

РЕАЛІЗАЦІЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ШВИДКОЇ МЕДІАННОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

У статті пропонується використовувати модифікований медіанний фільтр, який використовує розбиття вектора даних на оброблювані блоки. Запропоновано програмно-апаратну та апаратну реалізацію медіанного фільтра. Експерименти показали ефективність даного фільтра при видаленні завад за критерієм ймовірності вилучення імпульсної завади.

Ключові слова: медіанний фільтр; фільтрація сигналів; реалізація медіанного фільтра.

Вступ. В загальному вигляді цифрову фільтрацію можна представити у вигляді послідовності дій, як на рисунку 1 [1]. Для вилучення імпульсних завад широко використовуються медіанні фільтри, які вважаються перспективними [2]. Також медіанні фільтри можуть використовуватись для вилучення інших типів

завад. Медіанний фільтр базується на класичних методах [3] і полягає в оцінюванні рівня завади для дискретних сигналів з достатнім ступенем ймовірності завдяки тому, що математичне сподівання завади наближається до 0.

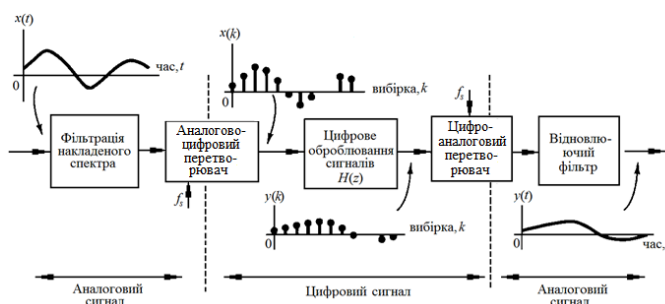


Рис.1. Узагальнена послідовність дій для цифрової фільтрації

Медіанний фільтр є ковзним вікном, яке використовує непарну кількість відрахунків N неперервного сигналу $\hat{x}(t)$. Вихідною величиною фільтра \hat{y}_j є відрахунок, для якого у вікні існує $\frac{(N-1)}{2}$ відрахунків менших або рівних йому за величиною (1)

Порядок фільтра N визначається розміром апертюри (вікна), яке використовується для фільтрації. Найпростішим, за визначенням, є одновимірний медіанний фільтр із тривідрахунковим вікном. Для цього фільтра сформульовані основні принципи апаратної реалізації, але для фільтрів вищих порядків вона виявляється дуже складною. Програмна реалізація є

суттєво простішою, оскільки для цифрових біполярних сигналів значення вихідного сигналу дорівнює арифметичній сумі (2)

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

$$\hat{y}_j = \hat{x}_j + \hat{x}_{j+1} + \dots + \hat{x}_{j+N-2} + \hat{x}_{j+N-1} \cdot \quad (2)$$

Медіанний фільтр характеризується нелінійним перетворенням сигналів, оскільки його властивості не передбачають виконання умов адитивності

$$\begin{cases} \text{med}(k \cdot x(i)) = k \cdot \text{med}(x(i)); \\ \text{med}(a + x(i)) = a + \text{med}(x(i)); \\ \text{med}(x(i) + g(i)) \neq \text{med}(x(i)) + \text{med}(g(i)), \end{cases} \quad (3)$$

де $med(x)$ – оператор взяття медіани, k, a – постійні, $x(i), g(i)$ – послідовності вибірок довжиною N [4].

$$\hat{y}_i = med\{med\{\hat{x}_0, \hat{x}_1, \dots, \hat{x}_{N/3-1}\}, med\{\hat{x}_{N/3}, \hat{x}_{N/3+1}, \dots, \hat{x}_{2N/3-1}\}, med\{\hat{x}_{2N/3}, \hat{x}_{2N/3+1}, \dots, \hat{x}_{N-1}\}\} \quad (4)$$

Запропонований метод швидкої медіанної фільтрації на відміну від існуючих методів оперує з обмеженою кількістю даних шляхом розбиття вектора даних на складові, що дозволяє значно скоротити час оброблення сигналу в $\log_2 N$ раз [5].

Даний метод швидкої медіанної фільтрації може використовуватись для ідентифікації прийнятих сигналів під час передавання інформації у інформаційно-вимірвальних, банківських та навігаційних системах, системах автоматизованого контролю та управління, відеоспостереження, охоронно-пожежної сигналізації тощо.

Математичний апарат для моделювання процесу медіанної фільтрації. Протягом часу $[0, T]$ на вхід медіанного фільтра поступає сукупність сигналів $\hat{x}(t)$. Інформативний сигнал $x(t - \tau)$ має невідоме часове розташування $\tau \in [0, T]$, причому на цей інтервал припадає багато елементів розділу за затримкою. Потік імпульсів $\chi(t)$ має вигляд

$$\chi(t) = \sum_{j=0}^{L-1} \kappa_{\chi,j} \cdot U_{\chi,j} \cdot f(t - \tau_{\chi,j}), \quad (5)$$

де $U_{\chi,j}$ – амплітуда імпульсу в потоці $\chi(t)$; τ_j – його часове розташування; $\kappa_{\chi,j}$ – коефіцієнт наявності імпульсної завади, який дорівнює одиниці з імовірністю p_χ та нулю – з імовірністю $(1 - p_\chi)$.

Таке задання завади відповідає потоку Бернуллі, для якого на інтервалі $[0, T]$ існує не більше L точок. Статистика кожної точки характеризується частковою щільністю

$$s_j(\tau_\chi) = p_{\chi,j} \cdot w_j(\tau_\chi), \quad (6)$$

де $p_{\chi,j}$ – імовірність появи j -того імпульсу; $w_j(\tau_\chi)$ – розподіл моментів їх появи.

За умови виконання умови нормування $\int_0^T w_j(\tau_\chi) d\tau_\chi = 1$, при $p_\chi = 1$ (на інтервалі часу $[0, T]$ наявні всі L імпульсів) та $w_j(\tau_\chi) = \delta(\tau - \tau_j)$, потік $\chi(t)$ визначається як детермінована імпульсна завада.

Якщо комбінований сигнал $\hat{x}(t)$ дискретизується за часом з інтервалом ΔT і ці відрахунки піддаються ковзній рекурсивній медіанній фільтрації з апертурою N , то з урахуванням утворювальної функції $\Theta(z)$ потоку Бернуллі (7) можна записати імовірність вилучення імпульсної завади як (8), або у випадку рівності всіх

З метою збільшення швидкодії запропоновано використовувати метод розбиття вектора даних на складові, що дає можливість збільшити швидкодію та виконувати паралельну обробку даних.

p_j , для потоку Бернуллі (9). Якщо $\frac{p_j}{\sum_{j=0}^{L-1} p_j} \ll 1$, то

потік за своїми властивостями наближається до потоку Пуассона (10) [115]. Значення $N \cdot \Delta T$ характеризує часовий інтервал, на якому беруться N відрахунків і тоді загальний вираз зводиться до (11).

$$\Theta(z) = \prod_{i=0}^{N-1} (1 + p_{\chi,i} \cdot (z-1)) = \sum_{i=0}^N p_{\chi,i} \cdot z^i, \quad (7)$$

$$\text{де } p_{\chi,i} = \frac{1}{i!} \cdot \left. \frac{\partial \Theta(z)}{\partial z^i} \right|_{z=0},$$

$$p_{np} = \sum_{i=0}^{N-1} p_i, \quad (8)$$

$$p_{np}^{(B)} = \sum_{i=0}^{N-1} C_N^i \cdot p_\chi^i \cdot (1 - p_\chi)^{N-i}. \quad (9)$$

$$\Theta(z) = e^{\Lambda(z-1)}, \quad (10)$$

$$\text{де } \Lambda = \sum_{j=0}^{N-1} p_j \int_0^T w_j(\tau_\chi) d\tau_\chi = \sum_{j=0}^{N-1} p_j = \lambda \cdot N;$$

$$\lambda = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N-1} p_j - \text{середня інтенсивність пуасонівського потоку в межах апертури ковзного рекурсивного медіанного фільтра.}$$

кого потоку в межах апертури ковзного рекурсивного медіанного фільтра.

$$p_{np}^{(P)} = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{\Lambda^i}{i!} \cdot e^{-\Lambda}. \quad (11)$$

Для медіанного фільтра можна достатньо просто реалізувати алгоритм швидкого оброблення, який базується на побудові різницевої матриць за допомогою порогової функції насичення $F_{ij} = f(x_i - x_j)$, в якій виконується умова (12). Для фільтра з апертурою $N = 5$ при перших п'яти значеннях вектор \mathbf{F}_0 буде мати вигляд (13) або в узагальненому вигляді (14)

$$f(\Delta x) = \begin{cases} 1, \Delta x \geq 0; \\ 0, \Delta x < 0. \end{cases} \quad (12)$$

$$\mathbf{F}_0 = \|f(x_0 - x_0) \quad f(x_1 - x_0) \quad f(x_2 - x_0) \quad f(x_3 - x_0) \quad f(x_4 - x_0)\|, \quad (13)$$

$$\mathbf{F}_0 = \|F_0 \quad F_1 \quad F_2 \quad F_3 \quad F_4\|. \quad (14)$$

Цей вектор характеризує перепади між сусідніми відрахунками. Значеннями цих перепадів можна визначити, чи містить дана точка випадкову складову, тобто заваду. Зсув на одну позицію вздовж ряду

значень дає вектор \mathbf{F}_1 (15), або матрицю (16) в якій потрібно розраховувати лише одне (15) значення або дев'ять значень (16), розташованих у виділеній області.

$$\mathbf{F}_1 = \|F_0 \ F_1 \ F_2 \ \dots \ F_5\|, \quad (15)$$

$$\mathbf{F}_1 = \begin{pmatrix} F_{11} & F_{21} & F_{31} & F_{41} & \vdots & F_{51} \\ F_{12} & F_{22} & F_{32} & F_{42} & \vdots & F_{52} \\ F_{13} & F_{23} & F_{33} & F_{43} & \vdots & F_{53} \\ F_{14} & F_{24} & F_{34} & F_{44} & \vdots & F_{54} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ F_{15} & F_{25} & F_{35} & F_{45} & & F_{55} \end{pmatrix}. \quad (16)$$

Сума різниць значень F_{ij} за стовпчиками (17) показує номер значення по величині і дає можливість сортувати зареєстровані значення x_j за величиною: 1 відповідає мінімальному, N – максимальному, а $(N+1)/2$ – медіанному значенню.

$$F_i = \sum_{j=0}^N F_{ij} = \sum_{j=0}^N f(x_i - x_j) \quad (17)$$

Реалізація швидкої медіанної фільтрації. Швидку медіанну фільтрацію досить просто реалізувати апаратно на програмованих засобах, наприклад на класичній мікропроцесорній структурі. Структурна схема для неї зображена на рисунку 3, а послідовність дій наступна (рисунк 2): після приймання блоку інформації і отримання сигналу «старт», аналогово-цифровий перетворювач виконує дискретизацію сигналу, формуючи сигнал «кінець перетворення» на виході, після завершення перетворення, подає дискретизовані значення до персонального комп'ютера через паралельний порт, розміщуючи їх у відповідних місцях оперативного запам'ятовуючого пристрою.

Далі центральний процесор виконує обробку послідовно всіх матриць медіанним фільтром за певною програмою, математичні засоби якої показані у (14)-(17). Дії продовжуються до тих пір, поки всі значення не будуть оброблені. Такий алгоритм дозволяє у випадку необхідності замість середнього вибрати інший ранжований елемент від мінімального до максимального. Схема програми для медіанного фільтра показана на рисунку 2 та 5. Цей пристрій повинен вбудовуватись у модем для приймального каналу у напівдуплексному режимі та вмикатися у певні періоди часу для повнодуплексного режиму передавання інформації. При програмній реалізації для використання при оброблюванні зображень даних аспект не має значення.

Вищеописаний спосіб оброблення прийнятих сигналів досить просто реалізувати на сучасній обчислювальній техніці. Пристрій для передавання та приймання дискретної інформації, вміщує канал передачі інформації, модем та класичну процесорну структуру.

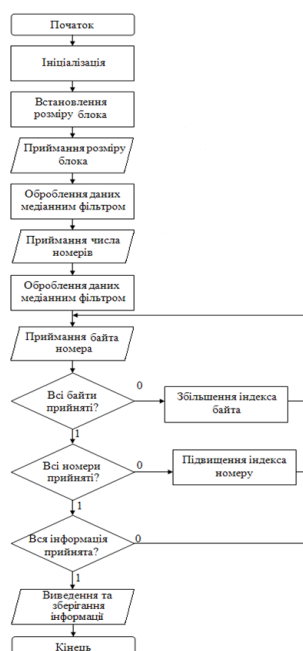


Рис. 2. Послідовність дій для швидкого медіанного фільтра [7]

Також можлива суто програмна реалізація медіанного фільтра на ПК. Цей спосіб використовується в основному для обробки зображень.

Структурна схема для апаратної реалізації медіанної фільтрації, показана на рисунку 3, складається з: центрального процесора, оперативного запам'ятовуючого пристрою, постійного запам'ятовуючого пристрою, з'єднаних системною шиною, монітора, клавіатури та носія інформації у складі персонального комп'ютера.

Альтернативна схема апаратної реалізації для швидкої медіанної фільтрації показана на рисунку 4. Дана схема вимагає менше затрат на реалізацію і має більшу швидкодію при однаковій тактовій частоті, ніж схема на рисунку 3, але її реалізація дещо складніша і менш зручна для використання.

Послідовність дій для пристрою приймання інформації на рисунку 5.

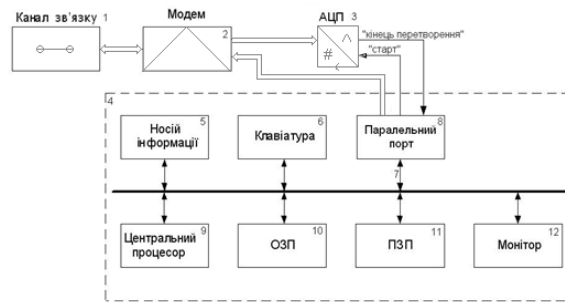


Рис. 3. Структурна схема пристрою для швидкої медіанної фільтрації [8]

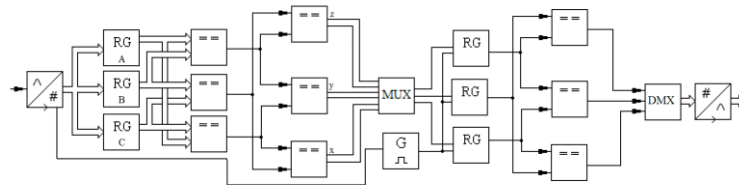


Рис. 4. Схема апаратної реалізації для швидкої медіанної фільтрації

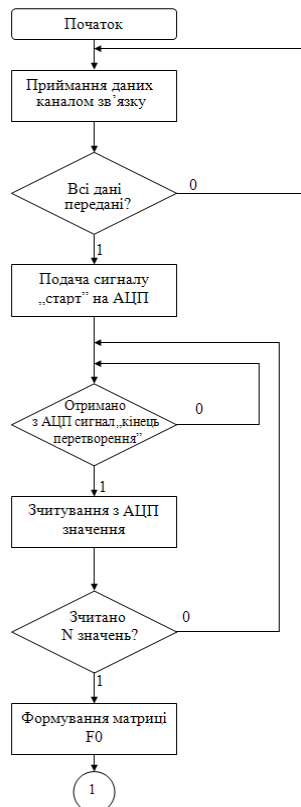


Рис. 5. Послідовність дій для пристрою передавання інформації з використанням

швидкої медіанної фільтрації

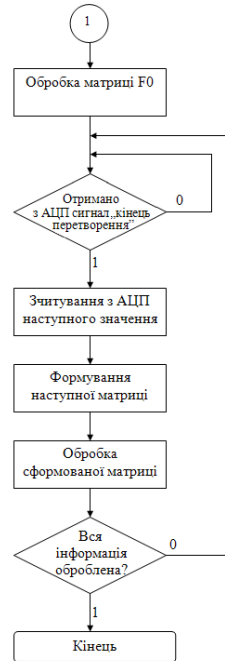


Рис. 5. Аркуш 2

Програмна реалізація (рисунок 5) дозволяє змінювати апертуру вікна в залежності від параметрів сигналу перед початком роботи фільтра і під час оброблення, тобто реалізувати адаптивний медіанний фільтр.

Використання медіанних фільтрів дозволяє на порядок підвищити ефективність вилучення імпульсних завад, а реалізація швидкого алгоритму – в чотири рази зменшити час оброблення прийнятих сигналів в системах передавання інформації і відповідно зменшити завантаження процесора [9].

Для експерименту достатньо перевірити медіанні фільтри з мінімальними апертурами $N = 3$ та $N = 5$. При цьому доцільно реалізувати алгоритм швидкого оброблення, наведений вище.

Для оцінки ефективності роботи доцільно сформувати дискретний сигнал достатньо складної форми, піддати його дії адитивного білого шуму різної амплі-

туди і обробити медіанним фільтром при вибраній апертурі.

Отримані результати показують високу ефективність використання фільтрів такого типу. З рисунку також видно, що апертура фільтра впливає на ефективність вилучення завад. Для малої імовірності появи завади різниця в розмірі вікна апертури дуже суттєва. В реальних умовах фільтр зі вказаною апертурою дозволяє забезпечити якість обробки сигналу фільтром достатню, щоб на приймальному боці можна було правильно ідентифікувати сигнал.

Результати розрахунків залежності імовірності вилучення імпульсної завади на основі (11) від імовірності p_x для медіанних фільтрів з різними апертурами наведені на рисунку 6. Отримані результати показують високу ефективність використання фільтрів такого типу.

Результати моделювання медіанного фільтра з використанням середовища LabView показані в [6].

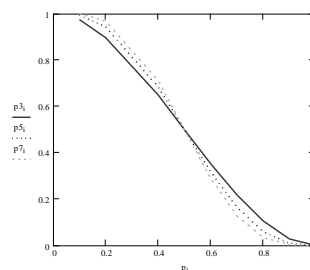


Рис. 6. Залежність імовірності вилучення імпульсної завади p_N від імовірності p_x для медіанних фільтрів з апертурами $N = 3, 5, 7$

Основні результати і висновки. У статті запропоновано метод швидкої медіанної фільтрації з використанням розбиття вектора даних на складові. Цей спосіб дозволяє підвищити швидкодію і є перспективним для використання з урахуванням паралельності

оброблення даних. Без урахування паралельності цей метод дозволяє скоротити час оброблення сигналу в $\log_2 N$ раз, з урахуванням паралельності – ще в $\log_2 N - 1$ раз.

Додавання швидкої медіанної фільтрації підвищує ефективність передавання інформації, але це відбувається за рахунок ускладнення апаратної частини та збільшення часу на обробку даних. Використання швидкої медіанної фільтрації дає збільшення швидкості оброблювання даних порівняно з використанням

медіанної фільтрації при тій самій апертурі фільтра, при цьому апаратна частина відрізняється не суттєво. У випадку програмної реалізації приріст швидкості оброблювання даних має таке саме значення і відбувається за рахунок більшого розміру пам'яті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Williams Arthur B., Taylors Fred J. Electronic Filter Design Handbook / Arthur Williams B., Fred Taylors J. – New York: McGraw-Hill, 1988. – ISBN 0-07-070434-1.
2. Воробьёв Н. Одномерный цифровой медианный фильтр с трёхотсчётным окном [Электронный ресурс] / Н. Воробьёв // Chip News, 1999. – № 8. – Режим доступа : <http://chipinfo.ru/literature/chipnews/199908/29.html>.
3. Радченко Ю. С. Эффективность приёма сигналов на фоне комбинированной помехи с дополнительной обработкой в медианном фильтре [Электронный ресурс] / Ю. С. Радченко // Журнал радиоэлектроники. – 2001. – № 7. – Режим доступа : <http://jre.cplire.ru/win/jul01/2/text.html>.
4. Кулик А. Я. Використання медіанного фільтра у проблемно-орієнтованих розподілених комп'ютерних системах / А. Я. Кулик, Я. А. Кулик // Науковий вісник Чернівецького Університету. Серія : Комп'ютерні системи та компоненти. – 2010. – № 1. – Т. 1. – В. 1. – С. 51–54.
5. Кулик Я. А. Розпаралелення обчислень для швидкого вейвлет-перетворення / Я. А. Кулик // XII Міжнародна конференція «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2014)». Тези доповідей. Вінниця, 14-16 жовтня 2014 року. – Вінниця : ВНТУ. – 2014. – 222 с. – ISBN 978-966-2462-66-1.
6. Кулик Я. А. МОДЕЛЮВАННЯ ШВИДКОГО МЕДІАННОГО ФІЛЬТРА У СЕРЕДОВИЩІ LABVIEW / Я.А. Кулик // Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої дню космонавтики / Під ред. В. В. Марасанова та ін. – Херсон : ХНТУ, 2016. – 232 с. – ISBN 978-617-7273-28-7.
7. Спосіб передавання інформації / Я. А. Кулик, С. Г. Кривогубченко, Д. С. Кривогубченко [та ін.] // Патент на корисну модель № 50279. Україна, МПК (2009) H03M 13/00. № u201000359; заявл. 15.01.2010; опубл. 25.05.2010; Бюл № 10. – 2010.
8. Пристрій для передавання інформації / Я. А. Кулик, С. Г. Кривогубченко, Д. С. Кривогубченко [та ін.] // Патент на корисну модель № 53497. Україна, МПК (2009) H03M 13/00. № u201003873; заявл. 06.04.2010; опубл. 11.10.2010; Бюл № 19. – 2010.
9. Кулик Ярослав Анатолійович. Методи та засоби оброблювання дискретних сигналів у мережах з високим рівнем завад : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.05 / Кулик Ярослав Анатолійович. – Вінниця, 2015. – 169 с. – Бібліогр. : с. 82–90.

**Я. А. Кулик,
В. В. Гармаш,
Р. В. Маслий,**

Винницький національний технічний університет,
г. Вінниця, Україна

РЕАЛИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ БЫСТРОЙ МЕДИАННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

В данной статье предлагается использовать модифицированный медианный фильтр, который использует разбиение вектора данных на обрабатываемые блоки. Предложено программно-аппаратную и аппаратную реализацию медианного фильтра. Эксперименты показали эффективность данного фильтра при удалении помех по критерию вероятности извлечения импульсной помехи.

Ключевые слова: медианный фильтр; фильтрация сигналов; реализация медианного фильтра

Y. A. Kulik,
V. V. Garmash,
R. V. Masliy,
Vinnitsa National Technical University,
Vinnitsa, Ukraine

IMPLEMENTATION AND MODELLING OF FAST MEDIAN FILTERING

In this article has been proposed the use of a modified median filter that uses partitioning vector data, which is processed in blocks. Has been proposed a hardware-software and hardware implementation of the modified median filter. Experiments have shown the effectiveness of the filter by removing noise criterion for the probability impulse noise removal.

Key words: median filter; signals filtering; median filter implementation.

Рецензенти: д. т. н., проф., зав. каф. програмного забезпечення ВНТУ, *А. М. Петух*;
д. т. н., проф., член Міжнародної асоціації IEEE,
зав. каф. системного програмування ЧДТУ, *А. М. Рудницький*.

© Кулик Я. А., Гармаш В. В., Маслій Р. В., 2016

Дата надходження статті до редколегії 20.04.16