

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ ІНФОРМАТИВНИХ СИГНАЛІВ У ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

The analysis of efficiency of a filtration informative signals is carried out at their passage by the of communication channel in the problem-oriented allocated computer systems in view of allocation pulse and fluctuation noise.

**Keywords:** *noise, filtration, transfer channel.*

Проведено аналіз ефективності інформативних сигналів під час їх проходження каналом зв'язку у проблемно-орієнтованих розподілених комп'ютерних системах з урахуванням виділення імпульсних та флуктуаційних завад.

**Ключові слова:** *завади, фільтрація, канал зв'язку.*

Питанням боротьби із завадами присвячена велика кількість фундаментальних праць. Всі вони стверджують, що не можна побудувати фільтр, який ефективно вилучав би завади різного характеру. Для вирішення цієї проблеми доцільно здійснювати поетапну фільтрацію сигналу, як це подано на рис. 1. Оскільки імпульсні завади являють собою окремі викиди, то цілком логічно вилучити спочатку їх, а потім, якщо цього виявляється недостатнім, позбавлятися від флуктуаційних завад [1, 2].

**Аналіз попередніх досліджень.** Пристрої та алгоритми вилучення імпульсних завад можна розподілити на декілька груп. До першої належать способи, які базуються на обмеженні сигналів і використанні ключових схем. Але вони можуть застосовуватися лише для певних видів сигналів, до певної міри змінюють їхню форму і суттєво зменшують співвідношення *сигнал/шум*  $h_{\text{пр}}$ . До другої належать адаптивні компенсаційні алгоритми. Вони досить складні, працюють при малому рівні шумів і розглядаються лише в теоретичному аспекті. Третя група вмщує алгоритми, які базуються на непараметричних методах статистики і є досить стійкими до дії завад. Водночас вони вимагають певного навчання вибірками з ансамблю завад, елементи яких повинні бути незалежними. Використання таких алгоритмів в умовах передавання широкосмугових сигналів зумовлює труднощі, передусім пов'язані з великою кількістю обчислень.

**Матеріал і результати досліджень.** Останнім часом для вилучення імпульсних завад широко використовують медіанні фільтри, які вважають дуже перспективними [3, 4]. Виходячи з таких міркувань, доцільно на першому етапі здійснювати медіанну фільтрацію, яка з великою імовірністю дає змогу вилучити короткі імпульсні завади  $\chi(t)$  з потоку  $\hat{x}(t)$ , після чого можна здійснювати додаткове оброблювання попередньо профільтрованого процесу, яке вмщує флуктуаційну складову завади  $\xi(t)$

$$\hat{x}(t) = v \cdot x(t - \tau) + \xi(t), \quad (1)$$

з урахуванням того, що на інтервалі  $[0, T]$  існування сигналу згасання постійне ( $v = \text{const}$ ), як це обґрунтовано вище. Якщо, після медіанної фільтрації, рівень завад не є задовільним для успішного вирішення задачі, необхідно додатково здійснювати вилучення флуктуаційних завад.

Медіанний фільтр – це ковзне вікно, яке зазвичай охоплює непарну кількість вибірок  $N$  аналогового сигналу  $\hat{x}(t)$ . Вихідною величиною фільтра  $\hat{y}_j$  є відрахунок, для якого у вікні існує  $(N - 1)/2$  відрахунків менших або рівних йому за величиною та стільки ж більших або рівних йому за величиною.

Медіанні фільтри широко використовують для обробки зображень, причому для них визначені адаптивні алгоритми вибору порядку і зваження коефіцієнтів. Розроблені аналогічні алгоритми і для аналізу хвильових полів, а для віброейсмичних гармонічних сигналів розроблені медіанні фільтри парних порядків. А щодо виділення інформативних сигналів з шуму під час приймання даних в системах обміну інформацією та визначення вимог до них публікацій не знайдено.

Під час виділення інформативного сигналу в широкосмуговій системі передавання медіанний фільтр повинен працювати в режимі рекурсивного формування апертури таким чином, що частина значень, які попали до апертури фільтра, є вихідними сигналами для попередніх вузлів. Визначення величин  $y_j$  для такого режиму здійснюється відповідно до виразу

$$y_j = \sum_{i=0}^{N-1} x_i, \quad (2)$$

де  $x_i = \begin{cases} y_i, & i = 0, N-2; \\ \hat{x}_i, & i = N-1; \end{cases}$   $\hat{x}_i$  – значення вхідного

файла, що попадають до апертури;  $y_j$  – значення вихідних сигналів рекурсивного фільтра для попередніх вузлів.

$$\hat{y}_j = med\{\hat{x}_0, \hat{x}_1, \dots, \hat{x}_j, \dots, \hat{x}_{N-2}, \hat{x}_{N-1}\}. \quad (3)$$

Результати розрахунків імовірностей вилучення імпульсної завади від імовірності  $p_\chi$  для рекурсивних медіанних фільтрів з різними апертурами наведені на рис. 2. Отримані результати засвідчують високу ефективність використання фільтрів такого типу.

У випадку використання у вигляді носія функцій Хаара критичною ситуацією буде не лише випадок, коли амплітуди інформативних сигналів і імпульсних завад збігаються, а сигнали перебувають у протифазі, оскільки в цьому випадку буде зафіксована лише відсутність сигналу (один розряд кодової комбінації). Помилка може виникнути у випадку, коли завада повністю імітує додаткову функцію Хаара, яку використовують для цього каналу. Ця ситуація є гіпотетичною, а в усіх інших випадках інформативний сигнал ідентифікується алгоритмічним шляхом.

Для вилучення флукуаційних завад можуть використовувати декілька видів фільтрів. Вони будуються на базі розкладання функції, яка описує вхідний сигнал, на суму базисних ортогональних функцій. Останнім часом широко використовують фільтри, реалізовані в базисі вейвлет-функцій і призначені для оброблю-

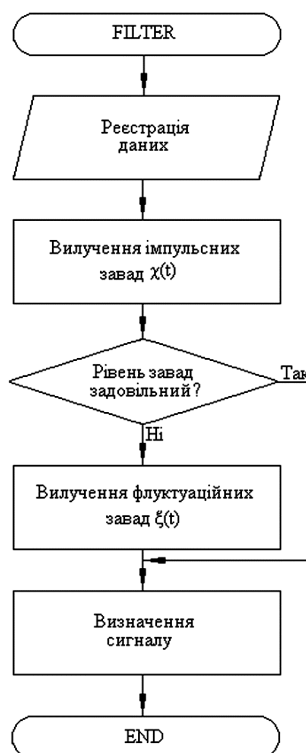


Рис. 1. Реалізація поетапного фільтрування прийнятого сигналу.

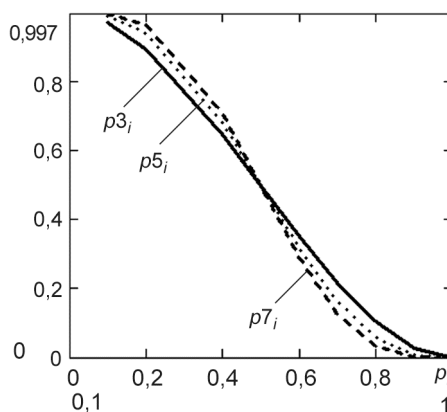


Рис. 2. Розрахунки імовірностей вилучення імпульсної завади  $p_N$  від імовірності  $p_\chi$  для рекурсивних медіанних фільтрів з апертурами  $N = 3, 5, 7$ .

вання відеозображень та часових рядів. Для цього випадку подавлення флуктуаційного шуму необхідно здійснювати в декілька етапів:

- розкладання сигналу в базисі вейвлету;
- вибір порогового значення шуму для кожного рівня розкладання;
- порогове фільтрування коефіцієнтів деталізації;
- реконструювання сигналу.

У літературі розглядають метод, призначений для подавлення шуму, адаптований до розривних сигналів. Його можна ефективно використовувати у випадках, коли частота зміни розривних сигналів невисока (кількість відрахунків на одному імпульсі достатньо велика  $T_{ADC} \ll \tau$ ) або коли немає необхідності в оброблюванні інформації в режимі реального часу. Особливості процесу передавання інформації, особливо на високих швидкостях, суттєво обмежують його використання. Крім цього, немає необхідності в точному відтворенні форми сигналу. Оскільки для ідентифікації сигналу суттєвим є значення сигналу посередині часового інтервалу  $\tau$ , то вплив ефекту Гібса у цьому випадку є незначним.

Порогове значення компоненти  $d_{\text{пор}}$  може вибиратися за правилом універсального порогу Донохо

$$d_{\text{пор}} = \sigma_{\xi} \cdot \sqrt{2 \ln N}, \quad (4)$$

або з умови зберігання 95% сигналу  $E$

$$E = \left( \frac{\sum_i (x_i)^2}{\sum_i (\hat{x}_i)^2} \right)^2 \cdot 100\%, \quad (5)$$

де  $x_i$  – складові відновлюваного сигналу.

Водночас проведено докладний аналіз визначення необхідного співвідношення *сигнал/шум* з оцінкою необхідного рівня ідентифікації сигналу, виходячи з чого, доцільно значення  $d_{\text{пор}}$  вибирати саме із цих умов.

Після проведення медіанної фільтрації на інтервалі  $[0, T]$  сигнал має вигляд

$$\hat{y}(t) = v \cdot x(t - \tau) + \chi_{\zeta}(t) + \xi_{\delta}(t), \quad (6)$$

де  $\chi_{\zeta}(t)$  – залишкова імпульсна завада;  $\xi_{\delta}(t)$  – флуктуаційна завада.

Для критерію максимальної правдоподібності методика оцінки імовірності ідентифікації адресного посилання наведена в літературі. Залишкова імпульсна завада  $\chi_{\zeta}(t)$  визначається виразом

$$\chi_{\zeta}(t) = \sum_{j=0}^{L-1} \kappa_{\chi,j} \cdot c_{\chi,j} \cdot f(t - \tau_{\chi,j}), \quad (7)$$

де  $\kappa_{\chi,j} = 0$  з імовірністю  $(1 - p_{\text{пр}})$ , а імовірність  $p_{\text{пр}}$  визначається за формулою Бернуллі чи іншими методиками. Сигнал, який описується виразом (6), піддається оброблюванню з метою визначення інформативного сигналу  $v \cdot x(t - \tau)$  на фоні флуктуаційного шуму  $\xi_{\delta}(t)$  [5]. На вході приймача формується сигнал

$$\begin{aligned} \hat{y}_{\delta}(\tau) &= \int_0^T \hat{y}(t) \cdot \vartheta(t, \tau) \cdot dt = \int_0^T v \cdot f(t - \tau) \cdot \vartheta(t, \tau) \cdot dt + \\ &+ \sum_{j=0}^{L-1} \kappa_{\chi,j} \cdot c_{\chi,j} \cdot \int_0^T f(t - \tau) \cdot \vartheta(t, \tau) \cdot dt + \int_0^T \xi_{\delta}(t) \cdot \vartheta(t, \tau) \cdot dt, \end{aligned} \quad (8)$$

де  $\vartheta(t, \tau)$  – опорна функція фільтра, яку можна визначити з рівняння  $\int_0^T R_{\xi}(t-x) \cdot \vartheta(t, \tau) \cdot dx = f(t - \tau)$ ,  $R_{\xi}(t-x)$  – кореляційна функція шуму.

Рівняння (8) визначає відгук приймача на сигнал та завади і може бути подане у вигляді [6]

$$\hat{y}_{i\delta}(\tau) = h_{i\delta}^2 \cdot S(\tau_0, \tau) + \sum_{j=0}^{L-1} \frac{\kappa_{\chi,j}}{h_j} \cdot h_{i\delta}^2 \cdot S_j(\tau_0, \tau_j) + h_{i\delta} \cdot \eta(t), \quad (9)$$

де  $S(\tau_0, \tau) = \frac{\nu}{h_{i\delta}^2} \int_0^T f(t - \tau) \cdot \mathfrak{S}(t, \tau) \cdot dt$  – нормована функція інформативного сигналу;

$S_j(\tau_0, \tau_j) = \frac{h_j \cdot \kappa_{\chi,j}}{h_{i\delta}^2} \int_0^T f(t - \tau_j) \cdot \mathfrak{S}(t, \tau_0) \cdot dt$  – нормована функція імпульсного шуму із викидом  $\eta(t)$ .

Нормовані функції  $S(\tau_0, \tau)$  та  $S(\tau_0, \tau_j)$  необхідно вважати неперервними, причому  $S(\tau_0, \tau_0) = 1$  та  $S(\tau_j, \tau_j) = 1$ . Параметр  $h_j$  має сенс відношення сигнал/завада для  $j$ -го імпульсу потоку на виході лінійної частини приймача.

Абсолютний максимум вихідного сигналу  $\hat{y}_{i\delta}(t)$  може спричинитися інформативним сигналом,  $j$ -м імпульсом завади або шумовим викидом  $\eta(t)$ . Імовірності помилок першого роду (помилкове повідомлення)  $p_I$  та другого роду (пропуск повідомлення)  $p_{II}$  визначаються відповідно такими виразами:

$$p_I = 1 - p(U_{i\text{op}}, h) \cdot F_{\eta}(h_{i\delta}), \quad (10)$$

$$p_{II} = p_{i\hat{i}} \cdot p(U_{i\hat{i}\delta}, h) \cdot F_{\eta}(h_{i\delta}), \quad (11)$$

де 
$$p_{i\hat{i}} = F\left(\frac{U_c - U_{i\text{op}}}{U_{\xi}}\right).$$

На рис. 3 показано помилки першого та другого роду без введення до схеми приймача медіанного фільтра та з ним.

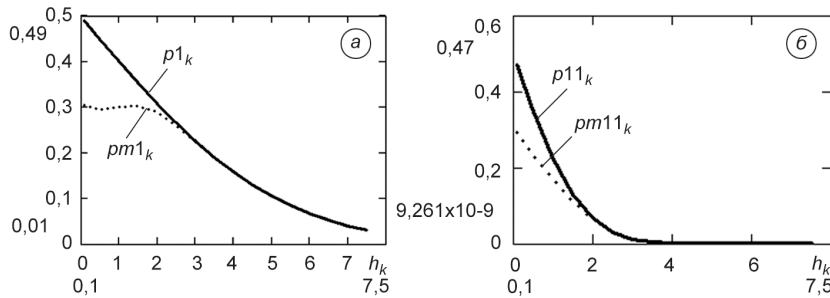


Рис. 3. Імовірності помилок першого  $p_I$  (а) та другого  $p_{II}$  (б) роду залежно від співвідношення сигнал/шум:  $p$  – імовірності помилок без медіанного фільтра;  $pm$  – імовірності помилок у разі увімкнення медіанного фільтра.

Враховуючи те, що передавання здійснюється в біполярному режимі, імовірності помилок будуть дорівнювати

$$p_I = p_{II} = p_{i\hat{i}} \cdot p(U_{i\hat{i}\delta}, h) \cdot F_{\eta}(h_{i\text{p}}), \quad (12)$$

Імовірність правильного приймання буде складатися з того, що імпульсну заваду не пропустить медіанний фільтр, або амплітуда його не перевищить порогового значення для кожного з імпульсів завади

$$p(U_{i\text{op}}, h) = \prod_{j=0}^{L-1} (p_{i\text{p}} + (1 - p_{i\text{p}}) \cdot p(\chi/U_{\chi} < U_{i\text{op}})) \cdot \quad (13)$$

Умовну імовірність в цьому випадку можна визначити як

$$p(\chi/U_{\chi} < U_{i\text{op}}) = F\left(\frac{U_{i\text{op}}}{U_{\xi}} - \frac{U_c}{U_{\chi,j}}\right). \quad (14)$$

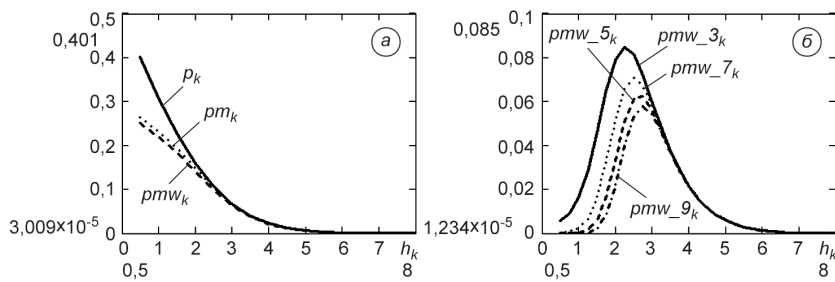


Рис. 4.

Рис. 5.

Рис. 4. Імовірності помилок першого та другого роду для біполярного режиму передавання залежно від співвідношення сигнал/шум:  $p$  – імовірності помилок без фільтра;  $pt$  – імовірності помилок при увімкненні медіанного фільтра;  $ptw$  – імовірності помилок при увімкненні медіанного і вейвлетного фільтрів.

Рис. 5. Імовірності помилок першого та другого роду для біполярного режиму передавання залежно від співвідношення сигнал/шум при різних значеннях роздільної здатності за часом.

Тоді

$$p(U_{i\text{op}}, h) = \prod_{j=0}^{L-1} \left( p_{i\text{p}} + (1 - p_{i\text{p}}) \cdot F \left( \frac{U_{i\text{op}}}{U_{\xi}} - \frac{U_c}{U_{\chi.j}} \right) \right). \quad (15)$$

Для випадку однакових амплітуд імпульсів у потоці виконуються умови  $(1 - p_j) = (1 - p_{\chi})$  та  $h_j = h_{\chi}$ . Оскільки  $p_{\text{пр}} \rightarrow 1$ , а  $(1 - p_{\text{пр}}) \rightarrow 0$ , то можна записати

$$p(U_{i\text{op}}, h) = 1 - L \cdot (1 - p_{i\text{p}}) \cdot F \left( \frac{U_{i\text{op}}}{U_{\xi}} - \frac{U_c}{U_{\chi}} \right). \quad (16)$$

Графіки помилок для увімкнення фільтрів в різній конфігурації наведені на рис. 4. Результати свідчать, що вплив фільтрів особливо суттєвим є при малих значеннях співвідношення сигнал/шум, причому вплив медіанного фільтра виявляється дуже значним. На рис. 5 подані залежності імовірності помилок першого та другого роду для біполярного режиму передавання залежно від співвідношення сигнал/шум при різних значеннях роздільної здатності за часом.

### ВИСНОВКИ

Запропоновано двохетапну фільтрацію з вилученням імпульсних завад за допомогою медіанного фільтра та флуктуаційних – за допомогою вейвлет-пакетів, що дало змогу підвищити її ефективність. Проведено розрахунки імовірності вилучення завад у разі використання медіанного та вейвлет-пакетного фільтрів, а також без них, що підтвердило високу ефективність двохетапної фільтрації сигналів (імовірності помилок I та II роду зменшуються на 20%).

1. Кветний Р. Н., Кулик А. Я., Кривогубченко Д. С. Передавання інформації у інформаційно-вимірювальних системах // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2002. – № 2 (4). – С. 231–234.
2. Кулик А. Я. Адаптивні алгоритми передавання інформації: монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 213 с.
3. Алгоритм швидкого оброблювання значень для медіанних фільтрів / А. Я. Кулик, В. В. Томків, Я. А. Кулик, О. А. Кулик // Научн. исследования и их практическое применение: междунар. научн.-практ. конф. – Одесса. – 1–15 окт. 2007 г. – Одесса, 2007. – Т. 3. – С. 9 – 16.
4. Метод удаления шума на основе вейвлет-обработки, адаптированный к разрывным сигналам: тр. 5-й Междунар. конф. “Цифровая обработка сигналов и её применение (DSPA-2003)” [Електронний ресурс] / А. Ласточкин, В. Кобелев. – С-Пб.: ЗАО АВТЭКС. – 2003. – Режим доступу: <http://www.autex.spb.ru>
5. Філіпський Ю. К. Динаміка сигнальних перетворень: Навч. посібн. для студ. вищ. навч. зал. – Одеса: Наука і техніка, 2006. – 89 с.
6. Эффективность приёма сигналов на фоне комбинированной помехи с дополнительной обработкой в медианном фильтре [Електронний ресурс] / Ю. С. Радченко // Журн. радиоэлектроники. – 2001. – № 7. – Режим доступу до журн.: <http://jre.cplire.ru/win/jul01/2/text.html>