

АЛГОРИТМ СУПРОВОДЖЕННЯ ТОЧКОВОЇ ЦІЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛІ ВІЯВЛЕННЯ НА ОСНОВІ ПАТЧ- ЗОБРАЖЕННЯ

*Маленчик Т.В.; Неуймін О.С., к.т.н.; Жук С. Я., д.т.н., професор
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна*

Стрімкий розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) привів до їх швидкого використання в різних галузях життєдіяльності людини: у телекомунікаціях, сільському господарстві, системах раннього виявлення, тощо [1]. Так як БПЛА також можуть використовуватися в терористичних цілях, фотозйомці засекречених об'єктів, вторгнення на заборонену територію, тощо [2-3], то існує потреба у розробці алгоритмів, які були б здатні надійно виявляти та супроводжувати БПЛА за допомогою системи відеоспостереження, що дозволяє отримати послідовності зображень області спостереження.

Всі відомі методи виявлення цілі поділяються на два види: – «супроводження до виявлення» та «виявлення до супроводження» [4-5]. «супроводження до виявлення» має накопичити декілька кадрів, для визначення траєкторії руху цілі, після чого виносяться рішення про виявлення цілі. Натомість методи «виявлення до супроводження» виявляють ціль у кожному окремому кадрі, тож не потребують накопичення інформації про ціль, а результати передаються на алгоритм супроводження.

На основі прийнятої моделі зображення, що складається з цілі, фону і шуму:

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

де x та y координати пікселів, запропоновано чимало методів виявлення цілі: а) методи, які використовують вейвлет, б) методи виявлення за єдиним кадром, в) методи виявлення цілі на основі патч-рівня, г) методи виявлення цілі на основі рівня патч-зображення [4]. Серед цих методів найкращими показниками ефективності виявлення цілі володіє метод заснований на використанні моделі ІРІ (infrared patch image) [6]. ІРІ використовує модель зображення, яке поділене на патчі. Ця модель зображення D описує ціль T , фон B та шум N , як патч-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 [7].

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

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

Після виявлення цілі її координату необхідно передати на алгоритм супроводження. Найбільш розповсюдженими алгоритмами супроводження маневруючих точкових цілей є: автономний багатомодельний алгоритм (англ. АММ) та багатомодельний алгоритм з міжмодельною взаємодією (англ. IMM). Так як найкращим з точки зору «точність – обчислювальні затрати» є алгоритм IMM [8] на його базі буде синтезовано алгоритм оцінювання параметрів руху маневруючого об'єкту. Квазіоптимальний адаптивний алгоритм фільтрації параметрів руху об'єкта, який маневрує описується наступним чином:

$$W_{j,k}^* = \sum_{i=1}^M \Pi_{ij,k,k-1} W_{i,k-1}, \quad (4)$$

$$u_{j,k}^* = \sum_{i=1}^M \Pi_{ij,k,k-1} W_{i,k-1} F_{j,k,k-1} u_{i,k-1} / W_{j,k}^*, \quad (5)$$

$$P_{j,k}^* = \sum_{i=1}^M [F_{j,k,k-1} \hat{P}_{j,k-1} F_{j,k,k-1}^T + G_{j,k} Q_{j,k} G_{j,k}^T + (F_{j,k,k-1} u_{i,k-1} - u_{j,k}^*)(F_{j,k,k-1} u_{i,k-1} - u_{j,k}^*)^T] \Pi_{ij,k,k-1} W_{i,k-1} / W_{j,k}^*; \quad (6)$$

$$K_{j,k} = P_{j,k}^* H_{j,k}^T (H_{j,k} P_{j,k}^* H_{j,k}^T + R_k)^{-1}, \quad (7)$$

$$\hat{P}_{j,k} = P_{j,k}^* - K_{j,k} H_{j,k} P_{j,k}^*, \quad (8)$$

$$u_{j,k} = u_{j,k}^* + K_{j,k} (u_k^u - H u_{j,k}^*), \quad (9)$$

$$W_{j,k} = P(u_k^u | a_{j,k}, U_{k-1}^u) W_{j,k}^* / P(u_k^u | U_{k-1}^u), \quad (10)$$

$$P(u_k^u | a_{j,k}, U_{k-1}^u) = (2\pi)^{-1} (\det(D_{j,k}))^{-1/2} \exp\{0.5 \|u_k^u - H u_{j,k}^*\|_{D_{j,k}}^2\}, \quad (11)$$

$$D_{j,k} = H_{j,k} P_{j,k}^* H_{j,k}^T + R_k, \quad (12)$$

де $u_{j,k}^*$, $P_{j,k}^*$, $\hat{P}_{j,k}$ - математичні очікування та кореляційні матриці умовних щільностей ймовірності $W_{j,k}^*(u_k)$, $W_j(u_k)$; $K_{j,k}$ - коефіцієнти підсилення j -го каналу квазіоптимального фільтру, H - матриця спостереження, $P(u_k^u | a_{j,k}, U_{k-1}^u)$ - умовна щільність ймовірності.

Для оцінки математична модель алгоритму була відтворена в середовищі MATLAB. При цьому розміри патчу приймалися рівним 25x25, а кроку ковзного вікна 20x20, $\varepsilon = 0.2$. Вихідні дані для алгоритму супроводження: СКВ похибки вимірювання - 0.3 пікселя. Кількість типів руху об'єкта $M = 3$ (близьке до рівномірного, повільного розвороту та маневру з максимальним перевантаженням). СКВ шуму збудження для

різних типів руху рівні $\sigma_{a1} = 1\text{пк/с}^2$, $\sigma_{a2} = 30\text{пк/с}^2$, $\sigma_{a3} = 60\text{пк/с}^2$.

Як видно з рисунку 1 ціль виділяється досить помітно, кількість хибних відміток низька. При цьому ціль знаходиться в стробах супроводження як на ділянках неманевруючого руху, так і на ділянці з маневром, що свідчить про ефективну роботу алгоритму.

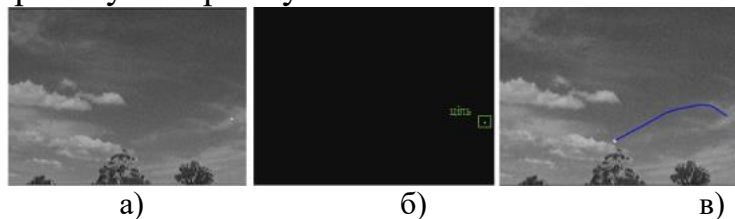


Рисунок 1. — а) Приклад зображень до та — б) після оброблення — в) Трасекторія цілі сформована алгоритмом супроводження.

Перелік посилань

1. D. Erdos, A. Erdos and S. E. Watkins, "An experimental UAV system for search and rescue challenge", Rawat, S. S., Verma, S. K., & Kumar, Y. (2020). Review on recent development in infrared small target detection algorithms. *Procedia Computer Science*, 167, 2496–2505.
2. Jonathan Lazatin. "A Method for Risk Estimation Analysis for Unmanned Aerial System Operation over Populated Areas," AIAA 2014-2284. 14th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference. June 2014.
3. Arya Raj A.K, Radhakrishnan B A Comparative Study on Target Detection in Military Field Using Various Digital Image Processing Techniques
4. Hadzagic M. Track-Before-Detect Methods in Tracking Low-Observable Targets: A Survey / Melita Hadzagic, Hannah Michalska, Eric Lefebvre // *Sensors and Transducers Magazine (ST e-Digest)*, Special Issue. — 2005. — P. 374-380.
5. Rawat, S. S., Verma, S. K., & Kumar, Y. (2020). Review on recent development in infrared small target detection algorithms. *Procedia Computer Science*, 167, 2496–2505.
6. Dai, Y., Wu, Y., Song, Y., & Guo, J. (2017). Non-negative infrared patch-image model: Robust target-background separation via partial sum minimization of singular values. *Infrared Physics & Technology*.
7. Gao, C., Meng, D., Yang, Y., Wang, Y., Zhou, X., & Hauptmann, A. G. (2013). Infrared Patch-Image Model for Small Target Detection in a Single Image. *IEEE Transactions on Image Processing*, 22(12), 4996–5009.
8. Рязанцев Л. Б. Многомодельное байесовское оценивание вектора состояния маневренной воздушной цели в дискретном времени / Л. Б. Рязанцев. // *Вестник ТГТУ*. — 2009.

Анотація

Синтезовано алгоритм супроводження точкової цілі з використанням моделі виявлення на основі патч-зображення.

Ключові слова: виявлення цілі, супроводження цілі, патч-зображення.

Abstract

A dim and small target tracking algorithm was synthesized using a patch image-based detection model.

Keywords: target detection, target tracking, patch image.