

Nghiên cứu hệ thống dẫn đường sử dụng ảnh vật mốc địa hình cho UCAV chiến đấu

Nguyễn Văn Hiếu¹, Lê Mạnh Cường¹, Phan Huy Anh^{2*}

¹Cục Khoa học quân sự/Bộ Quốc phòng;

²Viện Điện tử/Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.

*Email: huyanhfanvdt@gmail.com

Nhận bài: 05/01/2022; Hoàn thiện: 15/02/2022; Chấp nhận đăng: 01/3/2022; Xuất bản: 28/6/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.80.2022.178-182>

TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, sự xuất hiện của các loại phương tiện bay không người lái tấn công (Unmanned Combat Aerial Vehicle - UCAV) trên chiến trường đã thực sự làm thay đổi cán cân lực lượng và xu hướng chiến tranh hiện đại, ví dụ tiêu biểu là cuộc xung đột Nagorno-Karabakh tháng 9/2020. Tuy nhiên, UCAV có điểm yếu là phụ thuộc vào hệ thống định vị vệ tinh toàn cầu (GNSS) và tín hiệu điều khiển vô tuyến từ mặt đất để hoạt động hiệu quả trên không. Khi bị chế áp điện tử, UCAV sẽ bị vô hiệu hoá một cách triệt để. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một mô hình hệ thống ứng dụng công nghệ thị giác máy tính kết hợp AI để dẫn đường cho UCAV bay theo lộ trình các điểm mốc địa hình (landmark waypoint) được học máy từ trước, không phụ thuộc vào tín hiệu điều khiển vô tuyến và định vị vệ tinh. Kết quả mô phỏng sơ bộ cho thấy hệ thống có thể nhận dạng chính xác các điểm mốc địa hình một cách chính xác theo thời gian thực.

Từ khoá: UCAV; Thị giác máy tính; Dẫn đường theo mốc địa hình.

1. MỞ ĐẦU

Trong vài năm trở lại đây, sự xuất hiện phổ biến của các loại phương tiện bay không người lái đã thực sự làm thay đổi cuộc sống của con người trong nhiều lĩnh vực như giải trí quay phim chụp ảnh, cứu hộ cứu nạn, giám sát an ninh, cứu hoả, vận chuyển hàng hoá, vận chuyển con người, ... Trong lĩnh vực quân sự, UCAV đã được sử dụng từ rất nhiều thập niên trước trong các cuộc chiến tranh với sản phẩm tiêu biểu là các loại UCAV của Mỹ. Tuy nhiên, từ cuộc xung đột Nagorno-Karabakh tháng 9/2020, các sản phẩm UCAV có cấu trúc khá đơn giản của Thổ Nhĩ Kỳ và Israel đã làm mưa làm gió trên chiến trường khi tấn công, tiêu diệt hàng loạt mục tiêu quân sự của Armenia trong thời gian cực ngắn, tạo ưu thế chiến thắng toàn diện cho Azerbaijan [1]. Sự kiện này cùng với lịch sử tác chiến hiệu quả của UCAV đã khiến các chuyên gia quân sự cho rằng đây là minh chứng rõ ràng nhất cho thấy UCAV đã dần trở thành vũ khí chủ lực đóng vai trò quan trọng trong các chiến dịch quân sự.

Các thiết bị bay không người lái được tích hợp công nghệ thị giác máy tính kết hợp AI đã thực sự được sử dụng ngày càng rộng rãi trên chiến trường trong nhiều năm gần đây. Tiêu biểu có thể kể đến các hệ thống dẫn đường AI như Nova của Sheild.AI, Raven của AeroEnvironment, Desert Hawk của Lockheed Martin và Neurala Brain của Neurala cùng với các hệ thống tương tự của Nga và Trung Quốc [2]. Quân đội các nước phát triển như Mỹ, Nga, Trung Quốc cũng đã và đang phát triển các loại UCAV cỡ nhỏ có thể thực hiện đa nhiệm vụ, đặc biệt là khả năng hoạt động ở tầm thấp, cự ly gần có thể chống lại sự phát hiện của các loại radar và thiết bị cảnh giới khác. Tiêu biểu cho loại thiết bị này là thiết bị trinh sát Black Hornet của FLIR thuộc dòng Nano UCAV với khả năng hoạt động vượt trội khi tác chiến trong thành phố hoặc rừng núi.

Ở phía ngược lại, các cơ quan nghiên cứu cả trong và ngoài nước cũng đang liên tục phát triển các sản phẩm tác chiến điện tử để chống lại nguy cơ bị do thám, tấn công bằng UCAV. Nguyên lý chung của các hệ thống này là phát hiện từ xa và chế áp đường định vị vệ tinh cũng như là đường điều khiển vô tuyến để vô hiệu hóa UCAV. Tuy nhiên, nếu UCAV có thể bay đến

mục tiêu mà không cần tín hiệu dẫn đường định vị vệ tinh và đường điều khiển từ mặt đất thì việc chế áp là rất khó khả thi. Do đó, việc nghiên cứu thiết bị UCAV có khả năng tự điều khiển thông qua hệ thống xử lý ảnh thông minh kết hợp các thuật toán trí tuệ nhân tạo sẽ giảm thiểu nguy cơ bị chế áp điện tử xuống mức thấp.

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất mô hình hệ thống dẫn đường cho UCAV dựa trên công nghệ thị giác máy tính ứng dụng học sâu và học máy. Quá trình học sâu dựa trên thông tin trình sát sẽ được thực hiện trên mặt đất để UCAV có thể nhận dạng được trước các vật mốc địa hình (landmark) cần quan tâm. Khi bay trên không, UCAV sẽ sử dụng hình ảnh thu được từ camera để đối chiếu, tìm kiếm các vật mốc địa hình để làm căn cứ di chuyển đến mục tiêu mà không cần dữ liệu điều khiển hay định vị vệ tinh. Phần tiếp theo sẽ trình bày chi tiết hơn về thiết kế hệ thống phần cứng, phần mềm ứng dụng. Chúng tôi cũng trình bày kết quả mô phỏng chạy trên video có sẵn thu được từ UCAV. Kết quả học máy cho thấy UCAV nhận dạng và định vị được vật mốc địa hình dù góc quay bị thay đổi.

2. THIẾT KẾ HỆ THỐNG

2.1. Công nghệ dẫn đường bằng hình ảnh cho UCAV

Trong nhiều năm qua, các kỹ thuật dẫn đường cho phương tiện bay không người lái đã được phát triển rất mạnh mẽ thông qua nhiều phương thức khác nhau hoặc có sự kết hợp giữa nhiều phương thức, tùy thuộc vào ứng dụng dẫn đường. Bằng cách kết hợp bộ thu GNSS với bộ dẫn đường quán tính IMU, hoàn toàn có thể điều khiển được UCAV một cách ổn định trong các nhiệm vụ bay khác nhau. Nhược điểm của phương pháp này là bắt buộc phải thu được tín hiệu GNSS, ngoài ra sự kết hợp GNSS/IMU nếu không chặt chẽ cũng sẽ gây ra các sai số khiến UCAV bị mất tính ổn định trong vài tình huống, dẫn tới có thể bị sự cố gây hỏng hóc [3].

Một phương án khác là sử dụng camera lắp đặt tại các vị trí cố định đã biết để theo dõi UCAV và báo cho UCAV biết hành trình và vị trí của thiết bị bay [4]. Tuy nhiên, phương pháp này chỉ phù hợp cho mục đích thử nghiệm thiết bị bay do đòi hỏi phải chuẩn bị địa bàn, hạ tầng, phương tiện khá phức tạp. Theo [5], nhóm nghiên cứu này đã thực hiện thành công việc gắn camera lên trực thăng để theo dõi, bám sát một số hình ảnh vật chuẩn đã biết trên mặt đất và bằng cách này đã có thể điều khiển máy bay di chuyển theo một lộ trình gồm nhiều vật chuẩn. Tuy nhiên, vật chuẩn vẫn là những hình ảnh đặc thù, được thiết kế sẵn nên không có ý nghĩa thực tế.

Sự phát triển của camera kích thước, trọng lượng nhỏ với khả năng zoom xa và độ phân giải cao đã mang lại những khả năng mới cho bài toán dẫn đường trên không. Các nghiên cứu đã ứng dụng luồng quang học (optical flow) từ 2 camera bên sườn máy bay để dẫn hướng cho UCAV bay xuyên qua các khu vực có định hình phức tạp như hẻm núi, trong thành phố [6]. Tuy nhiên, các phương pháp này cũng cho độ ổn định không cao và thường phải kết hợp với dữ liệu định vị vệ tinh và các loại cảm biến khác như cảm biến vật cản, đo xa laser, cảm biến áp suất,... Liên quan trực tiếp đến bài toán dẫn đường cho UCAV từ trên cao, nhóm nghiên cứu của Blösch [7] đã sử dụng camera RGB để bản đồ hoá và điều khiển UCAV trong môi trường thực tế có ít thông tin được biết trước, ứng dụng thuật toán theo dõi và lập bản đồ song song (PTAM). Tuy nhiên, việc xử lý ảnh đòi hỏi phải sử dụng máy tính hiệu năng cao trên trạm mặt đất chạy thuật toán SLAM và gửi lại kết quả xử lý cho UCAV thông qua đường vô tuyến. Do đó, nghiên cứu này tồn tại yếu điểm là vẫn còn đường liên lạc vô tuyến từ UCAV với trạm mặt đất. Trong điều kiện bị chế áp điện tử thì rõ ràng UCAV không thể tự thân hoạt động được.

Với sự phát triển nhanh chóng trong những năm gần đây của kỹ thuật xử lý ảnh dựa trên trí tuệ nhân tạo, một số nghiên cứu đã tập trung vào công nghệ thị giác máy tính UCAV ứng dụng trí tuệ nhân tạo (UCAV-AI). Zhou và các cộng sự [8] đã sử dụng mô hình YOLO v3 cập nhật để phát hiện một số loại cây đặc thù từ hình ảnh trên UCAV. Trong [9], các tác giả đã thực thi mô hình YOLO v3 dựa trên thư viện OpenCV trên nền tảng điện thoại Android để nhận dạng các

hình ảnh quen thuộc, sử dụng các hình ảnh chuyển đổi định dạng YUV, sau đó, so sánh với kết quả xử lý trên máy tính lớn và cho kết quả vượt trội. Công trình [10] đã nâng khả năng phát hiện lên một tầm cao mới khi kết hợp OpenCV với Tensorflow giúp tăng khả năng nhận dạng cho UCAV lên tới 80 lớp hình ảnh. Tuy nhiên, nghiên cứu này vẫn cần phải có sự hỗ trợ từ máy chủ chạy ứng dụng tính toán Tensorflow chứ chưa hoàn toàn hoạt động độc lập dù rằng thông tin liên lạc giữa máy chủ và UCAV không cần phải liên tục.

2.2. Thiết kế hệ thống đề xuất

Trong bài báo này, nhóm thực hiện đề xuất cấu trúc cơ bản của sản phẩm đề tài gồm các thành phần và tính năng chính như sau:



Hình 1. Sơ đồ khối của hệ thống nghiên cứu.

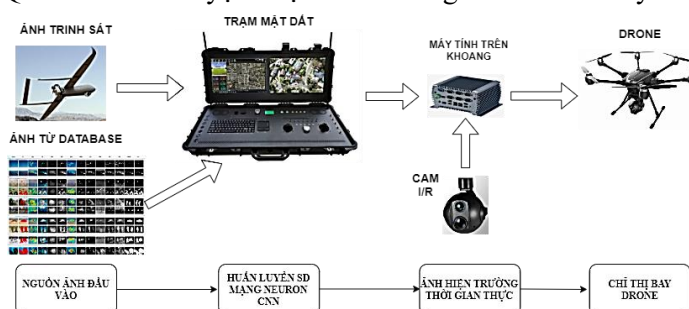
- Thiết bị bay không người lái đa cánh quạt: UCAV 6 hoặc 8 cánh quạt, tốc độ tối đa 90 km/h, thời gian bay không tải tối đa 40 phút, trần bay 1000 m, tầm hoạt động 5 km và tải trọng 5 kg.

- Bộ dẫn đường trên không: bao gồm máy tính trên khoang tích hợp phần mềm nhận dạng mục tiêu và phần mềm điều khiển UCAV, camera I/R có cự ly nhận dạng trên 500 m, gimbal dẫn hướng cho camera và thiết bị truyền dữ liệu vô tuyến.

- Trạm mặt đất: Bộ điều khiển UCAV từ xa (RC) tích hợp máy tính bảng cài đặt phần mềm hiển thị và điều khiển, Máy tính trung tâm cài đặt phần mềm học sâu xử lý ảnh, Thiết bị thu phát vô tuyến để nhận dữ liệu từ UCAV và RC.

Về cấu trúc trao đổi dữ liệu, hệ thống được chia làm 2 phần chính: Thông tin trên khoang bao gồm dữ liệu hình ảnh camera I/R truyền về máy tính trên khoang để xử lý nhận dạng xác định vị trí mục tiêu, vật mốc để dẫn đường cho UCAV; Luồng thông tin từ UCAV cũng được truyền xuống bộ điều khiển RC và chuyển tiếp sang Trạm mặt đất.

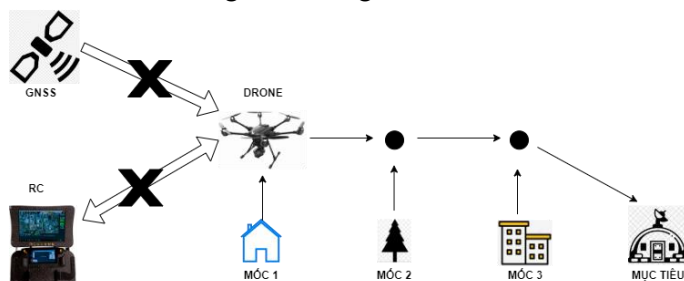
Trước khi thực hiện nhiệm vụ bay, hệ thống sẽ được học sâu để nhận biết đặc trưng các điểm mốc địa hình và thông tin phụ trợ từ nguồn ảnh database và ảnh trinh sát hiện trường có sẵn. Từ các đặc trưng này, hệ thống sẽ thiết lập đường bay cho UCAV và nạp thông tin cho bộ dẫn đường trên khoang. Quá trình huấn luyện được mô tả trong hình 2 dưới đây:



Hình 2. Quá trình huấn luyện nhận dạng mục tiêu cho UCAV trước khi bay.

Trong quá trình bay, khi bị chế áp điện tử trên phạm vi lớn (hình 3), UCAV không thu được tín hiệu định vị GNSS và cũng rất khó nhận được lệnh điều khiển từ trực thủ. Do vậy, trong tình huống này UCAV phải xử lý tình huống hoàn toàn tự động. Từ trên cao, UCAV sẽ dùng camera quan sát để xác định các vật mốc đã được học từ trước và hành tiến bám theo các cột mốc để

hướng tới mục tiêu. Quá trình này hoàn toàn được lập trình sẵn và nạp vào máy tính trên khoang làm thành lộ trình buộc phải tuân thủ của UCAV. Nếu trong quá trình bay tự động xảy ra sự cố, ví dụ UCAV không thể phát hiện được cột mốc tiếp theo thì UCAV sẽ quay trở về điểm xuất phát dựa theo các cột mốc cũ, hoặc trong tình huống xấu nhất sẽ tự hạ cánh tại chỗ.



Hình 3. Chế độ bay chống chế áp, không có tín hiệu GNSS và đường điều khiển từ xa.

3. MÔ PHỎNG NHẬN DẠNG VẬT MỐC ĐỊA HÌNH

Trong bài báo này, chúng tôi thử nghiệm phương án nhận dạng vật mốc địa hình với mô hình mạng neuron Siamese (SNN). Mạng SNN thường được dùng để giải quyết các vấn đề bài toán xác minh chữ ký đặc trưng hình ảnh, do đó, phù hợp với bài toán nhận dạng mục tiêu cho UCAV [11, 12]. Ưu điểm của SNN là sử dụng rất ít dữ liệu huấn luyện, tập trung chủ yếu vào việc học các đặc trưng gần nhau ở các lớp sâu, phù hợp với môi trường tác chiến nhanh của UCAV. Ở đây, chúng tôi sử dụng video được quay trực tiếp trên UCAV trong đó khối kiến trúc có sự khác biệt so với môi trường xung quanh được lựa chọn làm đối tượng nhận dạng.



Hình 4. Kết quả nhận dạng định vị vật mốc địa hình từ video thực tế.

Kết quả ban đầu cho thấy mạng SNN ứng dụng cho UCAV cho kết quả tốt. Khối kiến trúc được lựa chọn làm vật mốc địa hình có thể “nhìn thấy” tại các góc quay khác nhau như trên hình 4. Ở đây, nhóm thực hiện mới chỉ sử dụng một số video do UCAV quay được ở điều kiện lý tưởng làm dữ liệu học sâu và nhận dạng. Số lớp cho mô hình SNN chưa nhiều và độ chính xác trong các điều kiện khác nhau chưa được đánh giá chi tiết. Do đó, mô hình SNN cần được cải tiến và thử nghiệm nhiều hơn trong các điều kiện khác như thời tiết, ánh sáng có sự thay đổi. Cơ sở dữ liệu huấn luyện cũng cần được xây dựng dựa trên các đặc trưng sâu của vật mốc địa hình, hướng tới nhận dạng đa mục tiêu cho bài toán dẫn đường UCAV.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đã đề xuất một mô hình hệ thống dẫn đường chống tác chiến điện tử cho UCAV chiến đấu cấp chiến thuật. Mô hình hướng tới trang bị cho UCAV khả năng hoạt động không phụ thuộc vào tín hiệu điều khiển vô tuyến cũng như định vị vệ tinh mà dựa trên hình ảnh quan sát được từ camera để xác định vị trí, vật mốc địa hình trên đường đến mục tiêu. Kết quả mô phỏng trên video quay được từ UCAV cho thấy phần mềm có khả năng nhận dạng vật mốc địa hình tại các góc quay, độ cao khác nhau. Tuy nhiên, để hoàn thiện hệ thống dẫn đường cho UCAV trong thực tế thì vẫn cần phải xây dựng chi tiết cơ sở dữ liệu nhận dạng vật mốc địa hình đa dạng và cải tiến thuật toán cho phù hợp hơn với phần cứng trên khoang.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ilić, Damir & Tomasevic, Vladimir, “*The impact of the Nagorno-Karabakh conflict in 2020 on the perception of combat drones*”, Serbian Journal of Engineering Management. 6. 9-21. 10.5937/SJEM2101009I, (2021).
- [2]. Marcus Roth, “*AI in Military Drones and UCAVs – Current Applications*”, (2019), <https://emerj.com/ai-sector-overviews/ai-drones-and-UCAVs-in-the-military-current-applications>.
- [3]. B. Yun, K. Peng, and B. M. Chen, “*Enhancement of GPS signals for automatic control of a UCAV helicopter system,*” in Proc. IEEE International Conference on Control and Automation ICCA, pp. 1185–1189, (2007).
- [4]. S. Park, D. H. Won, M. S. Kang, T. J. Kim, H. G. Lee, and S. J. Kwon, “*RIC (robust internal-loop compensator) based flight control of a quad-rotor type UCAV*” in Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 3542–3547, (2005).
- [5]. T. Hamel, R. Mahony, and A. Chriette, “*Visual servo trajectory tracking for a four rotor vtol aerial vehicle,*” in Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation ICRA '02, vol. 3, pp. 2781–2786, (2002).
- [6]. T. Templeton, D. H. Shim, C. Geyer, and S. S. Sastry, “*Autonomous vision-based landing and terrain mapping using an mpc-controlled unmanned rotorcraft,*” in Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1349–1356, (2007).
- [7]. Blösch, M.; Weiss, S.; Scaramuzza, D.; Siegwart, R., “*Vision Based MAV Navigation in Unknown and Unstructured Environments,*” In Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Anchorage, AK, USA, pp. 21–28, (2010).
- [8]. Zhou, J.; Tian, Y.; Yuan, C.; Yin, K.; Yang, G.; Wen, M., “*Improved UCAV Opium Poppy Detection Using an Updated YOLOv3 Model,*” Sensors, 19(22):4851, (2019).
- [9]. Martinez-Alpiste, I.; Casaseca-de-la-Higuera, P.; Alcaraz-Calero, J.; Grecos, C.; Wang, Q. “*Benchmarking Machine-Learning-Based Object Detection on a UCAV and Mobile Platform,*” In Proceedings of the 2019 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Marrakesh, Morocco, (2019).
- [10]. Zhang, T.; Hu, X.; Xiao, J.; Zhang, G. A “*Machine Learning Method for Vision-Based Unmanned Aerial Vehicle Systems to Understand Unknown Environments,*” Sensors, 20(11):3245. <https://doi.org/10.3390/s20113245>, (2020).
- [11]. A. He, C. Luo, X. Tian, and W. Zeng. “*A twofold siamese network for real-time object tracking,*” In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 4834–4843, (2018).
- [12]. B. Li, J. Yan, W. Wu, Z. Zhu, and X. Hu. “*High performance visual tracking with siamese region proposal network,*” In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 8971–8980, (2018).

ABSTRACT

Navigation system using landmark images for combat UCAVs

In recent years, the appearance of unmanned aerial vehicles (UCAVs) on the battlefield has really changed the balance of forces in modern warfare. Since the Nagorno-Karabakh conflict in September 2020, combat UCAVs (UCAVs) with simple and flexible designs have attacked and destroyed a series of Armenian military targets in a short time bringing advantages for a total victory of Azerbaijan. However, UCAV has the weakness of relying on the Global Navigation Satellite System (GNSS) and radio control signals from the ground for operation in the air. Under electronic suppression, UCAV will be completely disabled. In this paper, we propose a system model that applies computer vision technology combined with AI to guide UCAV to fly along a machine-learned route, independent of radio and satellite navigation signals. Preliminary simulation results show that the system can accurately recognize landmarks accurately in real time.

Keywords: UCAV; Computer vision; Landmark-based navigation.