

DOI: 10.35681/1560-9189.2020.22.4.225916

УДК 004.932.2

В. В. Юзефович, Є. О. Цибульська

Інститут проблем реєстрації інформації НАН України
вул. М. Шпака, 2, 03113 Київ, Україна

Методи групової обробки цифрових знімків при підготовці еталонних зображень

Розглянуто методи спільної обробки серії зображень однієї ділянки місцевості, що застосовуються для зменшення різного роду зашумлень. Запропоновано модифікацію методу медіанної фільтрації і показано, що її використання при підготовці еталонних зображень дозволяє сформувати селективні зображення зі стійкими інформативними ознаками, які можуть застосовуватися для вирішення задачі навігації і наведення літальних апаратів при різних зовнішніх умовах.

Ключові слова: зашумлення зображень, метод медіанної фільтрації, еталонне зображення, навігація та наведення літальних апаратів.

Вступ

При підготовці еталонних зображень (ЕЗ) для навігації і наведення літальних апаратів (ЛА) в багатьох випадках може виявитися, що вхідні зображення місцевості мають недостатню якість для виділення стійких інформаційних ознак [1, 2]. Це може бути викликано різними причинами: обмеженою роздільною здатністю матриці камери, якою проводилася зйомка місцевості, тремтінням камери при зйомці, неідеальними умовами освітлення. Як результат, на зображеннях виникають такі дефекти як розмитість, шум, розфокусування, відблиски, чи навпаки, затінення, загороджування об'єктів. Крім того, зображення можуть містити тимчасові складові (рухомі наземні, надводні чи повітряні антропогенні об'єкти, атмосферні утворення, вегетативні сезонні особливості земного покриву тощо). Без додаткової обробки такі об'єкти (при автоматизованому формуванні ЕЗ) можуть бути помилково «обрані» за інформативні ознаки. Результати впливу перелічених явищ на зображення, у рамках даної роботи, будемо називати його «зашумленням».

Ще одним видом спотворення зображень є їхні геометричні викривлення, які є результатом перетворення зображень недосконалими оптичними системами, однак у даній роботі вони не розглядаються.

Для зменшення різного роду зашумлень зображень звичайно використовуються такі методи як усереднення сусідніх пікселів, медіанна фільтрація, гаусівська

фільтрація, методи на основі вейвлет-перетворень, анізотропна дифузія, фільтри Вінера [3, 4]. При цьому використовується припущення щодо гаусівського розподілу корисних сигналів і завад (даних зображень, що надходять від датчиків). Застосування фільтрів приводить до згладжування різких перепадів яскравості зображень, що проходять передобробку, однак, не вдається позбутися таких ефектів як, наприклад, затінення, загородження, відблиски тощо.

У цей же час, фільтри, що використовують серію зображень, здатні досягти значного покращення якості результуючого зображення [5, 6]. Тобто, пропонується виконувати спільну обробку серії знімків однієї ділянки місцевості. Результатом такої обробки буде синтезоване зображення з меншим рівнем зашумленості та дефектів, більш придатне для підготовки еталонних зображень.

Постановка задачі

Знімки, які включаються до серії для обчислення результуючого зображення, можуть бути отримані від датчиків різної фізичної природи, у різний час, з різним освітленням, різними яскравістю та контрастністю, різним показником шуму. Загальними вимогами для них є однаковий (якомога ближчий) ракурс, однаковий масштаб і роздільна здатність. Оскільки на практиці отримати серію знімків з однаковими параметрами практично неможливо, процедура обробки складається з двох етапів [6]:

- 1) суміщення зображень серії (приведення до одних значень параметрів);
- 2) агрегування знімків.

Для суміщення зображень серії обирається одне опорне (наприклад, перше із серії, або таке, що візуально виглядає менш зашумленим) і за допомогою попарних порівнянь для кожного наступного зображення визначається оператор перетворення (коригуються такі параметри як розмір у пікселях, масштаб, зсув відносно центру зображення). Для цього можуть використовуватися такі методи як пошук точкових відповідностей, суміщення контурів, кореляційний метод, або їхня комбінація [2, 5, 6, 8].

Для прикладу, на рис. 1 показано результат використання двовимірної взаємкореляційної функції для суміщення, а фактично — визначення точних меж опорного зображення на іншому зображенні тієї ж місцевості, для подальшої спільної обробки. При цьому зображення попередньо були приведені до однакового масштабу.

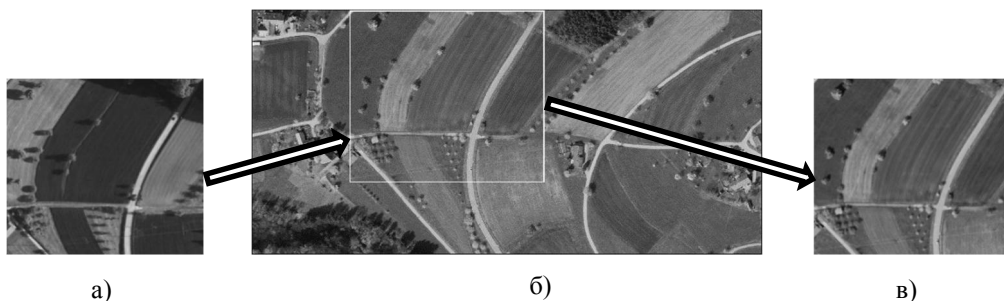


Рис. 1. Результат пошуку опорного зображення (а) на іншому зображенні тієї ж місцевості (б) за допомогою двовимірної взаємкореляційної функції (в)

Ту саму задачу більш оперативно може бути вирішено шляхом використання згортки, наведеної, наприклад, у [7], та майже у реальному часі (однак у загальному випадку із дещо меншою точністю) — шляхом розрахунку різницевої функції [2].

Після виконання першого етапу обробки, матимемо серію з K зображень розміру $N \times M$, з однаковим ракурсом і роздільною здатністю, але різними яскравістю, контрастністю і ступенем зашумленості. Кожне зображення представляється матрицею $A^k = [a_{ij}^k]$ розміру $N \times M$, де a_{ij} — значення яскравості пікселя в градаціях сірого, і знаходиться в діапазоні [0–255]. Далі виконується агрегація зображень серії, причому при різних типах спотворення кращий результат надають різні методи.

Метою роботи було дослідження методів агрегації зображень за серією знімків і отримання підходу, здатного в автоматизованому режимі зменшити рівень зашумленості зображення з відтворенням загороджених і зменшенням яскравості (а в кращому випадку — вилучення) тимчасових об'єктів.

Модифікований метод медіанного значення

Для обчислення агрегованого зображення найчастіше використовуються такі методи як: метод усереднення яскравості пікселів, метод медіанного значення та зважене усереднення яскравості [5, 6, 8].

У методі усереднення яскравості пікселів значення кожного елемента матриці результуючого зображення $B = [b_{ij}]$ обчислюється за формулою:

$$b_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^K a_{ij}^k}{K}, \quad i = \overline{0, N-1}, j = \overline{0, M-1}. \quad (1)$$

У методі медіанного значення яскравості значення кожного елемента матриці результуючого зображення $B = [b_{ij}]$ обчислюється за такими правилами:

- а) $\forall ij$ значення a_{ij}^k сортуються за зростанням;
- б) значення b_{ij} приймаються згідно виразу

$$b_{ij} = a_{ij}^k \text{ при } k = \left\lfloor \frac{K}{2} \right\rfloor + 1, \quad (2)$$

де $\lfloor * \rfloor$ — функція Ант'є (ціла частина числа).

У методі зваженого усереднення яскравості в результуюче зображення має «внесок» кожне зображення із серії, але з різним ваговим коефіцієнтом. Для формування вагового коефіцієнта кожне із зображень серії оцінюється за деяким принципом. Наприклад, у [6] запропоновано ваговий коефіцієнт, який залежить від співвідношення «сигнал-шум» кожного із зображень серії. Однак єдиного підходу для визначення об'єктивного показника якості зображень і, відповідно, вагового коефіцієнта, не існує.

У даній роботі пропонується модифікація методу медіанного значення, де значення кожного елемента матриці результуючого зображення $B = [b_{ij}]$ обчислюється за такими правилами:

- а) $\forall ij$ значення a_{ij}^k сортуються за зростанням;
- б) значення b_{ij} обчислюються за формулою

$$b_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^K cf^k \cdot a_{ij}^k}{c_norm}, \quad i = \overline{0, N-1}, j = \overline{0, M-1}, \quad (3)$$

де ваговий коефіцієнт cf^k обчислюється за правилами:

$$cf^k = \begin{cases} 1, & \text{при } k = \frac{K}{2}, \\ \frac{k}{K}, & \text{при } k < \frac{K}{2}, \\ \frac{K-k}{K}, & \text{при } \frac{K}{2} < k < K, \end{cases} \quad (4)$$

а нормуючий коефіцієнт c_norm дорівнює:

$$c_norm = 1 + \frac{2}{K} \sum_{t=1}^{K/2-1} t. \quad (5)$$

Отже, значення вагового коефіцієнта змінюється в діапазоні [0–1], причому максимальним він буде для медіанного значення яскравості в даній точці та зменшуватиметься для віддалених від нього значень. Тобто, усі зображення серії впливають на результуюче значення, причому найбільший внесок робитиме медіанне значення яскравості, внесок усіх інших буде зменшуватися відповідно ступеню віддаленості від центру відсортованого списку. Графік значень вагового коефіцієнта для серії з 9-ти зображень показано на рис. 2.

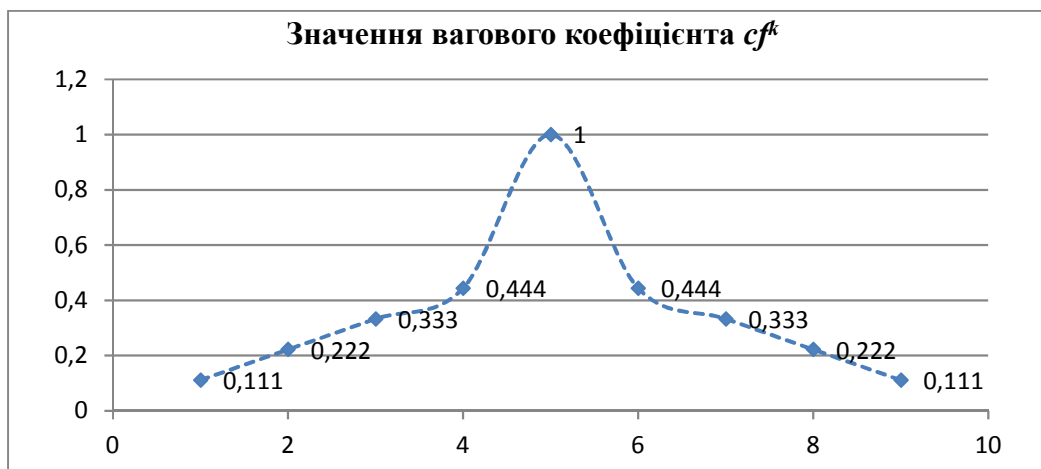


Рис. 2. Значення вагового коефіцієнта для обробки серії з 9-ти зображень

Експериментальні дослідження методів

Для перевірки характеристик запропонованого модифікованого методу та порівняння з уже існуючими методами розроблено програмний застосунок для спільної обробки зображень зазначеними методами та виконано обробку декількох серій зображень, де на окремі зображення штучно нанесено «пошкодження» різного типу.

Перед обробкою вхідні зображення приводяться до формату BMP — 256 градацій сірого, в цьому ж форматі створюються результуючі зображення.

На рис. 3 показано серію з 5-ти знімків, виконаних у різний час (різна освітленість), з частковими загородженнями об'єктів. На рис. 4,а–в представлено результати обробки даної серії різними методами.

Порівняння отриманих зображень здійснюється візуально та шляхом аналізу їхніх гістограм яскравості. Також для аналізу результатів застосування різних методів обчислюються міри близькості між отриманими агрегованими та «ідеальним» (незашумленим і непошкодженим) зображеннями. За міри близькості прийнято середню відстань між зображеннями

$$S_{aw} = \frac{\sum_{k=1}^{n \times m} |x_k - y_k|}{n \times m}$$

та середньоквадратичну відстань між зображеннями

$$S_{sq} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n \times m} (x_k - y_k)^2}{n \times m}},$$

де x_k, y_k — значення яскравості пікселів зображень розміру $(n \times m)$.

Як видно з рис. 4, метод простого усереднення яскравості пікселів (рис. 4,а) дозволяє вирівняти різницю в освітленні та відтворити затінені або загороджені об'єкти, але з меншою контрастністю. Зображення, що відтворені за допомогою методу медіанного значення (рис. 4,б) та модифікованого медіанного методу з ваговими коефіцієнтами (рис. 4,в), є достатньо якісними (контрастними) візуально, однак мають дещо менший діапазон яскравості пікселів.

У табл. 1 показано результати обчислення мір близькості між агрегованими та «ідеальним» зображеннями (аналіз цих даних здійснюється нижче).

Таблиця 1

Міра близькості зображень	S_{aw}	S_{sq}
рис. 4,а	13,278130	0,051768
рис. 4,б	11,799852	0,052805
рис. 4,в	13,200399	0,050149

На рис. 5 показано серію з 3-х знімків, виконаних з різною освітленістю, пошкоджених гаусівським білим шумом (для створення зашумлення використувався графічний пакет Photoshop).



Рис. 3. Серія І з 5-ти знімків місцевості з різною освітленістю та частковими загородженнями об'єктів

На рис. 6 представлено результати обробки даної серії різними методами. Як видно з рис. 6,а, зображення, відтворене за допомогою простого усереднення яскравості пікселів, практично не змінило степінь зашумленості. Зображення, відтворені за допомогою методу медіанного значення (рис. 6,б) та модифікованого медіанного методу з ваговими коефіцієнтами (рис. 6,в), очищені від шуму, однак, як видно з діаграм, суттєво зменшили діапазон яскравості. Крім того, зображення (рис. 6,б) є сильно затемненим (діапазон яскравості більше зсунуто у сторону чорного).

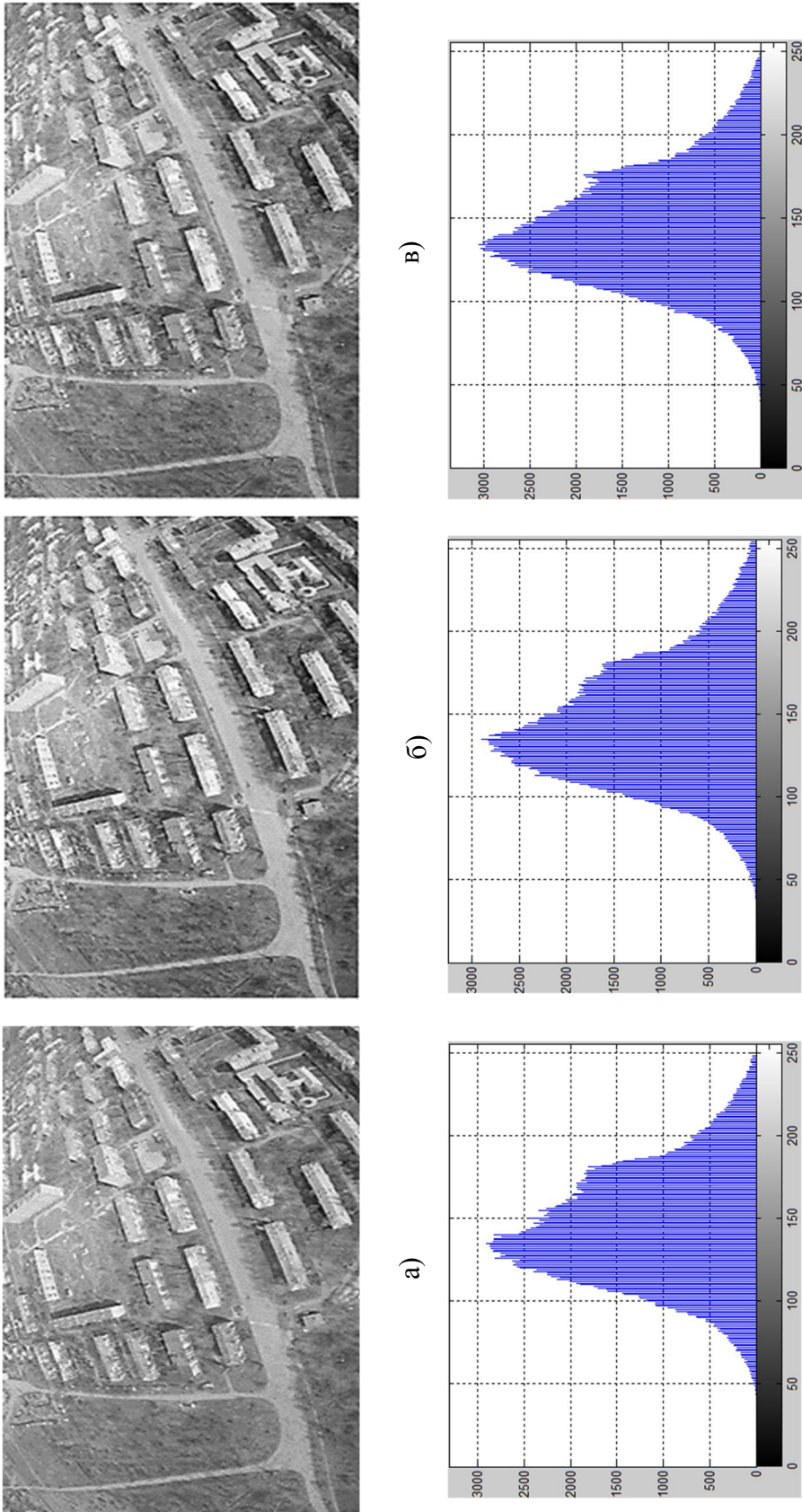


Рис. 4. Агреговані зображення серії І, виконані різними методами: а) усереднення яскравості пікселів; б) медіанне значення яскравості в даній точці; в) модифікований медіанний метод з ваговими коефіцієнтами

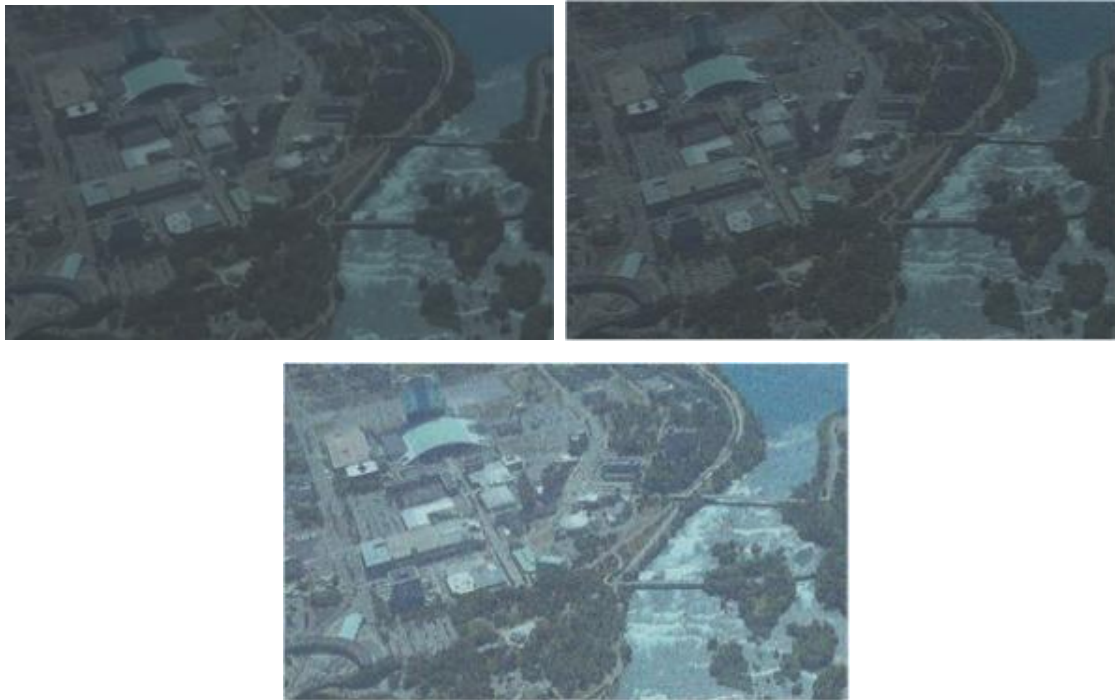


Рис. 5. Серія П з 3-х знімків місцевості із зашумленістю та різною освітленістю

У табл. 2 показано результати обчислення мір близькості між агрегованими та «ідеальним» зображеннями.

Таблиця 2

Міра близькості зображень	S_{aw}	S_{sq}
рис. 6,а	31,452555	0,042515
рис. 6,б	27,485094	0,041925
рис. 6,в	27,485062	0,041926

На рис. 7 показано серію з 6-ти знімків, які виконано з різною освітленістю, пошкоджених гаусівським білим шумом і з частковими загородженнями об'єктів. На рис. 8,а-в представлено результати обробки даної серії різними методами.

Як видно з рис. 8, метод простого усереднення яскравості (рис. 8,а)) слабо впливає на зашумленість зображень, але добре відтворює затінені та загороджені об'єкти, хоча і з меншою контрастністю. Зображення, відтворені за допомогою методу медіанного значення (рис. 8,б) та модифікованого медіанного методу з ваговими коефіцієнтами (рис. 8,в), очищені від шуму, однак мають дещо менший діапазон яскравості. При цьому, зображення, отримане модифікованим медіанним методом з ваговими коефіцієнтами, є більш згладженим.

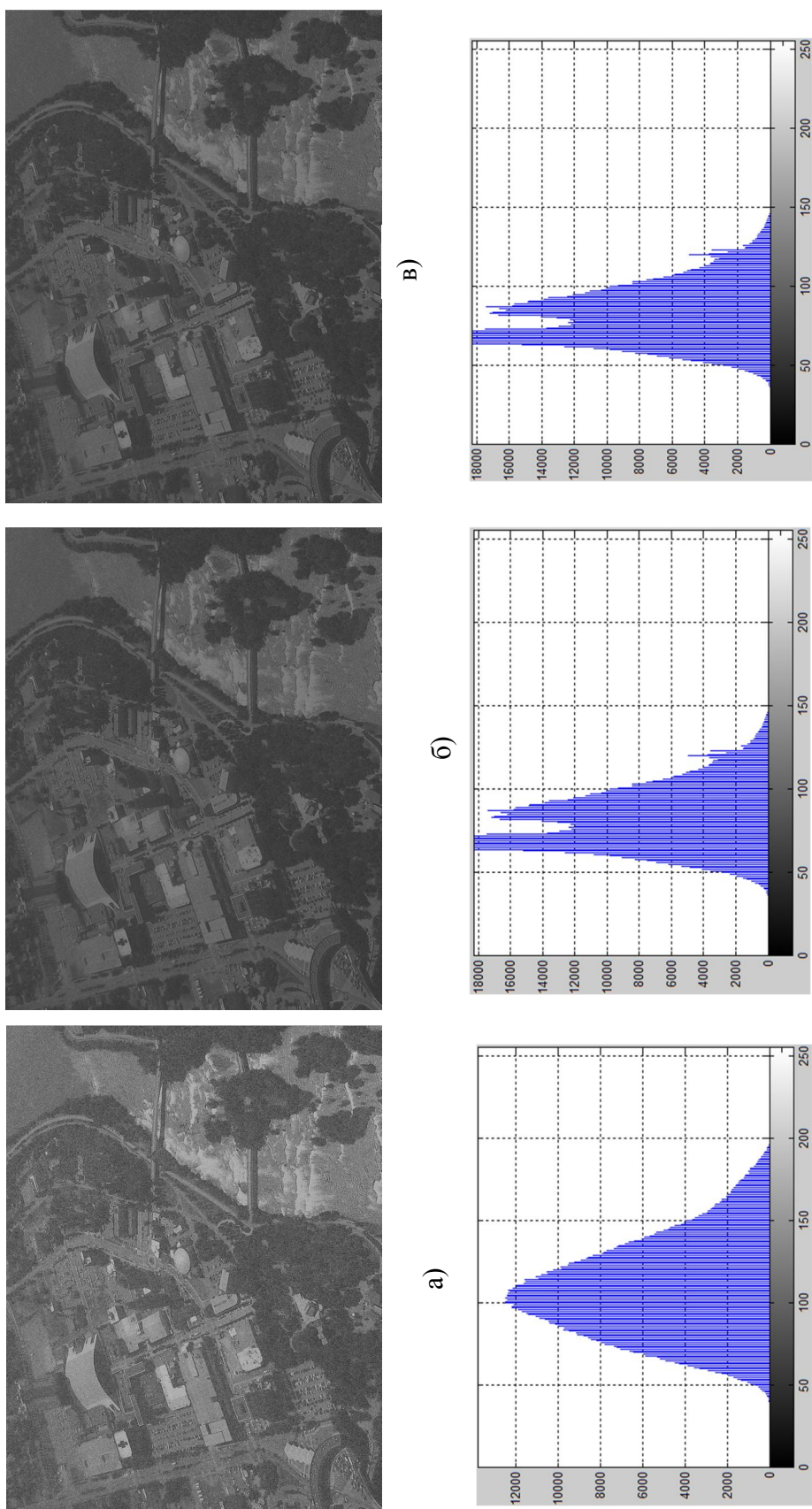


Рис. 6. Агреговані зображення серії П, виконані різними методами:
а) усереднення яскравості пікселів; б) медіанне значення яскравості в даній точці;
в) модифікований медіанний метод з ваговими коефіцієнтами



Рис. 7. Серія III з 6-ти знімків місцевості із зашумленістю, різною освітленістю та частковими пошкодженнями зображень

У табл. 3 показано результати обчислення мір близькості між агрегованими та «ідеальним» зображеннями.

Таблиця 3

Міра близькості зображень	S_{av}	S_{sq}
рис. 8,а	25,329151	0,038168
рис. 8,б	26,483690	0,039694
рис. 8,в	26,455830	0,039679

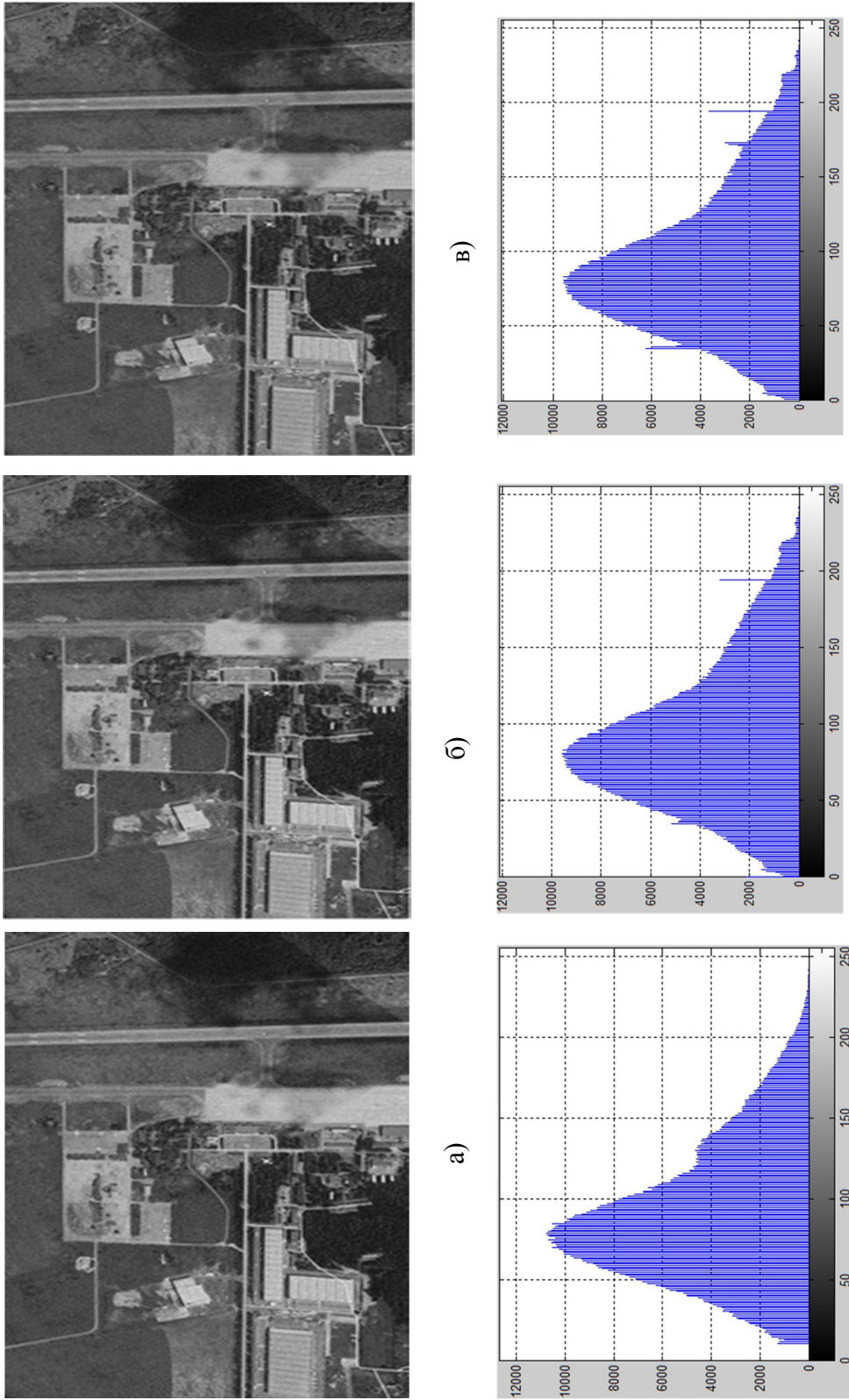


Рис. 8. Агреговані зображення серії ПІ, виконані різними методами:
а) усереднення яскравості пікселів; б) медіанне значення яскравості в даній точці;
в) модифікований медіанний метод з ваговими коефіцієнтами.

Таким чином, ми бачимо, що розглянуті вище методи агрегування серії зображень дозволяють отримати результуючі зображення більш високої якості, причому при різних типах спотворення доцільно використовувати різні методи.

Метод простого усереднення яскравості приводить до хороших результатів, коли на серії зображень є відблиски, загородження або затінення — відтворюються загороджені об'єкти, непостійні об'єкти стають менш контрастними, що дозволяє визначити стійкі інформативні ознаки. Однак цей метод слабо впливає на зашумлення білим шумом.

На відміну від цього, метод медіанного значення значно зменшує зашумленість («зернистість») результуючого зображення, однак загороджені чи затінені об'єкти у загальному випадку не виявляються. Крім того, у зображень, отриманих цим методом, значно зменшується діапазон яскравості, тобто перед підготовкою еталонного зображення з його використанням необхідно додатково виконати операцію «розтягування» діапазону до [0–255].

Запропонована модифікація методу медіанного значення — усереднення з ваговими коефіцієнтами та опорним медіанним значенням, — як і метод медіанного значення, зменшує зашумленість результуючого зображення, однак також здатен відтворювати загороджені та затінені об'єкти, оскільки у формуванні значення яскравості пікселя беруть участь усі зображення серії з відповідними коефіцієнтами.

Це також підтверджується розглядом обчислених мір близькості. Як видно з табл. 1 (зображення з різним освітленням і частковими загородженнями), модифікований медіанний метод забезпечує менше середньоквадратичне відхилення, ніж стандартний медіанний, однак середнє відхилення є більшим. Дані табл. 2 (зображення, пошкоджені білим шумом) показують, що модифікований медіанний метод дає практично ті ж похибки, що і стандартний медіанний. Дані табл. 3 (комбіновані пошкодження зображень — різне освітлення, білий шум, часткові загородження) показують, що модифікований медіанний метод дає менші похибки, ніж стандартний медіанний, але більші, ніж метод усереднення яскравості пікселів.

Однак оцінка агрегованих зображень за допомогою мір близькості потребує наявності «ідеального» зображення для порівняння, що не завжди виконується на практиці. Тому вони застосовувалися при дослідженні методів агрегування зображень на тестових наборах даних. Якщо «ідеального» зображення не існує (як у більшості випадків при підготовці еталонних зображень для навігації і наведення ЛА), якість агрегованих зображень перевірялася шляхом розрахунку взаємореляційних функцій (ВКФ) вхідних зображень і сформованого.

Застосування запропонованого методу для підготовки еталонних зображень

Отримані результати експериментальних досліджень дозволяють стверджувати про неможливість використання як універсальний будь-який із досліджених методів. При цьому, жоден із методів не дозволяє повністю усунути зашумленість зображень без певних втрат. Тому доцільність використання того чи іншого методу агрегування зображень і вибір самого методу здійснюється залежно від характеру зашумлення вхідних зображень, а також від поставленої задачі (зменшити

контрастність тимчасових об'єктів, відтворити загороджені об'єкти, зменшити «зернистість» зображень, тощо), керуючись викладеними вище результатами.

Разом із тим у [9] обґрунтовується можливість формування та використання для наведення та навігації ЛА селективних ЕЗ, що містять лише яскраві або контрастні фрагменти зображень. У такому випадку, запропоновані методи спільної обробки серії зображень можуть бути використані не перед, а після описаної у [9] селективної обробки. Тоді певна частина кожного зображення, що відсутня на селективних зображеннях, перестане впливати на результат їхньої серійної обробки. На рис. 9 показано результат отримання селективного ЕЗ із застосуванням обробки двох селективних зображень медіанним методом з ваговими коефіцієнтами. Якість отриманого селективного ЕЗ перевірено відповідно до підходу, що запропоновано в [2] — шляхом розрахунку взаємкореляційних функцій вхідних зображень і сформованого ЕЗ. Для селективної обробки зображень і розрахунків ВКФ використовувався створений, за участі авторів статті, програмний комплекс формування ЕЗ та оцінки їхньої якості [2, 9].

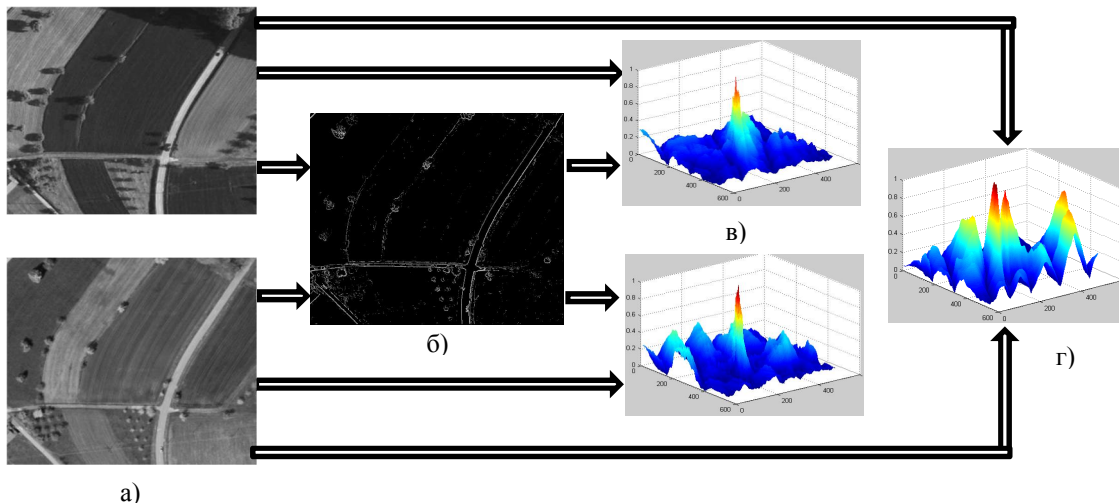


Рис. 9. Перевірка якості ЕЗ, підготовленого шляхом спільної обробки селективних зображень медіанним методом з ваговими коефіцієнтами: а) вхідні зображення, отримані за різних умов; б) еталонне зображення; в) ВКФ відповідних вхідних зображень з еталонним; г) ВКФ вхідних зображень

Отримані ВКФ вхідних зображень та ЕЗ мають домінуючі гострі піки з їхнім значним перевищенням над середнім рівнем «фону». Тобто отримане після спільної обробки двох зображень ЕЗ може бути вірно «прив'язане» до будь-якого із наведених вхідних зображень, що дозволить вирішити задачу навігації (наведення) ЛА. При цьому ВКФ самих вхідних зображень (як видно з рис. 9,2) має значно гірші характеристики (не містить чітко вираженого максимуму та має складний рельєф «фону»). Фактично зображення за їхньою ВКФ не можуть бути однозначно визначеними як зображення однієї ділянки місцевості. Таким чином, можна стверджувати, що сформоване селективне ЕЗ із застосуванням запропонованої обробки серії зображень містить стійкі інформативні ознаки, що притаманні обома вхідним зображенням, а сама обробка зменшує вплив відмінностей вхідних зоб-

ражень на результат. Отже, це дозволить більш якісно вирішувати задачу навігації і наведення ЛА на основі використання зображень місцевості в різних умовах (пора року, освітлення тощо).

Висновки

Досліджено методи покращення зображень (зменшення зашумленості та інших видів спотворень) на основі обробки серії знімків одної ділянки місцевості, які виконані у різний час та з різними характеристиками. Визначено, що при різних типах спотворення доцільно використовувати різні методи. Метод простого усереднення яскравості приводить до хороших результатів, коли на серії зображень є відблиски, загородження або затінення — відтворюються загороджені об'єкти, непостійні об'єкти стають менш контрастними, що дозволяє визначити стійкі інформативні ознаки. Однак цей метод слабо впливає на зашумлення білим шумом. На відміну від цього, метод медіанного значення значно зменшує зашумленість («зернистість») результуючого зображення, однак загороджені чи затінені об'єкти в загальному випадку не виявляються. Крім того, у зображень, що отримані цим методом, значно зменшується діапазон яскравості.

Запропоновано модифікацію методу медіанного значення — модифікований медіанний метод з ваговими коефіцієнтами, отримано формули визначення яскравості пікселя в кожній точці зображення, значення вагового та нормуючого коефіцієнтів. Модифікований метод зменшує зашумленість результуючого зображення гаусівським білим шумом (як медіанний метод), однак також здатен відтворювати загороджені та затінені об'єкти, оскільки у формуванні значення яскравості пікселя беруть участь усі зображення серії з відповідними коефіцієнтами. Недоліком цього методу є зменшення діапазону яскравості, тобто він також потребує додаткової операції «розтягування» діапазону до [0–255].

Крім того, запропоновано формувати еталонні зображення для вирішення задач навігації і наведення ЛА за зображеннями місцевості на основі спільної обробки серії селективних зображень, отриманих зі знімків однієї місцевості за різних умов. Результатом є більш «універсальне» ЕЗ, яке містить стійкі інформаційні ознаки, властиві усім зображенням серії. Це дозволить використовувати підготовлене еталонне зображення для вирішення задачі навігації і наведення ЛА в умовах різної освітленості, у різні пори року, за наявності різних «зашумлень» окремих зображень тощо.

1. Баклицкий В.К. Корреляционно-экстремальные методы навигации и наведения. Тверь: ТО «Книжный клуб», 2009. 360 с.

2. Юзефович В.В., Буточнов А.Н., Мезенцев А.В., Миронюк С.В. Оценка качества эталонных изображений, создаваемых для корреляционно-экстремальных систем навигации. *Регистрация, зберігання і оброб. даних*. 2014. Т. 16. № 4. С. 44–53. <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2014.16.4.100289>.

3. Гонзалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений / пер. с англ. Москва: Техносфера, 2005. 1072 с.

4. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений. Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2008. 192 с.

5. Kantz H., Schreiber T. Nonlinear time series analysis. University Press, Cambridge. 2004. 369 p.

6. Hichri S., Benzarti F., Amiri H. Robust Noise Filtering in Image Sequences. *International Journal of Computer Application*. 2012. Vol. 50. No. 18. P. 18–22.

7. Цибульська Є.О. Використання швидких алгоритмів обчислення кореляції і згортки для підготовки еталонних зображень. *Ресстрація, зберігання і оброб. даних*. 2018. Т. 20. № 3. С. 21–28. <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2018.20.3.158514>.

8. Коровин Я.С., Хисамутдинов М.В. Метод получения незашумленного изображения на основе обработки видеопоследовательности. *Компьютерная оптика*. 2014. Т. 38. № 1. С. 112–116.

9. Юзефович В.В., Мезенцев О.В., Буточнов О.М., Цибульська Є.О. Використання селективних еталонних зображень в оптичному діапазоні для систем навігації керованих об'єктів. *Ресстрація, зберігання і оброб. даних*. 2019. Т. 21. № 2. С. 34–40. <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2019.21.2.180146>

Надійшла до редакції 20.11.2020