

УДК 621.396.96

А.А. Гризо, В.Ф. Зюкін, І.М. Невмержицький

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРОЦЕДУРИ МЕДІАННОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ПРИ ФОРМУВАННІ КАРТИ ПЕРЕШКОД

*Досліджується можливість використання нелінійної процедури медіанної фільтрації для формування карти пасивних перешкод. Аналіз ефективності проводиться для різної апертури фільтрів і дії пасивних перешкод різного рівня.*

*медіанна фільтрація, карта перешкод*

### Вступ

**Постановка проблеми.** Для підвищення ефективності компенсації пасивних перешкод сучасні системи селекції рухомих цілей (СРЦ) виконуються адаптивними. Як всім системам такого роду, їм необхідна навчаюча вибірка достатнього об'єму і час на адаптацію. Якщо пасивна перешкода (ПП) є стабільним (або таким, що повільно змінюється) утворенням, то існує потенційна можливість прискорити процес адаптації за рахунок зниження ступеня апріорної невизначеності шляхом використання інформації карти перешкод, сформованої на попередніх оглядах.

Карта перешкод може включати прив'язану до координат інформацію про потужність перешкоди, величину доплерівського зсуву частоти, характер флюктуацій, форму і число мод в спектрі і таке інше.

Найбільш простим і дієвим представляється урахування характеру розподілу потужності перешкоди по елементам простору. Для формування такої карти потужностей необхідно очистити вибірку, яка поступає, від імпульсної перешкоди. Ці перешкоди є випадковими локальними викидами (часто великої потужності) на тлі квазістаціонарної пасивної перешкоди, та погіршують формування карти перешкод [1].

**Аналіз літератури.** У [2] запропоновано ряд алгоритмів, які забезпечують згладжування квазістаціонарної послідовності з усуненням локальних

викидів. У своїй обчислювальній реалізації вони спираються на швидкі алгоритми згортки та спектрального аналізу сигналів.

Наголошується, що низкою переваг володіє клас нелінійних алгоритмів обробки сигналів, які отримали назву рангових і які засновані на швидких алгоритмах обчислення локальних гістограм розподілу та їх характеристик.

Рангові алгоритми по простоті обчислень, не поступаються алгоритмам лінійної фільтрації. Вони є локально-адаптивними, тому що їх параметри визначаються локальними характеристиками сигналів – їх гістограмами. Рангові алгоритми позбавлені характерного недоліку методів лінійної фільтрації – їх просторової інерційності: взаємний вплив окремих фрагментів сигналу поширюється на результуючий сигнал на відстань порядку розмірів апертури. Це виявляється, наприклад, в розмитті енергетичного рельєфу перешкод, а також в сильній залежності отриманих оцінок від могутніх імпульсних перешкод.

Одним з різновидів рангових алгоритмів, є медіанна фільтрація.

**Мета статті.** Провести аналіз ефективності застосування медіанного фільтру при різних рівнях ПП, ступені її нестационарності по елементах простору і характеру дії імпульсної перешкоди.

### Виклад матеріалів досліджень

Медіанна фільтрація здійснюється за допомогою руху деякої апертури уздовж сигналу (дискре-

тизованої послідовності), і заміни значення елементу послідовності в центрі апертури медіаною початкових відліків усередині апертури. При цьому виходить гладка, в порівнянні з початковою, результуюча послідовність відліків.

Класична процедура згладжування полягає у використанні лінійної фільтрації нижніх частот і широко застосовується на практиці.

Проте, у разі наявності імпульсних перешкод (ПП) та істотної нестационарності повільно змінюючогося фону, медіанна фільтрація має переваги такі переваги:

- медіанна фільтрація зберігає різкі перепади, тоді як лінійна низькочастотна фільтрація змазує їх;
- медіанна фільтрація дуже ефективна при згладжуванні імпульсного шуму, оскільки практично не реагує на потужність ПП.

Медіанна фільтрація заснована на обчисленні медіани. Медіаною послідовності  $x_1, \dots, x_n$  (мед  $(x_1, \dots, x_n)$ ),  $n$  – непарне, є середній за значенням член ряду, що вийшов при впорядкуванні послідовності. Для парного  $n$  – визначають медіану як середнє арифметичне двох середніх членів.

1. Розглянемо фільтрацію імпульсних перешкод вказаним фільтром.

Будемо вважати, що поява імпульсної перешкоди в суміжних розрізнявальних елементах малоімовірно. Нехай поява викиду ПП в кожній точці кадру  $(i, j)$  має ймовірність  $p$  і не залежить ні від наявності ПП в інших точках кадру, ні від початкового сигналу. Спотворена точка набуває значення  $d$ , що суттєво відрізняється від рівня квазістационарного фону ПП в її найближчому оточенні ( $d \gg \sigma$  або  $d \ll \sigma$ ).

Нехай  $\{x_{i,j}\}$  – спотворена послідовність. Тоді відлік цієї послідовності:

$$x_{i,j} = \begin{cases} d & \text{з імовірністю } p, \\ s_{i,j} & \text{з імовірністю } (1-p). \end{cases} \quad (1)$$

Де  $s_{i,j}$  – неспотворений відлік квазістационарної послідовності.

Припустимо, що точка  $(i, j)$  розташована на ділянці з постійним значенням  $s$  початкового сигналу (щонайменше області  $A$  з центром в  $(i, j)$ ), тобто  $s_{i,j} = s = \text{const} \neq d \quad (i, j) \in A$ .

Застосуємо до послідовності  $\{x_{i,j}\}$  медіанний фільтр з апертурою  $A$ :  $\{y_{i,j}\} = \text{мед}(\{x_{i,j}\})$ .

Тоді значення вихідної величини (відліку)  $y_{i,j}$  буде вірним, в тому випадку, якщо кількість викидів ПП в межах апертури  $A$  з центром в  $(i, j)$  менше половини числа точок в  $A$ , тобто менше або рівно  $((n-1)/2)$ , де  $n$  – розмір апертури  $A$ . Із того, що

число спотворених точок в апертурі має біноміальний розподіл, витікає ймовірність правильного відтворення в точці  $(i, j)$ :

$$P(y_{i,j} = s) = \sum_{k=0}^{(n-1)/2} \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}. \quad (2)$$

Графік залежності  $P(y_{i,j} = s)$  для різних значень апертур медіанного фільтра ( $n=3, 5, 7, 11$ ) зображений на рис. 1 ( $n=1$  відповідає випадку відсутності фільтрації). По осі абсцис відкладено значення ймовірності появи ПП, по осі ординат ймовірність правильного відтворення  $P(y_{i,j} = s)$ .

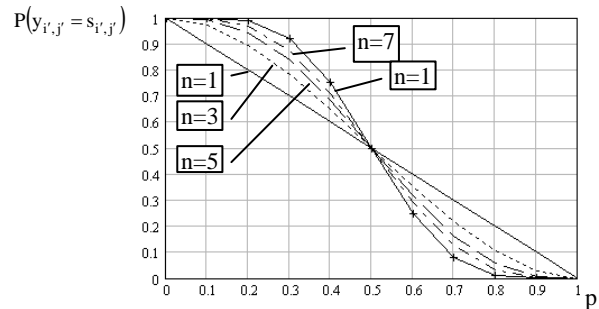


Рис. 1. Графік залежності ймовірності правильного відтворення  $P(y_{i,j} = s_{i,j})$  для різних значень апертури медіанного фільтра

Видно, якщо ймовірність помилки  $p$  не дуже велика, то медіанний фільтр з досить малою апертурою ( $n=3, 5$ ) значно знижує число ПП. При високій щільності ПП ( $p > 0.5$ ) медіанний фільтр погіршує ситуацію, початковий потік перетворюється в потік імпульсів з випадковою тривалістю.

2. Розглянемо ефективність згладжування (оцінки рівня потужності) фону перешкоди.

Взагалі, для рівнинної і середнепересіченої місцевості рівень ПП не перевершує 30-40 дБ, а для предгір'я та гір – 60-70 дБ. При цьому ступінь дії пасивних перешкод на РЛС залежить не тільки і не стільки від їх рівня, скільки від розмірів створюваної ними зони маскування (ураження). Пасивними перешкодами уражається до 20-30% зони виявлення з рівнем перешкод 20-30 дБ і до 10-15% з рівнем перешкод 40 дБ і більш. Дія пасивних перешкод з рівнем 60 дБ носить характер локальних "сплохів" і суттєвої маскуючої дії не чинить [3].

Таким чином, дослідження ефективності системи СРЦ необхідно проводити для різних значень відношення "ПП/шум", які знаходяться в діапазоні 20-60 дБ, що відповідає рівню перешкод в приймальних трактах РЛС. В рамках статті розглядаються медіанні фільтри з апертурою 5, 10, 15 відліків в кільці дальності при різному відношенні потужності ПП до рівня власного шуму (величина перепадів).

Розглянемо фільтрацію перепадів за наявності адитивного шуму.

Початкова послідовність  $\{x\}$  (для зручності ін-

декси  $i, j$  опущені)

$$\{x\} = \{\hat{s} + z\}. \quad (3)$$

де  $z$  – відлік шумової послідовності,  $\hat{s}$  – відлік послідовності, що описує енергетичний рельєф пасивної перешкоди у кільці дальності. Вона отримана шляхом просторової фільтрації діаграмою спрямованості антени (ДСА) послідовності відліків  $s$ .

$$s_k = \begin{cases} h, k \in [a, b], \\ 0, k \notin [a, b], \end{cases} \quad (4)$$

тобто ковзного підсумовування початкової послідовності  $\{s\}$  з нормованими вагами  $F_k^2$  які визначаються формою і шириною ДСА.

$$\hat{s} = \sum_k F_k^2 s_k, \quad \sum_k F_k^2 = 1. \quad (5)$$

На рис. 2 а, б показано результат фільтрації початкової послідовності (3) медіанним фільтром і фільтром ковзного середнього, по осі абсцис відкладено номер відліку в послідовності, по осі ординат – амплітуда.

Преривчастою лінією показана обвідна початкової незашумленої послідовності (5), вертикальними лініями – результуючі зашумлені відліки (3), суцільною лінією – результат медіанної фільтрації, крапковою, – результат ковзного усереднювання.

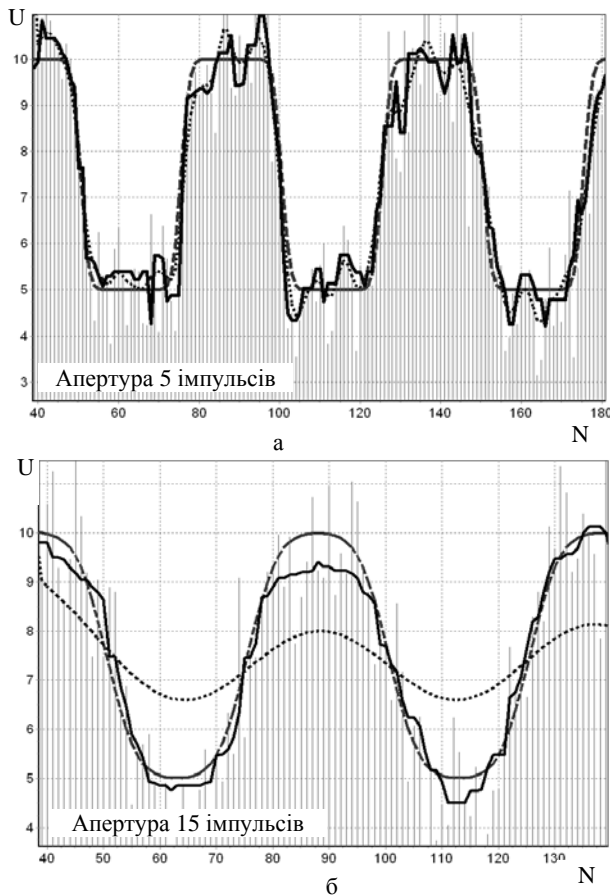


Рис. 2. Результат фільтрації початкової послідовності медіанним фільтром та фільтром ковзного середнього

Як видно з рисунка, ковзне середнє дає оцінки відліків, гладші уздовж перепаду, тоді як при обробці за допомогою медіанних фільтрів протяжні перепади виявляються більш порізані. Із зростанням апертури фільтрації ковзного усереднення зростає помилка, що викликана його інерційністю (рис. 2, б).

Щоб мати можливість чисельно порівняти ефективність фільтрів на послідовностях типу перепад плюс шум, потрібні міри точності передачі перепаду. Skorистаємося мірою середньоквадратичної помилки (СКП), усередненої по  $N$  точкам поблизу перепаду, де  $u_i$  – значення на виході фільтрації.

На рис. 3 а, б, в представлені графіки значень СКП як функції перепаду віднесеного до потужності квазістаціонарного фону  $h/\sigma$  для медіанного фільтра (переривчата лінія) і для ковзного усереднювання (суцільна лінія) з апертурою  $n=5, 10, 15$  відповідно.

Точка  $h/\sigma=5$  на рис. 3, а відповідає рис. 2, а – аналогічна точка на рис. 3, в – рис. 2, б.

Видно, що при достатньо малій величині перепаду віднесеного до рівня фону ( $h/\sigma < 2-10$ ), СКП для ковзного середнього менше, ніж для медіани.

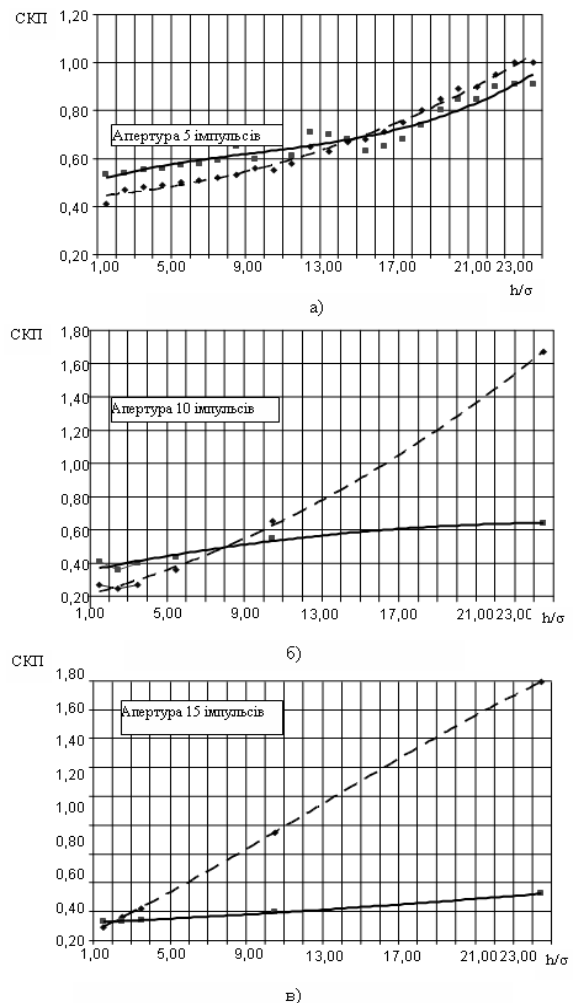


Рис. 3. Залежність СКП на виході фільтра від величини перепаду  $h/\sigma$ . Суцільна лінія відповідає ковзному усереднюванню, переривчата – медіанній фільтрації

При великих  $h/\sigma$  СКП медіани значно менше, ніж СКП середнього. Цей результат показує, що медіанний фільтр значно краще, ніж лінійний фільтр, для перепадів великої висоти ( $h/\sigma > 10-15$ ), а для перепадів меншої висоти різниця між двома фільтрами незначна.

Зі зростанням величини апертури фільтру точка рівності СКП настає при менших значеннях, це пояснюється зростанням інерційності фільтру ковзного середнього і як наслідок розмиття перепаду.

### Висновки

1. Представляється корисним використання медіанної фільтрації для оцінки рівня потужності пасивної перешкоди по розрізнявальним елементам. При цьому водночас вирішуються дві задачі: класифікація вибірки (усунення імпульсних перешкод) і формування енергетичного рельєфу перешкоди (оцінка середнього рівня по розрізнявальним елементам).

2. Для реальної нестационарної пасивної перешкоди виконується умова  $h/\sigma > 10-15$ , в цьому випадку, в порівнянні з традиційним ковзним усеред-

нюванням, медіанний фільтр дає точнішу оцінку енергетичного рельєфу, оскільки практично відсутня його просторова інерційність.

### Список література

1. Помехозащита импульсных обзорных РЛС при совместном воздействии пассивных и активных импульсных помех. Литвинов В.В., Зюкин В.Ф., Грозо А.А. и др. / 2-й Международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ-2005: Сборник научных трудов. – Том II Международная конференция «Системы локации и навигации». – Х.: АНПРЕ, ХНУРЕ. – 2005. – С. 139-142.

2. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений. Преобразования и медианные фильтры / Под ред. Хуанга: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с.

3. Потенциальные возможности селекции движущихся целей в обзорных РЛС при воздействии нестационарных по мощности пассивных помех / В.Ф. Зюкин, А.А. Грызо, В.М. Андришин // Радиотехника. – Х.: ХГТУРЭ. – 2001. – №117. – С. 3-12.

Надійшла до редколегії 17.09.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.В. Літвінов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.