

УДК 621.384.3

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ЗАДАЧ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

Танчук В.С., Колобродов В.Г.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: tanchuk.vladislav@gmail.com, thermo@ukr.net

Вступ

В реаліях сьогодення, завдання автоматичного виявлення об'єктів, використовуючи тепловізійні системи, є актуальним, як ніколи. Проте виникають не аби які обмеження та складнощі в розробці таких систем. Однією із проблем є обмежена кількість тренувальних даних, які можуть використовуватись як для навчання моделей, так і для розробки алгоритмів автоматичного виявлення та слідування за об'єктом. Для прикладу, системи виявлення дронів, потребують величезну кількість тренувальних даних для навчання та реалізації алгоритмів, через величезне різноманіття дронів. Також необхідно взяти до уваги те, що система автоматичного виявлення дронів з використання тепловізійних систем, може мати різні типи тепловізорів, і при навчанні та розробці такої системи на одному тепловізорі, ефективність роботи може значно погіршитись при використанні іншого тепловізора. Виникає необхідність у розробці методів збору даних, який міг би оптимізувати розробку та навчання таких систем. Дану проблему можна вирішити моделюванням синтетичних теплових зображень, які імітують характеристики реальної тепловізійної зйомки.

Методика моделювання

В даній роботі розглядається метод моделювання зображень для системи виявлення безпілотних літальних апаратів. Для досягнення поставленої мети необхідно знайти спосіб моделювання різних сцен з різними видами безпілотників. Також необхідно знайти можливість враховувати параметри тепловізора для генерації відповідних зображень для різних типів тепловізора. Як результат дослідження запропонована наступна методика моделювання тепловізійних зображень дронів (рис. 1).

Спочатку використовується спеціальний програмний пакет для створення тривимірної комп'ютерної графіки. В даному пакеті повинна бути можливість створювати 3d моделі різних дронів. Також повинна бути можливість створення сцен, з багатьма різними об'єктами. Головним є те, що всі ці об'єкти повинні мати тепловізійне випромінювання для того, щоб на виході отримати ідеальне тепловізійне зображення сцени з безпілотником.

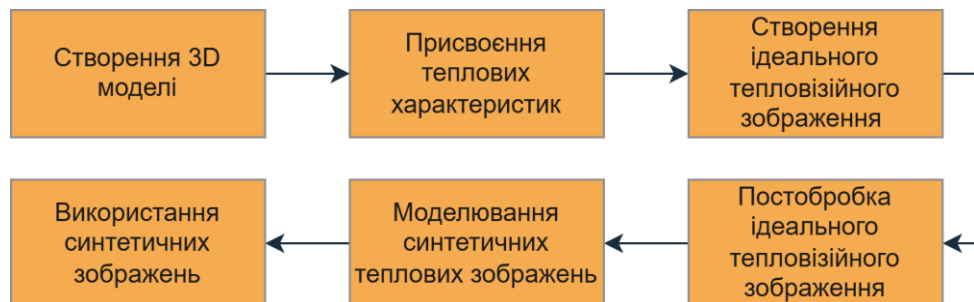


Рис. 1. Запропонована методика моделювання тепловізійних зображень дронів

Наступним етапом буде пост обробка цих ідеальних тепловізійних зображень для того, щоб зробити зображення аналогічне до зображення відповідного тепловізора який використовується в системі. Для цього необхідно враховувати параметри тепловізора, такі як роздільна здатність, спектральний діапазон, робочий діапазон температур, температурна чутливість, параметри оптичної системи й т. д.

Створення синтетичних теплових зображень

В даному дослідженні, в якості програмного пакету для створення тривимірної комп'ютерної графіки використовується Blender версії 4.4.

Blender розроблено для створення якісного 3D-моделювання, анімації та графіки високої роздільної здатності. Blender Foundation підтримує програмне забезпечення з відкритим кодом, яке має значну базу користувачів і понад 3,4 мільйона завантажень щорічно [1].

Перш за все необхідно розробити 3D моделі потрібних нам дронів. В даній роботі було розроблено моделі DJI Mavic 3T та DJI Phantom 4 RTK. Розроблені 3D моделі, можна побачити на рис. 2.

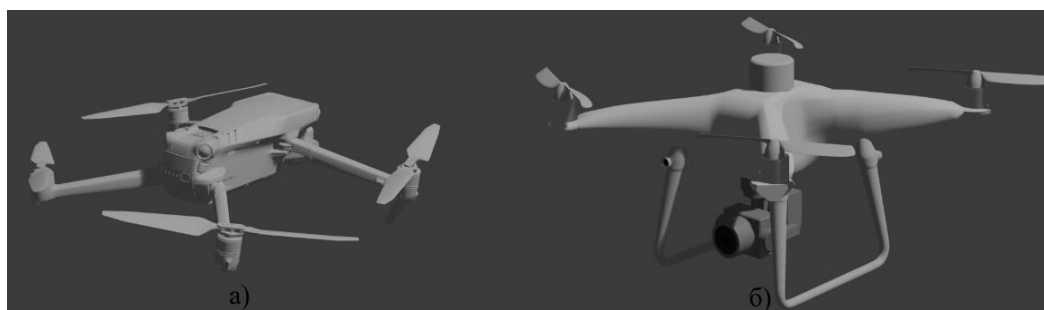


Рис. 2. 3D модель: а) DJI Mavic 3T; б) DJI Phantom 4 RTK

Наступним етапом є присвоєння теплових характеристик для всіх комплектуючих безпілотної системи. Це можна реалізувати використавши робоче середовище «Shading» в Blender. Відповідна схема для надання теплового текстуровування наведена на рис. 3.

Ефект теплового випромінювання надається використовуючи властивість «Emission», ця властивість встановлюється відповідно до температури об’єкта (наприклад для температури 20 °C встановлюється «Strength» 20). Дані зображення будуть згенеровані у градаціях сірого, тому встановлюємо градієнт кольору від 0.0 – 1.0, тобто від чорного до білого. Для цього використовується властивість «Color Ramp». Для того, щоб тепловізійне випромінювання не було різким і однаковим незалежно від кута огляду додається ефект Френеля, використовуючи властивість «Fresnel» з коефіцієнтом 1.35.

Для того, щоб правильно встановити інтенсивність випромінювання необхідно визначити яка температура мають різні комплектуючі безпілота під час експлуатації. Для нас важливими є температури двигунів, батареї, контролера та електроніки, камери і корпусу. Як результат маємо наступні дані:

- Мотори – від 60 - 80°C, критичною є 100°C при якій можливе пошкодження магнітів [2];
- Батарея – від 40 - 50 °C, критичною є 70°C під час якої є ризик термічного розгону [3];
- Контролера та електроніка – від 40 – 60 °C, максимальною є 70 °C [4];
- Корпус – від 0 - 40 °C [4];
- Камера – від 30 - 50 °C, максимальна 60 °C [5].

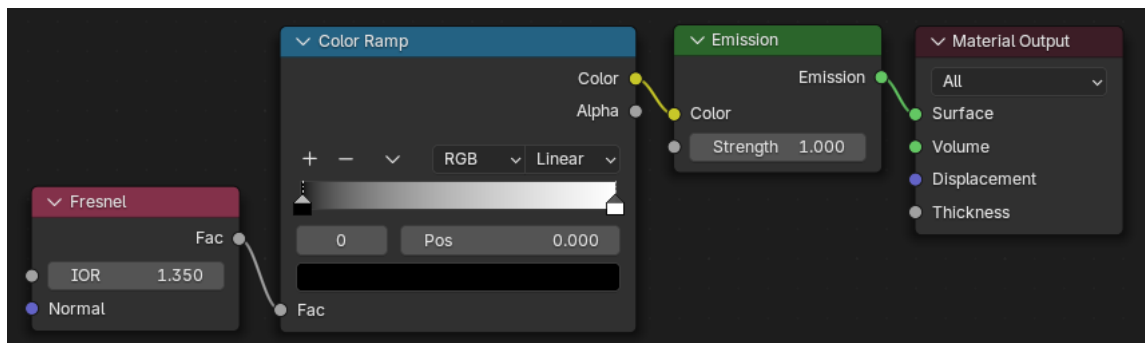


Рис. 3. Схема шейдерів теплового текстуровання

Результат синтезу ідеальних тепловізійних зображення БПЛА можна побачити на рис. 4б.

Обробка синтетичних зображень

Наступним етапом після синтезу ідеальних тепловізійних зображень є пост-обробка. Як зазначалось раніше, під час пост-обробки враховуються параметри тепловізора, для того, щоб максимально наблизити синтезоване тепловізійне зображення до реального зображення відповідного тепловізора. Пост-обробка складається з кількох ключових етапів.

Першим етапом є нормалізація зображення. Початкове 16-бітне зображення $I_{raw} \in [0, 65535]$ нормалізується до діапазону $[0, 1]$ згідно формули (1):

$$I_{norm} = \frac{I_{raw}}{2^{16} - 1} \quad (1)$$

Потім для моделювання оптичних втрат по краях застосовується радіальна функція віньєтування $V(x, y)$, яка зменшує інтенсивність пікселів від центру зображення [6]:

$$I_v(x, y) = I_{norm}(x, y) \cdot V(x, y), \quad (2)$$

де $V(x, y) = 1 - s \cdot r^2$ - нормальна відстань до центру, s – коефіцієнт сили ефекту.

Наступним кроком є підсилення теплих об'єктів. Для пікселів з високою інтенсивністю (вище 0.95) застосовується нелінійне підсилення:

$$I_b(x, y) = \begin{cases} \min(1; 1.5 \cdot I_v(x, y)), & I_v > 0.95 \\ I_v(x, y) & \end{cases} \quad (3)$$

Після підсилення нормалізоване значення переводиться у фізичний температурний діапазон:

$$T(x, y) = T_{min} + I_b(x, y) \cdot (T_{max} - T_{min}). \quad (4)$$

Потім необхідно змоделювати тепловий шум, так як синтезовані зображення взагалі не мають шуму. Для цього додається Гаусівський шум з нульовим середнім і стандартним відхиленням, пропорційним NETD [7]:

$$\begin{aligned} T_n(x, y) &= T(x, y) + f(0, \sigma^2) \\ \sigma &= NETD \cdot (T_{max} - T_{min}) \end{aligned} \quad (5)$$

де $f(0, \sigma^2)$ - функція випадкових чисел по нормальному розподілу.

Також доречно буде додати імітацію розмиття. Для цього на зображенні застосовується Гаусівське згладжування [8]:

$$T_{blur} = G_\sigma \cdot T_n, \quad (6)$$

де $\sigma = 1.5$, $G_\sigma = [3 \ 3]$ - є Гаусівським ядром.

Останнім етапом буде квантування, тобто виконується перетворення у цілочисельне значення з урахуванням розрядності n :

$$Q(x, y) = \left(\frac{T_{blur}(x, y) - T_{min}}{T_{max} - T_{min}} \cdot (2^n - 1) \right) \quad (7)$$

де $n = 16$, $Q \in [0; 65535]$.

Результати пост-обробки над синтетичними зображеннями дронів можна побачити на рис. 4в. На цю мить у дослідженні під час пост-обробки враховувались лише такі параметри тепловізора, як роздільна здатність, спектральний діапазон, робочий діапазон температур, температурна чутливість. В ідеалі необхідно ще

враховувати параметри тепловізійної оптичної системи, проте для реалізації «proof of concept» поки достатньо використаних параметрів.

Результати моделювання

Для оцінки реалістичності отриманих синтетичних даних було підібрано тепловізійні зображення з дронами Mavic 3T та Phantom 4 RTK. Моделювання синтетичних тепловізійних зображень виконувалось так, щоб сцена була однаковою до сцени на реальних зображеннях. На рис. 4 можна побачити результати моделювання. Зверху зображений Mavic, знизу Phantom. На зображеннях (а) зображені реальні тепловізійні зображення цих БПЛА. На зображеннях (б) показані синтезовані ідеальні тепловізійні зображення у пакеті Blender. На зображеннях (в) представлені фінальні змодельовані зображення безпілотників, які досліджуються, вже після пост-обробки.

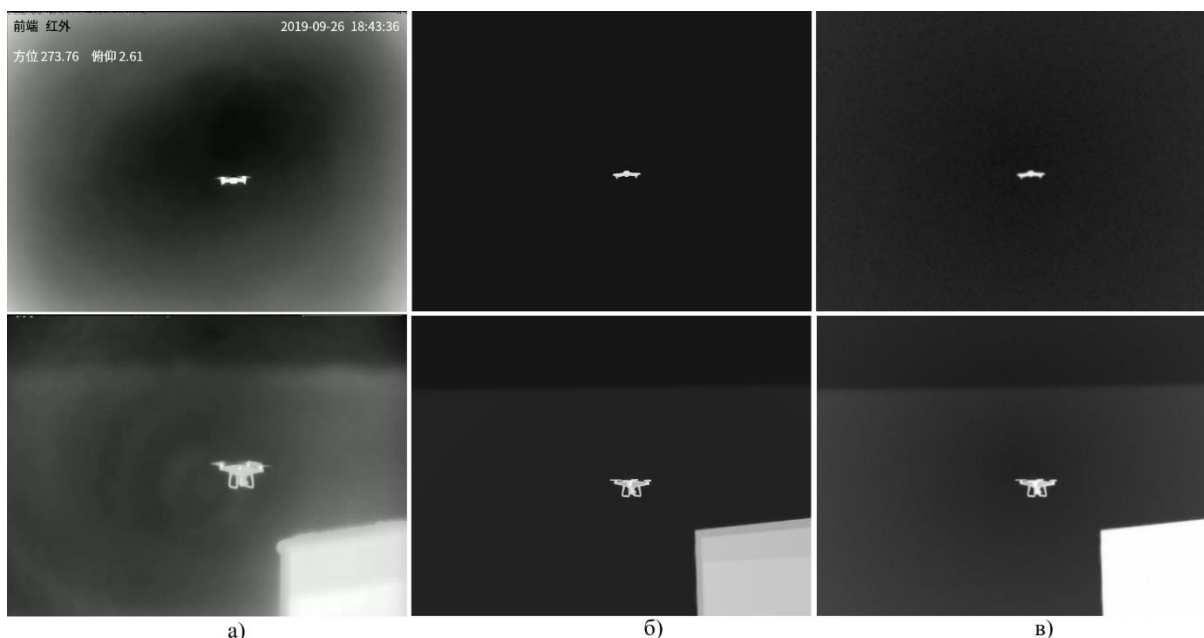


Рис. 4. Результати моделювання: а) реальне, б) синтезоване в Blender, в) синтезоване після пост-обробки

Як результат, можна сказати, що запропонована методика дозволяє отримувати зображення, які є візуально подібними до тих, що реєструються справжніми тепловізійними камерами. Завдяки встановленню різних температур для різних деталей дрона можна помітити, що двигуни, батарея та камера яскравіші ніж корпус і інші комплектуючі. Це добре видно на зображеннях для Phantom, де безпілотник знаходиться доволі близько. Як на синтезованому, так і на реальному зображенні можна побачити цю особливість. В свою чергу на зображеннях з Mavic, можна помітити, що дрон знаходиться далеко, але основна форма об'єкта зберігається.

З мінусів можна виділити різний фон. Проте фон на реальних та синтетичних відрізняється через те, що не були враховані всі особливості сцени. Також не були враховані всі параметри тепловізорів для пост-обробки. Проте сама інформація про тепловізори які використовувались для створення реальних зображень відсутні.

Висновки

В дослідженні було запропоновано та реалізовано метод синтезування тепловізійних зображень використовуючи програмний пакет для створення тривимірної комп'ютерної графіки Blender та пост-обробки згенерованих зображень для адаптації їх під особливості тепловізора. Результати показали що дана методика є простою та ефективною. Завдяки тому, що для того, аби створити датсет для певного типу дрона достатньо просто змінити 3D модель та згенерувати навчальні дані. Також при заміні тепловізора, достатньо змінити вхідні параметри для пост-обробки, щоб адаптувати дані під відповідний тепловізор.

В подальших дослідженнях необхідно покращити якість та складність фону, та враховувати оптичні параметри тепловізійної системи для пост-обробки, щоб значно збільшити реалістичність синтезованих зображень.

Ключові слова: тепловізор, Blender, пост-обробка, модуляція, БПЛА, 3D модель.

Література

- [1] Fu, Jundong, et al. "Rapid Establishment of 3D Geological Model Based on Blender Software." 2024 International Seminar on Artificial Intelligence, Computer Technology and Control Engineering (ACTCE). IEEE, 2024.
- [2] Flying drones in hot weather tips. (2024, October 29). soldrones.com. <https://soldrones.com/blog/flying-drones-in-hot-weather-tips>
- [3] DJI Battery Temperature. (2022, September 30). droneflyingpro.com. <https://droneflyingpro.com/dji-battery-temperature>
- [4] What Temperature Is Too Hot To Fly a Drone. (2022 January 1). droneflyingpro.com. <https://droneflyingpro.com/what-temperature-is-too-hot-to-fly-a-drone>
- [5] DJI. Mavic 3 Thermal Specifications. Clifton Cameras. Available online: <https://www.cliftoncameras.co.uk/uploads/specifications/DJI%20Mavic%203%20Thermal%20Specifications.pdf> (accessed on 2025-04-20).
- [6] Zheng, Yuanjie, et al. "Single-image vignetting correction using radial gradient symmetry." 2008 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE, 2008.
- [7] Kennedy, Howard V. "Modeling noise in thermal imaging systems." Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing IV. Vol. 1969. SPIE, 1993.
- [8] Wink, Alle Meije, and Jos BTM Roerdink. "Denoising functional MR images: a comparison of wavelet denoising and Gaussian smoothing." IEEE transactions on medical imaging 23.3 (2004): 374-387.