

АНАЛІЗ МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ ТОЧКОВИХ ЦІЛЕЙ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ ІНФРАЧЕРВОНОГО ПАТЧ-ЗОБРАЖЕННЯ

Неуймін О. С., Соколов К.А., Маленчик Т.В.

Радіотехнічний факультет КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: o.s.neuimin@gmail.com

ANALYSIS OF THE POINT TARGETS DETECTION METHOD ON THE BASIS OF THE INFRARED PATCH-IMAGE MODEL

The relevance of the detecting point targets problem on an image is presented. The infrared patch-image algorithm is briefly described. The results of point target detection modeling on the basis of the infrared patch-image model are presented.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) набувають швидкого розвитку, популярності та доступності. Відповідно, з'явилися нові потенційні небезпеки: використання БПЛА для введення незаконної відеозйомки, проникнення на заборонену територію, загроза для повітряного транспорту [1]. Отже виникає потреба у розробці сучасних систем, які були б здатні виконувати задачі виявлення цілі. Оптична система спостереження, що поєднує у собі функції цифрової обробки зображень та радіолокації, має здатність виявляти БПЛА та інші точкові об'єкти в умовах поганої видимості, на великих відстанях, в складних погодних умовах. Тому вона є корисна у військовій, екологічній, охоронній та інших сферах. Вище вказане представляє актуальність розробки відповідних методів виявлення для систем та комплексів відеоспостереження, які були б здатні зменшити ризики від діяльності БПЛА.

Усі відомі методи можна умовно поділити на два види - «супроводження до виявлення» та «виявлення до супроводження» [2]. Методи, які використовують принцип «виявлення до супроводження» не потребують процедури накопичення кадрів чи знання про швидкість, траєкторію чи форму цілі, а рішення про виявлення цілі приймається у кожному кадрі. При цьому, на основі моделі зображення, що складається з цілі f_T , фону f_B і шуму f_N (1) запропоновано чимало методів, таких як: методи виявлення по одному кадру, методи, що базуються на помітності цілі, методи виявлення цілі на основі рівня патч-зображення, методи засновані на вейвлет перетворенні, методи, що засновані на міжкадровій різниці [3].

$$f_0(x, y) = f_T(x, y) + f_B(x, y) + f_N(x, y), \quad (1)$$

де x та y координати пікселів. Серед цих методів найкращими показниками ефективності виявлення цілі володіє метод на основі моделі інфрачервоного патч-зображення (IPI) [4]. Метод дозволяє отримати менше залишкових шумів і завад для різноманітних фонів в порівнянні з класичними методами TopHat, MaxMean та MaxMedian, що дає змогу зменшити ймовірність хибної тривоги при заданій ймовірності виявлення цілі. Тому оцінка можливості його використання при виявленні точкових цілей системою відеоспостереження представляє актуальність.

Метод ІРІ використовує модель зображення, яка відрізняється від традиційно прийнятої (1). В цій моделі, зображення перетворюється на патчі – частинки довільного розміру, на які поділене зображення. Нова модель зображення D описує ціль T , фон B та шум N , як патч-зображення. На основі формули (1) створюється нова модель зображення:

$$D = T + B + N. \quad (2)$$

При цьому T є розрідженою матрицею, а B - низькорангова матриця. Для правильного виявлення цілі необхідно отримати зображення самої цілі f_T . Це зображення отримується шляхом реконструкції патч-зображення цілі T шляхом вирішення задачі оптимізації (3) за допомогою методу прискореного проксимального градієнту (4) [4].

$$\min_{B, T} \|B\|_* + \lambda \|T\|_1 + \frac{1}{2\mu} \|D - T - B\|_F^2, \quad (3)$$

де $\|\cdot\|_*$ - ядерна норма матриці (сума сингулярних значень), $\|\cdot\|_1$ - l_1 -норма, $\|\cdot\|_F$ - норма Фробеніуса, λ – вагова константа, μ - ваговий параметр.

$$\begin{aligned} B_0 &= B_{-1} = 0; T_0 = T_{-1} = 0; a_0 = a_{-1} = 0; \mu_0 > 0; \bar{\mu} > 0; \eta < 1. \\ Y_k^B &= B_k + \frac{a_{k-1}-1}{a_k} (B_k - B_{k-1}); \quad Y_k^T = T_k + \frac{a_{k-1}-1}{a_k} (T_k - T_{k-1}); \\ G_k^B &= Y_k^B - \frac{1}{2} (Y_k^B - Y_k^T - D); \quad (U, S, V) = \text{svd}(G_k^B); \quad B_{k+1} = UJ_{\frac{\mu_k}{2}}[S]V^T; \\ G_k^T &= Y_k^T - \frac{1}{2} (Y_k^B - Y_k^T - D); \quad T_{k+1} = J_{\frac{\mu_k}{2}}[G_k^T]; \\ a_{k+1} &= \left(1 + \sqrt{4a_k^2 + 1}\right) / 2; \quad \mu_{k+1} = \max(\eta\mu_k, \bar{\mu}); \\ \text{conv}_{k+1} &= \|D - B_{k+1} - T_{k+1}\|_F / \|D\|_F; \quad B = B_k; \quad T = T_k. \end{aligned} \quad (4)$$

Процес реконструкції патч-зображення цілі припиняється у випадку, коли модуль різниці між двома значеннями конвергенції не стане меншою деякого числа ε , $|\text{conv}_{k+1} - \text{conv}_k| < \varepsilon$.

Для аналізу алгоритму виявлення точкової цілі згенеровано зображення за моделлю (1), що складається з цілі, фону і шуму. Інтенсивність та розміри точкової цілі формуються на основі двовимірної гаусівської моделі

$$f_T(x, y) = I_{\max} \exp\left(-\frac{1}{2} \left[\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} \right]\right), \quad \text{де ціль представлена величиною пікової}$$

інтенсивності $I_{\max}$, а σ_x , σ_y - параметри горизонтальної та вертикальної протяжності. Шум генерується на основі розподілу Релея. Приклад зображення показано на рис. 1. Розмір зображення складав 480x640 пікселів. Відношення сигнал-шум становив 20 дБ, а $\sigma_x = \sigma_y = 0.8$.

Для оцінки ефективності роботи алгоритму визначалися швидкість виконання (кількість ітерацій алгоритму K та час виконання t), кількість хибних відміток N_f , наявність цілі (yes, no) в залежності від величини ε , від розміру патч-зображення p_s , та від кроку ковзного вікна w_s (табл.1).

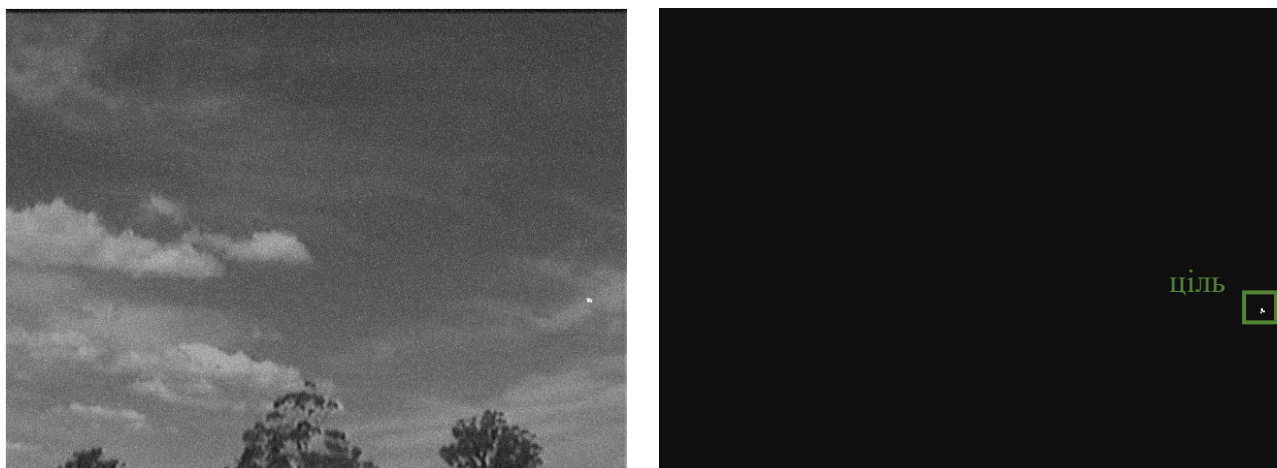


Рис. 1. Приклад зображень до та після оброблення.

Таблиця 1. Результати моделювання.

При $ps = 25 \times 25$, $ws = 20 \times 20$					При $\varepsilon = 0.1$, $ws = 20 \times 20$					При $\varepsilon = 0.1$, $ps = 35 \times 35$				
ε	K	t ,мс	N_f	ціль	ps	K	t ,мс	N_f	ціль	ws	K	t ,мс	N_f	ціль
0.2	1	1250	9433	yes	20x20	4	1382	18	yes	10x10	4	7755	0	no
0.15	3	1528	1	yes	25x25	4	1600	0	yes	15x15	4	4419	0	no
0.1	4	1600	0	yes	35x35	4	2238	0	yes	20x20	4	3000	0	yes
0.01	6	1834	11	yes	55x55	4	4314	0	yes	25x25	4	1675	9	yes
0.001	7	2003	29	yes	75x75	4	7775	0	yes	30x30	4	1459	116	yes
0.0001	39	5478	146031	yes	95x95	4	14580	0	yes	35x35	4	1300	687	yes

З результатів моделювання (табл.1) видно, що значне зменшення величини ε приводить до зростання числа хибних відміток, та збільшення часу оброблення зображення. При $\varepsilon = 0.1$ відсутні хибні відмітки, а тривалість оброблення 1600 мс. Збільшення розмірів патч-зображення до $ps = 95 \times 95$ приводить до значного зростання тривалості оброблення зображення $t = 14580$ мс, а низькі значення до появи хибних відміток. При наближенні розмірів ковзного вікна до розмірів патч-зображення $ps = 35 \times 35$ з'являються хибні відмітки, однак зменшується тривалість оброблення, а при малих значеннях $ws = 10 \times 10$ алгоритм не виявляє точкову ціль. Таким чином, параметри алгоритму ІРІ необхідно підлаштовувати для заданих ситуацій та вимог виявлення точкової цілі.

Література

1. O. Neuimin, I. Tovkach and S. Zhuk, "Analysis of the Algorithm for Detecting a Point Object on a Sequence of Video Images Using Decisive Statistics of Marks," 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 690-693, doi: 10.1109/ELNANO.2019.8783530.
2. Yang, Huanhai. Detection and Tracking of Infrared Dim Small Image Sequence Moving Target. The Open Automation and Control Systems Journal 7, 2015, no. 1: 1698–1704.
3. Rawat, S. S., Verma, S. K., Kumar, Y. Review on recent development in infrared small target detection algorithms. Procedia Computer Science, 167, 2020, 2496–2505.
4. Gao, C., Meng, D., Yang, Y., Wang, Y., Zhou, X., Hauptmann, A. G. Infrared Patch-Image Model for Small Target Detection in a Single Image. IEEE Transactions on Image Processing, 22(12), 2013, 4996–5009.