

МЕТОД ВІДНОВЛЕННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ЗОБРАЖЕНЬ В УМОВАХ РОЗФОКУСУВАННЯ І ЗМАЗУВАННЯ

Розроблено метод відновлення оптико-електронних зображень при відомій функції розмиття точки, який враховує основні спотворюючі фактори, апріорну інформацію про позитивності значень яскравості сигналу оптико-електронних зображень та функції розмиття точки.

Постановка проблеми. Відомо [1–4], що якість оптико-електронних зображень істотно залежить від впливу різноманітних спотворюючих факторів, таких як: адитивні та мультиплікативні перешкоди, різного роду шуми, неправильна експозиція, дісторсія, розфокусування, поворот, зсув, зміна масштабу зображення тощо. Найбільш складними для виправлення є спотворення оптико-електронних зображень, зумовлені неоднорідністю атмосфери, розмиттям через неправильне фокусування та змазуванням, спричиненим рухом об'єкта чи знімальної апаратури [1–4].

Існуючі інформаційні технології обробки оптико-електронних зображень в умовах розфокусування та змазування мають обмежені можливості щодо відновлення зображень, ефективні лише для визначених спектральних діапазонів, що, у свою чергу, негативно впливає на подальші етапи обробки, особливо на координатну прив'язку і виявлення об'єктів на зображеннях [1, 5].

Огляд останніх досліджень і публікацій. Модель формування процесу спотворення оптико-електронного зображення може бути описана таким виразом (1) [6]:

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) + n(x, y) = \sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b h(i, j) f(x+i, y+j) + n(x, y), \quad (1)$$

де $a = \frac{m-1}{2}$, $b = \frac{n-1}{2}$;

$(m \times n)$ – розмір зображення;

$*$ – оператор згортки;

$f(x, y)$ – вихідне неспотворене зображення;

$h(x, y)$ – функція спотворення (функція розмиття точки (ФРТ));

$n(x, y)$ – адитивний шум;

$g(x, y)$ – спотворене зображення (змазане або розфокусоване).

З аналізу робіт [1, 2, 4–7] встановлено основні переваги та недоліки відомих методів обробки оптико-електронних зображень в умовах розфокусування та змазування (при відомій ФРТ):

Лінійні методи. Переваги: відносна простота реалізації, можливість використання при вирішенні широкого спектра різних завдань з відносно малими витратами машинних ресурсів. Недоліки: нестійкість до дії нелінійних спотворень у згортці, обмеження можливості отримання високого розрізнення.

Нелінійні методи. Переваги: можливість урахування апіорної інформації, можливість підвищення роздільної здатності. Недоліки: складність реалізації, великі затрати машинних ресурсів.

Ітераційні методи. Переваги: відносна простота реалізації, можливість урахування апіорної інформації на кожному кроці ітерації. Недоліки: великі затрати машинних ресурсів, неможливість гарантування збіжності ітераційного процесу.

Встановлено, що в більшості випадків при обробці оптико-електронних зображень в умовах розфокусування та змазування використовують гаусову ФРТ з різними параметрами, що навіть при незначних погрішностях у виборі математичної моделі ФРТ призводить до істотного погіршення відновлювальних можливостей алгоритмів обробки. За результатами аналізу відомих методів оцінювання ФРТ встановлено:

для якісного відновлення спотворених зображень необхідно точно знати характеристики системи їх формування та реєстрації;

невідповідність відновленої та спотворювальної ФРТ призводить до незадовільних результатів роботи алгоритмів відновлення зображень.

Формулювання завдання дослідження. Мета статті – розробити метод відновлення оптико-електронних зображень в умовах розфокусування та змазування при відомій ФРТ.

Виклад основного матеріалу. Для якісної обробки оптико-електронних зображень визначимо ФРТ з урахуванням особливостей їх формування. Основними складовими, що впливають на формування результуючої ФРТ, є [7–9]:

ФРТ, зумовлена неоднорідністю атмосфери;

оптична складова, яка описує розмиття, спричинене оптичними засобами;

ФРТ, зумовлена ненульовими розмірами детекторних елементів датчика;

ФРТ, пов'язана із зсувом зображення за час інтегрування оптичного сигналу.

Проведемо розрахунок основних складових, що впливають на формування результуючої ФРТ. Отже, ФРТ, зумовлену неоднорідністю атмосфери, можна розрахувати згідно із виразом:

$$h_{амм}(x, y) = C \cdot \exp \left[\left(-\frac{x^2 + y^2}{r^2} \right)^{\frac{5}{6}} \right], \quad (2)$$

де r – параметр, що характеризує оцінку радіуса плями розмиття двомірного сигналу;

C – стала нормування.

ФРТ, зумовлену оптичними пристроями, можна розрахувати згідно з виразом:

$$h_{ос}(x, y) = \frac{1}{2\pi ab} e^{-\frac{x^2}{2}} e^{-\frac{y^2}{2}}, \quad (3)$$

де параметри a і b визначають ширину ФРТ оптичної системи (для правильно спроектованої оптичної системи $a = b$).

ФРТ, зумовлену ненульовими розмірами детекторних елементів датчика, можна розрахувати за таким виразом (4):

$$h_{det}(x, y) = \text{rect}\left(\frac{x}{w}\right) \text{rect}\left(\frac{y}{w}\right). \quad (4)$$

Функція $\text{rect}\left(\frac{x}{w}\right)$ є відомою функцією прямокутника, шириною w , яку визначають за співвідношенням

$$\text{rect}\left(\frac{x}{w}\right) = \begin{cases} 0 & \text{при } \left|\frac{x}{w}\right| > 0,5; \\ 0,5 & \text{при } \left|\frac{x}{w}\right| = 0,5; \\ 1 & \text{при } \left|\frac{x}{w}\right| < 0,5. \end{cases} \quad (5)$$

ФРТ, пов'язану із зсувом зображення за час інтегрування оптичного сигналу $t_{int.}$, можна розрахувати відповідно до таких виразів:

$$h_{зсув_x}(x) = \text{rect}\left(\frac{x}{s_x}\right), \quad (6)$$

$$h_{зсув_y}(y) = \text{rect}\left(\frac{y}{s_y}\right), \quad (7)$$

де s_x , s_y – просторове змазування зображення за відповідними координатами ($s_x = v_x t_{int.}$, $s_y = v_y t_{int.}$, де v_x , v_y – швидкість зміщення зображення за відповідними координатами).

Результуюча ФРТ оптико-електронного зображення є згорткою усіх розглянутих компонент і може бути описана таким виразом:

$$h(x, y) = h_{атм}(x, y) * h_{oc}(x, y) * h_{det}(x, y) * h_{зсув}(x, y), \quad (8)$$

де $h_{атм}(x, y)$, $h_{oc}(x, y)$, $h_{det}(x, y)$ розраховуються за виразами (2)–(4) відповідно.

$$h_{зсув}(x, y) = h_{зсув_x}(x) h_{зсув_y}(y), \quad (9)$$

де співмножники виразу (9) знаходять за виразами (6), (7) відповідно.

Метод відновлення оптико-електронних зображень в умовах розфокусування і змазування базується на відомому методі фільтрації Вінера [5] з такими особливостями:

ФРТ враховує особливості обробки оптико-електронних зображень, її визначають відповідно до виразу (9);

враховують апріорну інформацію про позитивності значень яскравості сигналу оптико-електронних зображень та ФРТ.

При цьому відновлене зображення $\hat{F}(u, v)$ у частотній області визначають відповідно до виразу:

$$\hat{F}(u, v) = \left(\frac{|H(u, v)|^2}{H(u, v)|H(u, v)|^2 + \frac{S_n(u, v)}{S_f(u, v)}} \right) G(u, v), \quad (10)$$

де $G(u, v)$, $H(u, v)$ – фур'є-перетворення функцій $g(x, y)$ та $h(x, y)$ відповідно;

$S_n(u, v)$ – енергетичний спектр шуму $n(x, y)$;

$S_f(u, v)$ – енергетичний спектр вихідного зображення $f(x, y)$.

Вихідне зображення в умовах розфокусування і змазування наведено на рис. 1.



Рис. 1. Вихідне оптико-електронне зображення в умовах розфокусування і змазування

Оцінимо ФРТ відповідно до виразів (2), (3), (6)–(9). Нижче на рисунках наведено ФРТ, а саме:

на рис. 2 – зумовлену турбулентністю атмосфери та розраховану за виразом (2);

на рис. 3 – спричинену ненульовими розмірами детекторних елементів датчика та розраховану за виразом (3);

на рис. 4 – пов'язану із зсувом зображення та розраховану за виразом (6), (7), (9);

на рис. 5 – результуючу ФРТ, розраховану за виразом (8).

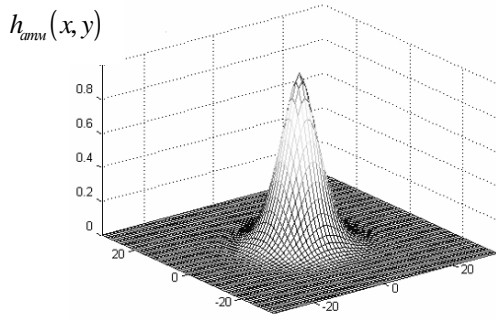


Рис. 2. ФРТ, зумовлена турбулентністю атмосфери

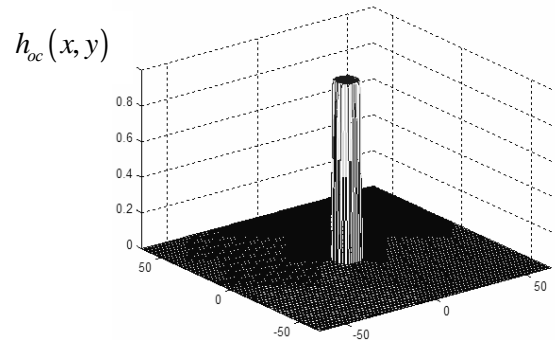


Рис. 3. ФРТ, спричинена оптичними пристроями

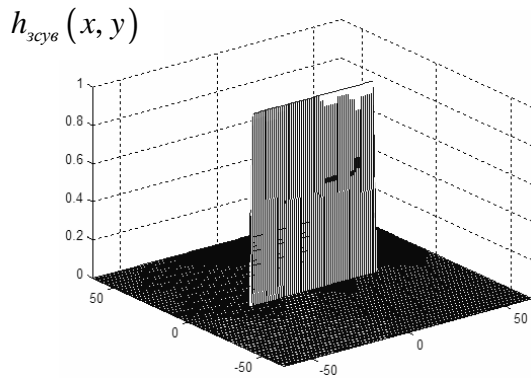


Рис. 4. ФРТ, пов'язана із зсувом зображення

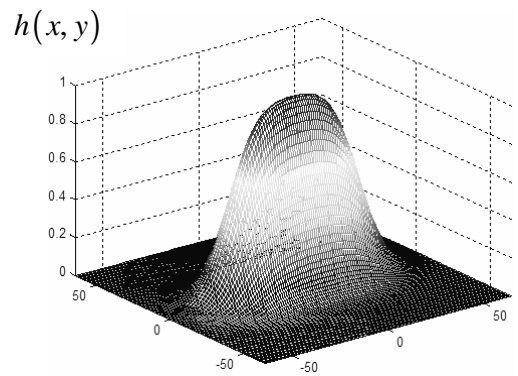


Рис. 5. Результуюча ФРТ

На рис. 6 наведено відновлене оптико-електронне зображення відповідно до виразу (10). При цьому було враховано особливості формування ФРТ, апріорну інформацію про позитивність значень яскравості сигналу оптико-електронних зображень та позитивність значень ФРТ.



Рис. 6. Відновлене оптико-електронне зображення

З аналізу рис. 6 видно, що на зображенні з'являються обрамляючі ефекти, пов'язані з ефектом Гіббса, що мають істотний вплив на якість його обробки та вирішення завдань координатної прив'язки та дешифрування об'єктів.

У подальших дослідженнях необхідно розробити метод подавлення обрамляючого ефекту та метод відновлення оптико-електронних зображень в умовах розфокусування та змазування при невідомій ФРТ.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Таким чином, розроблено метод відновлення оптико-електронних зображень, який враховує особливості розрахунку ФРТ, зважаючи на основні спотворюючі фактори, апріорну інформацію про позитивність значень яскравості сигналу оптико-електронних зображень та позитивність значень ФРТ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Красильников Н. Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений / Н. Н. Красильников. – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 608 с.
2. Злобин В. К. Обработка аэрокосмических изображений / В. К. Злобин, В. В. Еремеев. – М. : Физматлит, 2006. – 288 с.
3. Антонушкина С. В. Особенности анализа и обработки информации от систем гиперспектральной съемки земной поверхности / С. В. Антонушкина, В. В. Еремеев, А. А. Макаренко // Цифровая обработка сигналов, 2010. – № 4. – С. 38–45.
4. Кузнецов А. Е. Организация процесса формирования мозаичных изображений земной поверхности / А. Е. Кузнецов, О. А. Пресняков // Цифровая обработка сигналов, 2011. – № 3. – С. 28–35.
5. Новейшие методы обработки изображений / [А. А. Потапов, Ю. В. Гуляев, С. А. Никитов и др. ; под ред. А. А. Потапова]. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 456 с.
6. Маковейчук О. М. Алгоритми реставрації дефокусованих зображень / О. М. Маковейчук, В. О. Подліпаєв // Системи озброєння і військова техніка. – Х. : ХУПС, 2005. – № 3–4. – С. 99–103.
7. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р. А. Шовенгердт. – М. : Техносфера, 2010. – 560 с.
8. Павлій В. А. Функция размытия точки оптико-электронных изображений при смазе и дефокусировке, обусловленных неоднородностью атмосферы / В. А. Павлій, А. Н. Маковейчук, Г. В. Худов // Системи обробки інформації. – Х. : ХУПС, 2013. – Вип. 9 (116). – С. 145–149.
9. Павлій В. О. Функція розмиття точки дефокусованих оптико-електронних зображень / В. О. Павлій, Г. В. Худов // Вісник Української академії залізничного транспорту. – Х. : УАЗТ, 2013. – № 5. – С. 34–38.

Подано 08.05.2015

Г. В. Худов, В. А. Павлій, С. И. Березина

МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ РАСФОКУСИРОВАНИЯ И СМАЗА

Разработан метод восстановления оптико-электронных изображений при известной функции размытия точки, который учитывает основные искажающие факторы,

априорную информацию о неотрицательности значений яркости сигнала оптико-электронных изображений и неотрицательности значений функции размытия точки.

G. V. Hudov, V. A. Pavliy, S. I. Berezina

METHOD OF RESTORATION OF OPTIKO-ELECTRONIC IMAGES IN THE CONDITIONS OF NOFOCUSING AND BY SMEARING

The method of restoration of optiko-electronic images is developed at known function of degradation of a point which considers the cores deforming factors, the aprioristic information about positive values of brightness of a signal of optiko-electronic images and positive values of function of degradation of a point.