

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

ЛЯШУК ОЛЕКСІЙ МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 621.396.96

МЕТОДИ ГОМОМОРФНОЇ ДВОЕТАПНОЇ БАГАТОПОГЛЯДОВОЇ
ФІЛЬТРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ З
СИНТЕЗОВАНОЮ АПЕРТУРОЮ АНТЕНИ

05.12.17 – Радіотехнічні та телевізійні системи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України на кафедрі радіотехнічних пристроїв та систем.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Жук Сергій Якович
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського», завідувач кафедри радіотехнічних
пристроїв та систем

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий
співробітник
Павліков Володимир Володимирович
Національний аерокосмічний університет імені М. Є.
Жуковського «Харківський авіаційний інститут»
МОН України, в. о. проректора з наукової роботи

кандидат технічних наук, старший науковий
співробітник
Єфімов Валентин Борисович
Інститут радіофізики та електроніки імені О. Я.
Усикова НАН України, старший науковий
співробітник відділу дистанційного зондування Землі

Захист дисертації відбудеться « 24 » жовтня 2019 р. о 15⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03 в Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр-т Науки, 14, ауд. № 13.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр-т Науки, 14.

Автореферат розісланий « 21 » вересня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.М. Безрук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми

Одними з основних сучасних і перспективних засобів землеогляду є радіолокатори з синтезованою апертурою антени (РСА), які розміщуються на борту авіаційних і космічних носіїв. Вони дозволяють отримати радіолокаційні зображення, які наближаються за детальністю до зображень оптичних систем і при цьому мають ряд переваг. Характерною особливістю РСА-зображень є наявність спекл-шуму, який часто є просторово-корельованим, і значно ускладнює їх аналіз. Широке використання для послаблення спекл-шуму знаходить внутрішньоелементне некогерентне накопичення зображень однієї і тієї ж ділянки місцевості, які називаються РСА-поглядами. Однак кількість РСА-поглядів обмежена допустимим погіршенням просторової роздільної здатності до межі, коли втрачається інформація про об'єкт. Таким чином, з огляду на низьку якість вихідних однопоглядових РСА-зображень та їх обмеженою кількістю важливе практичне значення має розробка алгоритмів багатопоглядової фільтрації РСА-зображень, які забезпечують прийнятні показники якості. Враховуючи необхідність оперативної обробки великих обсягів даних, такі алгоритми повинні бути адекватні пристроям з паралельною архітектурою обчислень.

Для підвищення якості багатопоглядових РСА-зображень сумісно з некогерентним накопиченням використовуються також методи фільтрації. Однак на сьогодні залишаються відкритими питання, пов'язані з вибором або розробкою найбільш ефективних методів, які повинні бути застосовані на етапах спільної обробки декількох зображень та їх фільтрації. Так, локально-адаптивні фільтри орієнтовані на роздільну обробку зображень, спотворених некорельованим спекл-шумом і не враховують їх взаємну кореляцію. Алгоритм вінерівської фільтрації також не може бути застосований для обробки послідовності зображень, а алгоритм багатомірної калманівської фільтрації вимагає величезних обчислювальних витрат. Крім того, фільтр Калмана є оптимальним у випадку адитивних завад.

У результаті застосування гомоморфного перетворення завдання фільтрації зображення за наявності спекл-шуму зводиться до задачі фільтрації адитивної перешкоди, що дозволяє застосувати математичний апарат теорії оптимальної лінійної фільтрації. Метод двоетапної фільтрації зображень, на першому етапі якого використовуються одновимірні алгоритми оптимальної лінійної фільтрації незалежно уздовж рядків і стовпців з подальшим об'єднанням оброблених даних на другому етапі, дає можливість значно зменшити обчислювальні витрати і застосовувати переваги обчислювальної ефективності одновимірних алгоритмів, досягаючи прийнятної точності результату. Даний підхід може бути використаний для фільтрації послідовності зображень і врахувати їх взаємну кореляцію.

Тому актуальною **науковою задачею** є розробка методів гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації РСА-зображень при наявності некорельованого і корельованого спекл-шуму, які дозволяють підвищити їх якість і є адекватними ЕОМ з паралельною архітектурою обчислень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана на кафедрі «Радіотехнічних пристроїв і систем» радіотехнічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського та зв'язана з виконанням планової науково-дослідної роботи «Розробка алгоритмів двоетапної некаузальної фільтрації послідовності багатоканальних зображень при наявності корельованої завади» (номер державної реєстрації 0116U007862) у якій здобувач був виконавцем.

Мета роботи – підвищення якості багатопоглядових РСА-зображень при наявності некорельованого і корельованого спекл-шуму шляхом розробки методів гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації, які є адекватними ЕОМ з паралельною архітектурою обчислень.

Відповідно до мети, **основними задачами** дослідження є:

1. Розробити метод гомоморфної двоетапної фільтрації РСА-зображення за наявності корельованого спекл-шуму.
2. Розробити метод гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації РСА-зображень за наявності некорельованого спекл-шуму.
3. Розробити метод гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації РСА-зображень за наявності корельованого спекл-шуму.
4. Провести аналіз синтезованих квазіоптимальних алгоритмів фільтрації на модельних прикладах і реальних зображеннях.
5. Виконати аналіз обчислювальних витрат і можливостей реалізації синтезованих квазіоптимальних алгоритмів фільтрації з використанням сучасної обчислювальної мікропроцесорної техніки.

Об'єктом дослідження є багатопоглядове формування РСА-зображень. **Предметом дослідження** є методи багатопоглядової фільтрації РСА-зображень за наявності спекл-шуму.

Методи дослідження. В роботі використовувалися методи теорії ймовірностей, марківських випадкових процесів, лінійної і нелінійної фільтрації в дискретному часі, статистичної теорії прийняття рішень і статистичного моделювання на ЕОМ.

Наукова новизна отриманих результатів

Вперше розроблено метод гомоморфної двоетапної фільтрації РСА-зображень при наявності корельованого спекл-шуму, відмінною особливістю якого є те, що після гомоморфного перетворення виконуються спільна фільтрація зображення і корельованої завади вздовж рядків і стовпців та об'єднання розрахованих оцінок в кожній точці, що дозволяє підвищити ефективність обробки в порівнянні з одновимірними методами при незначному збільшенні обчислювальних витрат.

Вперше розроблено метод гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації РСА-зображень за наявності некорельованого спекл-шуму, відмінною особливістю якого є те, що після гомоморфного перетворення виконуються одновимірні фільтрації між зображеннями і всередині них (уздовж рядків і стовпців), а також об'єднання розрахованих оцінок в кожній точці, що дозволяє врахувати взаємну кореляцію між РСА-поглядами.

Вперше розроблено метод гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації РСА-зображень за наявності корельованого спекл-шуму, відмінною особливістю якого є те, що після гомоморфного перетворення виконується одномірна фільтрація між зображеннями та їх спільна фільтрація з корельованою завадою уздовж рядків і стовпців з подальшим об'єднанням розрахованих оцінок в кожній точці, що дозволяє врахувати взаємну кореляцію між РСА-поглядами і просторову корельованість спекл-шуму.

Практичне значення отриманих результатів

При обробці однопоглядових РСА-зображень розроблений алгоритм гомоморфної двоетапної фільтрації РСА-зображення при наявності корельованого спекл-шуму дозволяє отримати вигреш у ВСШ у порівнянні з фільтром Лі в діапазоні 3.6-2.75 дБ при різних вхідних ВСШ.

При значенні коефіцієнту взаємної кореляції між незашумленими (неушкодженими) зображеннями близькому до одиниці, запропоновані алгоритми гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації РСА-зображень за наявності корельованого і некорельованого спекл-шуму у порівнянні з алгоритмом некогерентного накопичення з подальшою обробкою фільтром Лі забезпечують вигреш у ВСШ до 3.6 дБ і 2.8 дБ відповідно. При цьому вигреш зростає при зменшенні кількості однопоглядових зображень, що обробляються.

При значенні коефіцієнту взаємної кореляції між незашумленими зображеннями менше одиниці запропоновані алгоритми гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації РСА-зображень за наявності корельованого і некорельованого спекл-шуму у порівнянні з алгоритмом некогерентного накопичення з подальшою обробкою фільтром Лі забезпечують вигреш у ВСШ не нижче 1.9-2.5 дБ і 1.6-2.6 дБ відповідно.

Розроблені алгоритми забезпечують паралельну обробку даних і є адекватними пристроям з паралельною архітектурою обчислень. Для п'яти кадрів розміром 1000x1000, при використанні графічного прискорювача Nvidia GTX Geforce 1080 Ti, час обчислень становить приблизно 0.07 секунд, що забезпечує можливість оперативного отримання аерокосмічної інформації.

Результати наукових досліджень можуть бути використані при розробці перспективних і модернізації існуючих РСА для підвищення якості багатопоглядових РСА-зображень при наявності корельованого і некорельованого спекл-шуму.

Результати досліджень впроваджено в розробках науково-виробничого підприємства "ЕКСІММАШ", а також в навчальний процес у національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» на кафедрі радіотехнічних пристроїв та систем, що підтверджується актами впровадження.

Особистий внесок. Основні теоретичні положення і результати моделювання в дисертаційній роботі отримані автором самостійно. У співавторстві з науковим керівником сформульовані мета і завдання досліджень, висновки. Особистий внесок автора в наукових працях,

опублікованих у співавторстві, такий: в [1], [4] розроблені алгоритми двоетапної фільтрації багатоканальних зображень з внутрішньокадровою каузальною, напівкаузальною та некаузальною обробкою при наявності некорельованої завади; в [2], [3] синтезовані оптимальні і квазіоптимальні алгоритми двоетапної каузальної, напівкаузальної та некаузальної фільтрації однорідного зображення при наявності некорельованої завади; в [5] розроблено алгоритм гомоморфної двоетапної фільтрації послідовності зображень при наявності корельованого спекл-шуму.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації та основні положення, отримані в роботі, представлялися на: міжнародних науково-технічних конференціях «Радіотехнічні поля, сигнали та системи» (м. Київ, 2015, 2016, 2017); IX науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Радіoeлектроніка в XXI столітті» (м. Київ, 2015); IEEE 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET) (Lviv, Slavske, Ukraine, 2016); IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo) (Odesa, Ukraine, 2017).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 11 наукових робіт, в тому числі 5 статей в провідних фахових виданнях, з яких 4 у виданнях України включених до міжнародної наукометричної бази WEB OF SCIENCE, 6 тез доповідей, з яких 2 в іноземних виданнях, які включені до міжнародної наукометричної бази SCOPUS.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, одного додатку. Робота містить 170 сторінки, в тому числі 133 сторінок основного тексту, 120 рисунків, 13 таблиць. Список використаної літератури включає 87 найменувань. Додатки розміщено на 6 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, приведені завдання і мета дослідження, об'єкт, предмет та методи дослідження, наведені дані про наукову новизну результатів та їх практичну значимість, вказані дані про особистий внесок здобувача, впровадження результатів, їх апробацію та публікації.

У **першому розділі** показана актуальність завдання багатопоглядової фільтрації РСА-зображень при наявності спекл-шуму.

Для опису зв'язку між відліками спотвореної $u(n, m, k)$ і неспотвореної $s(n, m, k)$ послідовності однопоглядових РСА-зображень використовується мультиплікативна модель у вигляді:

$$u(n, m, k) = s(n, m, k) \mu(n, m, k), \quad (1)$$

де $\mu(n, m, k)$ – відлік спекл-шуму, що впливає в точці (n, m) , $n = \overline{1, N}$, $m = \overline{1, M}$ в k -му зображенні $k = \overline{1, K}$, який має релеївський розподіл з рівним одиниці математичним очікуванням і дисперсією σ_{μ}^2 . В традиційній постановці задачі

відліки спекл-шуму за координатами n, m, k є некорельованими. Але, як відмічається в відомій літературі, спекл-шум на РСА-зображеннях часто є, у тій чи іншій мірі просторово-корельованим.

Проведено аналіз існуючих методів глобальної та локально-адаптивної фільтрації спекл-шуму на одиночному зображенні та на послідовності зображень. Показана доцільність застосування гомоморфної двоетапної фільтрації для вирішення задачі багатопоглядової фільтрації РСА-зображень при наявності спекл-шуму. Сформульована мета роботи та завдання дослідження.

У **другому розділі** з використанням математичного апарату нелінійної і лінійної фільтрації розроблено метод гомоморфної двоетапної фільтрації РСА-зображення при наявності корельованого спекл-шуму.

Модель РСА-зображення, спотвореного мультиплікативним корельованим спекл-шумом має вид:

$$u(n, m) = s(n, m) \mu(n, m). \quad (2)$$

Гомоморфне перетворення дозволяє за допомогою операції логарифмування перетворити вираз (2) до вигляду:

$$y(n, m) = \ln(u(n, m)) = \ln(\mu(n, m)) + \ln(s(n, m)) = x(n, m) + z(n, m), \quad (3)$$

та перейти до задачі фільтрації корисного зображення $x(n, m)$ при наявності адитивної корельованої завади $z(n, m)$. Для її вирішення використовується підхід на основі двоетапної фільтрації зображень. Після отримання відліків відфільтрованого зображення $\hat{x}(n, m)$, оцінки відліків вихідного зображення $\hat{s}(n, m)$ визначаються за формулою:

$$\hat{s}(n, m) = \exp(\hat{x}(n, m)). \quad (4)$$

Для опису статистичних зв'язків відліків зображення і корельованої завади уздовж n -го рядка і m -го стовпця в роботі використовуються марківські гауссівські моделі у вигляді дискретних лінійних динамічних систем. Модель процесу, що підлягає фільтрації на першому етапі по n -му рядку має вид:

$$\begin{bmatrix} X_n(i) \\ Z_n(i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x^r & 0 \\ 0 & F_z^r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_n(i-1) \\ Z_n(i-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G_x^r & 0 \\ 0 & G_z^r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_n(i) \\ \Omega_n(i) \end{bmatrix}; \quad (5)$$

$$y_n(i) = [H_x^r H_z^r] \cdot \begin{bmatrix} X_n(i) \\ Z_n(i) \end{bmatrix} + v_n(i), \quad (6)$$

де $X_n(i), Z_n(i)$ – вектори стану, що містять відліки зображення і корельованої завади; $F_x^r, G_x^r, F_z^c, G_z^c$ – відомі матриці; $\Omega_n(i), \xi_n(i)$ – некорельовані шуми збудження, $y_n(i)$ – відліки спостережень по рядках; $H_x^r(i), H_z^r(i)$ – відомі матриці; $v_n(i)$ – некорельовані гауссівські величини з дисперсією σ_v^2 .

Отриманий на основі моделі (5), (6) алгоритм одновимірної сумісної фільтрації зображення і корельованої завади уздовж рядків і стовпців

відноситься до класу алгоритмів фільтрації гаусівських марківських процесів. Оптимальний пристрій на рис. 1 включає два канали оцінювання векторів $X_n(i)$ і $Z_n(i)$ відповідно, які є взаємопов'язаними.

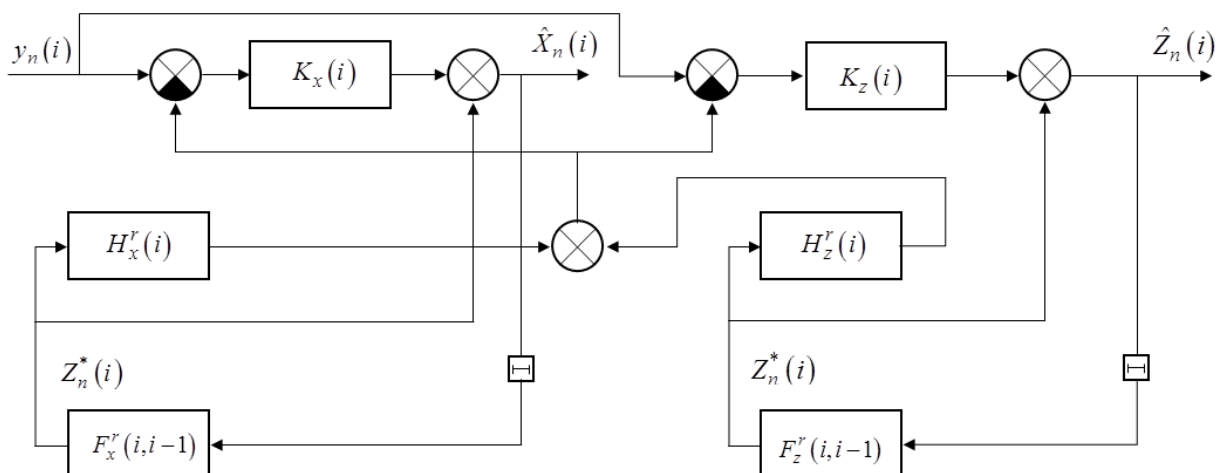


Рис. 1. Структурна схема фільтру сумісної одновимірної фільтрації зображення и корельованої завади

Алгоритм об'єднання отриманих на першому етапі результатів фільтрації в кожній точці зображення синтезовано на основі теорії нелінійної фільтрації з використанням властивості незалежності відліків рядків і стовпців зображення і корельованої завади при умові, що відомі відліки в точках їх перетину. Показано, що апостеріорна ЩЙ $f(u | Y_{n1}, y, Y_{m1}, Y_{n2}, Y_{m2})$ вектору $u = (x, z)^T$, що включає відліки зображення і корельованої завади в точці (n, m) , визначається по формулі:

$$f(u | Y_{n1}, y, Y_{m1}, Y_{n2}, Y_{m2}) = \frac{c_1}{f^3(u)} f(u | Y_{n1}, y) f(u | Y_{m1}) f(u | Y_{n2}) f(u | Y_{m2}), \quad (7)$$

де $f(u | Y_{n1}, y) f(u | Y_{m1}) f(u | Y_{n2}) f(u | Y_{m2})$ – апостеріорні ЩЙ вектору u , отримані на першому етапі при фільтрації вздовж n -го рядка і m -го стовпця від їх початку і кінця; $y, Y_{n1}, Y_{m1}, Y_{n2}, Y_{m2}$ – спостереження, що використовуються у відповідних алгоритмах одновимірної фільтрації, розташування яких показано на рис. 2; $f(u)$ – апіорна ЩЙ вектору u ; c_1 – нормуючий множник.

На основі виразу (7) проводиться об'єднання апостеріорних розподілів $f(u | Y_{n1}, y) f(u | Y_{m1}) f(u | Y_{n2}) f(u | Y_{m2})$ визначених на першому етапі. При цьому апостеріорна ЩЙ $f(u | Y_{n1}, y, Y_{m1}, Y_{n2}, Y_{m2})$ враховує всі вимірювання n -го рядка і m -го стовпця, що дозволяє розглядати обробку як некаузальну. Каузальний і напівкаузальний алгоритми об'єднання апостеріорних розподілів, які враховують вимірювання $y, Y_{n1}, Y_{m1}, Y_{n2}$ і y, Y_{n1}, Y_{m1} відповідно, є окремими випадками некаузального алгоритму.

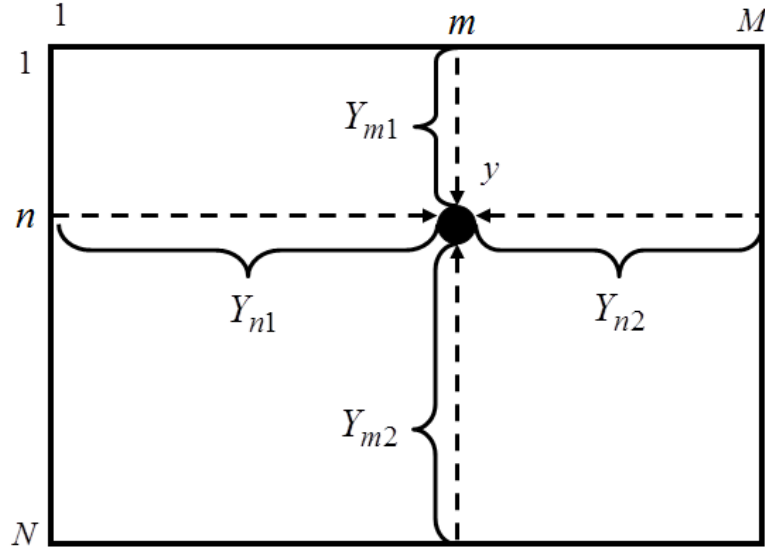


Рис 2. Вимірювання, що використовуються при обробці точки на зображенні

Оскільки на першому етапі для спільного опису зображення і КЗ по рядках і стовпцях використовуються гаусівські марківські моделі, ЩЙ, що входять в праву частину (7) є гаусівськими: $f(u | Y_{n1}, y) = N(\hat{u}_{n1}, \hat{P}_{n1})$, $f(u / Y_{m1}) = N(u_{m1}^*, P_{m1}^*)$, $f(u / Y_{n2}) = N(u_{n2}^*, P_{n2}^*)$, $f(u / Y_{m2}) = N(u_{m2}^*, P_{m2}^*)$, $f(u) = N(\bar{u}, \bar{P})$. В цьому випадку апостеріорна ЩЙ $f(u | Y_{n1}, y, Y_{m1}, Y_{n2}, Y_{m2}) = N(\ddot{u}, \ddot{P})$ є також гаусівською, а її параметри $\ddot{u}, \ddot{P}$ можуть бути знайдені шляхом перетворення показників експонент ЩЙ, що входять в праву частину формули (7). Виконавши зазначені перетворення, отримано послідовність виразів для розрахунку оцінок зображення і корельованої задави $\ddot{u}$ і кореляційної матриці похибки оцінок $\ddot{P}$:

$$\tilde{K} = \hat{P}_{n1} (P_{m1}^* + \hat{P}_{n1})^{-1}; \quad (8) \quad \check{K} = \tilde{P} (\tilde{P} - \bar{P})^{-1}; \quad (11)$$

$$\tilde{u} = \hat{u}_{n1} + \tilde{K} (u_{m1}^* - \hat{u}_{n1}); \quad (9) \quad \ddot{u} = \tilde{u} + \check{K} (\bar{u} - \tilde{u}); \quad (12)$$

$$\tilde{P} = \hat{P}_{n1} - \tilde{K} \hat{P}_{n1}; \quad (10) \quad \check{P} = \tilde{P} - \check{K} \tilde{P}. \quad (13)$$

$$\check{K} = \check{P} (P_{n2}^* + \check{P})^{-1}; \quad (14) \quad K' = \check{P} (\check{P} - \bar{P})^{-1}; \quad (17)$$

$$\ddot{u} = \check{u} + \check{K} (u_{n2}^* - \check{u}); \quad (15) \quad u' = \ddot{u} + K' (\bar{u} - \ddot{u}); \quad (18)$$

$$\ddot{P} = \check{P} - \check{K} \check{P}; \quad (16) \quad P' = \ddot{P} - K' \ddot{P}. \quad (19)$$

$$K'' = P' (P_{m2}^* + P')^{-1}; \quad (20) \quad \ddot{K} = P'' (P'' - \bar{P})^{-1}; \quad (23)$$

$$u'' = u' + K'' (u_{m2}^* - u'); \quad (21) \quad \ddot{u} = u'' + \ddot{K} (\bar{u} - u''); \quad (24)$$

$$P'' = P' - K'' P'; \quad (22) \quad \ddot{P} = P'' - \ddot{K} P''. \quad (25)$$

Отриманий алгоритм забезпечує некаузальну обробку зображення в кожній точці.

Аналіз синтезованого алгоритму гомоморфної двоетапної фільтрації РСА-зображення при наявності корельованого спекл-шуму і порівняння з відомими алгоритмами виконані за допомогою статистичного моделювання на модельних зображеннях. Ширина головної пелюстки кореляційної функції спекл-шуму на рівні 0.5 складає 3 відліки по рядку і стовпцю. У таблиці 1 показані вихідні ВСШ для різних вхідних ВСШ для запропонованого алгоритму та відомих алгоритмів фільтрації спекл-шуму. Запропонований алгоритм забезпечив виграш в ВСШ в порівнянні з відомим фільтром Лі від 3.65 дБ до 6.61 дБ.

Таблиця 1

Метод	$SNR_{in} = 0$ дБ	$SNR_{in} = 3$ дБ	$SNR_{in} = 6$ дБ
Запропонований алгоритм	9.80	11.33	12.87
Фільтр Лі	2.22	5.41	8.60
Фільтр Куана	1.99	3.33	4.18
Фільтр Вінера	2.47	5.43	8.40

На рис. 4 та рис. 5 представлені результати сегментації алгоритмом Оцу модельних зображень, отриманих за допомогою запропонованого алгоритму, а також з використанням фільтра Лі.

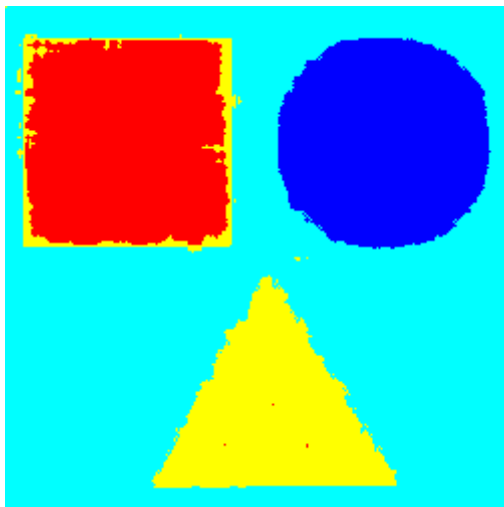


Рис. 4. Сегментація зображення обробленого запропонованим алгоритмом

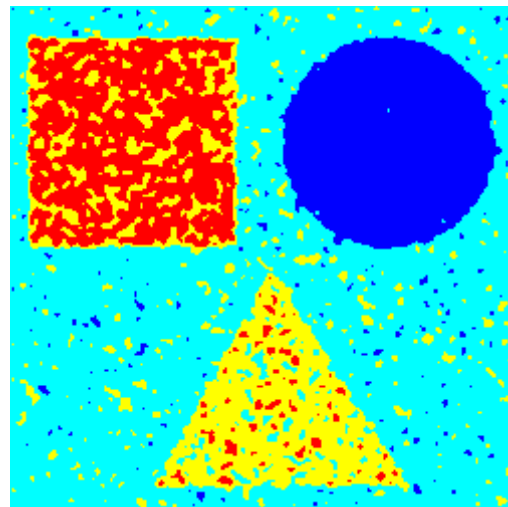


Рис. 5. Сегментація зображення обробленого фільтром Лі

Застосування розробленого алгоритму забезпечує кількість помилок сегментації зображення алгоритмом Оцу в діапазоні 2.53% – 7.58%, що відповідно в 4.6-6.8 разів менше, ніж при використанні фільтра Лі.

У **третьому розділі** виконується розробка методів гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації РСА-зображень за наявності некорельованого і корельованого спекл-шуму.

Послідовність однопоглядових РСА-зображень описується виразом (1). Перетворення, що виконуються при гомоморфній двоетапній фільтрації послідовності зображень, показані на рис. 6.

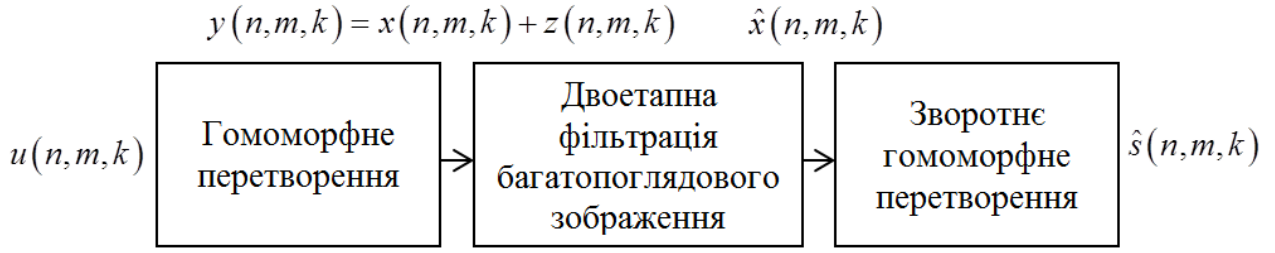


Рис. 6. Перетворення при гомоморфній двоетапній фільтрації послідовності зображень

У випадку, коли спекл-шум $\mu(n, m, k)$ є некорельованим, на першому етапі для одновимірної фільтрації між зображеннями і всередині них вздовж рядків і стовпців використовується алгоритмів калманівської фільтрації.

Об'єднання результатів першого етапу фільтрації в кожній точці (n, m, k) при наявності некорельованої завади, в загальному випадку виконується на основі виразу для апостеріорної ЩЙ:

$$f(x|Y_{n1}, y, Y_{m1}, Y_{n2}, Y_{m2}, Y_{k-1}) = \frac{c_2}{f^4(x)} f(x|y, Y_{n1}) f(x|Y_{m1}) f(x|Y_{n2}) f(x|Y_{m2}) f(x|Y_{k-1}), \quad (26)$$

де $f(x|Y_{n1}, y), f(x|Y_{m1}), f(x|Y_{n2}), f(x|Y_{m2}), f(x|Y_{k-1})$ – апостеріорні ЩЙ відліку зображення x , отримані на першому етапі при фільтрації вздовж n -го рядка і m -го стовпця від їх початку і кінця, та по координаті k ; $y, Y_{n1}, Y_{m1}, Y_{n2}, Y_{m2}, Y_{k-1}$ – спостереження, що використовуються у відповідних алгоритмах одновимірної фільтрації, розташування яких показано на рис. 7; $f(x)$ – апіорна ЩЙ відліку зображення x ; c_2 – нормуючий множник.

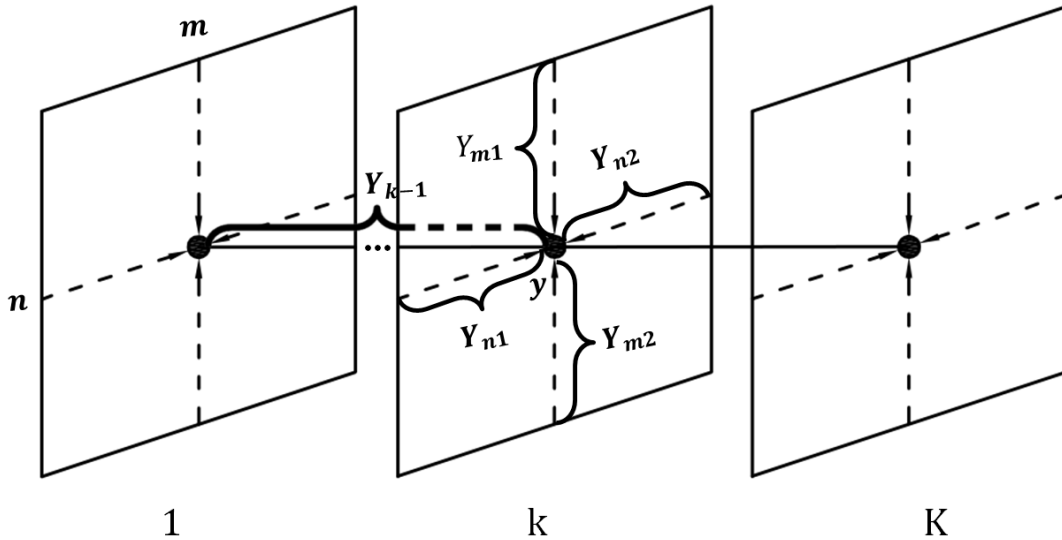


Рис. 7. Вимірювання, що використовуються при обробці точки на послідовності зображень

ЩЙ $f(x|Y_{n1}, y, Y_{m1}, Y_{n2}, Y_{m2}, Y_{k-1})$ включає апостеріорні розподіли, що визначаються на першому етапі. При гаусівських апостеріорних розподілах $p(x|y, Y_{n1}) = N(\hat{x}_{n1}, \hat{\sigma}_{n1}^2)$, $p(x|Y_{m1}) = N(x_{m1}^*, \sigma_{m1}^{*2})$, $p(x|Y_{n2}) = N(x_{n2}^*, \sigma_{n2}^{*2})$, $p(x|Y_{m2}) = N(x_{m2}^*, \sigma_{m2}^{*2})$, $p(x|Y_{k-1}) = N(x_k^*, \sigma_k^{*2})$, $p(x) = N(\bar{x}, \bar{\sigma}^2)$,

апостеріорна ЩЙ $f(x|Y_{n1}, y, Y_{m1}, Y_{n2}, Y_{m2}, Y_{k-1})$ також є гаусівською $f(x|Y_{n1}, y, Y_{m1}, Y_{n2}, Y_{m2}, Y_{k-1}) = N(\ddot{x}, \ddot{\sigma}^2)$. При цьому, об'єднання отриманих при одновимірної фільтрації оцінок виконується за формулами:

$$\tilde{\sigma}^2 = \sigma_{m1}^{*2} - \sigma_{m1}^{*4} / (\hat{\sigma}_{n1}^2 + \sigma_{m1}^{*2}); \quad (26) \quad \tilde{x} = \hat{x}_{n1} + (x_{m1}^* - \hat{x}_{n1}) \tilde{\sigma}^2 / \sigma_{m1}^{*2}; \quad (28)$$

$$\bar{\sigma}^2 = -\bar{\sigma}^2 - \bar{\sigma}^4 / (\tilde{\sigma}^2 - \bar{\sigma}^2); \quad (27) \quad \bar{x} = \tilde{x} - (\bar{x} - \tilde{x}) \bar{\sigma}^2 / \tilde{\sigma}^2; \quad (29)$$

$$\bar{\bar{\sigma}}^2 = \sigma_{n2}^{*2} - \sigma_{n2}^{*4} / (\bar{\sigma}^2 + \sigma_{n2}^{*2}); \quad (30) \quad \bar{\bar{x}} = \bar{x} + (x_{n1}^* - \bar{x}) \bar{\bar{\sigma}}^2 / \sigma_{n1}^{*2}; \quad (32)$$

$$\sigma'^2 = -\bar{\sigma}^2 - \bar{\sigma}^4 / (\bar{\bar{\sigma}}^2 - \bar{\sigma}^2); \quad (31) \quad x' = \bar{\bar{x}} - (\bar{x} - \bar{\bar{x}}) \sigma'^2 / \bar{\sigma}^2; \quad (33)$$

$$\sigma''^2 = \sigma_{m2}^{*2} - \sigma_{m2}^{*4} / (\sigma'^2 + \sigma_{m2}^{*2}); \quad (34) \quad x'' = x' + (x_{m2}^* - x') \sigma''^2 / \sigma_{m2}^{*2}; \quad (36)$$

$$\dot{\sigma}^2 = -\bar{\sigma}^2 - \bar{\sigma}^4 / (\sigma''^2 - \bar{\sigma}^2); \quad (35) \quad \dot{x} = x'' - (\bar{x} - x'') \dot{\sigma}^2 / \bar{\sigma}^2; \quad (37)$$

$$\dot{\sigma}^2 = \sigma_k^{*2} - \sigma_k^{*4} / (\dot{\sigma}^2 + \sigma_k^{*2}); \quad (38) \quad \dot{x} = \dot{x} + (x_k^* - \dot{x}) \dot{\sigma}^2 / \sigma_k^{*2}; \quad (40)$$

$$\ddot{\sigma}^2 = -\bar{\sigma}^2 - \bar{\sigma}^4 / (\dot{\sigma}^2 - \bar{\sigma}^2); \quad (39) \quad \ddot{x} = \dot{x} - (\bar{x} - \dot{x}) \ddot{\sigma}^2 / \bar{\sigma}^2. \quad (41)$$

Отриманий алгоритм забезпечує некаузальну обробку у середині зображення і каузальну обробку між ними.

У таблиці 2 показані вихідні ВСШ *SNRout*, отримані після обробки послідовності трьох модельних зображень запропонованим алгоритмом та алгоритмами на основі некогерентного накопичення зображень з подальшою обробкою відомими локальними фільтрами. Вхідне ВСШ складає -0.90 дБ. Запропонований алгоритм забезпечив вииграш в ВСШ в порівнянні з відомим фільтром Лі від 4.79 дБ до 8.37 дБ.

Таблиця 2

Метод		Зображення 1	Зображення 2	Зображення 3
<i>SNRout</i> , дБ	Запропонований алгоритм	12.70	13.63	13.79
	Алгоритм усереднення	-0.90	2.06	3.82
	Фільтр Лі	4.33	7.27	9.00
	Фільтр Куана	3.76	6.76	8.54
	Фільтр Вінера	8.35	11.21	12.88

При розробці методу гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації РСА-зображень за наявності корельованого спекл-шуму, з метою універсальності і узагальнення отриманих результатів вважалось, що завада по координаті k є також корельованою. В цьому випадку на першому етапі для одновимірної фільтрації між зображеннями та всередині них вздовж рядків і стовпців використовується отриманий в розділі 2 на основі моделі (4), (5) алгоритм гаусівських марківських процесів рис. 1.

На другому етапі апостеріорна ЩЙ $f(u|Y_{n1}, y, Y_{m1}, Y_{n2}, Y_{m2}, Y_{k-1})$ вектору $u = (x, z)^T$ точці (n, m, k) визначається по формулі:

$$f(u|Y_{n1}, y, Y_{m1}, Y_{n2}, Y_{m2}, Y_{k-1}) = \frac{c_3}{f(u)} f(u|Y_{n1}, y, Y_{m1}, Y_{n2}, Y_{m2}) f(u|Y_{k-1}), \quad (42)$$

де $f(u|Y_{n1}, y, Y_{m1}, Y_{n2}, Y_{m2})$ - апостеріорної ЩЙ вектору u , яка визначається при об'єднанні результатів одновимірної фільтрації всередині k -го зображення уздовж рядків і стовпців, $f(u|Y_{k-1})$ - апостеріорна ЩЙ вектору u , отримана на першому етапі при фільтрації вздовж координати k ; c_3 - нормуючий множник.

У випадку гаусівських розподілів в правій частині формули (42), апостеріорна ЩЙ $f(u|Y_{n1}, y, Y_{m1}, Y_{n2}, Y_{m2}, Y_{k-1}) = N(\hat{u}, \hat{P})$ є гаусівською. Параметри $\hat{u}, \hat{P}$ апостеріорної ЩЙ $f(u|Y_{n1}, y, Y_{m1}, Y_{n2}, Y_{m2})$, що входить в (42), розраховуються за формулами (8)-(25), в яких враховуються отримані на першому етапі результати фільтрації всередині k -го зображення вздовж рядків і стовпців. Їх об'єднання з отриманими при одновимірній фільтрації між зображеннями математичним очікуванням u_k^* і кореляційною матрицею P_k^* ЩЙ $f(u|Y_{k-1})$, виконується шляхом обчислень за формулами:

$$\hat{K} = \ddot{P} (P_k^* + \ddot{P})^{-1}; \quad (43) \quad \hat{\hat{K}} = \hat{P} (\hat{P} - \bar{P})^{-1}; \quad (44)$$

$$\hat{u} = \ddot{u} + \hat{K} (u_k^* - \ddot{u}); \quad (45) \quad \hat{\hat{u}} = \hat{u} + \hat{\hat{K}} (\bar{u} - \hat{u}); \quad (46)$$

$$\hat{P} = \ddot{P} - \hat{K} \ddot{P}; \quad (47) \quad \hat{\hat{P}} = \hat{P} - \hat{\hat{K}} \hat{P}. \quad (48)$$

З використанням формул (8)-(25) виконується некаузальна обробка у середині зображення, а (43)-(48) відповідно каузальна обробка між ними.

При некорельованості відліків завади на різних зображеннях, для одновимірної фільтрації між зображеннями використовується алгоритм калманівського типу, а для об'єднання отриманих оцінок замість виразів (43)-(48) використовуються формули (38)-(41).

У таблиці 3 показані вихідні ВСШ SNR_{out} для трьох кадрів з послідовності зображень, вхідне ВСШ SNR_{in} складає 1.61 дБ.

Таблиця 3

Метод		Кадр 1	Кадр 2	Кадр 3
SNR_{out} , дБ	Запропонований алгоритм	10.59	10.99	11.36
	Міжкадрове усереднення	1.61	4.66	6.36
	Фільтр Лі	3.91	6.92	8.62
	Фільтр Куана	2.81	5.55	7.22
	Фільтр Вінера	4.04	7.03	8.72

Запропонований алгоритм забезпечив вигреш в ВСШ в порівнянні з відомим фільтром Лі від 2.74 дБ до 6.68 дБ.

У **четвертому розділі** виконано аналіз ефективності розроблених розділах два і три методів шляхом статистичного моделювання на ЕОМ.

Тестові зображення формуються з реального зображення пересіченої місцевості, представленого на рис. 8. У таблиці. 4 показані вихідні SNR_{out} для різних вхідних SNR_{in} , отримані після обробки запропонованим алгоритмом гомоморфної двоетапної фільтрації РСА-зображення при наявності корельованого спекл-шуму (8)-(25), а також для відомими віконними алгоритмами фільтрації спекл-шуму.

Таблиця 4

Метод	$SNR_{in} = 0$ дБ	$SNR_{in} = 1.5$ дБ	$SNR_{in} = 3$ дБ
Запропонований алгоритм	4.85	5.53	6.16
Фільтр Лі	1.85	3.26	4.12
Фільтр Куана	0.81	2.33	3.86
Фільтр Вінера	1.86	3.10	4.26

Для модельних прикладів застосування розробленого алгоритму гомоморфної двоетапної фільтрації дозволило отримати вигреш в вихідному ВСШ від 5.62 дБ до 8.61 дБ. Запропонований алгоритм забезпечив вигреш в ВСШ в порівнянні з відомим фільтром Лі від 3.65 дБ до 6.61 дБ

Аналіз ефективності методу гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації РСА-зображень за наявності корельованого спекл-шуму виконаний на послідовності з десяти зображень, які формуються із зображення рис. 8. Коефіцієнт кореляції ρ між сусідніми зображеннями покладався: 1, 0.95, 0.9, 0.85.

На рис. 9 показане п'яте зображення з послідовності зображень при $\rho=1$, яке спотворене корельованим спекл-шумом. Вхідне ВСШ SNR_{in} становить -2 дБ.

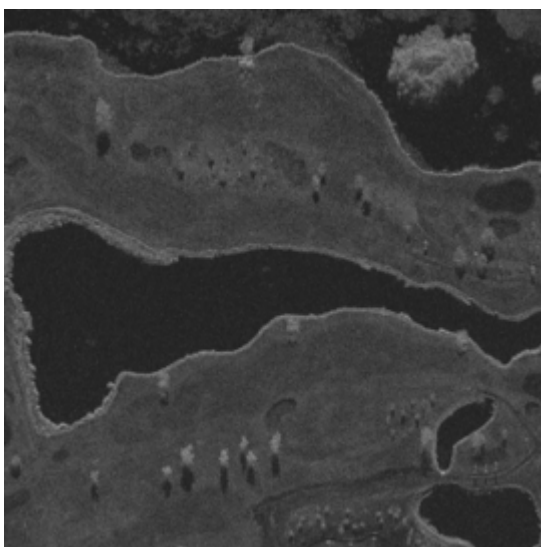


Рис. 8. Неспотворене зображення пересіченої місцевості

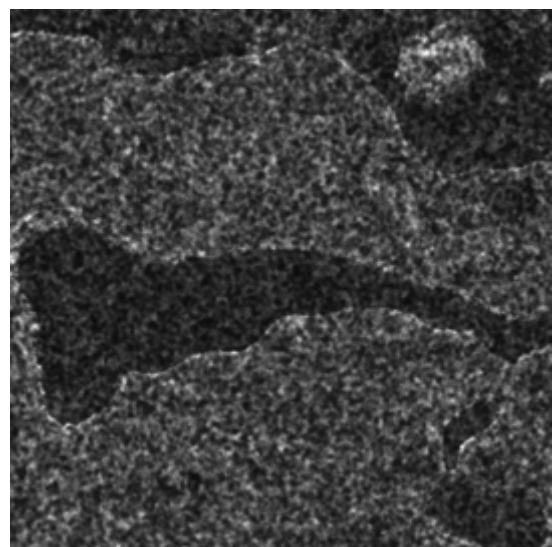


Рис. 9. П'яте зображення, спотворене спекл-шумом

На рис. 10 та рис. 11 показані залежності вихідних ВСШ, отримані після обробки послідовності зображень $K = \overline{1,10}$ при $\rho = 1$ та $\rho = 0.85$ розробленим алгоритмом гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації РСА-зображень за наявності корельованого спекл-шуму (8)-(25), (38)-(41), а також некогерентного накопичення з подальшою обробкою фільтром Л і тільки некогерентного накопичення. Запропонований алгоритм забезпечує виграв у ВСШ у порівнянні з алгоритмом некогерентного накопичення з подальшою обробкою фільтром Лі для усіх $K = \overline{1,10}$.

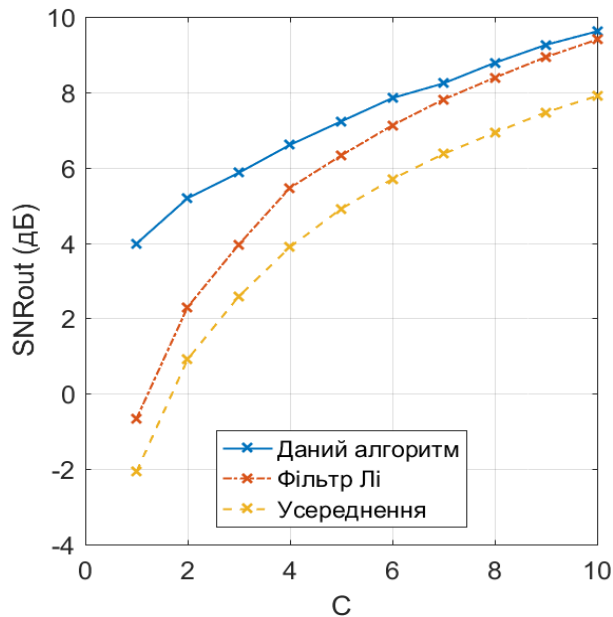


Рис. 10. Залежність ВСШ при обробці запропонованими алгоритмами при $\rho = 1$

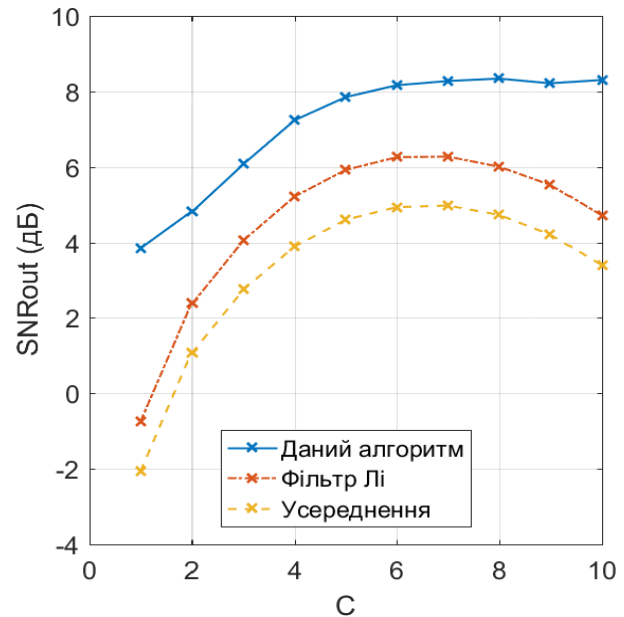


Рис. 11. Залежність ВСШ при обробці запропонованими алгоритмами при $\rho = 0.85$

На рис. 12-13 представлені результати формування багатопоглядового РСА-зображення при $K = 5$ за допомогою запропонованого алгоритму та некогерентного накопичення з подальшою обробкою фільтром Лі, а на рис. 14-15 результати сегментації алгоритмом Оцу цих зображень.

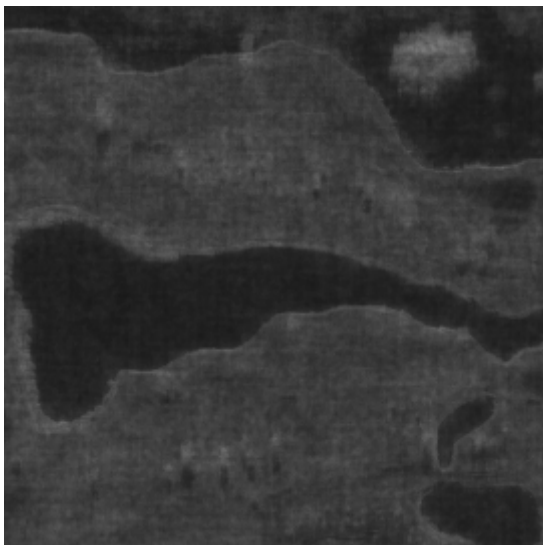


Рис. 12. Багатопоглядове зображення отримане розробленим алгоритмом

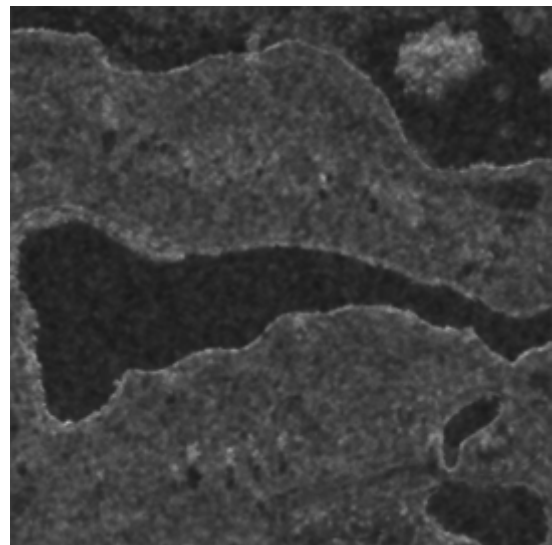


Рис. 13. Багатопоглядове зображення отримане шляхом некогерентного накопичення і використання фільтра Лі

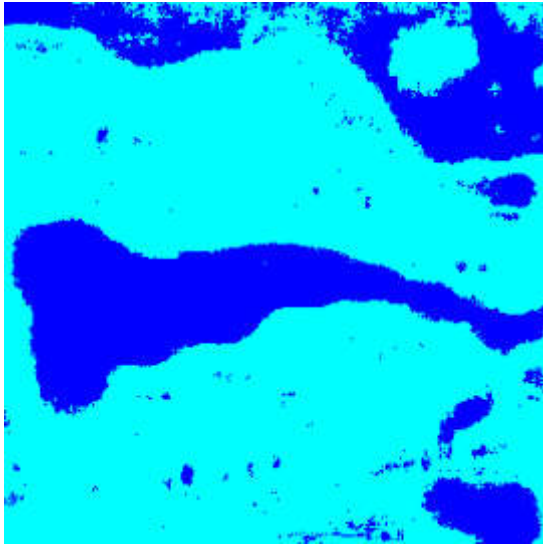


Рис. 14. Сегментація багатопоглядового зображення при $K=5$, отриманого розробленим алгоритмом

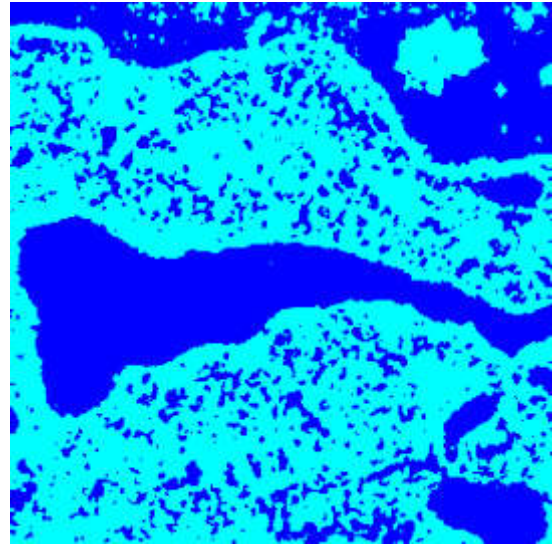


Рис. 15. Сегментація багатопоглядового зображення, отриманого шляхом некогерентного накопичення і використання фільтра Лі

Відсоток помилково класифікованих пікселів на зображенні, сформованому розробленим алгоритмом складає 4.21%, а відомого алгоритму для 16.11%.

На рис. 16 та рис. 17 показані залежності вихідних ВСШ, отримані після обробки послідовності зображень $K=\overline{1,10}$ при $\rho=1$ та $\rho=0.85$ розробленим алгоритмом гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації РСА-зображень за наявності некорельованого спекл-шуму (8)-(25), а також некогерентного накопичення з подальшою обробкою фільтром Лі і тільки некогерентного накопичення.

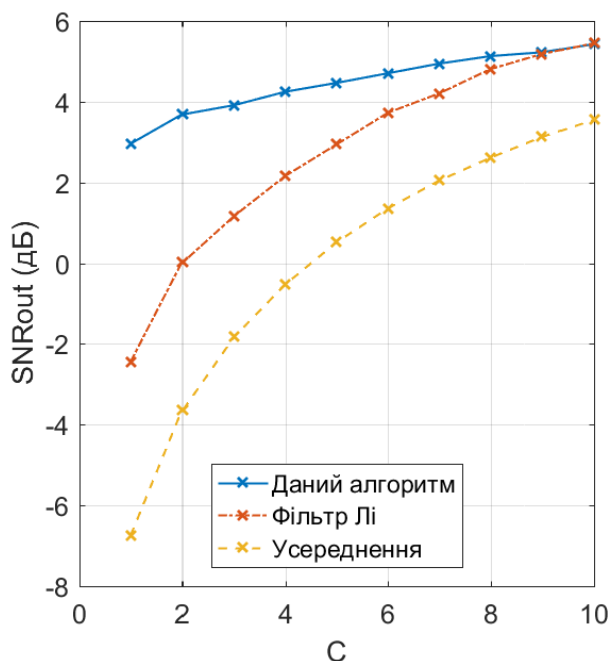


Рис. 16. Залежність ВСШ при обробці запропонованими алгоритмами при $\rho = 1$

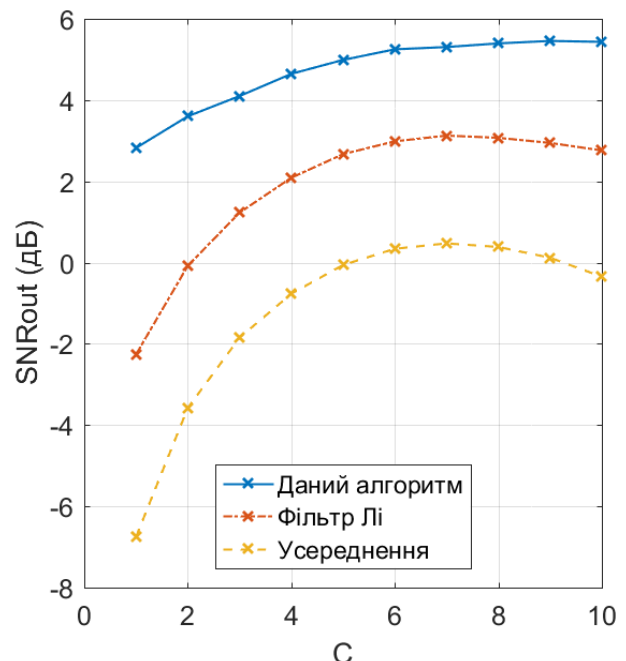


Рис. 17. Залежність ВСШ при обробці запропонованими алгоритмами при $\rho = 0.85$

Виграш у ВСШ зростає при зменшенні кількості однопоглядових зображень, що обробляються. При $\rho = 0.85$ ефективність алгоритмів обробки на основі некогерентного накопичення при збільшенні кількості однопоглядових зображень погіршується.

Розроблені алгоритми гомоморфної двоетапної фільтрації РСА-зображення за наявності корельованого спекл-шуму, а також гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації РСА-зображень за наявності некорельованого і корельованого спекл-шуму забезпечують паралельну обробку даних і є адекватними пристроям з паралельною архітектурою обчислень. Для послідовності зображень розміром $1000 \times 1000 \times 5$, при використанні графічного прискорювача Nvidia GTX Geforce 1080 Ti, час обчислень становить приблизно 0.07 секунд, що забезпечує можливість оперативного отримання аерокосмічної інформації.

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішена наукова задача, яка полягає в розробці методів гомоморфної фільтрації послідовності зображень при наявності корельованого спекл-шуму.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають в наступному:

1. У синтезованому алгоритмі гомоморфної двоетапної фільтрації РСА-зображення при наявності корельованого спекл-шуму, після виконання гомоморфного перетворення на першому етапі, виконується одновимірна сумісна фільтрація зображення і корельованої завади уздовж рядків і стовпців з подальшим об'єднанням на другому етапі розрахованих оцінок, що дозволяє врахувати всі спостереження в рядку і стовпці, які перетинаються в поточній точці, і розглядати обробку як некаузальну. Алгоритми об'єднання оцінок при напівкаузальній і каузальній обробці є складовими частинами некаузального алгоритму.
2. Діючий на першому етапі для одновимірної сумісної фільтрації зображення і корельованої завади уздовж рядків і стовпців алгоритм відноситься до класу алгоритмів фільтрації гаусівських марківських процесів. Оптимальний пристрій включає два канали фільтрації зображення і корельованої завади, які є взаємопов'язаними.
3. У синтезованому алгоритмі гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації РСА-зображень за наявності некорельованого спекл-шуму після виконання гомоморфного перетворення на першому етапі виконується одновимірна калманівська фільтрація між зображеннями та всередині них уздовж рядків і стовпців з подальшим об'єднанням на другому етапі розрахованих оцінок в кожній точці, що дозволяє—врахувати взаємну кореляцію між РСА-поглядами і підвищити ефективність обробки в порівнянні з одновимірними алгоритмами при незначному збільшенні обчислювальних витрат.
4. У синтезованому алгоритмі гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації РСА-зображень за наявності корельованого спекл-шуму, сумісно з двоетапною некаузальною обробкою в середині зображень, також

виконується одновимірною каузальною фільтрацією між зображеннями, а отримані оцінки використовуються при об'єднанні на другому етапі в кожній точці, що дозволяє врахувати взаємну кореляцію між РСА-поглядами і підвищити ефективність обробки у порівнянні з алгоритмом гомоморфної двоетапної фільтрації РСА-зображення.

5. Для розглянутих реальних зображень застосування розробленого алгоритму гомоморфної двоетапної фільтрації РСА-зображення при наявності корельованого спекл-шуму дозволило отримати вигоду в вихідному ЗСШ від 3.75 дБ до 6.16 дБ. Запропонований алгоритм забезпечив вигоду в ЗСШ в порівнянні з відомим фільтром Лі від 1.67 дБ до 3.75 дБ.

6. При значенні коефіцієнту взаємної кореляції між незашумленими (неушкодженими) зображеннями близькому до одиниці, запропоновані алгоритми гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації РСА-зображень за наявності корельованого і некорельованого спекл-шуму у порівнянні з алгоритмом некогерентного накопичення з подальшою обробкою фільтром Лі забезпечують вигоду у ВСШ до 3.6 дБ і 2.8 дБ відповідно.

7. При значенні коефіцієнту взаємної кореляції між незашумленими зображеннями менше одиниці запропоновані алгоритми гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації РСА-зображень за наявності корельованого і некорельованого спекл-шуму у порівнянні з алгоритмом некогерентного накопичення з подальшою обробкою фільтром Лі забезпечують вигоду у ВСШ не нижче 1.9-2.5 дБ і 1.6-2.6 дБ відповідно. При цьому ефективність алгоритмів обробки на основі некогерентного накопичення при збільшенні кількості однопоглядових зображень погіршується.

8. Розроблені алгоритми гомоморфної двоетапної фільтрації РСА-зображення за наявності корельованого спекл-шуму, а також гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації РСА-зображень за наявності некорельованого і корельованого спекл-шуму забезпечують паралельну обробку даних і є адекватними пристроям з паралельною архітектурою обчислень. Для зображення розміром 1000x1000x5, при використанні графічного прискорювача Nvidia GTX Geforce 1080 Ti, час обчислень становить приблизно 0.07 секунд, що забезпечує можливість оперативного отримання аерокосмічної інформації.

9. Результати досліджень впроваджено в розробках науково-виробничого підприємства "ЕКСІММАШ", а також в навчальний процес у національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» на кафедрі радіотехнічних пристроїв та систем, що підтверджується актами впровадження.

ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ляшук О.М. Алгоритм двухэтапной фильтрации многоканальных изображений с внутрикадровой каузальной обработкой при наличии

некоррелированной помехи / О.М. Ляшук, С.В. Вишневый, С.Я. Жук // Вестник НТУУ «КПИ». Серия Радиотехника. Радиоаппаратостроение. – 2015. – № 63. С. 46-54. (**WEB OF SCIENCE**).

2. Ляшук О.М. Двухэтапная каузальная фильтрация однородного изображения при наличии коррелированной помехи / О.М. Ляшук, С.Я. Жук // Вестник НТУУ «КПИ». Серия Радиотехника. Радиоаппаратостроение. – 2016. – № 66. С. 19-28. (**WEB OF SCIENCE**).

3. Ляшук О.М. Объединение результатов одномерной фильтрации однородного изображения и коррелированной помехи при некаузальной обработке / О.М. Ляшук, С.Я. Жук // Вестник НТУУ «КПИ». Серия Радиотехника. Радиоаппаратостроение. – 2017. – № 68. С. 64-70. (**WEB OF SCIENCE**).

4. Ляшук О.М. Алгоритм двухэтапной фильтрации многоканальных изображений с внутрикадровой некаузальной обработкой при наличии некоррелированной помехи / О.М. Ляшук, С.В. Вишневый, С.Я. Жук // Вестник Национального университета «Львовская Политехника». Серия Радиоэлектроника и телекоммуникации. – 2017. – № 874. С. 47-56.

5. Ляшук О.М. Гомоморфная двухэтапная фильтрация последовательности изображений при наличии коррелированного спекл-шума / О.М. Ляшук, С.В. Вишневый, С.Я. Жук // Вестник НТУУ «КПИ». Серия Радиотехника. Радиоаппаратостроение. – 2017. – № 71. С. 52-59. (**WEB OF SCIENCE**).

6. Ляшук О.М. Алгоритм объединения результатов одномерной оптимальной фильтрации при полукаузальной обработке изображений / О.М. Ляшук, С.Я. Жук // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали та системи». Київ, 14 — 20 березня 2015 р.: матеріали конференції — Київ, 2015. — С. 34 — 36.

7. Ляшук О.М. Алгоритм полукаузальной двухэтапной фильтрации полутоновых цифровых изображений / О.М. Ляшук, С.Я. Жук // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіоелектроніка в ХХІ столітті». Київ, 27 — 29 квітня 2015 р.: матеріали конференції — Київ, 2015. — С. 18 — 20.

8. Liashuk O.M., Zhuk S.Ya. A Two-Step Algorithm of Compensating the Additive Correlated Noise on a Homogenous Image, 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), pp. 703-705. (**SCOPUS**).

9. Ляшук О.М. Двухэтапная фильтрация многоканальных изображений с внутрикадровой полукаузальной обработкой при наличии некоррелированной помехи / О.М. Ляшук, С.Я. Жук // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали та системи». Київ, 14 — 20 березня 2016 р.: матеріали конференції — Київ, 2016. — С. 26 — 28.

10. Ляшук О.М. Анализ влияния предварительной двухэтапной фильтрации изображения искаженного коррелированной помехой на результаты сегментации / О.М. Ляшук, С.Я. Жук // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали та системи». Київ, 20 — 26 березня 2017 р.: матеріали конференції — Київ, 2017. — С. 56 — 58.

11. Liashuk O.M., Zhuk S.Ya. Homomorphic two-stage non-causal image filtration in the presence of correlated speckle noise, 2017 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), pp. 553-558. (SCOPUS).

12. Vyshnevyi S., Liashuk O., Zhuk S. Two-stage filtration of digital images with regions of constant intensity in the presence of additive uncorrelated noise. The Third International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo'2018, 10–4 September 2018, Odessa, Ukraine. (SCOPUS).

АНОТАЦІЇ

Ляшук О.М. Методи гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації зображень радіолокатора з синтезованою апертурою антени. - Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 - Радіотехнічні та телевізійні системи - Київ, 2019.

Розроблено метод гомоморфної двоетапної фільтрації РСА-зображень при наявності корельованого спекл-шуму, в якому після гомоморфного перетворення виконуються спільна фільтрація зображення і корельованої завади вздовж рядків і стовпців та об'єднання розрахованих оцінок в кожній точці, що дозволяє підвищити ефективність обробки в порівнянні з одновимірними методами при незначному збільшенні обчислювальних витрат. Розроблено методи гомоморфної двоетапної багатопоглядової фільтрації РСА-зображень за наявності некорельованого і корельованого спекл-шуму, в яких після гомоморфного перетворення виконуються одномірна фільтрація між зображеннями і всередині них (уздовж рядків і стовпців), а також об'єднання розрахованих оцінок в кожній точці, що дозволяє врахувати взаємну кореляцію між однопоглядовими РСА-зображеннями. Оцінку ефективності синтезованих алгоритмів і порівняння їх з відомими виконано за допомогою статистичного моделювання на ЕОМ на модельних і реальних зображеннях. Розроблені алгоритми є адекватними пристроям з паралельною архітектурою обчислень. Проведено аналіз можливостей їх реалізації на базі сучасних обчислювальних систем.

Ключові слова: багатопоглядові РСА-зображення, спекл-шум, гомоморфне перетворення, двоетапна фільтрація зображення, об'єднання оцінок, апостеріорна щільність ймовірності.

Liashuk O.M. Methods of homomorphic two-stage multilook filtration of radar images with synthesized antenna aperture. — Qualification manuscript.

The dissertation for the scientific degree of candidate of engineering sciences in the speciality 05.12.17 – Radio engineering and television systems – Kyiv, 2019.

The method of homomorphic two-stage filtration of SAR images in the presence of correlated speckle noise was developed. Developed method uses joint filtration of the image and correlated noise along rows and columns and the union of the calculated estimates at each point after a homomorphic transformation, which allows to improve the processing efficiency compared to one-dimensional methods with a slight increase in computing costs. The methods of homomorphic two-stage multilook filtration of SAR images in the presence of uncorrelated and correlated speckle noise, in which, after homomorphic transformation, one-dimensional filtration between images and inside them (along rows and columns) is performed, as well as the combination of calculated estimates at each point that allows to take into account the mutual correlation between single-look-up RSA-images were developed. The evaluation of the effectiveness of the synthesized algorithms and their comparison with the known algorithms was made using statistical simulation on the computer models and real images. The developed algorithms are adequate for devices with parallel computing architecture. The analysis of possibilities of their realization on the basis of modern computing systems is carried out.

Keywords: Multilook SAR images, speckle noise, homomorphic transformation, two-stage image filtering, combining estimates, a posteriori probability density.

Ляшук А.Н. Методы гомоморфной двухэтапной многовзглядовой фильтрации изображений радиолокатора с синтезированной апертурой антенны. - Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17 – Радиотехнические и телевизионные системы – Киев, 2019.

Одними из основных современных и перспективных средств землеобзора являются радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны (РСА), которые размещаются на борту авиационных и космических носителей и позволяют получить радиолокационные изображения, приближаются по детальности к изображениям оптических систем. Характерной особенностью РСА-изображений является наличие спекл-шума, который часто является пространственно-коррелированным, и значительно усложняет их анализ. Широкое использование для ослабления спекл-шума находит внутриэлементное некогерентное накопление изображений одного и того же участка местности, которые называются РСА-взглядами. Однако количество РСА-взглядов ограничено допустимым ухудшением пространственного разрешения до предела, когда теряется информация об объекте. Таким образом, учитывая низкое качество исходных одновзглядовых РСА-изображений и их ограниченное количество, важное практическое значение имеет разработка алгоритмов многовзглядовой фильтрации РСА-изображений, которые обеспечивают приемлемые показатели качества.

Разработан метод гомоморфной двухэтапной фильтрации РСА-изображений при наличии коррелированного спекл-шума, в котором после гомоморфного преобразования выполняются совместная фильтрация изображения и коррелированных помехи вдоль строк и столбцов и объединение рассчитанных оценок в каждой точке, что позволяет повысить эффективность обработки по сравнению с одномерными методами при незначительном увеличении вычислительных затрат. Разработаны методы гомоморфной двухэтапной многовзглядовой фильтрации РСА-изображений при наличии некоррелированного и коррелированного спекл-шума, в которых после гомоморфного преобразования выполняются одномерная фильтрация между изображениями и внутри них (вдоль строк и столбцов), а также объединение рассчитанных оценок в каждой точке, что позволяет учесть взаимную корреляцию между одновзглядовыми РСА-изображениями.

Оценка эффективности синтезированных алгоритмов и сравнение их с известными выполнена с помощью статистического моделирования на ЭВМ на модельных и реальных изображениях.

При значении коэффициента взаимной корреляции между незашумленными (неискаженными) изображениями близком к единице, предложенные алгоритмы гомоморфного двухэтапной многовзглядовой фильтрации РСА-изображений при наличии коррелированного и некоррелированных спекл-шума по сравнению с алгоритмом некогерентного накопления с последующей обработкой фильтром Ли обеспечивают выигрыш в ОСШ до 3.6 дБ и 2.8 дБ соответственно. При этом выигрыш возрастает при уменьшении количества одновзглядовой изображений, которые обрабатываются.

При значении коэффициента взаимной корреляции между незашумленными изображениями меньше единицы, предложенные алгоритмы гомоморфной двухэтапной многовзглядовой фильтрации РСА-изображений при наличии коррелированного и некоррелированного спекл-шума по сравнению с алгоритмом некогерентного накопления с последующей обработкой фильтром Ли обеспечивают выигрыш в ОСШ не ниже 1.9-2.5 дБ и 1.6 -2.6 дБ соответственно. При этом эффективность алгоритмов обработки на основе некогерентного накопления при увеличении количества одновзглядовых изображений ухудшается.

Разработанные алгоритмы обеспечивают параллельную обработку данных и адекватны устройствам с параллельной архитектурой вычислений. Для пяти кадров размером 1000x1000, при использовании графического ускорителя Nvidia GTX Geforce 1080 Ti, время вычислений составляет примерно 0.07 секунд, что обеспечивает возможность оперативного получения аэрокосмической информации.

Ключевые слова: многовзглядовые РСА-изображения, спекл-шум, гомоморфное преобразование, двухэтапная фильтрация изображения, объединение оценок, апостериорная плотность вероятности.

Підп. до друку 19.09.19. Формат 60х84 1/16. Спосіб друку – ризографія.
Умов. друк. арк. 1,2. Тираж 100 прим. Зам № 1/16.
Ціна договірна.

Віддруковано в типографії ФОП Андрєєв К.В.
61166, Харків, вул. Богомольця, 9, кв. 50
Свідоцтво про державну реєстрацію
№24800170000045020 від 30.05.2003 р.
ep.zakaz@gmail.com
тел. 063-993-62-73