

Wildfire Detection and Alert System Using Drones

Final Project: Image Processing and Applications

Nhóm 9: Nguyễn Công Phát (Leader), Nguyễn Xuân An,
Trương Hoàng Thanh An, Vũ Việt Cường

GVHD: ThS. Phạm Đình Thăng Cập

NỘI DUNG THUYẾT TRÌNH

- 01. Giới thiệu & Đặt vấn đề
- 02. Cơ sở lý thuyết (U-Net, FLAME)
- 03. Giải pháp đề xuất & Kiến trúc
- 04. Thuật toán & Mô hình toán học
- 05. Thực nghiệm & Kết quả
- 06. Phân tích định tính & Demo
- 07. Đạo đức & Tác động xã hội
- 08. Kết luận & Hướng phát triển

THỰC TRẠNG CHÁY RỪNG

Cháy rừng là thảm họa thiên nhiên ngày càng phức tạp, gây thiệt hại nghiêm trọng về môi trường và kinh tế trên toàn cầu.

Hệ thống giám sát truyền thông (vệ tinh, trạm mặt đất) gấp hạn chế về:

- Độ trễ thời gian phát hiện.
- Độ phân giải hình ảnh thấp.
- Khó khăn trong tiếp cận vùng núi xa xôi.



| GIẢI PHÁP: DRONE & AI

Tận dụng sức mạnh công nghệ

Kết hợp tính linh hoạt của Drone (UAV) với khả năng phân tích của học sâu (Deep Learning) để:

- Giám sát thời gian thực với độ phân giải cao.
- Sử dụng đa phương thức: RGB và Thermal.
- Phân đoạn ngữ nghĩa (Segmentation) chính xác vùng cháy.



CÁC CÔNG TRÌNH LIÊN QUAN



Traditional Methods

Dựa trên ngưỡng màu RGB, chuyển động và đặc điểm họa tiết. Nhược điểm: Dễ báo động giả do ánh sáng.



Deep Learning (CNN)

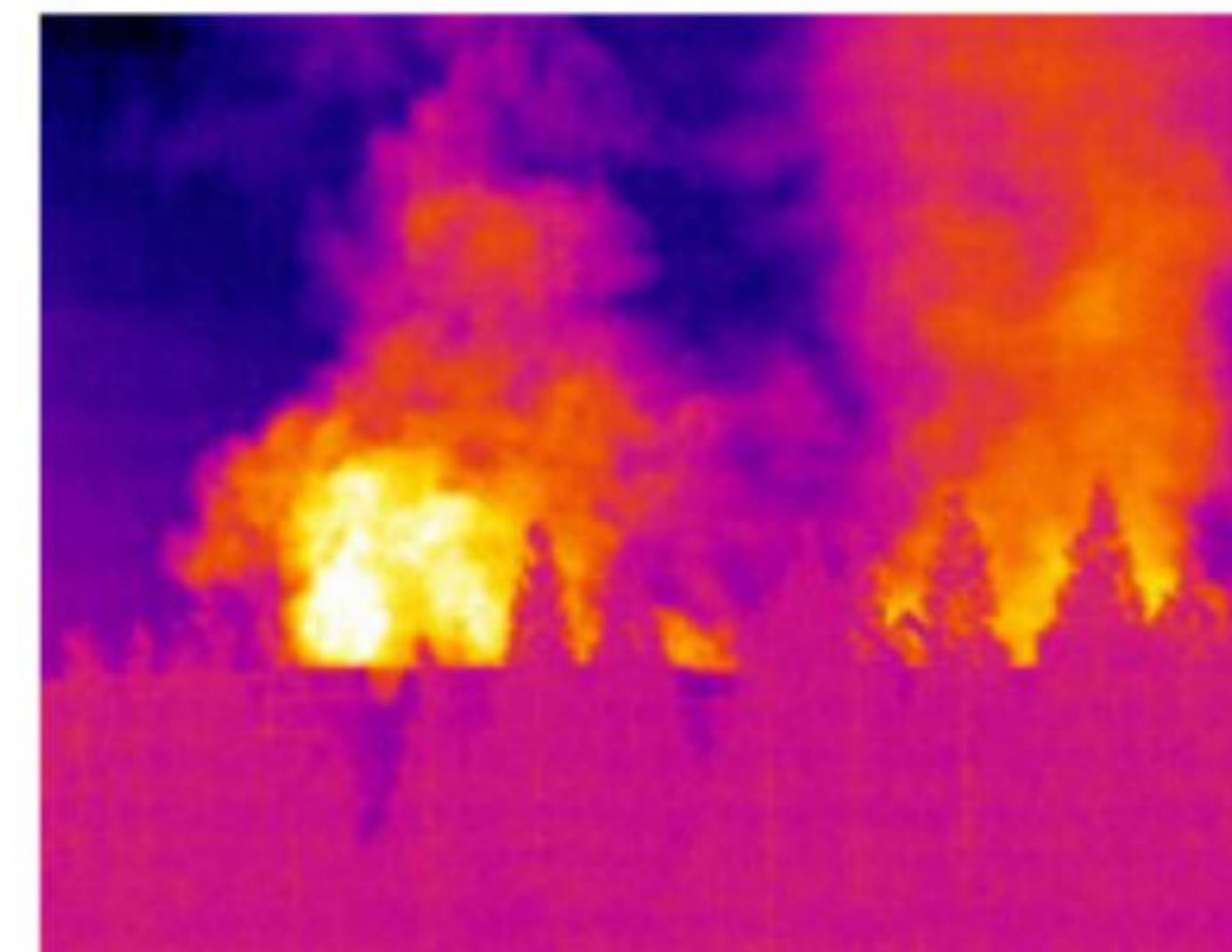
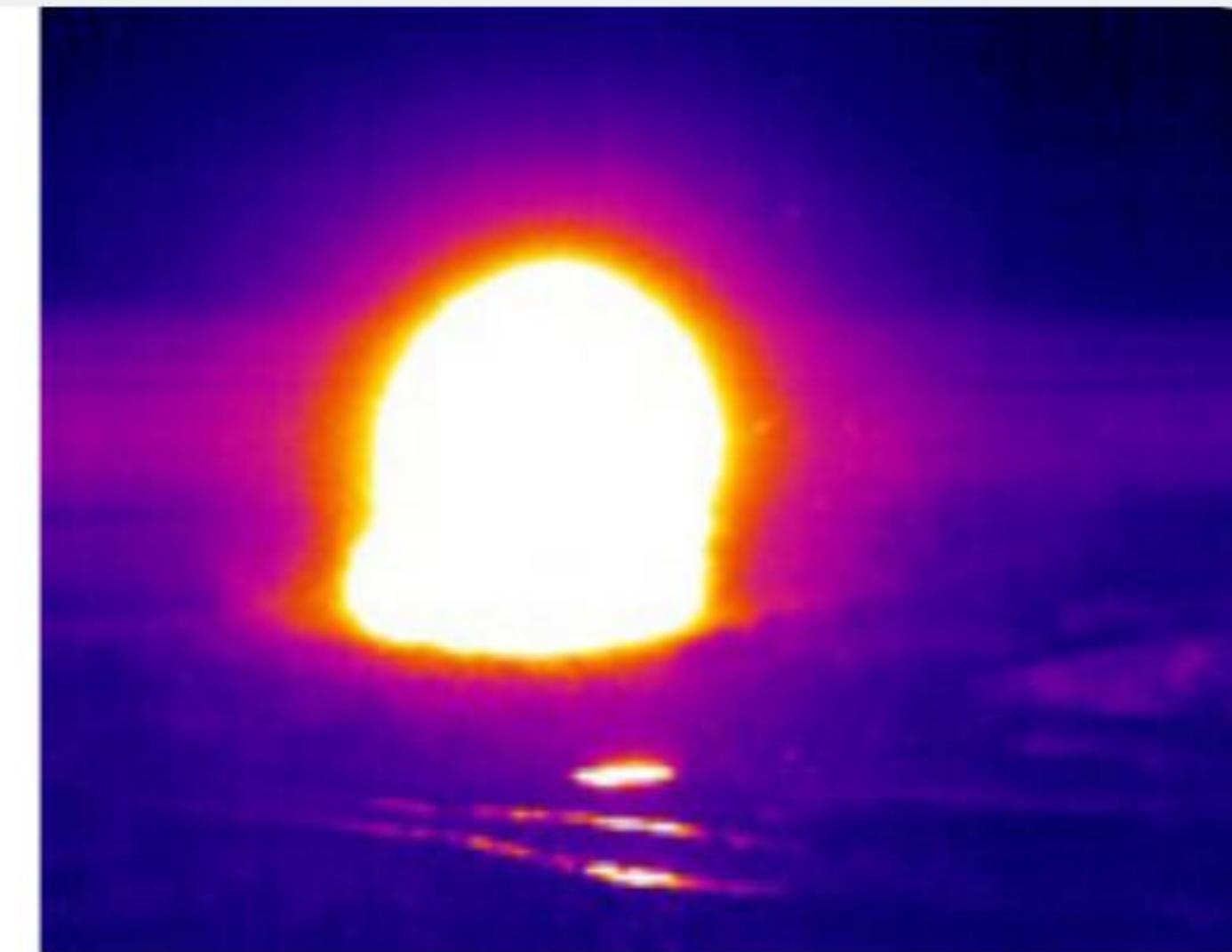
Phân loại khung hình (Fire/Non-fire) với độ chính xác cao hơn nhưng thiếu khả năng định vị chi tiết.



Semantic Segmentation

U-Net và các biến thể giúp phân tách vùng cháy ở cấp độ pixel, tối ưu cho phân tích lan truyền.

| BỘ DỮ LIỆU FLAME

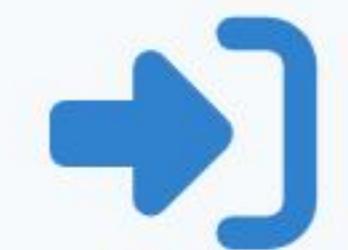


Fire Luminosity Airborne-based ML Evaluation

Bộ dữ liệu chuẩn cho việc phát hiện cháy rừng qua UAV:

- Hình ảnh RGB và video Thermal.
- Được gắn nhãn chi tiết ở cấp độ pixel (Masks).
- Thu thập trong điều kiện rừng thực tế với nhiều góc độ Drone.

ĐỊNH NGHĨA BÀI TOÁN



Inputs

Luồng video RGB/IR, Tọa độ GPS Drone, Cao độ, Góc xoay (Yaw/Pitch/Roll).



Outputs

Mask phân đoạn vùng cháy, Tọa độ địa lý tâm vùng cháy, Tín hiệu cảnh báo thời gian thực.

RÀNG BUỘC & YÊU CẦU

- ✓ Độ cao: 50m - 250m.
- ✓ Vận tốc: 15km/h - 25km/h.
- ✓ Độ phân giải: Tối thiểu 512x512.



Enhanced Thermal Imaging

DJI Matrice 4T Combo

Next-Generation Compact
Flagship Drone



DJI Matrice 4T

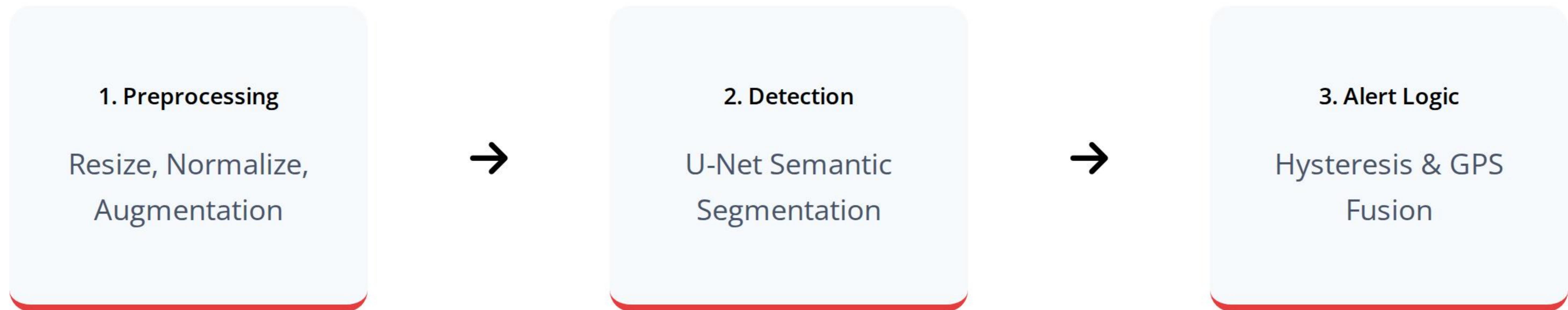


DJI RC Plus 2
Enterprise

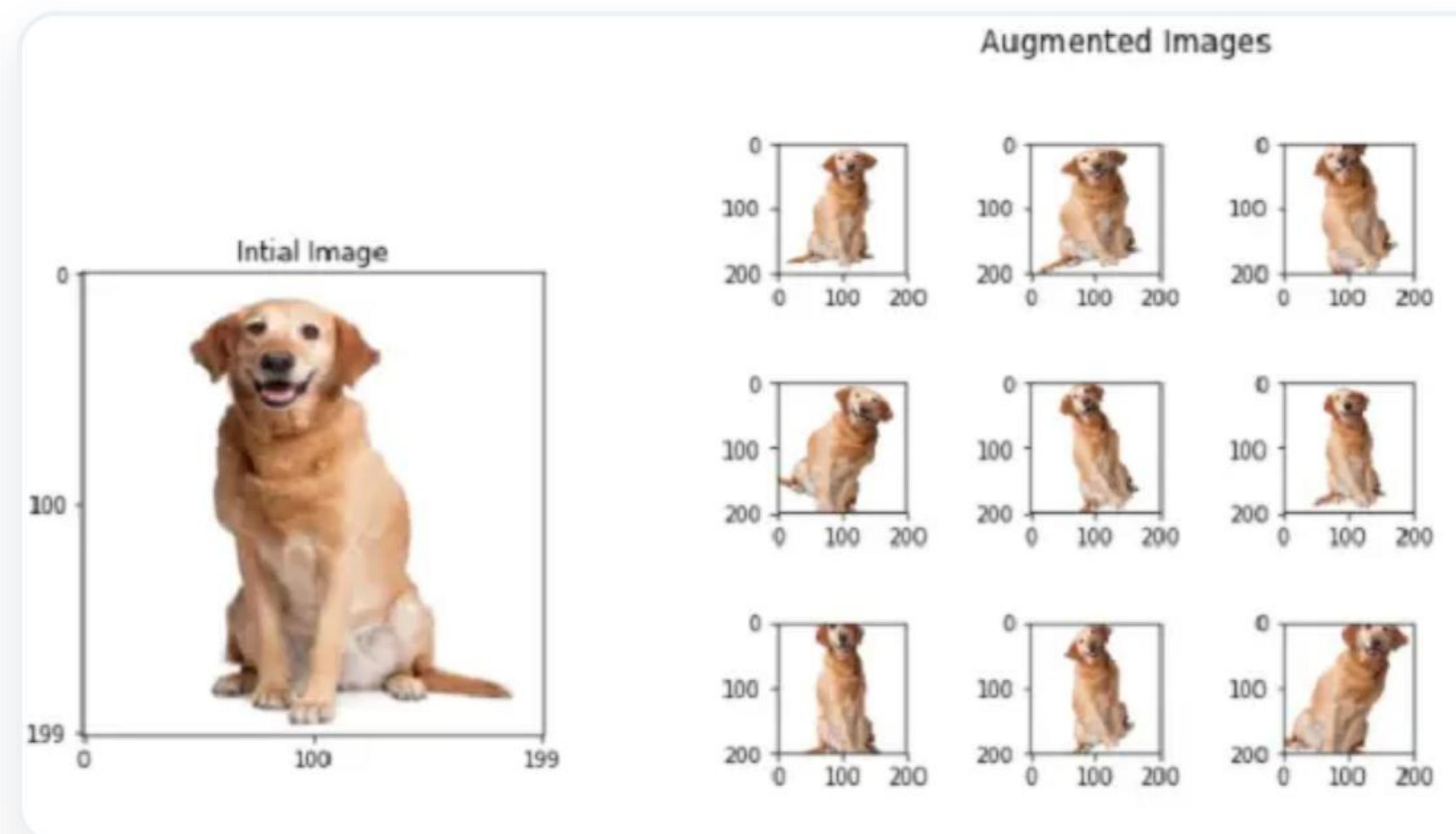


DJI Matrice 4
Series Battery

KIẾN TRÚC HỆ THỐNG TỔNG QUÁT



TIỀN XỬ LÝ ĐA PHƯƠNG THỨC



Chuẩn hóa & Tăng cường

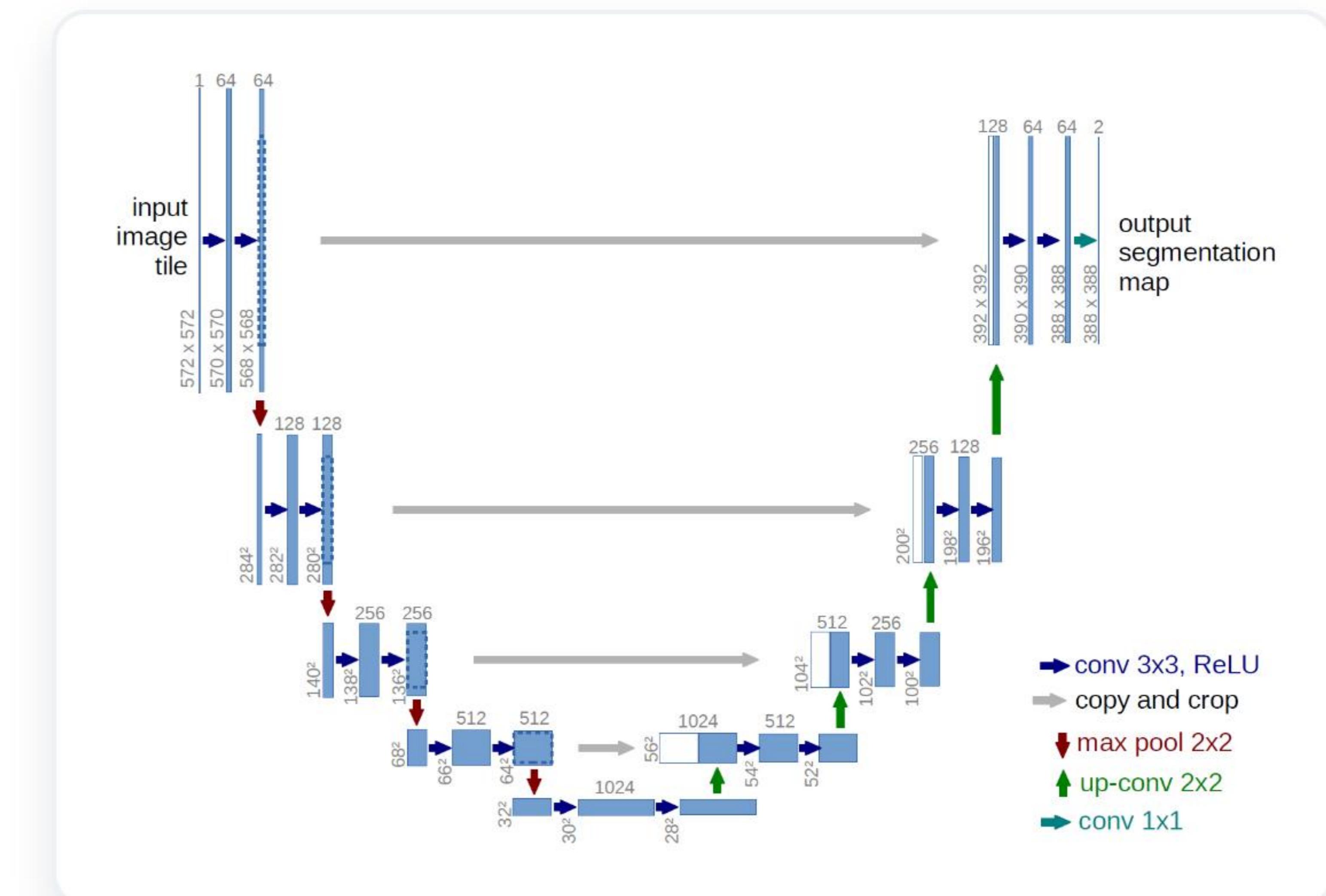
- **Resizing:** Chuyển về 512x512 để cân bằng hiệu năng.
- **Normalization:** Ổn định dòng gradient.
- **Stochastic Augmentation:** Sử dụng thư viện Albulmentations (Flip, Rotate, Fog, Shadow) để tăng khả năng tổng quát hóa.

MÔ HÌNH PHÂN ĐOẠN U-NET

Kiến trúc Encoder-Decoder

Hệ thống sử dụng ResNet-34 làm Backbone cho Encoder

- **Contracting Path:** Trích xuất đặc trưng phân cấp.
 - **Expansive Path:** Khôi phục độ phân giải không gian.
 - **Skip Connections:** Kết hợp thông tin ngữ nghĩa và chi tiết không gian để định vị chính xác biên vùng cháy.



TẠI SAO CHỌN U-NET?

Độ Chính Xác Không Gian

Khả năng khoanh vùng chính xác các đốm lửa nhỏ và rời rạc trong rừng.

Hiệu Quả Dữ Liệu

Hoạt động tốt trên các tập dữ liệu chuyên biệt như FLAME.

Thời Gian Thực

Kiến trúc hỗ trợ thời gian suy luận ổn định, phù hợp tích hợp lên thiết bị Edge của Drone.

HÀM MẤT MÁT ĐA MỤC TIÊU

Để giải quyết vấn đề mất cân bằng lớp (vùng cháy nhỏ so với nền rừng rộng lớn), nhóm đề xuất hàm loss hỗn hợp:

$$L_{\text{total}} = \lambda_1 L_{\text{Focal}} + \lambda_2 L_{\text{Dice}} + \lambda_3 L_{\text{SoftBCE}}$$

- **Focal Loss:** Tập trung vào các pixel khó phân loại.
- **Dice Loss:** Tối ưu hóa sự chồng lấp không gian.
- **Soft BCE:** Ổn định dòng gradient trong quá trình huấn luyện.

ĐỊNH VỊ TỌA ĐỘ ĐỊA LÝ



Từ 2D sang 3D Geographic

Quy trình chuyển đổi điểm ảnh (pixel) thành tọa độ thực tế:

1. Tính toán tâm (Centroid) của Mask vùng cháy.
2. Xác định Ground Sample Distance (GSD).
3. Áp dụng phép xoay Yaw của Drone và cộng với tọa độ GPS hiện tại.

MÔ HÌNH TOÁN HỌC: GSD

GSD (Ground Sample Distance) đại diện cho kích thước thực của một pixel trên mặt đất:

$$GSD = \frac{H \times \text{sensor_width}}{f \times \text{image_width}}$$

Trong đó:

H: Độ cao Drone, f: Tiêu cự camera.

HYSTERESIS THRESHOLDING

Cảnh báo ổn định

Sử dụng ngưỡng kép để tránh hiện tượng "flickering" (cảnh báo nhảy liên tục do nhiễu):

- **Chuyển sang FIRE:** Khi Confidence ≥ 0.6 .
- **Giữ trạng thái FIRE:** Cho đến khi Confidence < 0.4 .

Điều này đảm bảo hệ thống chỉ báo động khi có bằng chứng chắc chắn và ổn định.

Decision Logic

Score $> 0.6 \rightarrow$ FIRE

Score $< 0.4 \rightarrow$ NO FIRE

$0.4 \leq \text{Score} \leq 0.6 \rightarrow$ Maintain State

THUẬT TOÁN DUAL-LOOP

1. Detection Loop (Tần số cao): Phân tích hình ảnh liên tục để cập nhật trạng thái Score.

2. Alert Loop (Độ trễ thấp): Chạy song song mỗi 3 giây để đóng gói dữ liệu và gửi cảnh báo nếu trạng thái là FIRE.



CHỈ SỐ ĐÁNH GIÁ (METRICS)

IoU

Intersection
Union

Đo lường độ khớp của Mask.

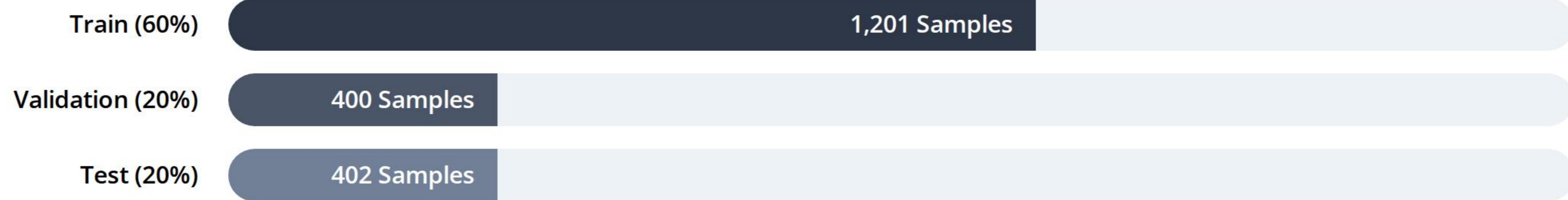
F2-Score

Ưu tiên Recall hơn Precision để đảm bảo không bỏ lỡ đám cháy nào (Safety Bias).

Haversine

Đo sai số khoảng cách địa lý giữa tâm dự đoán và thực tế.

PHÂN CHIA DỮ LIỆU



Tổng cộng 2,003 mẫu từ Subsets 9 & 10 của FLAME.

MÔI TRƯỜNG THỰC NGHIỆM

Hardware & Software

- GPU: NVIDIA GeForce RTX (CUDA).
- Framework: PyTorch Lightning.
- Optimizer: Adam with Cosine Annealing.
- Preprocessing: Albumentations library.



KẾT QUẢ ĐỊNH LƯỢNG

Phương Pháp	Accuracy	F2-Score	IoU	Recall
U-Net (BCE)	0.9978	0.7228	0.6396	0.6890
U-Net + 3-Loss + Aug	0.9982	0.8162	0.7139	0.8054

Kết luận: Kết hợp Loss đa mục tiêu và Tăng cường dữ liệu giúp tăng Recall lên 11%.

| PHÂN TÍCH HIỆU NĂNG

0.8162

F2-Score

71.4%

IoU Score

< 50m

Localization Error

| PHÂN TÍCH ĐỊNH TÍNH



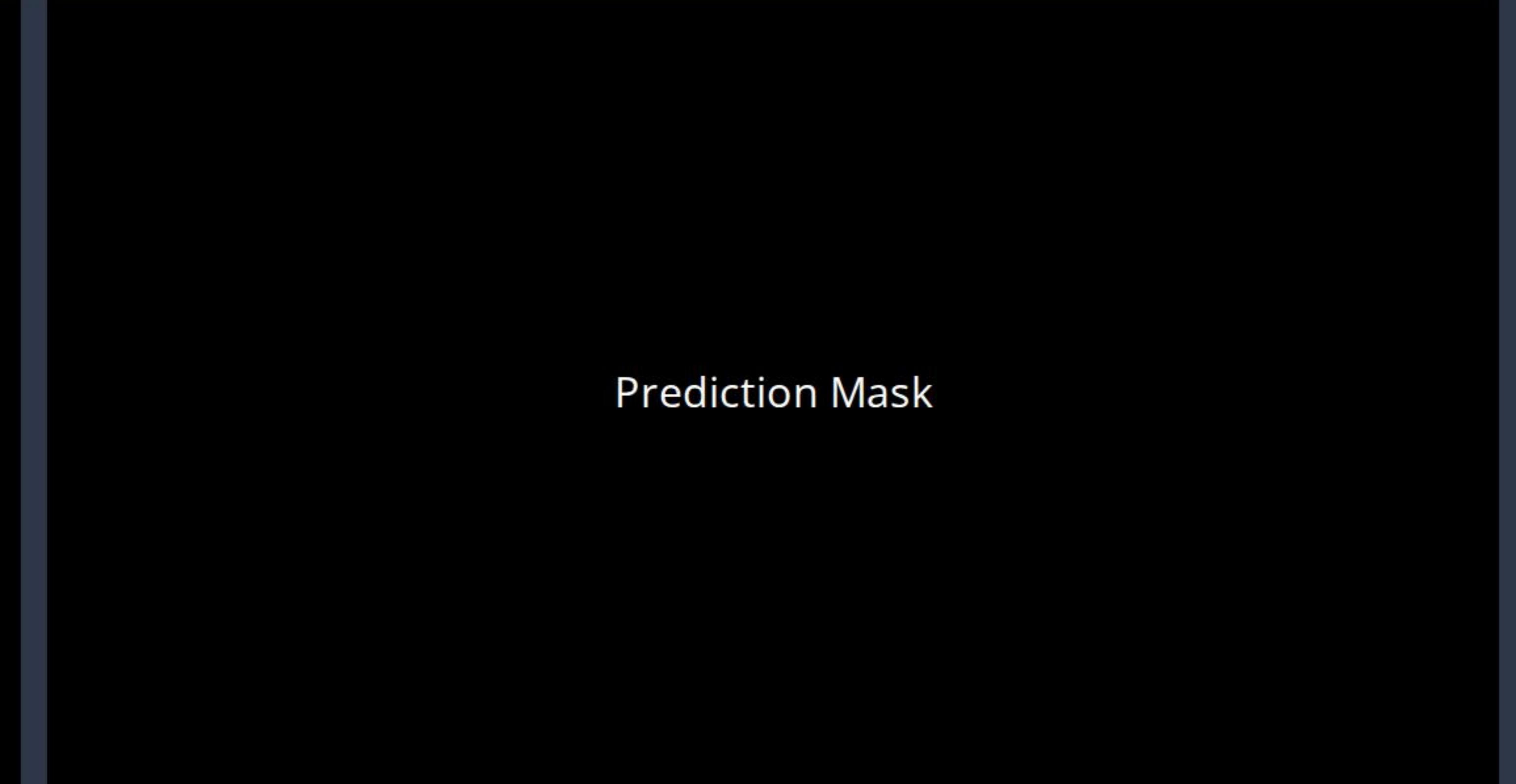
Khả năng thích nghi thực tế

- Phân đoạn chính xác dù Drone thay đổi cao độ và góc nhìn.
- Phân biệt tốt giữa lửa và ánh sáng phản chiếu từ tán lá rừng.
- Cung cấp Mask sắc nét cho các đám cháy rời rạc.

GIAO DIỆN DEMO GRADIO



RGB Stream



Prediction Mask

[ALERT] FIRE DETECTED | Tọa độ: 10.8711, 106.8012

VẤN ĐỀ ĐẠO ĐỨC



Quyền Riêng Tư

Drone có thể vô tình thu thập hình ảnh khu vực dân cư lân cận rừng. Cần cơ chế làm mờ và ẩn danh dữ liệu.



Bảo Mật Dữ Liệu

Tọa độ GPS và hình ảnh nhạy cảm cần được mã hóa để tránh lạm dụng mục đích xấu.

TÁC ĐỘNG XÃ HỘI

Thay đổi nhân lực

Tự động hóa giúp giảm rủi ro cho nhân viên tuần tra rừng trực tiếp.

Giải pháp: Chương trình đào tạo lại kỹ năng lái Drone và quản lý hệ thống AI cho cán bộ lâm nghiệp.



| TỔNG KẾT DỰ ÁN

- ✓ Xây dựng thành công pipeline phân đoạn vùng cháy rừng thời gian thực.
- ✓ Đạt IoU 0.71 và F2-score 0.81, vượt chỉ tiêu an toàn đề ra.
- ✓ Định vị chính xác tâm đám cháy với sai số dưới 50m.
- ✓ Triển khai thành công Demo giao diện cho người dùng cuối.

HƯỚNG PHÁT TRIỂN TƯƠNG LAI

Edge Deployment

Tối ưu hóa mô hình (Pruning, Quantization) để chạy trực tiếp trên Jetson Nano của Drone.

Swarm Intelligence

Phát triển hệ thống nhiều drone làm việc cùng lúc để giám sát diện tích lớn hơn.

Multi-Spectral Fusion

Tích hợp sâu hơn dữ liệu Thermal để phát hiện cháy trong khói dày hoặc ban đêm.

| ĐỘI NGŨ THỰC HIỆN

Thành Viên	MSSV	Vai Trò Chính
Nguyễn Công Phát	23521143	Leader, Kiến trúc hệ thống, Báo cáo
Nguyễn Xuân An	23520023	Dataset, Augmentation, EDA
Trương Hoàng Thanh An	23520032	Huấn luyện mô hình, Tối ưu Hyperparams
Vũ Việt Cường	23520213	Demo Gradio, Tài liệu kỹ thuật

Cảm ơn!

Hệ thống phát hiện cháy rừng thông minh - Nhóm 9 UIT



Mọi câu hỏi vui lòng liên hệ: phat.nguyen@uit.edu.vn

IMAGE SOURCES



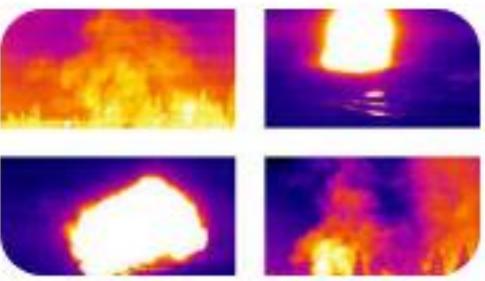
<https://insideclimatenews.org/wp-content/uploads/2023/08/GettyImages-1590331556.jpg>

Source: insideclimatenews.org



<https://www.asce.org/-/media/asce-images-and-files/publications-and-news/source/images/2025/07-july/automated-aerial-firefighting-drones-to-provide-faster-responses/fire-drones-firesw2-resized.png>

Source: www.asce.org



https://satir.com/site/uploads/sys_articles/thermal-image-forest-fire.jpg

Source: satir.com



<https://dronevex.in/wp-content/uploads/2025/06/DJI-Matrice-4T-poster.png>

Thumbnail

Source: dronevex.in

for



<https://www.labellerr.com/blog/content/images/2022/11/data-augmentation-1.webp>

Source: www.labellerr.com



https://miro.medium.com/1*lvXoKMHoPJMkpkK7keZMEA.png

Source: aditi-mittal.medium.com

IMAGE SOURCES



https://airnavigation.aero/manual/en/html/_images/anp-chart-heli-topo.png

Source: airnavigation.aero



https://static.vecteezy.com/system/resources/previews/038/346/052/large_2x/ai-generated-a-conceptual-visualization-of-a-neural-network-with-glowing-connections-and-nodes-illustrating-complex-data-analysis-or-artificial-intelligence-processing-photo.jpg

Source: www.vecteezy.com



<https://cdn.dribbble.com/userupload/42662998/file/still-6930a2a979ba94faa6fdf41a5b8fe957.png?format=webp&resize=400x300&vertical=center>

Source: dribbble.com



<https://cdn.vectorstock.com/i/1000v/13/81/forest-fire-warning-sign-vector-44831381.jpg>

Source: www.vectorstock.com



<https://media.istockphoto.com/id/1410250748/vector/teamwork-community-business-people-partnership-glyph-pictogram-collection-human-resource.jpg?s=612x612&w=0&k=20&c=Bni9krgi3TS0i2Gn0HuKcH-sKFu8ZTKgjMKkF6OwiW8=>

Source: www.istockphoto.com



https://www.slideteam.net/media/catalog/product/cache/1280x720/q/u/question_ppt_powerpoint_presentation_file_pictures_Slide01.jpg

Source: www.slideteam.net