

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРООПТИЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Воропаєв А.Ю., Корсун О.О.,
e-mail: andrii.voropaiev@nure.ua

Науковий керівник – к.т.н., проф. Колендовська М.М.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МІРЕС,
м. Харків, Україна

The principles of operation and classification of digital cameras (electro-optical systems) used for monitoring and detecting unmanned aerial vehicles (UAVs) are considered. The features of visual, infrared and ultraviolet radiation spectra, as well as the specifics of their interaction with observation objects, are analysed. Particular attention is paid to multispectral and combined systems that increase the effectiveness of UAV identification under various lighting and weather conditions. Key factors affecting detection range, such as resolution, optical magnification and thermal characteristics of the target, are identified.

Цифрові камери, також відомі як електрооптичні системи, перетворюють світло в електронні дані. Сонце є природним випромінювачем широкого спектру електромагнітного випромінювання, що включає інфрачервоний (ІЧ), видимий та ультрафіолетовий (УФ). Кожен тип світла має свій власний тип електрооптичної системи зондування.

Залежно від різних факторів, таких як матеріал та колір безпілотних літальних апаратів (БПЛА), ці типи випромінювання відбиваються об'єкта спостереження. Оскільки всі об'єкти з температурою вище абсолютного нуля випромінюють інфрачервоне світло, це також стосується БПЛА. А коли БПЛА оснащений ракетним або реактивним двигуном, при запуску двигун також випромінює ультрафіолетове світло.

Камери часто складаються з (адаптованого) об'єктива та фільтра, який має на меті відфільтрувати все, крім бажаного типу світла, і направляє його на датчик, який на прикладі ІЧ-камер перетворює отримане інфрачервоне світло в електронні дані. Ці електронні дані можуть потім передаватися через електронні мережі і використовуватися для створення візуального зображення, знятого камерою, наприклад, на моніторі. Сигнал також може використовуватися для подальшої обробки, наприклад, для автоматичного виявлення та відстеження.

Також існують мультиспектральні камери які фокусуються на широкому діапазоні світла. Іноді різні типи камер об'єднуються в одну систему, що дозволяє користувачеві перемикатися між зображеннями в різних спектрах світла. Різні типи камер розглядаються більш детально нижче.

Камери візуального діапазону є найпоширенішим типом камер. Візуальне світло може генеруватися сонцем, а також штучними джерелами, такими як лампочки та світлодіоди (LED). Візуальне світло взаємодіє з об'єк-

тами, з якими воно стикається, наприклад, відбивається, заломлюється та/або поглинається. Характеристики об'єкта (наприклад, температура, колір, матеріал) визначають характеристики та напрямки результуючого візуального світла, яке фіксується камерою.

Інфрачервоне (ІЧ) світло генерується тепловим випромінюванням об'єктів, наприклад, сонця, вогню та живих об'єктів. Як і видиме світло, інфрачервоне світло також взаємодіє з об'єктами, з якими воно стикається, на основі характеристик об'єкта (наприклад, температури, кольору, матеріалу). Людське око, подібно до очей багатьох тварин, не може бачити інфрачервоне світло.

Система датчиків, з використанням камери ультрафіолетового діапазону, також може бути використана для виявлення БПЛА на основі природного ультрафіолетового випромінювання сонця або на основі ультрафіолетового випромінювання, що генерується БПЛА. Останнє застосовується лише для БПЛА з двигуном внутрішнього згоряння. Двигун внутрішнього згоряння з системою глушника навряд чи вироблятиме ультрафіолетове випромінювання, оскільки система глушника, ймовірно, приглушить ультрафіолетове світло, що виникає внаслідок горіння, знижуючи температуру та потенційно навіть фільтруючи вихлопні гази. Однак реактивні та ракетні двигуни цілком ймовірно вироблятимуть ультрафіолетове випромінювання, що робить ультрафіолетові камери підходящим варіантом для виявлення БПЛА, які рухаються таким чином.

З оперативної точки зору завдання протидії БПЛА, корисно мати камеру, яка дозволяє легко перемикатися між різними типами спектрів світла, оскільки кожен тип випромінювання може забезпечувати різний тип зображення. Залежно від різних умов, БПЛА може більше виділятися на фоні одного типу випромінювання, ніж іншого.

Комбінована камера візуального діапазону та інфрачервоного випромінювання поєднує обидва типи камер для одночасної роботи в одному напрямку. В результаті обидва типи камер охоплюють один і той самий напрямок, що дозволяє користувачеві без зусиль перемикатися між різними типами випромінювання, дивлячись в одному напрямку. Тоді як інфрачервоне зображення може бути корисним для виявлення БПЛА завдяки контрасту з фоном, зображення візуального діапазону може бути більш корисним для перевірки та/або класифікації/ідентифікації.

Мультиспектральні камери мають здатність одночасно знімати зображення в декількох діапазонах довжин хвиль. Наявність зображень різних довжин хвиль, наприклад, комбінація зображень у видимому, ближньому інфрачервоному та короткохвильовому інфрачервоному діапазонах, може надати можливість виконувати детальний багатосмуговий аналіз особливостей, що було б неможливо з зображенням в окремому діапазоні довжин хвиль.

Електрооптичні системи виявлення (камери) призначені для виявлення, локалізації та відстеження «відомих» безпілотних літальних апаратів у навколишньому середовищі. Різні типи камер використовують різні типи світла: інфрачервоне, видиме, ультрафіолетове або їх комбінацію. Розпізнавання БПЛА може здійснюватися як за допомогою комп'ютерного алгоритму, так і оператором системи протидії БПЛА. Комп'ютерний алгоритм використовує «відомі» характеристики БПЛА.

Форма покриття камери визначається її полем зору, яке може бути збільшене доданням механізму повороту та нахилу. Комбінована система може бути всенаправленою з обмеженнями по висоті та/або азимуту.

Діапазон системи камер часто становить до одного або більше кілометрів і сильно залежить від характеристик елементів БПЛА, а також від коефіцієнта оптичного збільшення та роздільної здатності камери. Для конкретного типу камери, крім відповідних рівнів (навколишнього) освітлення, прикладами характеристик БПЛА є:

- для інфрачервоних (ІЧ) камер це характеристики, пов'язані з температурою;
- для видимого діапазону це характеристики, пов'язані з візуальними характеристиками;
- для УФ-камер – це характеристики, пов'язані з процесом горіння в реактивному або ракетному двигуні.

Діапазон може бути зменшений через погіршення умов освітлення, наприклад, у сутінках або вночі, або через погодні умови, такі як сильні опади та туман.

Функціональність, як правило, обмежується прямою видимістю для відповідного типу спектру світла. Відбите випромінювання також може призвести до виявлення елемента, пов'язаного з БПЛА, однак воно навряд чи буде корисним для його локалізації.

Список використаних джерел:

1. Poppinga, G., Anderson, D. and Amendola, D., Technical developments in counter-drone technology: C-UAS detection, tracking and identification technology - Annual report, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2025, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/1517220>, JRC140692.
2. O. Zubkov, S. Sheiko, V. Kartashov and V. Oleynikov, "Detection of Small Drones in Thermal Infrared Range Using YOLOv5 Neural Networks," 2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2022, pp. 283-287.