

УДК 621.391

А.А. Гризо, І.М. Невмержицький, О.Б. Обозовський

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## СЕЛЕКЦІЯ ІМПУЛЬСНИХ ЗАВАД НА ПІДСТАВІ МОДИФІКОВАНОГО АЛГОРИТМУ ВЕКТОРНОЇ МЕДІАННОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

Запропонований варіант алгоритму селекції імпульсних завад заснований на двокомпонентній медіанній фільтрації вхідного процесу. Класичний алгоритм векторного медіанного фільтру модифіковано шляхом введення класифікатора стану, результат якого використовується для керування операцією фільтрації. Показано, що використання модифікованого векторного медіанного фільтру забезпечує необхідний рівень селекції імпульсних завад не вдаючись суттєвого спотворення спектральних складових процесу.

**Ключові слова:** імпульсні завади, векторний медіанний фільтр, медіанна фільтрація.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Досвід використання радіолокаційних засобів у різних умовах сигнально-завадової обстановки свідчить, що крім постійного впливу віддзеркалень від місцевих предметів наземні оглядові РЛС РТВ підлягають впливу великої кількості джерел активних завад різного походження. У мирний час такими завадами, як правило, є внутрісистемні (несинхронні імпульсні) завади, індустріальні завади, грозові розряди та ін.

У воєнний час завадова обстановка значно погіршиться, імпульсні завади розглядаються як одні з найбільш дієвих засобів зниження ефективності угруповання РТВ. Велика кількість імпульсних завад, які ще додатково розмножуються при подальшій обробці у пристроях СРЦ, приводить до появи хибних цілей які перевантажують пристрої первинної та вторинної обробки інформації.

Таким чином, постає задача фільтрації імпульсних завад на фоні віддзеркалень від місцевих предметів. Задача ускладнюється тим, що придушення кожної складової передбачає виконання взаємовиключних операцій. У статті запропоновано варіант модифікованого векторного медіанного фільтру, який забезпечує селекцію імпульсних завад, при невеликому погіршенні якості наступних когерентних процедур обробки.

**Аналіз літератури.** У різних областях застосування цифрової обробки сигналів досить часто зустрічається ситуація, коли сигнал являє собою сукупність окремих складових, кожна з яких несе певну інформацію про властивості й характеристики даного сигналу. Такі сигнали називаються векторними, на відміну від скалярних сигналів, що мають тільки одну складову (наприклад, сигнал на виході амплітудного детектора характеризується тільки однією величиною амплітуди).

Прикладом векторних сигналів можуть служити, наприклад, сигнал несучий інформацію про амплітуду й фазу радіопроцеса, курсу або швидкості повітряного об'єкта (число складових, у цьому ви-

падку, може бути більше двох і визначається числом базових проекцій, у загальному випадку  $x, y, z$ ).

Більш часто зустрічається необхідність обробляти двовимірні векторні сигнали, наприклад, комплексні відліки сигналу  $\dot{U}_i$ , що представляють собою сукупність відліків двох квадратурних складових  $U_{s,i}$  й  $U_{c,i}$  або відліків амплітуди  $|U_i|$  й фази  $\arg(U_i)$  сигналу в моменти часу  $i \cdot T$  (де  $T$  – період послідовності зондувальних імпульсів).

Комплексні відліки сигналів на вході приймача можуть бути спотворені завадами різного характеру, у тому числі й імпульсного, тому постає завдання фільтрації таких сигналів.

Як відзначається в [1], природнім підходом до вирішення цього завдання є покомпонентна (квадратурна) обробка, це коли складові вхідного векторного сигналу інтерпретуються як окремі скалярні сигнали. Для фільтрації використовують різні лінійні й нелінійні фільтри, у тому числі й адаптивні.

У випадку фільтрації векторних сигналів, такий підхід має істотний недолік, незалежна покомпонентна адаптивна фільтрація порушує ідентичність квадратурних каналів, що приводить до додаткових нерегулярних фазових зсувів у послідовності вхідних відліків. Очевидно, що такі випадкові як за моментом появи, так і по величині фазові зсуви значно погіршують ефективність наступних процедур когерентної межперіодної обробки.

У роботах [1, 2] запропонований векторний медіанний фільтр і досліджено його властивості, зокрема, показано, що фільтр має всі властивості медіанних фільтрів і при цьому обробка не розділяється на покомпонентну.

Визначимо поняття векторного медіанного фільтра.

### Виклад основного матеріалу

Нехай  $F$  – представляє собою векторний сигнал, що містить  $k$  – компонент, тобто сигнал у кожний момент часу описується  $k$  – компонентним вектором.  $W$  – вікно кінцевого розміру  $n$  (апертура

фільтра). Відліки сигналу (вектора) у вікні  $W$  позначимо як  $F_i, i = 0, 1, \dots, n-1$ .

Позначимо відстань між двома векторами  $F_i, F_j$  як  $\rho(F_i, F_j)$ , тоді скалярна величина

$$R_i = \sum_{j=1}^n \rho(F_i, F_j), \quad (1)$$

є відстанню по вікню обробки, пов'язаним з вектором (визначеним щодо вектора)  $F_i$ .

Якщо  $R_0 \leq R_1 \leq \dots \leq R_{(n-1)}$ , то мається на увазі, що й відповідні вектора співвідносяться в такий же спосіб  $F_0 \leq F_1 \leq \dots \leq F_{(n-1)}$ .

У якості відстані  $\rho(F_i, F_j)$  широко використовуються різні норми ( $L$ ) векторного простору.

Наприклад, у векторному медіанному фільтрі (ВМФ) [2] для обчислення відстані  $R_i$  (1) використовується норма  $L_1$ :

$$\rho(F_i, F_j) = L_1(F_i, F_j) = \sum_{k=1}^1 |F_i^{<k>} - F_j^{<k>}|, \quad (2)$$

$1$  – розмірність вектора.

Часто використовується норма  $L_2$  (евклідова відстань), яка трактується як геометрична відстань у багатомірному просторі:

$$\rho(F_i, F_j) = L_2(F_i, F_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^1 (F_i^{<k>} - F_j^{<k>})^2}. \quad (3)$$

У тих випадках, коли потрібно додати більше значення більш віддаленим один від одного об'єктам, використовується квадрат евклідової відстані:

$$\rho(F_i, F_j) = \sum_{k=1}^1 (F_i^{<k>} - F_j^{<k>})^2. \quad (4)$$

Таким чином, відгуком векторного медіанного фільтра  $F^{ВМФ}$  є вектор  $F_k$  такий, що для будь-яких  $i = 0, \dots, n-1$

$$\sum_{j=0}^{n-1} \rho(F_k, F_j) < \sum_{j=0}^{n-1} \rho(F_i, F_j), k \neq i. \quad (5)$$

Інакше кажучи, фільтрація (ВМФ) зводиться до послідовного обчислення й порівняння значень відстані  $R_i$  з метою визначення вектора  $F_k$ , для якого воно мінімальне.

Продемонструємо порядок застосування фільтра ВМФ для вікна  $W$  розмірністю  $n = 3$  (рис. 1).

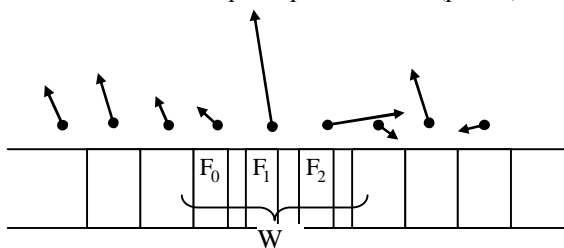


Рис. 1. Вихідна послідовність

Розрахуємо відстані  $R_i$  щодо вектора  $F_i$  ( $i=0, 1, 2$ ), з урахуванням того, що  $\rho(F_i, F_i) \equiv 0$ , одержимо.

$$R_0 = \rho(F_0, F_1) + \rho(F_0, F_2); \quad (6)$$

$$R_1 = \rho(F_1, F_0) + \rho(F_1, F_2); \quad (7)$$

$$R_2 = \rho(F_2, F_0) + \rho(F_2, F_1). \quad (8)$$

Геометричне трактування при використанні евклідової норми для розрахунку відстані  $R_i$ , наведено на рис. 2.

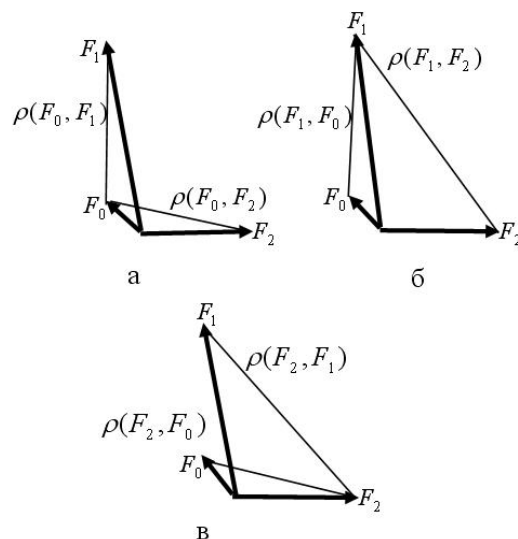


Рис. 2. Геометричне трактування відстані  $R_i$ :

- а – відстань  $R_0$ , пов'язана з вектором  $F_0$  дорівнює (6) и для розглянутого прикладу мінімальна;
- б – відстань пов'язана з вектором  $F_1$  дорівнює (7);
- в – відстань пов'язана з вектором  $F_2$  дорівнює (8)

Таким чином, для розглянутого прикладу:  $R_0 < R_2 < R_1$ , отже, центральний елемент вікна  $W - F_1$  повинен бути замінений елементом  $F_0$ , далі вікно зміщується на один елемент і процес фільтрації повторюється.

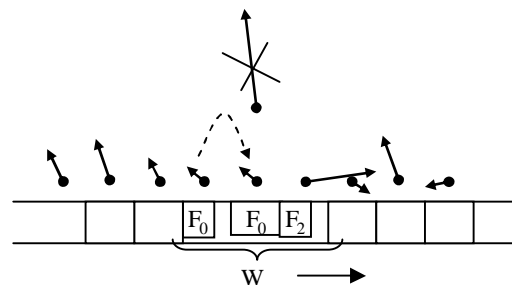


Рис. 3. Послідовність на виході ВМФ

Введемо поняття модифікованого ВМФ (МВМФ)

Для деяких застосувань медіанна фільтрація може виявитися неприпустимою, наприклад, нелінійні операції до процедури СРЦ значно знижують

її ефективність, пропонується використовувати підхід викладений в [4] заснований на введенні класифікатора  $C$ , який діє на поточне вікно  $W$  і розподіляє його елементи за класами, що відносяться до множини класів  $M$ .

Визначимо перемінну стану  $s_i = C(F_1, W)$  як результат застосування цього класифікатора й будемо використовувати її для управління операцією фільтрації, визначеної як

$$F_1^{MBMF} = \alpha(s_i) \cdot F_1 + \beta(s_i) \cdot F_1^{BMF}, \quad (9)$$

де  $F_1^{MBMF}$  – вихідний сигнал МВМФ,  $\alpha(s_i), \beta(s_i)$  – скалярні коефіцієнти залежні від поточного значення змінної  $s_i$ , блок схема фільтра представлена на рис. 3.

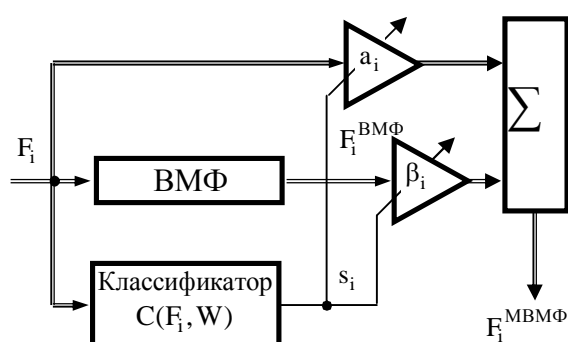


Рис. 4. Блок-схема модифікованого ВМФ

Функцію перемінної стану необхідно вибирати виходячи з імовірності появи імпульсного шуму. Вагові коефіцієнти часто вибирають такими, щоб їх сума дорівнювала одиниці  $\beta(s_i) = 1 - \alpha(s_i)$  такий підхід спрощує процес вибору чисельних значень, тому що оптимізація підлягає тільки один коефіцієнт.

Завдання можна ще більш спростити, якщо вважати, що перемінна стану  $s_i$  приймає тільки два значення: 1 – якщо поточний відлік класифікується як ушкоджений імпульсною перешкодою й 0 – а якщо ні. У такий спосіб піддаватися фільтрації ВМФ будуть тільки ті відліки, які були класифіковані як уражені імпульсною завадою, інша частина – пройде без змін.

У якості функції перемінної стану виберемо відстань (3) між поточним значенням відліку сигналу  $F_1$  й вихідним значенням ВМФ  $F_1^{BMF}$  –  $\rho(F_1, F_1^{BMF})$ . Перемінна стану визначається як

$$s_i = \begin{cases} 1, \rho(F_1, F_1^{BMF}) \geq C; \\ 0, \rho(F_1, F_1^{BMF}) < C. \end{cases} \quad (10)$$

Величина  $C$  є граничним значенням для відстані  $\rho(F_1, F_1^{BMF})$ , її значення необхідно задавати ви-

ходячи із числових характеристик шуму. Для випадку  $m$ -мірного векторного сигналу  $F_1$ , з незалежними нормально розподілом з дисперсією  $\sigma^2$  й нульовим математичним очікуванням компонент, для розглянутих норм  $L_1, L_2$  рекомендуються, відповідні значення  $C_1, C_2$  [2]:

$$C_1 = 3 \cdot m \cdot \sigma; \quad (11)$$

$$C_2 = 3 \cdot \sqrt{m} \cdot \sigma. \quad (12)$$

Є цікавим оцінити наскільки сильно використовуваний фільтр спотворює вхідну послідовність, та яка при цьому забезпечується ступінь селекції імпульсної завади.

Для відповіді на це питання було проведено імітаційне моделювання.

Для генерації вхідної послідовності відліків у вигляді двовимірного вектора зі статистично незалежними компонентами використовувалася узагальнена імовірнісна модель флуктуацій амплітуди відліків нестационарної шумової завади запропонована в [5].

Модель описує розподіл квадратурних складових адитивної суміші імпульсної перешкоди й власних шумів прийомного пристрою. Процес покладається центрованим, імпульсна перешкода характеризується її середньої потужністю  $m_\sigma$  та коефіцієнтом варіації – відносною величиною  $\Delta$  (коефіцієнт варіації), яка у свою чергу характеризує середній розмах флуктуацій потужності  $\sqrt{m_2 - m_\sigma^2}$  відносно середнього значення  $m$ :

$$\Delta = \frac{\sqrt{m_2 - m_\sigma^2}}{m_\sigma}, \quad (13)$$

де  $m_2$  – другий початковий момент.

Щільність імовірності компонент процесу описується як:

$$W(u, m_\sigma, \Delta) = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi} \cdot (m_\sigma \cdot \Delta^2) \cdot \Gamma(\Delta^{-2})} \cdot \left( \frac{u^2 \cdot m_\sigma \cdot \Delta^2}{2} \right)^{\frac{\Delta^{-2}-1/2}{2}} \times \\ \times K_{\Delta^{-2}-\frac{1}{2}} \left( \sqrt{\frac{2 \cdot u^2}{\Delta^2 \cdot m_\sigma}} \right), \quad (13)$$

де  $K_\nu(z)$  – модифікована функція Бесселя, її значення, а також корисні розкладання та асимптотики приведені в [6].

Звичайно, на практиці, величину  $m$ , приведену до рівня власного шуму  $\sigma^2$ , та величину  $\Delta$  виражають у децибелах:

На рис. 5 приведені щільність імовірності (13)

$W(u, m_\sigma, \Delta)$  при  $m_\sigma = 1$ ,  $\Delta \rightarrow -\infty$  дБ (крива 1) та щільність імовірності  $W(u, m_\sigma, \Delta)$  (13) при  $m_\sigma = 1$ ,  $\Delta = 0$ ; 5 дБ (криві 2 і 3 відповідно).

При  $\Delta \rightarrow -\infty$  дБ процес стає гауссівським, з ростом  $\Delta$  вихідний гауссівський розподіл перетворюється в «квазілапласовий» (двохсторонній експоненційний). Тобто, з ростом параметра  $\Delta$  кількість викидів (відліків), які перевищили, наприклад, рівень  $3 \cdot \sigma$ , збільшується.

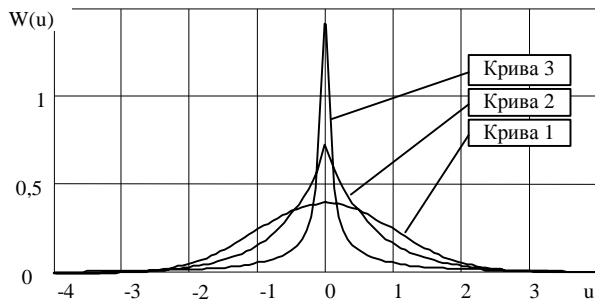


Рис. 5. Щільності імовірності розподілу компонент вектору вхідного процесу

Щільна частина шумів зміщується в області малих значень, що забезпечує збереження середнього значення потужності незмінним. Характер процесу всі більше наближається до імпульсного.

Для формування оцінок використовувалась вибірка розмірністю  $n = 10000$  відліків. Відліки, що за амплітудою перевищили рівень  $4 \sigma$ , вважалися відліками імпульсної завади, їх кількість ( $n_{I3}$ ) підраховувалась та відносилась до загальної кількості відліків, тобто оцінка імовірності появи імпульсної завади  $P_{I3} = n_{I3} / n$ .

Також розраховувалось середньоквадратичне відхилення (СКВ) та коефіцієнт ексцесу вибірки. Коефіцієнт ексцесу дозволяє оцінити ступінь «важкості» хвостів розподілу. Нормальний розподіл має нульовий ексцес. Якщо хвости розподілу «легше» за нормальний розподіл, то ексцес більше нуля. Область можливих значень ексцесу  $[-2, \infty)$ .

За результатами моделювання розраховувалась спектральна щільність, для розрахунку спектральної щільності використовувалось усереднене за часом математичне очікування від квадрата перетворення Фур'є усіченої реалізації.

На рис. 6 наведена оцінка спектру, процесів на вході та на виході фільтрів.

Використовується медіанний фільтр з покомпонентною обробкою вхідного векторного сигналу (МФ), цей же фільтр доповнений детектором (МФД) [2], розглянутий у статті векторний медіанний фільтр (ВМФ) (5) і модифікований векторний медіанний фільтр (МВМФ) (9).

З аналізу результатів слідує, що використання

медіанного фільтру приводить до спотворення спектральних характеристик вхідного процесу. Сигнали які мають фазовий зсув відмінний від нульового придушуються приблизно на 10...15 дБ.

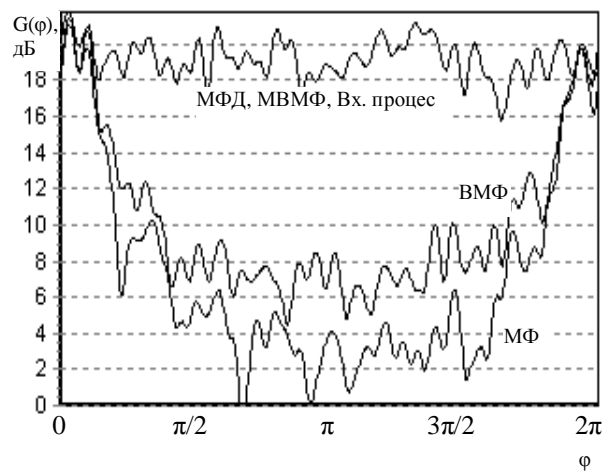


Рис. 6. Оцінка спектру процесів

Як видно з рисунку медіанний та векторний медіанний фільтр впливають на вхідний процес однаково, придушуючи коливання з зсувом фази від імпульсу до імпульсу відмінним від нуля.

Модифіковані фільтри які мають у складі класифікатор стану, практично не змінюють статистичних характеристик вхідного процесу. До таких фільтрів належить МФД та МВМФ.

СКВ та ексцес процесів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

СКВ та ексцес процесів

Процес	СКВ	Ексцес
Вх. процес	1	0
Вих. МФ	0,4	0,3
Вих. МФД	0,99	0,04
Вих. ВМФ	0,46	0,03
Вих. МВМФ	1	0,03

Отримані значення підтверджують результати аналізу – рис. 6.

На рис. 7 наведена залежність імовірності появи імпульсної завади на виході фільтра ( $P_{I3 \text{ вих}}$ ) від імовірності її появи на вході ( $P_{I3 \text{ вх}}$ ).

З ростом інтенсивності імпульсної завади на вході фільтра якість фільтрації знижується, що відповідає відомим теоретичним положенням. Векторний медіанний фільтр практично повністю усуває імпульсну заваду, але цьому суттєво змінює статистичні характеристики процесів.

Медіанні фільтри з класифікатором стану дають трохи гірший результат селекції імпульсних завад, це пояснюється впливом похибок класифіка-

ції, але якість фільтрації залишається на достатньому для користувача рівні. При імовірності появи ІЗ більше 0.4 імовірність появи її на виході фільтра не перевищує 0.2. Зазначимо, що вказані фільтри не змінюють статистичних характеристик вхідних процесів, що може бути корисним для подальшої обробки сигналів.

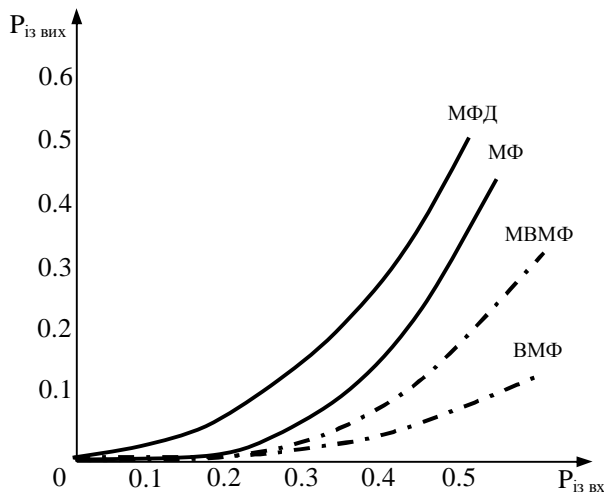


Рис. 7. Залежність ймовірності появи імпульсної завади на виході фільтра від ймовірності її появи на вході

### Висновки

Запропонований у роботі модифікований векторний медіанний фільтр дозволяє проводити селекцію імпульсних завад у вхідному процесі не спотворюючи його спектральних складових, що дозволяє використовувати його перед процедурами когерентної обробки (пристрій СРЦ). Усувається до 80% імпульсних завад, втрати у відношенні сигнал шум складають 1...2 дБ.

Якщо фільтр селекції імпульсних завад використовується для фільтрації сигналів, що формують «карту місцевих предметів» то корисно використовувати покомпонентний медіанний фільтр, який

одночасно виконує дві операції: виділення сигналів з нульовим фазовим зсувом та селекція імпульсних завад.

### Список літератури

1. Jaakko Astola. Vector median filters / Jaakko Astola, Petri Haavisto, Yrjo Neuvo // *Proceedings of the IEEE*, – Vol. 78, No. 4, April 1990. – P. 55-67.
2. B. Smolka. Fast modified vector median filter / B. Smolka, M. Szczepanski, K.N. Plataniotis, F.N. Venetsanopoulos // W. Skarbek (Ed): CAIP 2001, LNCS 2124, pp. 557-580, 2001.
3. Воскобойников Ю.Е. Нелинейные алгоритмы фильтрации векторных сигналов / Ю.Е. Воскобойников, В.Г. Белевцев // *Автометрия*. – 1999. – № 5. – С. 97-105.
4. Апальков И.В. Усовершенствование алгоритмов удаления шума из изображений на основе модифицированных критериев оценки качества: авторе: дис. ... канд. техн. наук: спец.05.12.04 / И.В. Апальков. – М.: 2008. – 24 с.
5. Гризо А.А. Узагальнена імовірнісна модель флуктуацій амплитуди відліків нестационарної шумової завади / А.А. Гризо, І.М. Невмержицький, О.Б. Обозовський // *Системи озброєння і військова техніка*. – 2010. – № 2(22). – С. 104-108.
6. Градштейн И.С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И.С. Градштейн, И.М. Рыжик. – М.: Физматгиз, 1962. – 1100 с.

Надійшла до редколегії 17.11.2010

Рецензент: д-р техн. наук, доц. Р.Є. Пашенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### СЕЛЕКЦИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА ВЕКТОРНОЙ МЕДИАННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

А.А. Грызо, И.М. Невмержицкий, О.Б. Обозовский

Предложен вариант алгоритма селекции импульсных помех основанный на двухкомпонентной медианной фильтрации входного процесса. Классический алгоритм векторного медианного фильтра модифицирован путем введения классификатора состояния, результат которого используется для управления операцией фильтрацией. Показано, что использование модифицированного векторного медианного фильтра обеспечивает необходимый уровень селекции импульсных помех, не внося существенного искажения спектральных составляющих процесса.

**Ключевые слова:** импульсные помехи, нестационарная шумовая помеха, гамма-распределение

### SELECTION OF PULSE HANDICAPES ON THE BASIS OF MODIFIED ALGORITHM VECTOR MEDIAN FILTRATIONS

A.A. Gryzo, I.M. Nevmerzhitsky, O.B. Obozovsky

The variant of algorithm selection of pulse handicapes based on two-componental median is offered to a filtration of entrance process. The classical algorithm vector median filter is modified by introduction of the qualifier a condition which result is used for management of operation of a filtration. It is shown, that use modified vector median filter provides a necessary level of selection of pulse handicapes, not bringing essential distortion of spectral components of process.

**Keywords:** pulse handicapes, non-stationary a handicap, scale – distribution.