних значень  $[c/ш]_{вх}$  виявляються послідовності ділянок, які підлягають більш точній адаптивній фільтрації. В залежності від поточної величини  $\Delta_{\phi}^1 \leq \Delta_{доп}$  для реалізації адаптивної фільтрації доцільно підбирати величину  $I_{опт}$  вікна усереднення, де  $\Delta_{доп} = f(f_{оп}, q_{max})$  - допустима максимальна різниця між відліками сигналу. Наприклад, в залежності від динаміки кривої огинаючої сигналу вибираємо вікно усереднення серед величин 3 – 4 (4 – 5), 7 – 8 (8 – 9), 15 – 16 (16 – 17), 31 – 32 (32 – 33) відліків. Вибір величини вікна, що дорівнює степені 2, забезпечує швидко реалізацію усереднення відповідних відліків сигналів. Пошук координат екстремумів здійснюється на виявленій ковзким усередненням ділянці, мінімальна тривалість якої  $I_e = 2I_{оп}^{кц}$  з центральним відліком, яким є попередньо визначений екстремум, а величина  $I_{оп}^{кц}$  вибирається з урахуванням більшого приросту  $\Delta_{\phi}^1$  в околиці екстремуму в режимі обчислення ковзкого середнього. Таким чином поза межами ділянки  $I_e$  здійснюється медіанна фільтрація, а в її межах визначається місцезнаходження екстремуму наступним чином: на основі результатів медіанної фільтрації визначаються прирости  $\Delta_{\phi}^m$ , які знаходяться по обидві границі ділянки  $I_e$ ; шляхом порівняння пограничних модульних величин  $|\Delta_{\phi}^m|$  визначаємо меншу величину (тобто знаходимо більш пологої сторону в околиці екстремуму) і на інтервалі  $I_e$  здійснюємо додавання меншого приросту до вже відомого відліку, тобто знаходимо амплітуди відліків більш пологої кривої; аналогічно обчислюємо відліки

менш пологої кривої до точки перетину вказаних кривих. Параметри даної точки є амплітудно-часовою характеристикою шуканого екстремуму. Пошук цих координат доцільно реалізувати при відновленні форми кривої.

Стиск відфільтрованих відліків  $X_i^{\phi}$  здійснюється шляхом визначення і кодування суттєвих відліків  $X_i^{сyt}$ , до яких відносяться екстремуми та сусідні відліки на ділянці зміни опуклості кривої, та несуттєвих відліків. При цьому  $X_i^{сyt}$  кодуються кодом [6]  $T_i(K_i)\{X_i\}$ , де  $T_i = 1$  - біт ознаки суттєвості відліку,  $(K_i)$  - ознака виду кодування суттєвих відліків (повнорозрядний/різнице-вий) а несуттєві відліки кодуються одним бітом  $T_i = 0$ . Оскільки відфільтрований сигнал утворюють послідовності наростаючих, спадаючих і горизонтальних ділянок, які повторюються в різних комбінаціях, то виявляються типові по довжині і динаміці відрізки сигналів, які кодуються відповідними кодами тривалості  $L_i$  відрізка, виявленого  $[c/ш]_{вх}$  та вибраної частоти опиту  $f_{оп}^1$ . Отримані потоки бітів додатково стискаються арифметичним кодуванням. Запропоновані методи фільтрації і стиску, які є взаємозалежними, дозволяють адаптивно формувати стислі потоки достовірної інформації, що є основою для суттєвого підвищення ефективності функціонування моніторингових мереж.

#### 5. Література

- [1] Шевчук Б.М. Методи визначення та відображення показників інформаційних станів об'єктів тривалого моніторингу // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2005. - № 4. – С. 78-85.
- [2] Шевчук Б.М., Фраер С.В. Защита информации в компьютерных мониторинговых сетях на основе маскирования сжатых данных и передачи псевдослучайных шумоподобных пакетов информации // Компьютерная математика – 2006. – №1. – С. 80 – 87.
- [3] Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. – М.: СОЛОН – Р, 2002. – 448 с.
- [4] Иванов В.Г., Любарский М.Г., Ломоносов Ю.В. Фурье – и вейвлет – анализ изображений в плоскости JPEG – технологий // Проблемы управления и информатики. – 2004. – №5. – С. 111-124.
- [5] Яцимирський М.М. Швидкі алгоритми ортогональних тригонометричних перетворень. – Львів: Академічний Експрес, 1997. – 219 с.
- [6] Шевчук Б.М. Оптимізація процесів введення і оперативного оброблення сигналів в комп'ютерних мережах дистанційного моніторингу станів об'єктів дослідження і керування // Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів : VII Всеукр. між нар. конф. – К.: Укр. асоц. з обробл. інформ. та розпізн. образів, 2004. – С. 263 – 266.