

**Видмиш А. А.**

к.т.н., доцент

Возняк О. М.

к.т.н., доцент

Купчук І. М.

к.т.н., ст. викладач

Бойко Д. Л.

студент

**Вінницький національний
аграрний університет****Vydmysh A.****Voznyak O.****Kupchuk I.****Boiko D.****Vinnitsia National
Agrarian University****УДК 621.391.837:681.3****DOI: 10.37128/2306-8744-2020-1-10**

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕДІАННОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ОДНОВИМІРНИХ СИГНАЛІВ

В даній роботі розглянуто принципи цифрового оброблювання сигналів, загальні положення цифрової фільтрації, існуючі методи фільтрації шумів в електричних сигналах, в детальній формі досліджуються медіанні фільтри одновимірних сигналів.

Для вирішення поставленої задачі представлена класифікація інструментів цифрової обробки сигналів. Так як найбільш ефективним для фільтрації шумів в електричних сигналах є цифрові фільтри то їм приділяється найбільша увага.

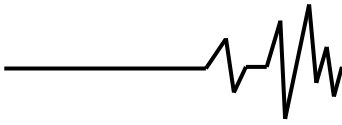
Основна мета фільтрації сигналів полягає в необхідності вилучення інформації, що міститься в них. Ця інформація, що зазвичай присутня в амплітуді сигналу (абсолютній або відносній), в частоті або в спектральному складі, у фазі або у відносних часових залежностях декількох сигналів.

Проведено класифікацію існуючих цифрових фільтрів. Для подальшої розробки обрано медіанний фільтр, який відноситься до класу евристичних і є одним із найбільш ефективних при фільтрації сигналів від імпульсних перешкод та білого шуму. Виділивши переваги і недоліки проведено огляд існуючих програмних засобів, що реалізують медіанний фільтр. Встановлено, що актуальною задачею є підвищення швидкості оброблювання і зменшення ресурсних затрат при реалізації таких фільтрів розроблено алгоритм швидкої медіанної фільтрації, проведена експериментальна перевірка програмно реалізованих медіанних фільтрів з різною апертурою при різних рівнях флуктуаційних перешкод. Ця програма відповідає всім вимогам до сучасних нормативів і стандартів, дає можливість практичного її використання для вирішення реальних завдань обробки сигналів.

З метою підвищення швидкодії оброблювання інформації, розроблено алгоритм медіанної фільтрації на основі різницевої матриці за допомогою порогової функції насичення. Розроблено програмне забезпечення, що реалізує запропонований алгоритм. Представлені схеми основної програми, зчитування значень сигналу з файлу, фільтрації, сортування даних по амплітуді, вибору вікна елементів, вибору зареєстрованих значень. Також визначені умови реєстрації даних і параметри АЦП для забезпечення ефективної роботи фільтрів.

Ключові слова: електричний сигнал, цифровий фільтр, медіанний фільтр, програмний алгоритм, амплітуда, частота, апертура фільтру.

Вступ. Фізичні величини макросвіту – безперервними (аналоговими) сигналами. Основного об'єкту наших вимірювань, і джерела інформаційних сигналів, як правило, мають безперервну природу і відображаються виключно з дискретними величинами, причому Цифрове оброблювання сигналів (ЦОС або DSP – digital signal processing) працює



з квантуванням як по координатах динаміки своїх змін (за часом, в просторі, і будь-якими іншими змінним параметрам), так і по амплітудних значеннях фізичних величин [1-2].

ЦОС впливає на ключові галузі сучасної промисловості: телекомунікації, засоби інформації, цифрове телебачення та ін. Слід очікувати, що в майбутньому інтерес і до наукових, і до прикладних питань цифрового оброблювання сигналів наростатиме у всіх галузях науки і техніки.

Зазначимо, що задачею будь-якого дослідження є встановлення невідомих властивостей середовища або окремих конкретних об'єктів за даними спостереження процесів, що в них відбуваються [3-4].

Предмет цифрової фільтрації даних (сигналів) є звичайним вступом в широку і фундаментальну область цифрового оброблювання інформації [5]. Під фільтрацією будемо розуміти будь-яке перетворення інформації (сигналів, результатів спостережень), при якому у вхідній послідовності оброблюваних даних змінюються певні співвідношення (динамічні або частотні) між різними компонентами цих даних.

Постановка задачі. В сучасну епоху, у світі останніх досягнень науково-технічного прогресу глобальною цінністю є інформація. Всі сучасні системи, в основі котрих лежать принципи обміну, збереження та передавання інформації (ЕОМ, мобільні телефони, локальні мережі, Internet тощо) оперують великими потоками інформації. Такі системи часто працюють в умовах завод. Перешкоди – це сигнали, що приходять на електронну систему ззовні і спотворюють корисний сигнал. Вони можуть бути як звичайного характеру (електромагнітні перешкоди від працюючого обладнання, атмосферні перешкоди, перешкоди сигналу і т.д.), так і навмисно створеними людиною. Ключова проблема обробки фізичних сигналів – проблеми отримання корисної інформації. Для видалення завод застосовують фільтрацію. Поняття фільтрації завжди має на увазі деяке уявлення про «ідеально точний» сигнал. Такий сигнал – мета фільтрації.

Основна мета оброблювання фізичних сигналів полягає в необхідності вилучення інформації, що міститься в них. Ця інформація звичайно присутня в амплітуді сигналу (абсолютної або відносної), в частоті або в спектральному складі, у фазі або у відносних тимчасових залежностях декількох сигналів. Як тільки бажана інформація буде вилучена з сигналу, вона може бути використана різними способами [6].

Мета даної роботи полягає у дослідженні процесу оброблення електричних сигналів, шляхом використання фільтрації та в розробці алгоритму швидкої медіанної фільтрації. Задачі дослідження, визначені метою вимагають:

- провести аналіз цифрової фільтрації шумів в електричних сигналах;
- розробити програмне забезпечення швидкого оброблювання значень сигналу медіанним фільтром.

В детальній формі провести дослідження медіанного фільтру, експериментально перевірити програмно реалізований медіанний фільтр з різною апертурою при різних рівнях флуктуаційних завод.

Принцип роботи медіанної фільтрації. Характерною особливістю медіанного фільтру є його нелінійність. У багатьох випадках ефективніше застосовувати медіанний фільтр в порівнянні з лінійними фільтрами, оскільки процедури лінійної оброблювання оптимальні при рівномірному або гаусівському розподілі завод, що в реальних сигналах неможливо [7]. У випадках, коли перепади значень сигналів великі в порівнянні з дисперсією адитивного білого шуму, медіанний фільтр дає менше значення середньоквадратичної помилки в порівнянні з оптимальними лінійними фільтрами. Особливо ефективно використовувати медіанний фільтр при очищенні сигналів від імпульсних шумів при обробці зображень, акустичних сигналів, передачі кодових сигналів і т.д.

Медіани давно використовувалися і вивчалися в статистиці, як альтернатива середнім арифметичним значенням відліку в оцінці вибірових середніх значень [8]. Медіаною послідовності x_1, x_2, \dots, x_n при непарному n є середній по значенню член ряду, що виходить при впорядковуванні цієї послідовності за зростанням (або за спаданням). Для парних n медіану визначають як середнє арифметичне двох середніх інтервалів відліку впорядкованої послідовності.

Медіанний фільтр є віконним фільтром, що послідовно ковзає по масиву сигналу, і повертає на кожному кроці один з елементів, що потрапили у вікно (апертуру) фільтру. Вихідний сигнал y_k ковзного медіанного фільтру шириною $2n + 1$ для поточного відліку k формується з вхідного часового ряду x_{k-1}, x_k, x_{k+1} відповідно до формули:



$$y_k = \text{med}(x_{k-n}, x_{k-n+1}, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, x_{k+n-1}, x_{k+n}), \quad (1)$$

де $\text{med}(x_1, x_m, x_{2n+1}) = x_{n+1}$, x_m – елементи варіаційного ряду, який ранжований за зростанням

$$x_1 = \min(x_1, x_2, \dots, x_{2n+1}) \leq x_2 \leq x_3 \leq \dots \leq x_{2n+1} \\ = \max(x_1, x_2, \dots, x_{2n+1}).$$

Таким чином, медіанна фільтрація здійснює заміну значень відліку в центрі апертури медіанним значенням початкових інтервалів усередині апертури фільтру. На практиці апертура фільтру для спрощення алгоритмів оброблювання даних, як правило, встановлюється з непарним числом відліків.

Одновимірні медіанні фільтри.

Медіанна фільтрація реалізується у вигляді процедури локальної оброблювання відліку в ковзному вікні, яке включає певне число відліків сигналу [9]. Для кожного положення вікна виділені в ньому відліки ранжуються за

зростанням або спаданням значень. Середній по розміщенню елемент в ранжированому списку називається медіаною даної групи відліку. Цим відліком замінюється центральний відлік у вікні для оброблюваного сигналу. Медіанний фільтр відноситься до числа нелінійних фільтрів, який замінює медіанним значенням аномальні точки і викиди незалежно від їх амплітудних значень, і є стійким за визначенням, здатним анулювати навіть нескінченно великі відліки.

Завдяки цій особливості, медіанні фільтри при оптимально вибраній апертурі можуть зберігати без спотворень різкі межі об'єктів, пригнічуючи і перешкоди зі слабкою кореляцією [10]. На рис. 1 приведено приклад оброблювання сигналу з імпульсними шумами медіанним і трикутним фільтрами з однаковими розмірами вікна $N=3$. Перевага медіанного фільтру очевидна.

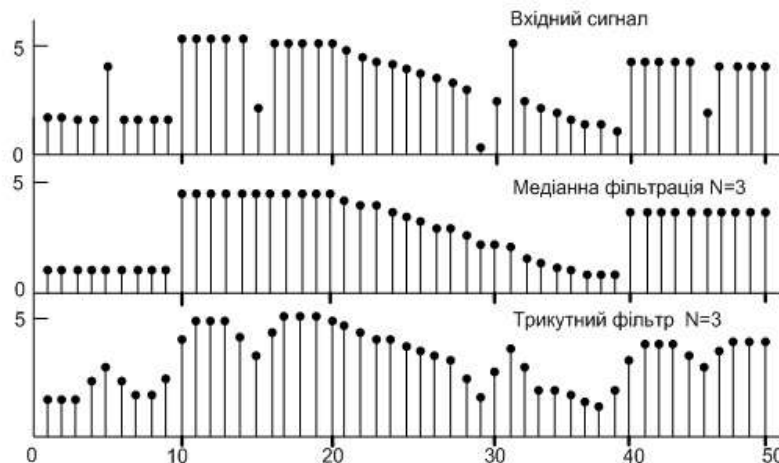


Рис. 1. Приклад оброблювання сигналу з імпульсними шумами медіанним і трикутним фільтром

Початковими і граничними умовами фільтрації приймаються кінцеві значення сигналів, або медіана яка вписується в межі апертури.

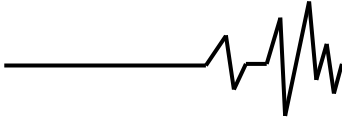
Погашення статистичних шумів медіанними фільтрами. Погашення статистичних шумів медіанними фільтрами через їхній нелінійний характер розглядається тільки на якісному рівні. Не можна також чітко розмежувати вплив медіанних фільтрів на сигнал і шум [11].

Якщо значення елементів послідовності чисел $\{x_i\}$ в апертурі фільтру є незалежними однаково розподіленими (НОР) випадковими величинами з середнім значенням

$mx = m + z$, то математичне сподівання $M\{z\} = 0$ а, отже і $M\{x\} = m$.

Нехай $F(x)$ і $f(x) = F'(x)$ – функції розподілу і щільності ймовірності величин x . Згідно теорії ймовірності, розподіл $y = \text{med}(x_1, \dots, x_n)$, для великих n є приблизно нормальним $N(m_t, \sigma_n)$, де mt – теоретична медіана, яка визначається з умови $F(mt) = 0.5$, при цьому дисперсія розподілу:

$$\sigma^2 = 1/(n4f^2(m_t)). \quad (2)$$



Наведені результати справедливі як для одновимірної, так і для двовимірної фільтрації, якщо n вибирати рівним числу крапок в апертурі фільтру. Якщо $f(x)$ симетрична щодо m , то розподіл медіан також буде симетричним щодо m , таким чином, справедлива формула:

$$M\{\text{med}(x_1, \dots, x_n)\} = M\{x_i\} = m. \quad (3)$$

Якщо випадкові величини $x \in \text{НОР}$ і рівномірно розподілені на відрізку $[0,1]$, то можна знайти точне значення дисперсії медіани по формулі:

$$\sigma_n^2 = 1/(4(n+2)) = 3_x/(n+2). \quad (4)$$

Якщо випадкові величини x є незалежними, однаково розподіленими з нормальним розподілом $N(m, \sigma)$, то $mt = m$. Модифікована формула дисперсії медіани для малих непарних значень n :

$$\sigma_n^2 \approx \pi\sigma^2(2n - n + \pi). \quad (5)$$

Значення дисперсії шумів для випадкових величин в ковзному n -вікні арифметичного опосередкування (фільтр МНК першого порядку) має значення σ^2/n . Це означає, що для нормального білого шуму при рівних значеннях n вікон медіанного фільтру і фільтру ковзного опосередкування, дисперсія шумів на виході медіанного фільтру приблизно на 57% більша, ніж в ковзного фільтра. Щоб медіанний фільтр давав ту ж дисперсію, що і ковзне опосередкування, його апертура повинна бути на 57% більшою.

Положення змінюється, якщо щільність розподілу випадкових величин істотно відрізняється від нормальної і має довгі хвости, які і ліквідовуються медіанним фільтром, який забезпечує оптимальну і найправдоподібнішу оцінку поточних значень сигналу по мінімуму середньоквадратичного наближення. Таким чином, при експоненціальному (за модулем) розподілі щільності шумів:

$$f(x) = (\sqrt{2}/\sigma \exp(-\sqrt{2}|x-m|/\sigma)), \quad (6)$$

дисперсія шумів після медіанного фільтру на 50% менша ніж після фільтру ковзного середнього.

Граничним випадком таких розподілів є імпульсний шум, випадковий по амплітудах і місцю появи, який і придушується медіанними фільтрами з найбільшою ефективністю.

Імпульсні і точкові шуми. При реєстрації, обробці і обміні даними в сучасних вимірювально-обчислювальних і інформаційних

системах потоки сигналів окрім корисного сигналу $s(t - \tau_k)$ і флуктуаційних шумів $q(t)$ містять, як правило, імпульсні потоки $g(t) = \sum_k \delta(t - \tau_k)$ різної інтенсивності з регулярною або хаотичною структурою:

$$x(t) = s(t - \tau_0) + g(t) + q(t). \quad (7)$$

Припустимо, що шум $q(t)$ є статистичним процесом з нульовим математичним сподіванням, корисний сигнал $s(t - \tau_0)$ має невідоме часове положення $\tau_0 \in [0, T]$, а потік шумових імпульсів $g(t)$ має вигляд:

$$g(t) = \sum_{k=1}^K \varepsilon_k a_k g(t - \tau_k), \quad (8)$$

де a_k – амплітуда імпульсів в потоці; τ_k – невідоме часове положення імпульсів $\varepsilon_k = 1$ з ймовірністю p_k і $\varepsilon_k = 0$ з ймовірністю p_k . Таке завдання імпульсної перешкоди відповідає потоку Бернуллі.

При застосуванні до потоку $x(t)$ ковзної медіанної фільтрації з вікном N відліків (N – непарне) медіанний фільтр повністю усуває одиночні імпульси, віддалені один від одного мінімум на половину апертури фільтру, і придушує імпульсні перешкоди, якщо кількість імпульсів в межах апертури не перевищує $(N-1)/2$. У цьому випадку, при $p_k = p$ для всіх імпульсів перешкоди, ймовірність приглушення перешкод визначається:

$$R(p) = \sum_{m=0}^{(N-1)/2} C_N^m p^m (1-p)^{N-p}. \quad (9)$$

Якщо ймовірність помилки не дуже велика, то медіанна фільтрація навіть з достатньо малою апертурою значно зменшить число помилок. Ефективність виключення шумових імпульсів підвищується із збільшенням апертури фільтру, але одночасно може збільшуватися і спотворення корисного сигналу.

Розрахунок параметрів АЦП для забезпечення ефективної роботи фільтрів. Медіанні фільтри широко використовуються для оброблювання зображень причому для них визначені адаптивні алгоритми вибору порядку і зваження



коефіцієнтів [13]. Розроблені аналогічні алгоритми і для аналізу хвильових полів, а для віброейсмичних гармонічних сигналів розроблені медіанні фільтри парних порядків. Разом з тим, щодо виділення інформативних сигналів з шуму під час приймання даних в системах обміну інформацією та визначення вимог до них публікацій не знайдено.

При виділенні інформативного сигналу в широкопasmовій 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 у відповідності з виразом:

$$y_j = \sum_{i=0}^{N-1} x_i, \quad (10)$$

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

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

Оскільки реєстрацію значень, що надходять з каналу зв'язку, доцільно здійснювати з використанням АЦП, то необхідно визначити його основні параметри. Мінімальна кількість відліків, які необхідно зафіксувати для очищення інформативного сигналу від шуму медіанним фільтром, визначається як $\frac{N-1}{2} \cdot k_m$, де $k_m \geq 1$ – коефіцієнт запасу дискретизації сигналу:

$$T_{ADC} \leq \frac{2 \cdot k_m}{(N-1) \cdot v \cdot k_v} - T_{WR} - T_{RD}. \quad (11)$$

де T_{ADC} – тривалість циклу перетворення АЦП; T_{WR} – тривалість програмного циклу запуску АЦП за допомогою інтерфейсної схеми до моменту подання сигналу “Пуск”; T_{RD} – тривалість програмного циклу зчитування даних з АЦП від моменту визначення сигналу “Кінець перетворення” до моменту записування даних до пам'яті.

Опорна напруга АЦП не повинна бути меншою, ніж вхідний сигнал $\hat{x}(t)$ з урахуванням похибки квантування. Для оцінювальних розрахунків можна скористатись спрощеною формулою:

$$U_{0ADC} \geq \Delta U_{ADC} + v \geq |U_c| + U_\xi, \quad (12)$$

$$U_{0ADC} \cdot \left(1 - \frac{1}{N_{ADC}}\right) \geq |U_c| \cdot \left(v + \frac{1}{\sqrt{h^2}}\right). \quad (13)$$

Для двійкового аналого-цифрового перетворювача кінцева формула для визначення кількості розрядів АЦП незалежно від виду сигналу:

$$n_{ADC} \geq \log_2 \left(\frac{U_{0ADC}}{U_{0ADC} - |U_c| \cdot \left(v + \frac{1}{\sqrt{h^2}}\right)} \right) + 1. \quad (14)$$

Таким чином, впродовж 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:

$$\chi(t) = \sum_{j=0}^{L-1} \kappa_{x,j} \cdot U_{x,j} \cdot f(t - \tau_{x,j}), \quad (15)$$

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

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

$$s_x(\tau_x) = p_{x,j} \cdot w_j(\tau_x), \quad (16)$$

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

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

Якщо комбінований сигнал $\hat{x}(t)$ дискретизується за часом з інтервалом ΔT і ці відліки піддаються ковзній рекурсивній медіанній фільтрації з апертурою N , то з урахуванням утворювальної функції $\Theta(z)$ потоку Бернуллі:



$$\Theta(z) = \prod_{i=0}^{N-1} (1 + p_{\chi,i} \cdot (z-1)) = \sum_{i=0}^N p_{\chi,i} \cdot z^i \quad (17)$$

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

Можна записати імовірність вилучення імпульсної перешкоди як:

$$P_{np} = \sum_{i=0}^{N-1} p_i, \quad (18)$$

або у випадку рівності всіх p_i , для потоку Бернуллі:

$$P_{np}^{(B)} = \sum_{i=0}^{N-1} C_N^i \cdot p_{\chi}^i \cdot (1-p_{\chi})^{N-i}. \quad (19)$$

Якщо $\frac{p_j}{\sum_{j=0}^{L-1} p_j} \ll 1$, то потік за своїми

властивостями наближається до потоку Пуассона, і:

$$\Theta(z) = e^{\Lambda(z-1)}, \quad (20)$$

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

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

Значення $N \cdot \Delta T$ характеризує часовий інтервал, на якому беруться N кількість відліків. Тоді:

$$P_{np}^{(P)} = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{\Lambda^i}{i!} \cdot e^{-\Lambda}. \quad (21)$$

Результати розрахунків імовірностей вилучення імпульсної перешкоди від імовірності p_{χ} для рекурсивних медіанних фільтрів з різними апертурами наведені на рис. 2. Отримані результати показують 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 співпадають, а сигнали знаходяться у протифазі, оскільки в цьому випадку буде зафіксована лише відсутність сигналу (один розряд кодової комбінації).

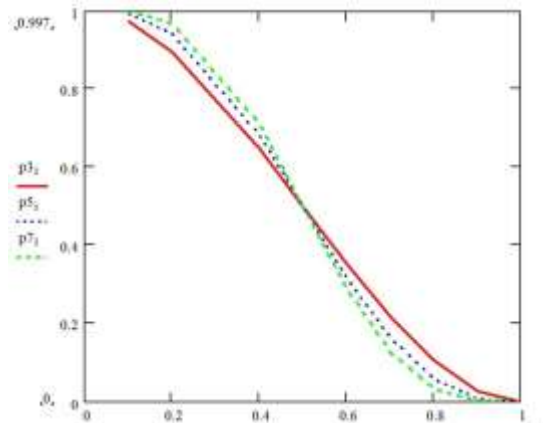


Рис. 2. Розрахунки імовірностей вилучення імпульсної перешкоди p_N від імовірності p_{χ} для рекурсивних медіанних фільтрів з апертурами $N = 3, 5, 7$

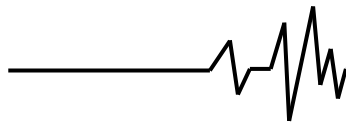
Помилка може виникнути у випадку, коли перешкода повністю імітує додаткову функцію Хаара, яка використовується для даного каналу. Ця ситуація є гіпотетичною, а в усіх інших випадках інформативний сигнал ідентифікується алгоритмічним шляхом

Розроблення алгоритму швидкого оброблювання значень медіанним фільтром. Медіанна фільтрація є достатньо вивченим і широко використовуваним апаратом, що використовуються для цифрового оброблювання сигналів. В багатьох випадках використання медіанного фільтра більш ефективно порівняно з іншими за рахунок нелінійності характеристики. Найбільш перспективним виявляється використання таких фільтрів при імпульсних перешкодах, але і для білого шуму цей фільтр дає позитивні результати.

Для медіанного фільтра достатньо просто реалізується алгоритм швидкого оброблювання, який базується на побудові різницевої матриць за допомогою порогової функції насичення $F_{ij} = f(x_i - x_j)$, в якій

$$f(\Delta x) = \begin{cases} 1, \Delta x \geq 0 \\ 0, \Delta x < 0 \end{cases} \quad (22)$$

Для фільтра з апертурою $N = 5$ при перших п'яти значеннях матриця F_0 буде мати вигляд (23).



$$F0 = \begin{pmatrix} f(x_0 - x_0) & f(x_1 - x_0) & f(x_2 - x_0) & f(x_3 - x_0) & f(x_4 - x_0) \\ f(x_0 - x_1) & f(x_1 - x_1) & f(x_2 - x_1) & f(x_3 - x_1) & f(x_4 - x_1) \\ f(x_0 - x_2) & f(x_1 - x_2) & f(x_2 - x_2) & f(x_3 - x_2) & f(x_4 - x_2) \\ f(x_0 - x_3) & f(x_1 - x_3) & f(x_2 - x_3) & f(x_3 - x_3) & f(x_4 - x_3) \\ f(x_0 - x_4) & f(x_1 - x_4) & f(x_2 - x_4) & f(x_3 - x_4) & f(x_4 - x_4) \end{pmatrix}, \quad (23)$$

або в узагальненому вигляді:

$$F0 = \begin{pmatrix} F_{00} & F_{10} & F_{20} & F_{30} & F_{40} \\ F_{01} & F_{11} & F_{21} & F_{31} & F_{41} \\ F_{02} & F_{12} & F_{22} & F_{32} & F_{42} \\ F_{03} & F_{13} & F_{23} & F_{33} & F_{43} \\ F_{04} & F_{14} & F_{24} & F_{34} & F_{44} \end{pmatrix}. \quad (24)$$

Зсув на одну позицію вздовж ряду значень дає матрицю F1:

$$F1 = \begin{pmatrix} F_{11} & F_{21} & F_{31} & F_{41} & \vdots & F_{51} \\ F_{12} & F_{22} & F_{32} & F_{42} & \vdots & F_{52} \\ F_{13} & F_{23} & F_{33} & F_{43} & \vdots & F_{53} \\ F_{14} & F_{24} & F_{34} & F_{44} & \vdots & F_{54} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ F_{15} & F_{25} & F_{35} & F_{45} & & F_{55} \end{pmatrix}, \quad (25)$$

в якій потрібно розраховувати лише дев'ять значень, розташованих у виділеній області.

Сума різниць значень F_{ij} за стовпчиками:

$$F_i = \sum_{j=0}^N F_{ij} = \sum_{j=0}^N f(x_i - x_j), \quad (26)$$

показує номер значення по величині і дає можливість сортувати зареєстровані значення x_j за величиною: 1 відповідає мінімальному, N – максимальному, а $\frac{(N+1)}{2}$ – медіанному значенню.

Таким чином, для реалізації алгоритму швидкого оброблювання значень медіанним фільтром необхідно здійснити ряд дій:

- сформувати матрицю F0 для перших N зареєстрованих значень згідно вибраної апертури фільтра;
- розрахувати значення $F_{0,j}$ для кожного зі стовпчиків матриці F0;
- вибрати необхідне значення з перших N зареєстрованих;
- для матриці Fn визначити значення

$F_{(n+j)(n+N-1)}$ та $F_{(n+N-1)(n+j)}$ при $0 \leq j < N$;

- з попередньо розрахованих значень

$F_{n,j\pm 1}$ вилучити значення $F_{(n-1)(n+j)}$ та $F_{(n+j)(n-1)}$;

- до стовпчика $F_{(n+j)}$ матриці Fn додати значення $F_{(n+j)(n+N-1)}$.

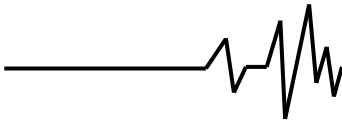
Дії продовжуються до тих пір, поки всі значення не будуть оброблені.

Такий алгоритм дозволяє у випадку необхідності замість середнього вибрати інший ранжований елемент від мінімального до максимального і може бути достатньо просто реалізований на будь-якому процесорі, в тому числі і на однокристальних мікроконтролерах.

Розроблення програмного забезпечення.

Програма, що розробляється повинна виконувати медіанну фільтрацію над масивом даних, який представляє собою набір значень виміряного сигналу. Але крім ефективної обчислювальної здатності вона повинна бути зручною для користувача, а також бути модульною, тобто такою, що дозволить при необхідності модифікувати її, або використати як частину іншої програми.

Виходячи із загальних принципів медіанної фільтрації описаних вище, програмно, роботу медіанного фільтра, можна розбити на три етапи, що виконуються циклічно



для кожного значення вхідного масиву. Так в циклі для кожного значення масиву, спочатку формується вікно із заданим розміром (при чому розмір вікна повинен бути не парним), потім це вікно сортується по зростанню, і з відсортованого вікна вибирається серединне значення, яке і є результатом застосування фільтрації для заданого елемента вхідного масиву. Отримане значення записується відповідно у результуючий масив. Кожний із вказаних трьох етапів реалізується окремою функцією.

Схема функції, що реалізує формування вікна заданого розміру передбачає прийняття у якості аргументів саме вікно і його розмір. Маючи вказівник на поточний елемент масиву, для того, щоб сформувати вікно потрібно скопіювати із масиву до вікна, $n/2$ елементів з ліва від поточного і стільки ж справа. Копіювання виконується поелементно відповідно в двох циклах.

Сортування виконується методом перестановки. Сусідні елементи міняються місцями доти, доки не буде виконано жодної перестановки за один прохід усього масиву. Кількість таких проходів рівна кількості елементів у масиві. В результаті сортування реалізується у вигляді вкладеного циклу: внутрішній відповідає за перестановки сусідніх елементів, якщо вони розташовані не по зростанню, а зовнішній виконує перегляд масиву, доки не буде припинено перестановки.

Схема вибору серединного елемента з вікна. Метою цієї функції є встановити вказівник на середину відсортованого по зростанню вікна. Для цього вказівник встановлюється початок вікна, а потім в циклі зсувається, доти доки не буде досягнуто серединний елемент.

Проходячи усі елементи результуючого масиву, у циклі з постумовою, програма виводить значення результату фільтрування к вказаний текстовий файл.

Функція, що виконуватиме виведення графіку сигналу на екран буде виконуватись ініціалізація графічного модуля і параметрів виведення, а потім в циклі з постумовою виводитиметься кожна точка на екран. Виконуючи програмну реалізацію необхідно буд врахувати масштаб. По закінченні виведення сигналу виконується деініціалізація графічного модуля.

Оскільки цифрові фільтри передбачають обробку вже наявного в пам'яті комп'ютера чи мікрокомп'ютера масиву даних для їх подальшої обробки, важливим фактором, що впливатиме на швидкодію програми буде обрана для зберігання відліків сигналу структура даних. При великих об'ємах оброблюваної інформації повинен бути

мінімізованим час доступу до такої структури. Як відомо з теорії алгоритмів [15], однією із найбільш оптимальних структур організації даних із точки зору часу обміну є зв'язані списки. Тому в розроблювальній програмі для зберігання значень вхідного сигналу реалізується двонаправлений, замкнутий зв'язний список.

Елементом розроблювального списку є структура типу `mass`, що містить три поля. Поле `data` типу `double` для зберігання самого значення сигналу та поля `next` і `prev`, що є вказівниками на тип `mass`, для реалізації відповідно зв'язку поточного елемента списку із попереднім і наступним елементами.

Список доцільно організовувати динамічно, що дасть змогу зберігати дані будь-якого наперед не заданого об'єму, за рахунок чого буде економитись пам'ять.

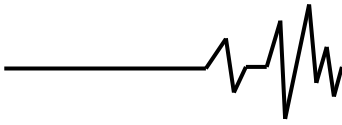
Застосовуючи зазначені вище переваги парадигм об'єктно-орієнтованого програмування до вирішення поставленої задачі, передбачаючи в майбутньому подальше розширення її функціональності і використання як частини більш складної системи, стає очевидним, що реалізація програми фільтрації у вигляді окремого класу, в якому закриті члени будуть зберігати інформацію про вхідний та вихідний сигнали, а відкриті методи представлятимуть зручний інтерфейс для роботи з ними.

Таким класом в реалізованій програмі є клас `massiv`. Його членами є вказівник `start` типу `mass` на початок списку, вказівник `current` того ж типу на поточний елемент, що розглядається та `length` – кількість елементів в списку.

Відкриті методи класу повинні реалізовувати додавання елемента в початок списку, очищення списку, виведення вмістимого списку у текстовий файл, побудову графіка. В закритих методах реалізуватиметься сортування елементів по зростанню, копіювання вказаної частини елементів даного списку у дочірній список – вікно фільтра, визначення медіанного елемента у списку.

Розглянемо кожний із методів окремо. Метод `voidadd(doubleval)` виконує додавання елемента в початок списку. У якості аргументу він приймає величину типу `double` – значення сигналу на певному відліку. Якщо список ще не містить жодного елемента, тобто `length` рівна нулю, то виділяється пам'ять під початок списку на яку вказує вказівник `start` і список зациклюється. Якщо `length` більше нуля, то нове значення вставляється в початок списку, попередньо виділивши під нього пам'ять.

Очищення списку виконує метод `voidclean()`. У циклі, проходячи список, видаляється кожний поточний елемент,



зберігаючи у буферній змінній вказівник на наступний елемент.

Метод `voidoutf(ofstream *fo)` виконує в циклі по елементне виведення вмістимого списку у файловий потік типу `ofstream`.

Для більшої наочності результату фільтрації, клас `massiv` має публічний метод `voidplot(intcol)`. Цей метод, використовуючи бібліотеку функцій `graphics.h`, будує сигнал по заданих відліках, що зберігаються у списку. У якості аргументу функція `plot` приймає цілочисленне значення `col`, яким задається колір графіка. Це потрібно при побудові декількох графіків на одному екрані, для кращої їх розрізненості. Спочатку поточна точка переноситься у центр екрану, а далі за допомогою функції `lineto(int, int)` бібліотеки `graphics.h`, збережені у списку значення відліків поєднуються лініями між собою.

Для того щоб визначити медіанне значення в обраному вікні, вибірку потрібно відсортувати по зростанню, а потім взяти з неї елемент, що знаходиться по середині. В даній реалізації медіанного фільтру, відліки, що формують вікно, як і значення всього сигналу зберігаються у зв'язаному двунаправленому списку, тобто також представляють собою екземпляр класу `massiv`. Сортування списку виконує метод `voidsort()`. В якому реалізується метод сортування перестановками.

Метод `voidChild(massiv *ch, intwindow)` виконує вибірку вікна значень із даного списку в список `ch` довжиною `window`, який передається функції як аргумент. Список `ch` формується з $(window-1)/2$ елементів, що знаходяться зліва від поточного елемента і з такої ж кількості елементів, що знаходяться справа від поточно елемента.

Метод `doublemiddle()`, повертає елемент списку під номером $(length-1)/2$, який після сортування списку є медіанним значенням. Для цього потрібно у циклі пройти перші номером $(length-1)/2$ елементи списку зсуваючи вказівник.

В головній функції програми `voidmain()`, створюються два екземпляри класу `massiv`: `m` – зберігає вхідний сигнал, `res` – вихідний сигнал. У циклі реалізується текстове меню. Скануючи клавіатуру функцією `getch()` і аналізуючи коди натиснутих клавіш, що зберігаються у змінній `what`, структурою `switch` реалізується вибір пунктів меню.

Якщо було натиснуто клавішу «1», що має код 59, програма пропонує ввести користувачу назву файлу, що містить набір значень вхідного сигналу. Далі з файлу по одному читаються значення і методом `add(double)` додаються до списку `m`.

При натисканні клавіші «2», що має код 50, програма пропонує додати одне значення до списку. Користувач вводить з клавіатури значення відліку яке методом `add(double)` додається до списку.

При натисканні клавіші «3» виконується фільтрація сигналу, що міститься у списку змінної `m`. Для цього почергово у циклі для кожного елемента списку `m` вибирається вікно заданого розміру і зберігається у змінній `t`, що також є екземпляром класу `massiv`. Список `t` сортується методом `sort()`, і в результуючий список `res` додається середнє значення списку `t`, яке визначається методом `middle()`.

Натискання клавіші «4» виводить данні з результуючого списку у текстовий файл. Програма не дасть змоги користувачу вивести результат у файл, поки не буде виконано фільтрацію, тобто пункт «3» меню. Якщо фільтрація виконана, то програма запрошує у користувача назву вихідного файлу і використовуючи метод `outf(ofstream *fo)` записує у нього відфільтрований сигнал.

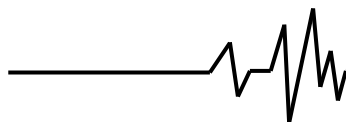
Натискання клавіші «5» виконує побудову графіків вхідного і вихідного сигналів на екрані використовуючи описаний вище метод `plot(intcol)`. Програма попередить користувача якщо фільтрація ще не була виконана. Натискання клавіші «6» виконує вихід з програми.

Експериментальна перевірка отриманих результатів. Для оцінки ефективності роботи розробленої програми доцільно сформувані дискретний сигнал достатньо складної форми, піддати його дії адитивного білого шуму різної амплітуди і обробити медіанним фільтром при вибраній апертурі. Для виконання обчислень задамо значення апертури фільтру $N = 3$ та $N = 5$. Згенерований тестовий сигнал записаний в файл, з якого потім програма читає дані. Сигнал вибраний біполярним з амплітудою 12 В, формат кодової комбінації один байт. Результати розрахунків зведені до таблиці 1 та 2.

Таблиця 1

Амплітуди вхідного та вихідного (очищеного) сигналів медіанного фільтра з апертурою $N = 3$

Співвідношення: $U_c/U_\xi = 20$		Співвідношення: $U_c/U_\xi = 10$		Співвідношення: $U_c/U_\xi = 6,7$		Співвідношення: $U_c/U_\xi = 5$		Співвідношення: $U_c/U_\xi = 4$	
$U_{вх}$	$U_{вих}$	$U_{вх}$	$U_{вих}$	$U_{вх}$	$U_{вих}$	$U_{вх}$	$U_{вих}$	$U_{вх}$	$U_{вих}$
12.59	12.59	13.18	13.18	13.77	13.77	14.35	14.35	14.94	14.94
12.60	12.59	13.20	13.18	13.79	13.77	14.39	14.35	14.98	14.94



12.20	12.20	12.40	12.40	12.60	12.60	12.80	12.80	12.99	12.99
-12.07	-11.81	-12.46	-11.19	-11.11	-11.11	-10.46	-10.46	-12.87	-12.74
-11.81	-12.07	-11.19	-12.09	-13.70	-11.47	-11.63	-11.63	-12.74	-12.74
-12.44	-11.81	-12.09	-12.09	-11.47	-11.65	-12.93	-11.63	-9.01	-12.74
-11.71	-11.71	-12.34	-12.29	-11.65	-11.47	-10.38	-12.18	-13.72	-10.61
-11.61	-11.71	-12.29	-12.29	-10.90	-10.90	-12.18	-12.18	-10.61	-11.76
-11.90	-11.61	-10.80	-10.80	-10.90	-10.90	-12.69	-12.18	-11.76	-10.61
12.06	11.88	10.93	10.93	11.34	11.05	9.97	9.97	13.69	12.44
11.88	11.88	12.55	12.14	11.05	11.05	10.51	10.51	12.44	12.44
11.81	11.88	12.14	12.55	10.83	10.83	12.24	11.50	9.29	9.97
11.89	11.89	12.94	12.14	10.35	10.83	11.50	11.50	9.97	9.47
11.95	11.89	11.53	11.85	13.02	12.27	11.23	11.50	9.47	9.97
11.74	11.95	11.85	11.85	12.27	12.27	11.53	11.53	10.14	10.14
12.47	12.12	13.11	12.81	10.38	10.78	11.77	11.53	12.30	11.38
12.12	12.46	12.81	12.81	10.78	10.48	10.95	11.77	11.38	11.38
12.46	12.12	11.25	11.56	10.48	10.78	13.86	12.46	11.04	11.38
11.80	12.04	11.56	11.37	10.89	10.89	12.46	13.82	11.41	11.41
12.04	12.02	11.37	11.37	12.18	11.63	13.82	12.46	11.71	11.41
12.02	12.02	11.22	11.22	11.63	11.63	11.18	11.18	10.68	10.68
-11.70	-11.70	-12.68	-11.44	-11.97	-11.97	-14.32	-9.60	-9.00	-9.00
-12.56	-11.82	-11.44	-11.90	-13.74	-11.97	-9.60	-11.56	-11.45	-9.41
-11.82	-11.82	-11.90	-11.44	-10.20	-10.20	-11.56	-9.60	-9.41	-9.41

При аналізі отриманих даних було побудовано графіки вхідного і вихідного сигналу для кожної апертури з відповідним співвідношенням шум-перешкода (рис. 3), що дозволяє зробити висновок про високу ефективність роботи медіанних фільтрів,

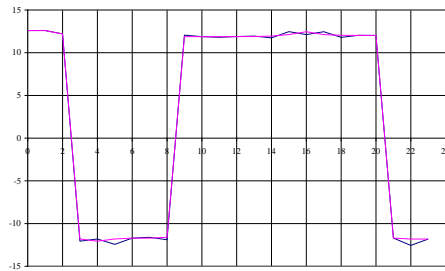
теоретичне дослідження яких проведено вище. Збільшення апертури спроможне значно підвищити ефективність, але пов'язане з додатковими апаратними і програмними витратами.

Таблиця 2
Амплітуди вхідного (зашумленого) та вихідного (очищеного) сигналів медіанного фільтра з апертурою N = 5

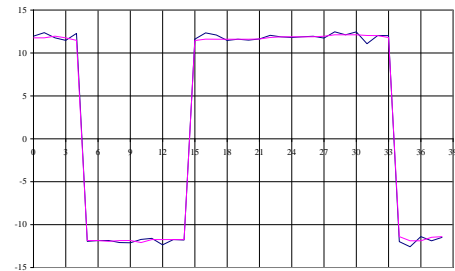
Співвідношення: $U_c/U_\xi = 20$		Співвідношення: $U_c/U_\xi = 10$		Співвідношення: $U_c/U_\xi = 6,7$		Співвідношення: $U_c/U_\xi = 5$		Співвідношення: $U_c/U_\xi = 4$	
$U_{вх}$	$U_{вих}$	$U_{вх}$	$U_{вих}$	$U_{вх}$	$U_{вих}$	$U_{вх}$	$U_{вих}$	$U_{вх}$	$U_{вих}$
11.96	11.76	13.18	12.40	13.77	12.60	14.35	12.80	14.94	12.99
12.37	11.76	13.20	13.13	13.79	13.69	14.39	14.25	14.98	14.81
11.76	11.96	12.40	13.13	12.60	13.69	12.80	14.25	12.99	14.81
11.47	11.76	13.13	12.40	13.69	12.60	14.25	12.80	14.81	12.99
12.28	11.47	12.35	12.35	12.52	12.52	12.70	12.70	12.87	12.87
-11.95	-11.85	-10.80	-10.80	-12.37	-10.81	-12.69	-9.61	-12.87	-9.01
-11.86	-11.86	-11.78	-10.96	-11.20	-11.20	-12.59	-12.59	-12.74	-12.74
-11.85	-11.95	-10.96	-10.97	-10.81	-11.26	-9.61	-12.59	-9.01	-12.74
-12.09	-11.86	-10.97	-11.41	-13.09	-11.26	-13.37	-11.81	-13.72	-11.76
-12.12	-11.85	-11.41	-11.41	-11.26	-11.40	-10.89	-11.45	-10.61	-11.31
-11.73	-12.09	-13.13	-11.65	-11.40	-11.40	-11.81	-11.45	-11.76	-11.31
-11.60	-11.75	-11.65	-11.65	-11.67	-11.40	-11.45	-11.45	-11.31	-11.31
-12.36	-11.75	-11.77	-11.65	-11.06	-11.40	-11.40	-11.81	-11.26	-11.76
-11.75	-11.75	-11.27	-11.27	-11.69	-11.06	-12.38	-11.45	-12.48	-11.31
-11.80	-11.75	-11.27	-11.27	-10.39	-10.39	-12.49	-11.40	-12.62	-11.26
11.61	11.45	12.94	11.53	10.83	10.35	10.43	9.80	11.78	10.80
12.34	11.61	11.85	12.81	13.02	10.83	13.35	10.43	10.80	11.78
12.09	11.60	13.11	11.85	12.27	10.78	12.36	10.38	9.31	12.34
11.46	11.60	12.81	11.85	10.38	10.78	9.83	10.38	13.36	12.34
11.60	11.60	11.25	11.56	10.78	10.78	10.38	10.38	12.34	12.34



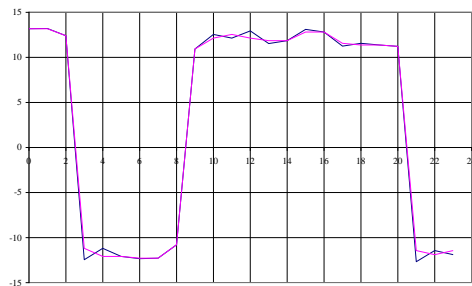
11.50	11.60	11.56	11.37	10.48	10.78	9.97	10.38	14.35	12.34
11.63	11.63	11.37	11.25	10.89	10.89	10.51	10.51	10.82	12.34
12.06	11.81	11.22	11.37	12.18	11.42	12.24	11.23	11.62	14.01
11.88	11.88	10.90	11.37	11.63	11.63	11.50	11.50	14.76	11.62
11.81	11.89	12.68	11.22	11.42	11.65	11.23	11.53	14.01	11.62
11.89	11.88	12.18	11.19	11.65	11.63	11.53	11.50	10.11	10.89
11.95	11.89	10.92	11.19	11.83	11.65	11.77	11.53	10.89	10.42
11.74	11.95	11.19	11.19	11.21	11.83	10.95	11.77	10.42	10.11
12.47	12.12	10.99	11.19	13.39	12.34	13.86	12.46	10.04	10.42
12.12	12.12	11.26	11.26	12.34	12.34	12.46	12.46	9.25	10.42
12.46	12.12	12.12	11.62	13.37	12.34	13.82	12.46	13.69	10.04
11.08	12.04	11.75	11.75	11.39	12.10	11.18	12.13	12.44	9.97
12.04	12.02	11.62	11.75	12.10	12.04	12.13	12.05	9.29	9.97
12.02	11.80	11.77	11.62	12.04	11.39	12.05	11.18	9.97	9.29
-11.99	-11.40	-13.13	-11.65	-11.97	-10.20	-11.97	-9.60	-10.52	-10.52
-12.58	-11.89	-11.65	-11.65	-13.74	-11.67	-14.32	-11.56	-14.84	-11.13
-11.40	-11.89	-11.77	-11.65	-10.20	-11.67	-9.60	-11.56	-11.13	-11.13
-11.89	-11.48	-11.27	-11.27	-11.67	-10.45	-11.56	-9.93	-11.42	-11.13
-11.48	-11.40	-11.27	-11.27	-10.45	-10.20	-9.93	-9.6	-10.18	-10.18



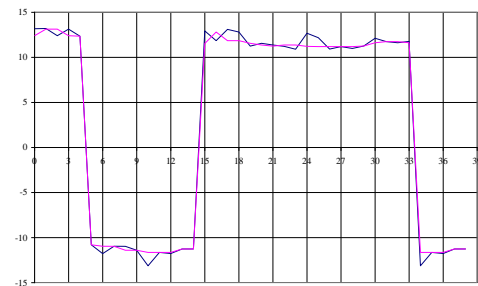
а)



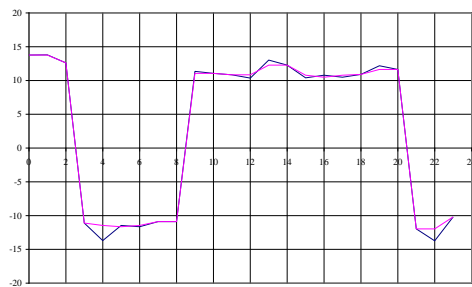
б)



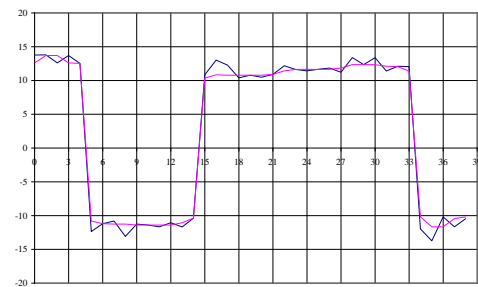
в)



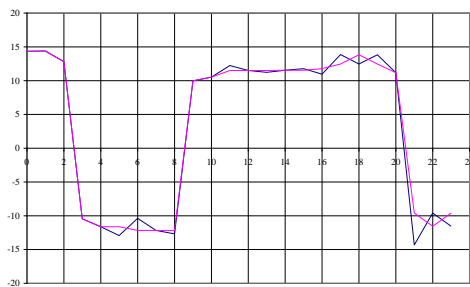
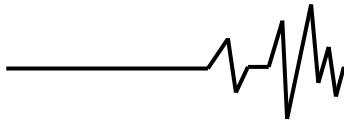
г)



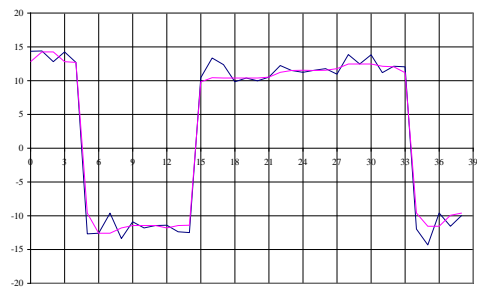
д)



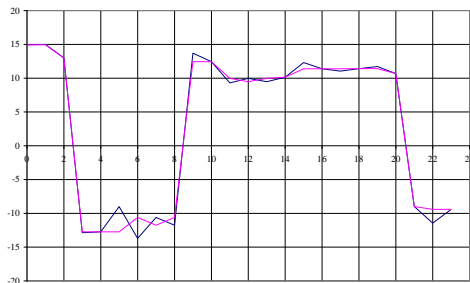
е)



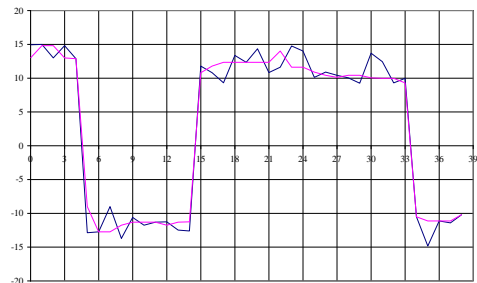
є)



ж)



з)



і)

Рис. 3. Результати фільтрації прямокутного імпульсу медіанним фільтром: а) апертура фільтру 3, співвідношення сигнал/перешкода 5%; б) 5, 5%; в) 3, 10%; г) 5, 10%; д) 3, 15%; е) 5, 15%; є) 3, 20%; ж) 3, 20%; з) 3, 25%; і) 5, 25% відповідно. Суцільною лінією показано вхідний сигнал, точковою сигнал після фільтрації.

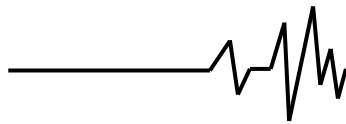
Висновки. В даній роботі розглядається питання фільтрації шумів в електричних сигналах засобами цифрового оброблювання. Представлена класифікація інструментів цифрової обробки сигналів. Так як найбільш ефективним для фільтрації шумів в електричних сигналах є цифрові фільтри то їм приділяється найбільша увага. Проведено класифікацію існуючих цифрових фільтрів. Для подальшої розробки обрано медіанний фільтр, який відноситься до класу евристичних і є одним із найбільш ефективним при фільтрації сигналів від імпульсних завад і білого шуму. Виділивши переваги і недоліки проведено огляд існуючих програмних засобів, що реалізують медіанний фільтр. Встановлено, що актуальною задачею є підвищення швидкості оброблювання і зменшення ресурсних затрат при реалізації таких фільтрів.

З метою підвищення швидкодії оброблювання інформації, розроблено алгоритм медіанної фільтрації на основі різницевої матриць за допомогою порогової функції насичення. Розроблено програмне забезпечення, що реалізує запропонований алгоритм. Представлені схеми основної програми, зчитування значень сигналу з файлу, фільтрації, сортування даних по амплітуді, вибору вікна елементів, вибору зареєстрованих значень. Проведена експериментальна перевірка реалізованих медіанних фільтрів з різною апертурою при різних рівнях імпульсних завад. Також визначені умови реєстрації даних

і параметри АЦП для забезпечення ефективної роботи фільтрів.

Список використаних джерел

1. Гольденберг Л. М. Цифровая обработка сигналов: Справочник. М. : Радио и связь, 1985. 312 с.
2. Гольденберг Л. М. Цифровая обработка сигналов: Учебное пособие для вузов. М. : Радио и связь, 1990. 256 с.
3. Клаербоут Д. Ф. Теоретические основы обработки геофизической информации с приложением к разведке нефти. М. : Недра, 1981. 304 с.
4. Канасевич Э. Р. Анализ временных последовательностей в геофизике. М. : Недра, 1985. 300 с.
5. Новиков Ю.В. Введение в цифровую схемотехнику. М. : Мир, 2006. 512 с.
6. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. М. : Вильямс, 2004. 992 с.
7. Семёнов И. В. Особенности использования медианных фильтров в системах управления. С.-Пб.: ГНЦ РФ-ЦНИИ "Электроприбор", 2006. 77 с.
8. Яровой Н. И. Адаптивная медианная фильтрация. Екатеринбург: ControlStyle, 2006. 38 с.
9. Воробьев Н. Одномерный цифровой медианный фильтр с трёхотсчётным окном. ChipNews. 1999. № 8. С. 35.



10. Знак В. И. Некоторые вопросы обработки периодических сигналов медианными фильтрами. Труды междунар. конф. "Информационные системы и технологии (ИСТ-2003)". Новосибирск: НГТУ, 2003.

11. Радченко Ю. С. Эффективность приёма сигналов на фоне комбинированной помехи с дополнительной обработкой в медианном фильтре. Журнал радиоэлектроники. 2001. № 7. С. 45

12. Большаков И. А., Ракошиц В. С. Прикладная теория случайных потоков. М. : Сов. радио, 1978, 248с.

13. Черненко С. А. Медианный фильтр. URL: http://www.logis-pro.kiev.ua/math_power_medianfilter_ru.html.

14. Страуструп Б. Язык программирования C++. М. : Вильямс, 2006. 768 с.

15. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы построения и анализ. М. : МЦНМО, 2002. 960 с.

16. Видмиш А. А., Возняк О. М. Оптимізація характеристик перетворювача в гальмівних перехідних режимах тягового двигуна постійного струму. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2019. №4 (107). С 54-67. DOI: 10.37128/2520-6168-2019-4-8.

17. Semenov A. A., Baraban S. V., Semenova O. O., Voznyak O. M., Vydmysh A. A., Yaroshenko L. V. Statistical Express Control of the Peak Values of the Differential-Thermal Analysis of Solid Materials. *Solid State Phenomena*. 2019. Vol. 291. P. 28-41. DOI: 10.4028/www.scientific.net/ssp.291.28.

References

1. Goldenberg, L. M. (1985). *Tsifrovaya obrabotka signalov: Spravochnik [Digital signal processing: Handbook]*. M. : Radio and communication, 312 [In Russian].

2. Goldenberg, L. M. (1990). *Tsifrovaya obrabotka signalov: Uchebnoe posobie dlya vuzov [Digital signal processing: Textbook for universities]*. M. : Radio and communication, 256 [In Russian].

3. Klaerbout, D. F. (1981). *Teoreticheskie osnovy obrabotki geofizicheskoy informatsii s prilozheniem k razvedke nefi [Theoretical foundations of geophysical information processing with an application to oil exploration]*. M. : Nedra, 304 [In Russian].

4. Kanasevich, E. R. (1985). *Analiz vremennih posledovatel'nostey v geofizike [Analysis of time sequences in geophysics]*. M. : Nedra, 300 [In Russian].

5. Novikov, Yu. V. (2006). *Vvedenie v tsifrovuyu shemotekhniku [Introduction to digital circuitry]*. M. : Mir, 512 [In Russian].

6. Ayficher, E. & Jervis, B. (2004).

Tsifrovaya obrabotka signalov. Prakticheskiy pohod [Digital signal processing. Practical hike]. M. : Vilyams, 992 [In Russian].

7. Semyonov, I. V. (2006). *Osobennosti ispolzovaniya mediannyih filtrov v sistemah upravleniya [Features of the use of median filters in control systems]*. S.-Pb.: GNTs RF-TsNII "Elektropribor", 77 [In Russian].

8. Yarovoy, N. I. (2006). *Adaptivnaya mediannaya filtratsiya [Adaptive median filtration]*. Ekaterinburg: ControlStyle, 38 [In Russian].

9. Vorobyov N. (1999). *Odnomernyj czifrovoy mediannyj filtr s tryokhotschyotnym oknom [One-dimensional digital median filter with three-count window]*. *ChipNews*. 8. 35. [In Russian].

10. Знак, В. И. (2003). *Nekotorye voprosy obrabotki periodicheskikh signalov mediannymi filtrami [Some issues of processing periodic signals by median filters]*. *Tруды mezhdunar. konf. "Informacionnye sistemy i tekhnologii (IST-2003)"*. Novosibirsk: NGTU. [In Russian].

11. Radchenko, Yu. S. (2001). *Effektivnost priyoma signalov na fone kombinirovannoj pomekhi s dopolnitel'noj obrabotkoj v mediannom filter [Signal reception efficiency against the background of combined interference with additional processing in the median filter]*. *Zhurnal radioelektroniki*, 7. 45 [In Russian].

12. Bolshakov, I. A. Rakoshicz, V. S.. (1978). *Prikladnaya teoriya sluchajnykh potokov [Applied theory of random flows]*. M. : Sov. Radio. [In Ukrainian].

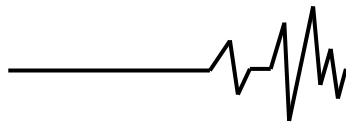
13. Chernenko, S. A., *Mediannyj filtr [Median filter]*. URL: http://www.logis-pro.kiev.ua/math_power_medianfilter_ru.html. [In Ukrainian].

14. Straustrup, B. (2006). *Yazyk programirovaniya C++ [C ++ programming language]*. M. : Vilyams. [In Russian].

15. Kormen, T., Lejzerson, Ch., Rivest, R. (2002). *Algoritmy postroenie i analiz [Algorithms construction and analysis]*. M. : MCzNMO. [In Russian].

16. Vidmish, A. A., Voznyak, O. M. (2019). *Optimizacziya kharakteristik peretvoryuvacha v galmivnikh perekhidnikh rezhimakh tyagovogo dviguna posti'jnogo strumu [Optimization of converter characteristics in brake transient modes of DC traction motor]*. *Tekhnika, energetika, transport APK*. 4(107). 54-67. DOI: 10.37128/2520-6168-2019-4-8. [In Ukrainian].

17. Semenov, A. A., Baraban, S. V., Semenova, O. O., Voznyak, O. M., Vydmysh, A. A., Yaroshenko, L. V. (2019). *Statistical Express Control of the Peak Values of the Differential-Thermal Analysis of Solid Materials. Solid State Phenomena*, 291. 28-41. DOI: 10.4028/www.scientific.net/ssp.291.28. [In English].



ИССЛЕДОВАНИЕ МЕДИАННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ОДНОМЕРНЫХ СИГНАЛОВ

В данной работе рассмотрены принципы цифровой обработки сигналов, общие положения цифровой фильтрации, существующие методы фильтрации шумов в электрических сигналах, в детальной форме исследуются медианные фильтры одномерных сигналов.

Для решения поставленной задачи представлена классификация инструментов цифровой обработки сигналов. Так как наиболее эффективными для фильтрации шумов в электрических сигналах есть цифровые фильтры то им уделяется наибольшее внимание.

Основная цель фильтрации сигналов заключается в необходимости изъятия информации, содержащейся в них. Эта информация, обычно присутствует в амплитуде сигнала (абсолютной или относительной), в частоте или в спектральном составе, в фазе или в относительных временных зависимостях нескольких сигналов.

Проведена классификация существующих цифровых фильтров. Для дальнейшей разработки выбран медианный фильтр, который относится к классу эвристических и является одним из самых эффективных при фильтрации сигналов от импульсных помех и белого шума. В результате проведенного обзора существующих вариантов программного обеспечения, которое реализует медианный фильтр было отмечено их преимущества и недостатки. Установлено, что актуальной задачей является повышение скорости обработки и уменьшение ресурсных затрат при реализации таких фильтров. Так же был разработан алгоритм быстрой медианной фильтрации и проведена экспериментальная проверка программно реализованных медианного фильтра с разной апертурой при различных уровнях флуктуационных помех. Эта программа отвечает всем требованиям современных нормативов и стандартов и дает возможность практического ее использования для решения реальных задач обработки сигналов.

С целью повышения быстродействия обработки информации, разработан алгоритм медианной фильтрации на основе разностных матриц с помощью пороговой функции насыщения. Разработано программное обеспечение, реализующее предложенный алгоритм. Представлены схемы основной программы, считывания значений сигнала из файла, фильтрации, сортировки данных по амплитуде, выбора окна элементов, выбора

зарегистрированных значений. Также определены условия регистрации данных и параметры АЦП для обеспечения эффективной работы фильтров.

Ключевые слова: электрический сигнал, цифровой фильтр, медианный фильтр, программный алгоритм, амплитуда, частота, апертура фильтра.

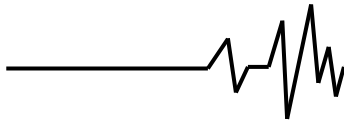
RESEARCH OF MEDIAN FILTERING OF ONE-DIMENSIONAL SIGNALS

This paper considers the principles of digital signal processing, the general provisions of digital filtering, existing methods of noise filtering in electrical signals, the median filters of one-dimensional signals are studied in detail.

To solve this problem, the classification of digital signal processing tools is presented. Since the most effective for filtering noise in electrical signals are digital filters, they are given the most attention. The main purpose of signal filtering is the need to extract the information contained in them. This information, which is usually present in the amplitude of the signal (absolute or relative), in frequency or spectral composition, in phase or in the relative time dependences of several signals. The classification of existing digital filters is carried out. For further development, a median filter was selected, which belongs to the class of heuristics and is one of the most effective in filtering signals from impulse noise and white noise. Highlighting the advantages and disadvantages, a review of existing software that implements the median filter. It is established that the urgent task is to increase the processing speed and reduce resource costs in the implementation of such filters, developed an algorithm for fast median filtering, conducted an experimental test of software-implemented median filters with different apertures at different levels of fluctuation noise. This program meets all the requirements of modern norms and standards, allows its practical use to solve real problems of signal processing.

In order to increase the speed of information processing, a median filtering algorithm based on difference matrices using the threshold saturation function has been developed. Developed software that implements the proposed algorithm. Schemes of the main program, reading of values of a signal from a file, filtering, sorting of data on amplitude, a choice of a window of elements, a choice of the registered values are presented. The conditions of data registration and ADC parameters to ensure efficient operation of filters are also defined

Key words: electrical signal, digital filter, median filter, software algorithm, amplitude, frequency, filter aperture.

**Відомості про авторів**

Видмиш Андрій Андрійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: andrijvydmysh1966@gmail.com).

Возняк Олександр Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: alex.voz1966@gmail.com).

Купчук Ігор Миколайович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри «Загальнотехнічних дисциплін та охорони праці» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: kupchuk.igor@i.ua).

Бойко Дмитро Леонідович – студент-бакалавр за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: dima.boyko_2903@gmail.com).

Купчук Ігорь Николаевич – кандидат технічних наук, старший преподаватель кафедри «Общетеchnических дисциплин и охраны труда» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008, e-mail: kupchuk.igor@i.ua).

Выдмыш Андрей Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетики, электротехники и электромеханики» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008, Украина, email: andrijvydmysh1966@gmail.com).

Возняк Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетики, электротехники и электромеханики» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008, Украина, email: alex.voz1966@gmail.com).

Бойко Дмитрий Леонидович – студент-бакалавр по специальности 141 «Электроэнергетика, электротехника и электромеханика» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008, e-mail: dima.boyko_2903@gmail.com).

Vydmysh Andriy – *candidate of technical sciences (Ph.D in Engineering)*, Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics of Vinnitsa National Agrarian University (3 Soniachna St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: andrijvydmysh1966@gmail.com).

Voznyak Oleksandr – *candidate of technical sciences (Ph.D in Engineering)*, Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics of Vinnitsa National Agrarian University (3 Soniachna St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: andrijvydmysh1966@gmail.com).

Kupchuk Igor – *candidate of technical sciences (Ph.D in Engineering)*, Senior Lecturer of the Department of General Technical Disciplines and Occupational Safety of Vinnitsa National Agrarian University (Sonyachna St., 3, Vinnitsa, Ukraine, 21008, e-mail: kupchuk.igor@i.ua).

Boyko Dmitry – *bachelor student* in specialty 141 «Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics» of Vinnitsia National Agrarian University (Sonyachna St., 3, Vinnitsa, Ukraine, 21008, e-mail: dima.boyko_2903@gmail.com).