

УДК 621.396.969.3

О.Б. Танцюра

*Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОМПЛЕКСУВАННЯ РІЗНОСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ УНІВЕРСАЛЬНОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ

*В роботі запропоновано використання універсального показника якості для оцінки існуючих методів комплексуювання різноспектральних зображень. Проведено аналіз існуючих методів комплексуювання, визначені їх переваги та недоліки. Запропоновано підходи до удосконалення існуючих методів комплексуювання.*

**Ключові слова:** *різноспектральні зображення, комплексоване зображення, метод комплексуювання, універсальний показник якості.*

### Вступ

**Постановка проблеми.** Для завчасного викриття дій противника на полі бою в різних арміях світу широко використовуються мобільні комплекси розвідки та управління вогнем, спрощено – системи розвідки поля бою (СРПБ) та безпілотні літальні апарати [1; 2; 3]. Переважна більшість таких систем отримує інформацію про противника за допомогою електронно-оптичних методів. Для цього в сучасних системах використовуються датчики різної фізичної природи (ДРФП), які працюють переважно в оптичному та інфрачервоному (ІЧ) діапазонах [2]. Однак такі СРПБ мають недостатню ефективність при дії створених противником аерозольних перешкод, при недостатній видимості, при нульовому тепловому контрасті [4]. У зв'язку з цим виникає необхідність удосконалення існуючих систем розвідки поля бою.

В існуючих системах розвідки ДРФП використовуються роздільно і одним із можливих шляхів удосконалення таких систем є комплексуювання зображень, отриманих від ДРФП. Під комплексуюванням розуміється суміщення зображень об'єкту розвідки, отриманих у різних діапазонах спектру. Для цього необхідно визначити метод комплексуювання різноспектральних зображень, який би забезпечив ефективну роботу систем розвідки поля бою в складній фоно-цільовій обстановці (ФЦО).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботі [5] показано, що ДРФП дозволяють отримати інформацію про об'єкти спостереження, характерну для кожного окремого датчика. Разом з тим зручно мати відмінні риси об'єктів сцени спостереження на одному зображенні. При цьому зображення, сформовані ДРФП, не можуть розглядатися як незалежні джерела інформації про об'єкти сцени спостереження. Тим не менше, кожен з датчиків дозволяє отримати деяку специфічну інформацію про об'єкт спостереження, що дозволяє системам розвідки з ДРФП демонструвати кращі показники в порівнянні з системами, які працюють в одному спектральному діапазоні.

пазоні.

В роботі [6] вказано, що застосування методів комплексуювання різноспектральних зображень дозволяє:

- підвищити контрастність зображення при оптимальному розподілі яскравості;
- покращити локалізацію контурів об'єктів;
- забезпечити підвищення достовірності розпізнавання;
- зменшити дію перешкод, характерних для одного з типів ДРФП;
- об'єднати на одному зображенні відмінні риси об'єктів сцени спостереження, отримані у різних діапазонах спектру;

Однак результат комплексуювання різноспектральних зображень залежить від вибраного методу комплексуювання, що обумовлює необхідність проведення глибокого аналізу існуючих методів комплексуювання зображень та визначення забезпечуваних ними показників якості.

**Мета статті.** Проведення порівняльного аналізу існуючих методів комплексуювання різноспектральних зображень для обґрунтування підходів щодо їх удосконалення.

### Основна частина

До основних методів комплексуювання, які вказані в роботах [7–12], відносяться:

- усереднення;
- черезрядкового комплексуювання;
- комплексуювання на основі виділення низько-частотної (НЧ) складової;
- маски;
- максимуму яскравості;
- морфологічного комплексуювання;
- вагової функції;
- степеневого перетворення.

При проведенні порівняльного аналізу методів комплексуювання у пакеті прикладних програм Matlab було створено математичні моделі приведених методів. Методи комплексуювання розглядалися для

випадку, коли існують лише два зображення в оптичному та інфрачервоному діапазонах, приведені до одного розміру.

Для оцінки якості комплексованих зображень, отриманих за допомогою відомих методів, можна використовувати традиційні показники якості зображення, такі як дисперсія яскравості, коефіцієнт кореляції зображень, математичне сподівання яскравості зображення, ентропія, відношення сигнал шум [7; 8]. Однак такі показники оцінюють лише одну окрему характеристику зображення та є суб'єктивними оцінками зображення в цілому. Для всебічного аналізу комплексованих зображень їх оцінку потрібно проводити шляхом визначення локальних змін яскравості, контрасту та відповідно структури об'єктів і фонів зображення. Для цього пропонується використовувати універсальний показник якості (УПЯ) комплексованого зображення  $Q(F_k)$  [9]. Такий показник дозволяє врахувати математичне сподівання, дисперсію та кореляцію яскравості елементів зображення в околиці заданої точки в одній кількісній мірі і розраховується за формулою:

$$Q(F_k) = \sum_{w \in W} c(w) [\beta_1(w) Q_0(F_1(i, j|w), F_k(i, j|w)) + \beta_2(w) Q_0(F_2(i, j|w), F_k(i, j|w))], \quad (1)$$

де  $c(w)$  – ваговий множник, який показує загальну відмінність комплексованого зображення від вихідних у «вікні»;

$\beta_1(w)$ ,  $\beta_2(w)$  – вагові множники, які враховують відмінності одного вихідного зображення від іншого у «вікні» оцінки  $w$ ;

$F_k(i, j)$  – яскравість елементу розділення (піксела) комплексованого зображення;

$F_1(i, j), F_2(i, j)$  – яскравість елементів розділення вихідних зображень.

Показники якості комплексованого зображення  $Q_0(F_1(i, j|w), F_k(i, j|w))$ ,  $Q_0(F_2(i, j|w), F_k(i, j|w))$  розраховуються за формулою, запропонованою в роботі [10]:

$$Q_0(F_1(i, j), F_k(i, j|w)) = \frac{\sigma_{F_1, F_k}}{\sigma_{F_1} \sigma_{F_k}} \cdot \frac{2\bar{F}_1 \bar{F}_k}{\bar{F}_1^2 + \bar{F}_k^2} \cdot \frac{2\sigma_{F_1} \sigma_{F_k}}{\sigma_{F_1}^2 + \sigma_{F_k}^2}, \quad (2)$$

де  $\sigma_{F_1, F_k}$  – коефіцієнт кореляція вихідного та комплексованого зображення;

$\sigma_{F_1}^2$ ,  $\sigma_{F_k}^2$  – дисперсія яскравості вихідного та комплексованого зображень відповідно;

$\bar{F}_1, \bar{F}_k$  – математичне сподівання яскравості вихідного та комплексованого зображень, відповідно.

З формул (1), (2) видно, що УПЯ поєднує в собі

математичне сподівання, дисперсію та кореляцію яскравості елементів зображення і його доцільно застосовувати для об'єктивного аналізу роботи методів комплексовання різноспектральних зображень.

В роботах [9; 10] розміри «вікна»  $w$  не визначені. Тому, для визначення величини  $w$  приведемо залежність значення УПЯ від розмірів  $w$  (рис. 1).

Графік свідчить, що при зміні розмірів вікна оцінки зміна значень  $Q$  незначна і не перевищує 0,09. Важливо відмітити, що діапазон зміни значень УПЯ при зміні розмірів вікна оцінки може досягати 0,3 при високих значеннях дисперсії результуючого зображення.

В подальшому для оцінки методів комплексовання за допомогою УПЯ будемо використовувати найменший розмір вікна оцінки, при якому УПЯ приймає середнє значення. Такий вибір пов'язаний з швидкістю методу, оскільки при збільшенні вікна оцінки збільшується і час, необхідний на розрахунок.

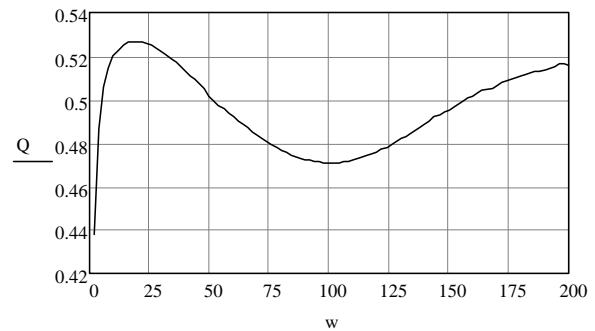


Рис. 1. Залежність величини універсального показника якості від розмірів плаваючого вікна оцінки

Залежність величини УПЯ від величини плаваючого вікна оцінки була розрахована для зображення, отриманого шляхом комплексовання тестових зображень в оптичному та інфрачервоному діапазонах методом, представленим формулою:

$$F_k(i, j) = \frac{F_1(i, j) + F_2(i, j) + \dots + F_m(i, j)}{m}. \quad (3)$$

Метод комплексовання, представлений формулою (3), найпростіший і має назву усереднення. Використання даного методу не дає змоги в повній мірі відобразити на результуючому зображенні відмінні риси вихідних зображень.

Формулою (4) представлено найпоширеніший спосіб реалізації методу маски [7]:

$$F_k(i, j) = \begin{cases} 2F_1(i, j)F_2(i, j) + F_1^2(i, j)(1 - 2F_2(i, j)); \\ 2F_1(i, j)(1 - F_2(i, j)) + \sqrt{F_1(i, j)}(2F_2(i, j) - 1); \end{cases} \quad (4)$$

при  $\begin{cases} F_1(i, j) < b; \\ F_1(i, j) \geq b, \end{cases}$

де  $F_1(i, j)$  – яскравість елементу розділення базового вихідного зображення;

$F_2(i, j)$  – яскравість елементу розділення вихідного зображення-маски;

$b$  – поріг яскравості базового зображення.

При застосуванні методу маски яскравість елементів розділення вихідних зображень спочатку приводиться до діапазону значень  $[0;1]$ . Результат комплексування представляється у вигляді зображення, взятого за базове, пікселі якого мають збільшену або зменшену величину яскравості. Величина яскравості елементів розділення результуючого зображення залежить від величини порогу та яскравості елементів розділення зображення-маски.

Основну складність при використанні такого методу представляє вибір базового зображення. Його можливо здійснювати на основі значень коефіцієнту кореляції або середньої яскравості зображень. Також складністю є визначення необхідного рівня порогу ( $b$ ). Неправильний вибір його значення може призвести до втрати інформативних елементів на результуючому зображенні [8]. На рис. 2 представлений графік залежності величини УПЯ від величини порогу.

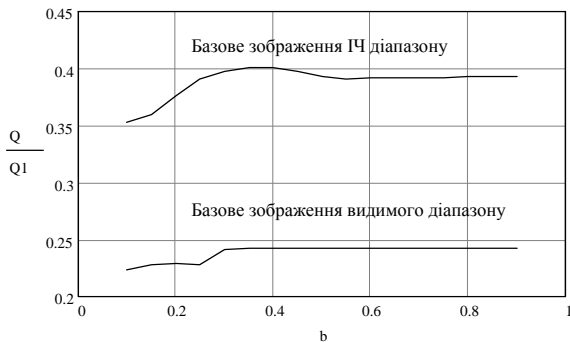


Рис. 2. Залежність величини УПЯ від зміни базового зображення та величини порогу

Як видно з рисунку, при зміні базового зображення величина УПЯ суттєво змінюється, отже, необхідно мати обґрунтований підхід до вибору базового зображення. При зміні величини порогу значення УПЯ теж змінюється, однак ця зміна не суттєва, в межах 0,04.

Аналогом методу маски є метод комплексування за максимумом яскравості:

$$F_k(i, j) = \begin{cases} F_1(i, j); F_1(i, j) \geq F_2(i, j); \\ F_2(i, j); F_2(i, j) > F_1(i, j). \end{cases} \quad (5)$$

При використанні методу, представленого формулою (5), існує висока ймовірність втрати частини корисної інформації, оскільки значення яскравості не є показником інформативності точки зображення.

Для виділення границь об'єктів та подавлення шумової складової на зображенні використовують комплексування на основі виділення низькочастотної складової. Комплексування проводиться за на-

ступним алгоритмом [7]:

– приведення значень яскравості вихідних зображень до діапазону значень  $[0;1]$ ;

– застосування оператора Собела до вихідних зображень та отримання зображень  $F_1^s(i, j)$  та  $F_2^s(i, j)$ ;

– отримання комплексованого зображення за формулою:

$$F_k(i, j) = \frac{1}{3} \left[ (1 - F_1^s(i, j)) + (1 - F_2^s(i, j)) + \frac{1}{2} (F_1^s(i, j) + F_2^s(i, j)) \right]. \quad (6)$$

При комплексуванні методом, представленим формулою (6), об'єкти сцени спостереження, представлені на результуючому зображенні, мають виділені контури. Тому такий метод доцільно застосовувати як попередній крок перед вирішенням задачі розпізнавання. Однак застосування такого методу може призвести до втрати частини інформації, у тому числі важливої, яка міститься у абсолютному значенні яскравості елементів зображення.

Метод черезрядкового комплексування реалізується за рахунок порядкового чергування одного зображення відносно іншого [7]. При такому комплексуванні на результуючому зображенні з'являється черезрядкова частотна складова, при цьому ускладнюється робота оператора через незвичне представлення зображення. Можливим шляхом приведення зображення до звичного вигляду є застосування фільтрів з максимально можливою постійною часу, наприклад фільтру Гауса. Однак такий підхід знижує значення УПЯ.

Елемент зображення, комплексованого методом вагової функції, має вигляд [10]:

$$F_k(i, j) = \alpha F_1(i, j) + (1 - \alpha) F_2(i, j), \quad (7)$$

де  $\alpha$  – ваговий коефіцієнт.

При реалізації такого методу попереднім кроком є приведення значень яскравості вихідних зображень до діапазону  $(0;1)$ . На рис. 3 представлений графік залежності величини УПЯ від значення  $\alpha$ .

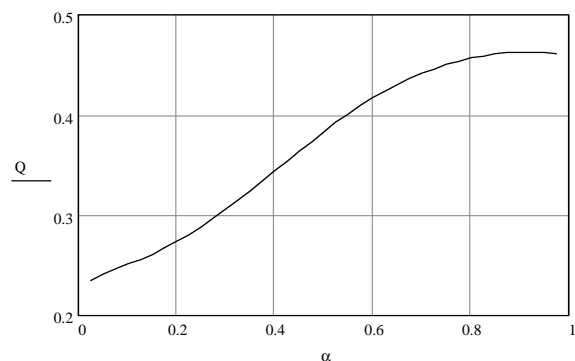


Рис. 3. Залежність величини УПЯ від значення вагового коефіцієнта

Перевагою такого методу є невелика кількість операцій при комплексуванні, що дозволяє реалізувати його у масштабі реального часу. Відсутність єдиного підходу до вибору вагового коефіцієнта  $\alpha$  є недоліком даного методу.

При виборі вагового коефіцієнта іноді доцільно надавати більшу вагу зображенню, середня яскравість якого більша [11], однак такий підхід до визначення  $\alpha$  не враховує зміни умов обстановки

Комплексування методом степеневого перетворення забезпечує одержання результуючого зображення з покращеним контрастом у реальному масштабі часу. При цьому елемент комплексованого зображення має вигляд [11]:

$$F_k(i, j) = F_1(i, j)^{1 - F_{2n}(i, j)/2^n}, \quad (8)$$

де  $F_{2n}(i, j)$  – елемент негативного нормованого вихідного зображення;

$n$  – розрядність зображення.

При виборі показника ступеню  $F_1(i, j)$  (одного з вихідних зображень) виникає неоднозначність, яка обумовлена відсутністю критерію вибору зображення, яке є показником ступеню. Таким чином, для використання методу на практиці необхідно обґрунтувати підходи до визначення показника ступеню у формулі (8).

Результат застосування методу морфологічного комплексування може бути представлений у вигляді [6; 10; 11]:

$$F_k(i, j) = \frac{1}{2}(F_1(i, j) + P_{F_1} F_2(i, j)), \quad (9)$$

де  $P_{F_1}$  – проекція одного вихідного зображення на інше.

Морфологічні проекції  $P_{F_1}$  отримуються за допомогою морфологічної форми, яка визначається шляхом виділення мод гістограми вихідного зображення [12].

Таке комплексування відноситься до кратно-масштабних методів комплексування, які не передбачають попередніх перетворень вихідних зображень при неспівпадінні їх масштабів, що є суттєвою перевагою такого методу [13].

Отримані шляхом математичного моделювання, значення універсального показника якості для розглянутих методів наведені в табл. 1. Для методу маски результати приведені при величині порогу 0,4. Для степеневого перетворення показником ступеню є негатив зображення видимого діапазону. При розрахунках методом вагової функції коефіцієнти визначалися за середньою яскравістю зображень. Розрахунок проводився при значенні  $w$   $8 \times 8$  пікселів.

Представлені результати підтверджують можливість удосконалення існуючих систем розвідки

шляхом використання методів комплексування різноспектральних зображень з метою зниження впливу умов складної ФЦО. Однак не всі методи дозволяють отримати комплексоване зображення, яке б містило в собі важливі відмінні риси вихідних зображень. За результатами оцінки величини універсального показника якості встановлено, що методи черездрядкового комплексування, маски та метод вагової функції забезпечують найкращий результат комплексування. Тому важливо проаналізувати можливості удосконалення представлених методів.

Таблиця 1

Показник якості комплексування

Методи комплексування	Усереднення	Максимуму яскравості	Маски	Виділення НЧ складової	Черездрядкове комплексування	Вагової функції	Степенеve перетворення	Морфологічне
Значення УПЯ	0,359	0,276	0,441	-0,266	0,490	0,432	0,059	0,227

Для удосконалення методу маски необхідно позбавитись двох неоднозначностей, які виникають при виборі базового зображення та величини порогу. При цьому, спираючись на рис. 2, бачимо що величина УПЯ може зрости в межах 0,17.

Метод черездрядкового комплексування має доволі високе значення УПЯ, це свідчить, що результуюче зображення поєднує в собі максимальну кількість відмінних рис вихідних зображень. Однак візуальне представлення зображення незручне для подальшого аналізу. Приведення зображення до вигляду, який необхідний для подальшої обробки, призводить до суттєвого ускладнення методу і знижує значення УПЯ.

Для удосконалення методу комплексування за допомогою вагових коефіцієнтів необхідно, по-перше, розробити об'єктивний показник якості комплексованого зображення; по-друге, розробити метод визначення вагових коефіцієнтів при комплексуванні.

## Висновки

В статті обґрунтовано використання універсального показника якості, як об'єктивної оцінки роботи методів комплексування.

Представлені результати математичного моделювання роботи методів комплексування різноспектральних зображень у вигляді значень УПЯ для ко-

жного з розглянутих методів.

Обґрунтована можливість використання методів комплексування різноспектральних зображень для рішення задачі зниження впливу умов складної фоно-цільової обстановки на формування інформації про поле бою.

Запропоновані шляхи подальшого удосконалення існуючих методів комплексування. Визначено необхідність розробки об'єктивного показника якості комплексованих зображень.

Визначено необхідність подальших досліджень, направлених на створення методу підбору вагових коефіцієнтів для удосконалення існуючого методу комплексування за допомогою вагової функції.

## Список літератури

1. Гейстер С.Р. Перспективные системы и средства ведения наземной разведки / С.Р. Гейстер // Наука и военная безопасность. – 2006. – №2. – С. 46-49.
2. Балоев В.А. Анализ путей повышения эффективности наземных оптико-электронных комплексов наблюдения / В.А. Балоев, С.С. Мишанин, В.А. Овсянников, В.Л. Филинов, С.Е. Якубсон, В.С. Яцык // Оптический журнал. – 2012. – 73(3). – С. 22-32.
3. Худов В.Г. Генетичні алгоритми для сегментування зображень систем оптико-електронного спостереження / В.Г. Худов, О.М. Маковейчук // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – №2(23). – С.142-145
4. Мордвин Н.Н. Концепция построения оптико-электронных приборов универсального назначения / Н.Н. Мордвин, Г.Н. Попов // Известия вузов. – 2009. – Т.52, №6. – С. 34-39.
5. Визильтер Ю.В. Проблемы технического зрения в современных авиационных системах / Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов // Труды научно-технической конференции семинара [«Техническое зрение в системах управления мобильными объектами - 2010»]; под ред. Р.Р. Назирова. – М.: КДУ, 2011. – Вып. 4. – С. 11-44.
6. Костяшкин Л.Н. Технологии систем улучшенного/синтезированного зрения для управления летательными

ми аппаратами / Л.Н. Костяшкин, С.И. Бабаев, А.А. Логинов, О.В. Павлов // Труды научно-технической конференции семинара [«Техническое зрение в системах управления мобильными объектами - 2010»]; под ред. Р.Р. Назирова. – М.: КДУ, 2011. – Вып. 4. – С. 45-56.

7. Инсаров В.В. Задачи принятия решений при слиянии изображений различных спектральных диапазонов [Электронный ресурс]: Электронный научно-технический журнал «Техническое зрение» / В.В. Инсаров, Михайлов И.И., Тохно С.В. // Техническое зрение. – Вып. 3(3) С. 29-36

8. Васильев А.С. Исследование методов комплексирования изображений многоспектральных оптико-электронных систем / А.С. Васильев // Сборник работ аспирантов университета ИТМО, победителей конкурса грантов Правительства Санкт-Петербурга; Под ред. В.О. Никифорова. – СПб.: Университет ИТМО. – 2015. – С. 32-37.

9. Piella G. A new quality metric for image fusion / G. Piella, H. Heijmans // Image Processing, 2003. ICIP 2003. Proceedings. 2003 International Conference on. – IEEE, 2003. – Т. 3. – С. III-173-6 vol. 2.

10. Wang Z. A universal image quality index / Z. Wang, A.C. Bovik // Signal processing letters. Vol. XX, NO. Y, march 2002.

11. Васильев А.С. Исследование и разработка многоспектральной оптико-электронной системы комплексирования изображений для обнаружения и мониторинга лесных пожаров: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.11.07 «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы» / Васильев А.С. – СПб., 2015. – 17 с.

12. Никитин О.Р. Морфологическое комплексирование многоспектральных изображений земной поверхности / О.Р. Никитин, А.Н. Кисляков // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2012. – №2.

13. Тарасов В.В. Двух-и многдиапазонные оптико-электронные системы с матричными приемниками излучения / В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенко. – М.: Университетская книга; Логос, 2007. – С.129-143.

Надійшла до редколегії 10.11.2016

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

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ РАЗНОСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА

А.Б. Танцюра

В работе предложено использование универсального показателя качества для оценки существующих методов комплексирования разноспектральных изображений. Проведен анализ существующих методов комплексирования, определены их преимущества и недостатки. Обоснованы подходы к усовершенствованию существующих методов комплексирования.

**Ключевые слова:** разноспектральные изображения, комплексированное изображение, метод комплексирования, универсальный показатель качества.

## ANALYSIS OF METHODS DIFFERENT SPECTRAL IMAGE FUSION WITH USING UNIVERSAL QUALITY SCORE

A.B. Tancyra

The paper proposed the use of a universal quality index to assess existing methods using aggregation different spectral images. The analysis existing fusion methods, identified their strengths and weaknesses. Based approaches to improve existing fusion methods.

**Keywords:** different spectral images, fusion image, image fusion method, universal quality score.