

Bài báo khoa học

Ứng dụng AI trong quan trắc mực nước bằng Camera

Nguyễn Nam Đức^{1*}, Lê Ngọc Quyền¹, Phạm Hồ Quốc Tuấn¹, Nguyễn Minh Giám¹,
Trần Minh Triết², Trần Tiến Dũng³

¹ Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ; ngnamduc@gmail.com;
quyentccb@gmail.com; phamhoquoctuan@yahoo.com; nmg@kttvnb.vn

² Đại học Khoa học Tự nhiên Thành phố Hồ Chí Minh, Đại học Quốc gia Việt Nam;
tmtriet@hcmus.edu.vn

³ Văn phòng Tổng cục khí tượng thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn;
dungtranca5@gmail.com

*Tác giả liên hệ: ngnamduc@gmail.com; Tel.: +84–903788140

Ban Biên tập nhận bài: 5/2/2023; Ngày phản biện xong: 1/3/2023; Ngày đăng bài: 25/3/2023

Tóm tắt: Nghiên cứu xử lý nhận dạng hình ảnh thu được từ hệ thống camera trên cơ sở các thuật toán trí tuệ nhân tạo (*Artificial Intelligence – AI*) nhằm chuyển các trạm quan trắc mực nước thủ công thành các trạm quan trắc mực nước tự động. Đồng thời kết hợp công nghệ thông tin nhằm thu thập, kết nối dữ liệu quan trắc mực nước từ các trạm thủy văn để tăng cường số lượng và chất lượng dữ liệu cung cấp cho các mô hình dự báo thủy văn. Nghiên cứu này đáp ứng yêu cầu chuyển đổi số, tự động hóa các trạm quan trắc thủ công thành các trạm tự động trên cơ sở các công trình chuyên môn hiện có, đồng thời tiết kiệm được nguồn nhân lực tại các trạm khí tượng thủy văn; giải quyết bài toán thiếu hụt nhân sự, khó khăn trong việc tuyển dụng nhân lực cho các trạm theo vị trí việc làm.

Từ khóa: Camera; Khí tượng thủy văn; Trí tuệ nhân tạo; AI.

1. Đặt vấn đề

Trên hệ thống mạng lưới trạm khí tượng thủy văn thuộc Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ còn nhiều trạm thủy văn thủ công, trạm truyền thống đang quan trắc mực nước bằng công trình tuyến cọc, hệ thống thủy chí và máy tự ghi mực nước. Máy tự ghi được trang bị tại các trạm hầu hết là máy tự ghi Stevens. Các trạm thủ công cần có quan trắc viên để vận hành và xử lý thiết bị trong quá trình quan trắc. Tuy nhiên, trong tình huống đặc biệt như bối cảnh dịch bệnh Covid-19, các địa phương thực hiện giãn cách xã hội theo Chỉ thị 16 của Thủ tướng chính phủ [1]. Một số trạm thủy văn cũng bị ảnh hưởng theo, các quan trắc viên không thể tới trạm để quan trắc, trích xuất số liệu để phục vụ cho công tác dự báo, cảnh báo phòng chống thiên tai. Giải pháp sử dụng camera kết hợp với các thuật toán trí tuệ nhân tạo để quan trắc từ xa đối với các trạm bị phong tỏa rất hữu ích khi có thể trực tiếp thu thập số liệu bất kỳ thời gian nào để phục vụ chuyên môn. Đồng thời có thể nâng cấp chuyển đổi các trạm từ quan trắc mực nước thủ công thành các trạm quan trắc tự động.

Hiện nay trên thế giới, lĩnh vực trí tuệ nhân tạo được ứng dụng rộng rãi cho nhiều ngành [2–7], trong đó có khí tượng thủy văn. Nhiều nước đã và đang đầu tư xây dựng các hệ thống dự báo hay cảnh báo sớm dựa trên nền tảng trí tuệ nhân tạo như: hệ thống cảnh báo sớm lũ tại Jakarta của Indonesia; hệ thống dự báo ngập do mưa tại Nhật; hệ thống dự báo và cảnh báo sớm lũ lụt tại Ấn Độ... Trong nước cũng có nhiều nghiên cứu ứng dụng trong ngành khí tượng thủy văn như: [8] đã nghiên cứu trong đề tài cấp Bộ “Nghiên cứu, xây dựng công cụ nhận dạng và số hóa các giản đồ tự ghi khí tượng thủy văn” [8–11]; đề tài cấp thành phố [12]

đã nghiên cứu xây dựng và triển khai thử nghiệm hệ thống cảnh báo sớm ngập lụt đô thị dựa trên nền tảng trí tuệ nhân tạo tại Thành phố Hồ Chí Minh, đã nghiên cứu và sử dụng hình ảnh từ các camera đo ngập lụt trên đường phố cũng như khai thác nguồn các video từ hệ thống camera giám sát giao thông qua ứng dụng AI để dự báo ngập tại các tuyến đường của thành phố; [13] đã nghiên cứu một giải pháp dựa trên Vision Transformer, để phân loại bốn cấp độ mưa và ngập lụt ở các khu vực đô thị từ camera...

Nghiên cứu xử lý nhận dạng hình ảnh thu được từ hệ thống camera trên cơ sở AI đáp ứng yêu cầu chuyển đổi số [14–16], tự động hóa các trạm quan trắc thủ công trên cơ sở các công trình chuyên môn hiện có. Đồng thời đáp ứng được Chiến lược phát triển ngành khí tượng thủy văn đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045 [17].

2. Phương pháp nghiên cứu và tài liệu thu thập

2.1. Giới thiệu phạm vi khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu thuộc phạm vi quản lý của Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ với 19 tỉnh thành. Hiện nay mạng lưới trạm thủy văn thủ công ở Nam Bộ bao gồm 50 trạm truyền thống, trong đó hầu hết được trang bị máy tự ghi mực nước Stevens, Valdai, GR–38 [18]. Để thử nghiệm, nhóm nghiên cứu chọn 02 trạm thủy văn có đặc thù chung cho các trạm thủ công ở Nam Bộ là Trạm Thủy văn Mỹ Tho và Trạm Thủy văn Long Định như Bảng 1.

Bảng 1. Danh sách và vị trí trạm thử nghiệm.

TT	Tên trạm	Tên sông	Kinh độ (°)	Vĩ độ (°)
1	Thủy văn Mỹ Tho	Sông Tiền	106°20'48"	10°20'54"
2	Thủy văn Long Định	Kênh Xáng	106°15'23"	10°23'60"

2.2. Hệ thống camera, chế độ hoạt động và truyền dữ liệu

2.2.1. Tiêu chí lựa chọn thiết bị camera

Camera là loại cố định, độ phân giải FullHD (1080) trở lên; Có thể quan sát trong điều kiện thời tiết xấu (mưa lớn), chế độ màu cả ngày và đêm, cho phép lựa chọn vùng quan sát; mã hóa hình ảnh theo chuẩn nén H.265; H.264; H.264B; MJPEG; kết nối mạng theo chuẩn RJ45, WiFi; truyền dữ liệu (video, ảnh) trực tiếp về máy chủ, cấu hình từ xa; vỏ kim loại, lắp đặt ngoài trời, khả năng chống nước, bụi chuẩn IP 67 trở lên; thông dụng nhiều hãng cung cấp trên thị trường, dễ lắp đặt.

2.2.2. Nguồn điện sử dụng

Thuận tiện nhất hiện tại các camera đều sử dụng nguồn điện một chiều DC 12V và dòng tiêu thụ tương đối nhỏ, do đó đối với vấn đề nguồn cung cấp duy trì hoạt động có nhiều phương án để thực hiện và có thể áp dụng tại tất cả các trạm thủy văn. Tuy nhiên, để đảm bảo hoạt động liên tục, tránh bị gián đoạn do mất điện lưới, cần thiết lập hệ thống nguồn cung cấp ổn định từ ắc quy và nạp lại tự động bằng panel mặt trời, điện lưới.



Hình 1. Hình ảnh IP camera 2.0MP được sử dụng thử nghiệm.



Hình 2. Vị trí lắp đặt camera tại Trạm thủy văn Mỹ Tho.



Hình 3. Vị trí lắp đặt camera tại Trạm thủy văn Long Định.

2.2.3. Chế độ hoạt động và truyền dữ liệu

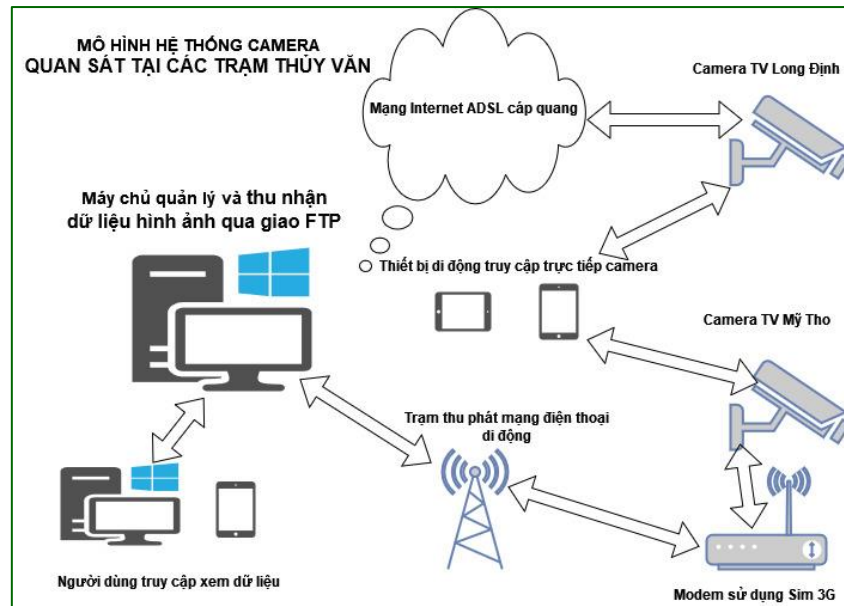
Thiết bị camera đều được cài đặt chế độ hoạt động truyền video và hình ảnh liên tục truyền về máy chủ, cho phép xem qua các ứng dụng trên thiết bị di động. Đồng thời trên máy chủ cài đặt phần mềm quản lý tập trung để có thể theo dõi, kiểm tra, giám sát và cấu hình thiết bị từ xa. Trọng tâm hoạt động của camera, ngoài quan sát video trực tiếp, làm sao có những ảnh tốt, rõ nét (độ phân giải 1080P với dung lượng 240KB) tại những khu vực quan tâm và truyền dữ liệu liên tục. Thông qua đó dùng công nghệ AI để xử lý nhận dạng, đưa ra số liệu theo thời gian thực. Phương thức truyền: Truyền dữ liệu về máy chủ đặt tại Đài với hai loại dữ liệu: (1) Hình ảnh video thực; (2) Ảnh chụp theo thời gian được cài đặt qua giao thức FTP. Mô hình hệ thống quan trắc và lưu trữ dữ liệu được thể hiện trên hình 4.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Đối với giản đồ máy Stevens

Các giải thuật đọc thông tin từ giản đồ Stevens: để có được số liệu chuẩn xác cần thực hiện các bước xử lý như: Xử lý vấn đề distortion (méo ảnh) do camera; xác định góc quay; xác định chính xác đầu kim để tính mực nước chính xác, ta cần phải quay ảnh chụp về góc 0 độ một cách tự động; xây dựng dữ liệu mẫu và đối sánh mẫu (*Template matching*) để xác

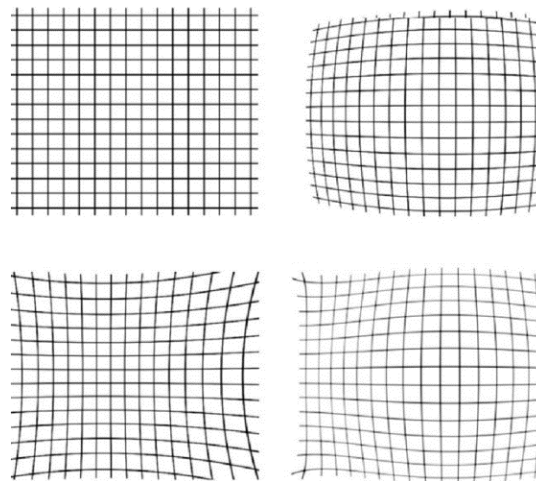
định vùng chứa mũi kim của máy Stevens, sử dụng thuật toán template matching sẽ cho kết quả nhanh và chính xác; các Keypoint; xử lý vấn đề đổi chiều của máy tự ghi Stevens.



Hình 4. Mô hình chung về hệ thống quan trắc và lưu trữ dữ liệu.

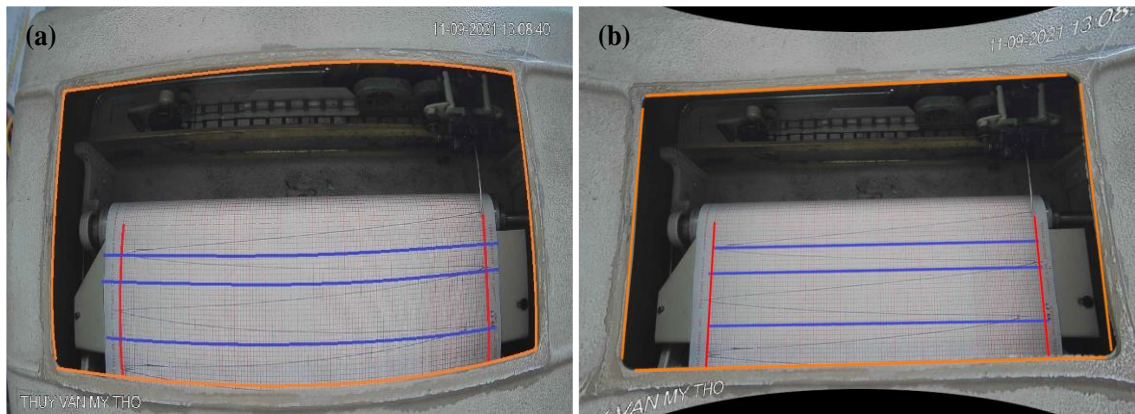
a) Vấn đề distortion do camera

Một đặc điểm của các camera hiện đang được bán trên thị trường là cấu hình thấu kính của chúng. Do đa số camera trên thị trường được dùng cho mục đích quan sát ở khoảng cách xa và trên một không gian rộng, cấu hình thấu kính của những camera này thường được ưu tiên cho việc quan sát bao quát cự ly xa hơn là chi tiết nằm ở cự ly gần và mang tính đồng đều. Với một khung hình đều (thể hiện bằng lưới nằm tại góc trên, bên trái), khi đi qua thấu kính camera sẽ cho khung hình lồi (thể hiện bằng lưới nằm tại góc trên, bên phải).



Hình 5. Hiện tượng distortion do camera ghi nhận ảnh.

Distortion (méo ảnh) là hiện tượng các đường thẳng trên hình ảnh bị cong, nghiêng so với khung hình (Hình 5). Nguyên nhân là do các thấu kính trong ống kính máy ảnh và hiện tượng này thường xuyên xảy ra gây khó khăn trong việc căn chỉnh các vị trí ô li, đường thẳng giao nhau để xác định độ cao mực nước. Do đó, ta cần phải undistort (sửa méo) ảnh để việc căn chỉnh được chính xác. Những đường nét chính được thể hiện trong hình là những đường thẳng trên thực tế, tuy nhiên lại có dạng cong dưới góc nhìn của camera (Hình 6a). Việc này sẽ dẫn đến sai số ngày càng lớn khi càng về biên.

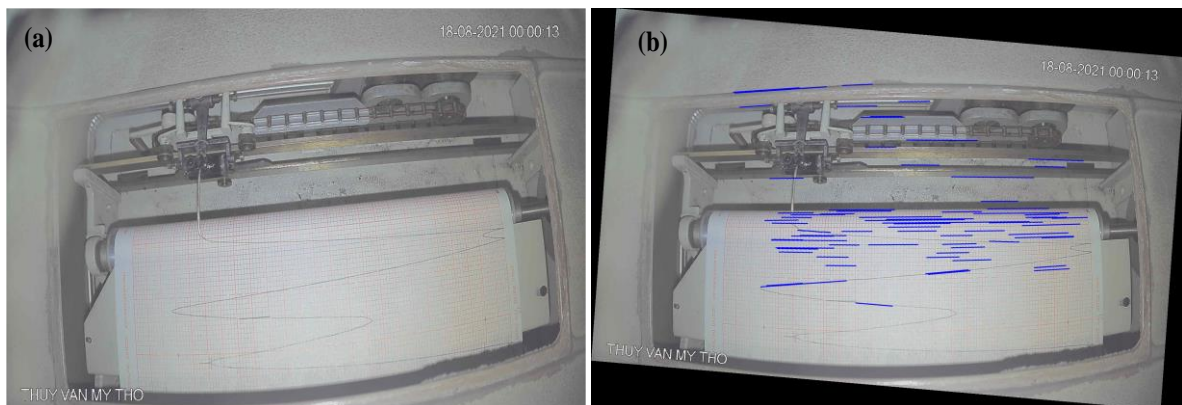


Hình 6. (a) Hiện tượng distortion với ảnh máy Stevens ghi nhận từ camera; (b) Ảnh chụp máy Stevens đã được xử lý để loại bỏ hiện tượng distortion.

Để khắc phục điều này, đòi hỏi phải có cấu hình cụ thể của thấu kính. Với cấu hình thấu kính này, các bước biến đổi ngược sẽ có thể xây dựng lại gần đúng hình ảnh ban đầu. Vì vậy, việc có được cấu hình thấu kính là rất quan trọng. Hiện nay, các camera thường không công bố quy chuẩn kỹ thuật, bao gồm cấu hình thấu kính. Để giải quyết vấn đề này, một trong những ràng buộc này là đối tượng đã nằm ở trong khung nhìn của camera. Một ràng buộc khác là camera ở vị trí cố định. Hai ràng buộc này cho phép đối tượng cần phân tích luôn luôn nằm trong vị trí nhất định. Cấu hình của thấu kính theo đó có thể được mô phỏng để đạt được kết quả tốt nhất (Hình 6b).

b) Xác định góc quay

Đối với máy Stevens, trong thực tế, camera có những trường hợp bị lệch góc quay từ camera dẫn đến hình ảnh cũng bị lệch một góc (alpha) (Hình 7a). Để xác định chính xác đầu kim và mực nước chính xác, ta cần phải quay ảnh chụp về góc 0 độ một cách tự động. Đối với máy Stevens, trong thực tế, camera có những trường hợp bị lệch góc quay từ camera dẫn đến hình ảnh cũng bị lệch một góc (alpha). Để xác định chính xác đầu kim và mực nước chính xác, ta cần phải quay ảnh chụp về góc 0 độ một cách tự động (Hình 7b).



Hình 7. (a) Máy Stevens bị lệch do góc quay của camera; (b) Máy Stevens đã được quay tự động.

* Thuật toán quay ảnh tự động:

Chuyển ảnh từ 3 kênh màu RGB sang ảnh xám.

Sử dụng thuật toán Canny để tìm những điểm ảnh có khả năng thuộc các biên cạnh.

Sử dụng thuật toán HoughLines để xác định những đường thẳng dựa trên các điểm ảnh từ thuật toán Canny.

Loại bỏ những đường thẳng có góc lệch quá lớn ($> 5^\circ$).

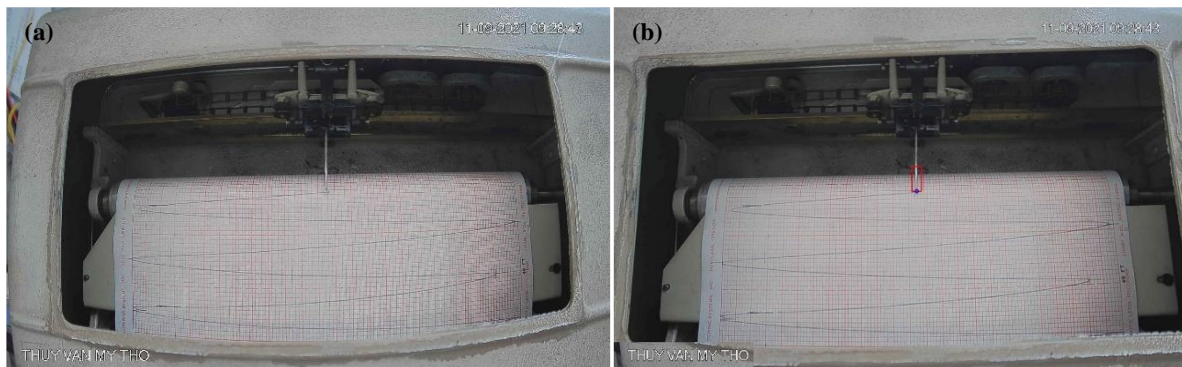
Lấy trung vị các góc lệch từ các đường thẳng vừa thu được.

Thực hiện phép quay với góc lệch trung vị.

c) **Đối sánh mẫu (Template matching)** để xác định vùng chứa mũi kim của máy Stevens
Để xác định độ cao của mực nước, trước tiên ta cần phải phát hiện được mũi kim của máy Stevens. Nhận xét thấy hình dáng của mũi kim tại cùng một máy là như nhau và không đổi, do đó ta sử dụng thuật toán template matching sẽ cho kết quả nhanh và chính xác. Ngoài ra, tại các vị trí khác nhau của mũi kim sẽ cho các hình dạng khác nhau do phép chiếu phối cảnh. Ta sẽ sử dụng nhiều template ở mỗi vị trí khác nhau để giải quyết bài toán ở mọi góc nhìn (Hình 8).



Hình 8. Hình ảnh minh họa vài template ở các vị trí khác nhau.



Hình 9. (a) Hình ảnh trước khi phát hiện mũi kim máy Stevens; (b) Hình ảnh đã phát hiện được mũi kim máy Stevens.

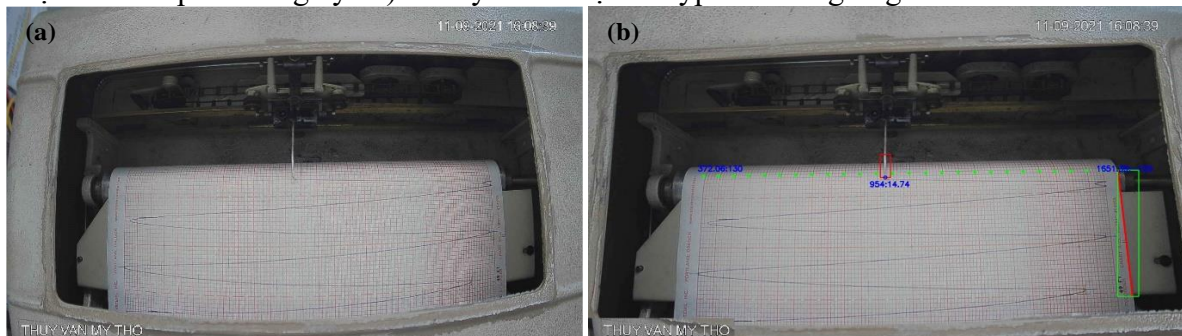
d) Cách xác định đầu kim

Do phép chiếu phối cảnh nên mũi kim khi tiến về hai biên của giấy vẽ sẽ bị lệch một đoạn nhất định. Ví dụ khi ở vị trí trung tâm của ảnh $x = 960$, mũi kim không bị lệch và khi di chuyển đến vị trí biên bên trái với tọa độ $x = 360$, mũi kim đã bị lệch 30 điểm ảnh.

Vì vậy khi mũi kim tiến càng tiến về hai biên của giấy vẽ, ta sẽ tăng dần chiều rộng của bounding box (hình chữ nhật màu đỏ) và mũi kim sẽ được xác định bằng trung điểm của cạnh dưới bounding box (mũi kim được minh họa bằng chấm tròn màu xanh dương là trung điểm của cạnh dưới hình chữ nhật màu đỏ).

e) Các Keypoint

Để xác định được độ cao của mực nước, ta cần xác định vị trí các ô li, từ đó suy ra được độ cao tương ứng bằng phương pháp nội suy tuyến tính. Nhận xét thấy khoảng cách giữa các ô li trên giấy vẽ là không đổi, do đó ta chỉ cần xác định một vị trí cột mốc cố định (ở đây ta chọn bìa bên phải của giấy vẽ) và suy ra các vị trí keypoint tương ứng.

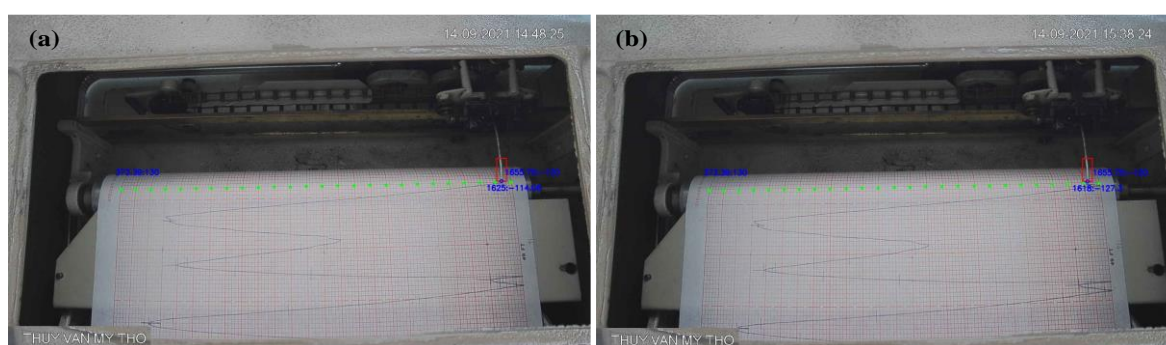


Hình 10. (a) Hình ảnh ban đầu từ máy Stevens; (b) Hình ảnh phát hiện bìa giấy bên phải và suy ra các vị trí ô li tương ứng.

f) Vấn đề đổi chiều

Trong những trường hợp mực nước đi ra khỏi khoảng giá trị của giấy vẽ, sẽ xảy ra hiện tượng đổi chiều. Do đó ta cần xác định vị trí đổi chiều và lấy được giá trị thực của độ cao mực nước (Hình 11a). Để xác định vị trí đổi chiều, ta sử dụng thuật toán như sau:

Tại thời điểm cần xác định độ cao mực nước, ta lần lượt quay ngược về các thời điểm trước đó. Ở mỗi bước quay ngược về, ta xác định vị trí tọa độ mũi kim và độ cao mực nước tương ứng (độ cao dựa trên giấy vẽ và không đảo chiều). Xác định lần chạm biên trái hoặc phải bằng cách xét 3 vị trí đầu kim (x_0, y_0) , (x_1, y_1) , (x_2, y_2) và độ cao h_0, h_1, h_2 ở các thời điểm liên tiếp t_0, t_1, t_2 . Tính hai vector liên tiếp nhau và xác định góc giữa hai vector $v_1 (x_1 - x_0, y_1 - y_0)$ và vector $v_2 (x_2 - x_1, y_2 - y_1)$. Kiểm tra điều kiện chạm biên: góc giữa 2 vector là góc tù ($\cos < 0$), h_1 có giá trị cách giá trị mực nước ở 2 biên một khoảng nhỏ và $x_0 < x_1 > x_2$ (đổi chiều biên phải), $x_0 > x_1 < x_2$ (đổi chiều biên trái). Kết luận, nếu lúc quay ngược về các thời điểm trong quá khứ có 1 lần chạm biên thì thực hiện đổi chiều, nếu có 2 lần chạm biên thì không thực hiện đổi chiều (Hình 11b).



Hình 11. (a) Chuẩn bị xảy ra hiện tượng đảo chiều; (b) Quay ngược về quá khứ phát hiện có 1 lần chạm biên => đổi chiều.

2.3.2. Đối với hệ thống thủy chí

Các giải thuật cần xử lý để đọc thông tin từ hệ thống thủy chí để có được số liệu chuẩn xác, tương tự như giản đồ máy Stevens, cần xác định vị trí tuyến cọc, thủy chí đo mực nước, từ đó suy ra các cột mốc mực nước tương ứng. Sử dụng thuật toán template matching với các template là các thủy chí. Xử lý năng lượng từ hình ảnh thu nhận được qua ánh sáng ban ngày, ban đêm. Tạo mẫu để giải thuật AI học từ các tình huống thực tế có thể xảy ra như bèo, rác trôi, sóng từ thuyền ghe khi đi qua, mưa to...

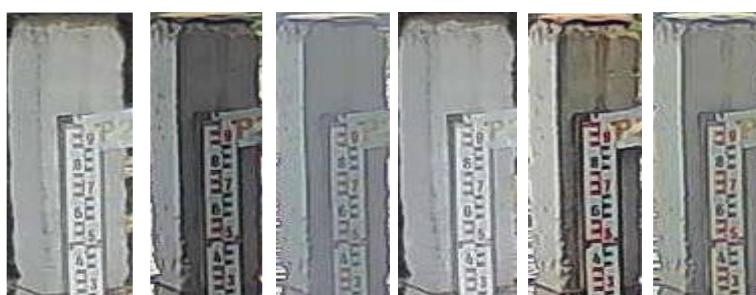
*Các giải thuật xử lý để đọc tự động thông tin từ ảnh chụp thủy chí

a) Template matching để xác định vị trí các thủy chí

Sử dụng thuật toán template matching với các template là các bảng P_1, P_2 của thủy chí (Hình 12–14).



Hình 12. Hình ảnh minh họa vài template bảng P_1 .



Hình 13. Hình ảnh minh họa vài template thủy chí P_2 .



Hình 14. Phát hiện hai thủy chí với bảng P_1 và P_2 .

b) Giải pháp ban ngày

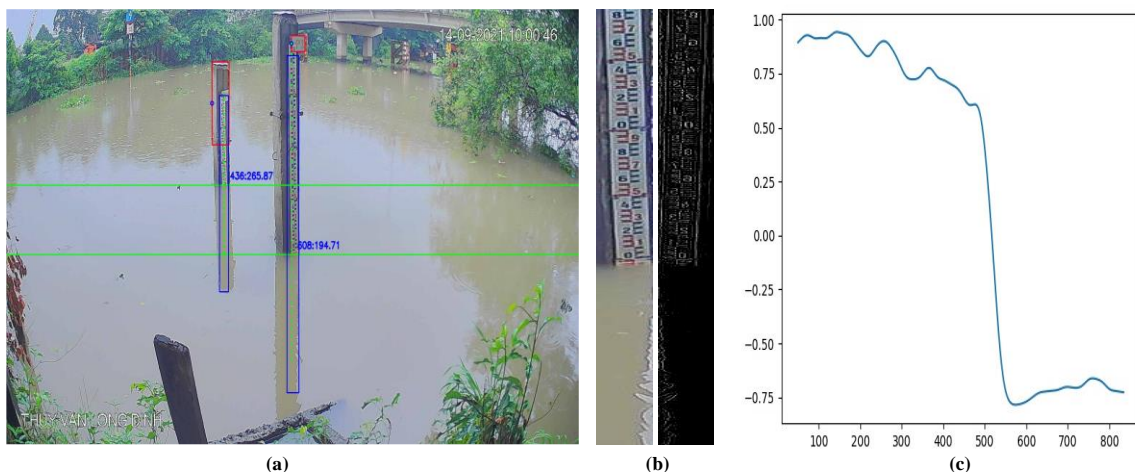
Sau khi tìm được vị trí hai thủy chí P_1 và P_2 , ta tiến hành xác định mực nước với thuật toán như sau:

- Xác định vùng xung quanh thủy chí dựa trên vị trí hai cột P_1 , P_2 (Hình 15a).
- Tính gradient ở mỗi độ cao bằng cách lấy tổng theo chiều ngang trong vùng cần xác định và chuẩn hóa về đoạn $[0, 1]$ (Hình 15b).
- Tính giá trị kênh màu green ở mỗi độ cao bằng cách lấy tổng theo chiều ngang trong vùng cần xác định và chuẩn hóa về đoạn $[0, 1]$.
- Tính giá trị năng lượng bằng công thức:

$$\alpha \times \text{gradient} + \beta \times \text{green}$$

- Duyệt vùng cần xác định từ cao đến thấp, nếu tại một độ cao bất kì thỏa mãn điều kiện mực nước thì sẽ dừng thuật toán.

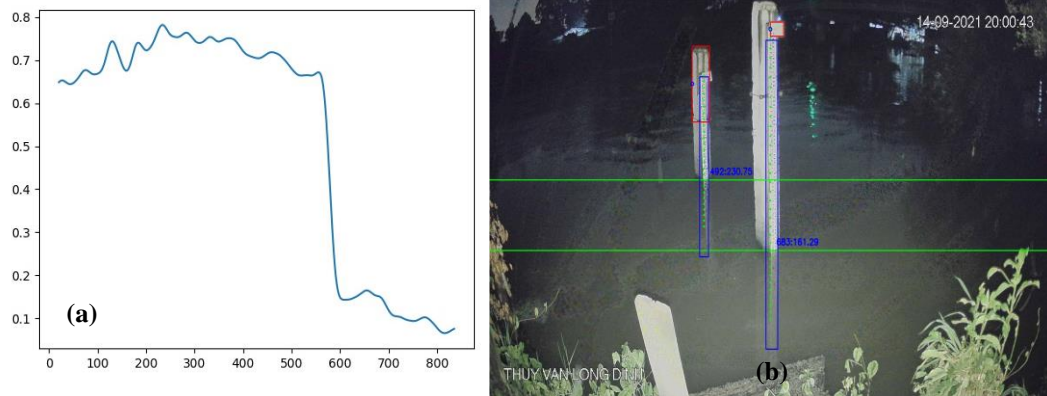
- Điều kiện mực nước: giá trị năng lượng ở độ cao cần xác định $<$ giá trị năng lượng trung bình của các độ cao bên trên $-0,5$ và có độ lớn đạo hàm đạt cực đại (Hình 15c).



Hình 15. (a) Vùng cần xác định mực nước là hình chữ nhật màu xanh; (b) Minh họa tính gradient vùng cần xác định; (c) Minh họa biểu đồ năng lượng ban ngày và mực nước thỏa điều kiện ở vị trí 543 (pixel trên ảnh).

c) Giải pháp ban đêm

Tương tự như giải pháp ban ngày nhưng thay vì tính gradient và kênh màu green, ta sẽ tính giá trị độ sáng và gradient của ảnh do ban đêm những điểm trên thủy chí với điều kiện chiếu sáng từ đèn sẽ có độ sáng cao hơn những điểm dưới nước (Hình 16).

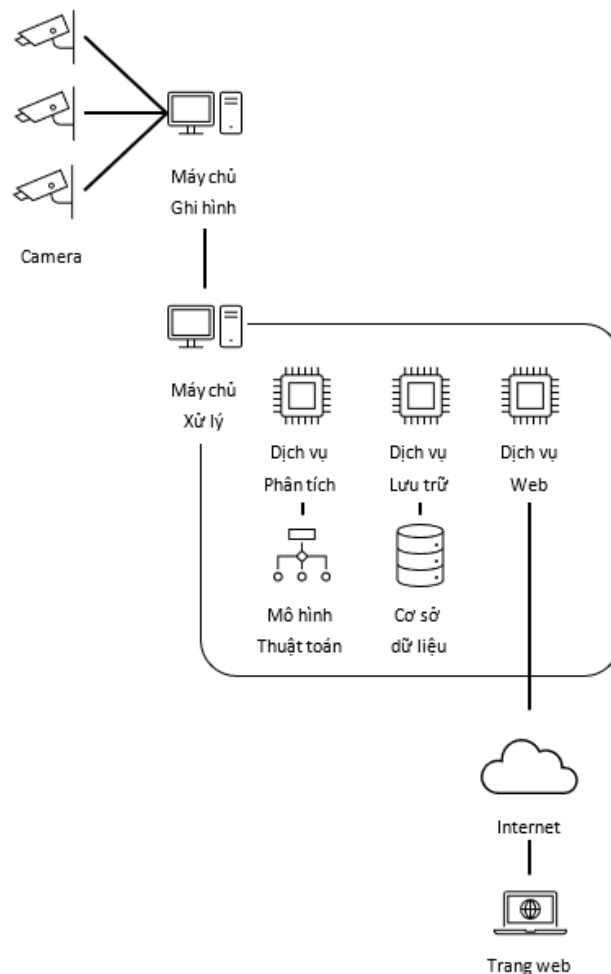


Hình 16. (a) Minh họa biểu đồ năng lượng ban đêm và mực nước thỏa điều kiện ở vị trí 589 (pixel trên ảnh); (b) Kết quả giá trị mực nước thu được là vạch kẻ màu xanh lá.

2.3.3. Hệ thống dịch vụ trên web xử lý và cung cấp thông tin các trạm thủy văn

Giải pháp là sự kết hợp giữa các thành phần độc lập với nhau. Các thành phần bao gồm:

- Camera: với nhiệm vụ ghi lại hình ảnh tại các trạm. Để phân tích được kết quả tốt và chính xác nhất, camera được lắp đặt và cố định tại một vị trí với khung nhìn bao quát phổ chuyển động. Trong ứng dụng hiện tại, phổ chuyển động này bao gồm khoảng từ biên trái đến biên phải của đầu kim máy Stevens tại Trạm thủy văn Mỹ Tho. Tại trạm thủy văn Long Định, phổ này là từ giới hạn dưới và trên của hai cột thủy chí trên sông.



Hình 17. Kiến trúc chung của hệ thống dịch vụ trên web để xử lý và cung cấp thông tin cho các trạm thủy văn.

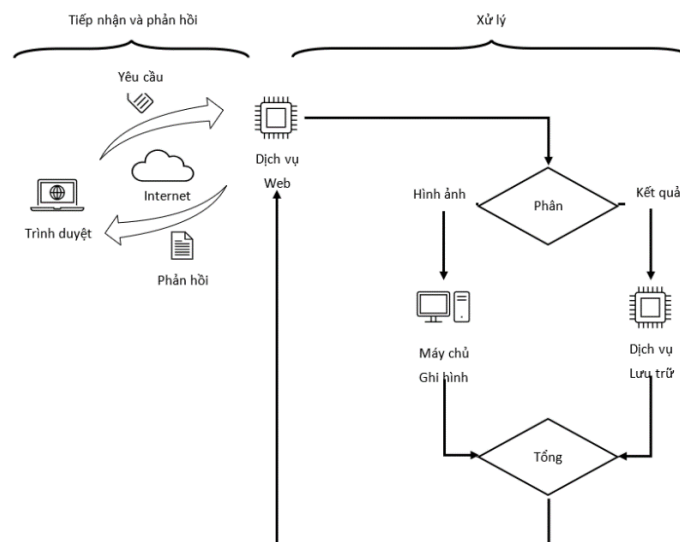
- Máy chủ ghi hình: có nhiệm vụ tổng hợp các nguồn dữ liệu video từ camera. Do số lượng camera có thể nhiều, việc thành lập một điểm tổng hợp và lưu trữ hình ảnh là hợp lý. Hơn nữa, vị trí các camera thường phải phụ thuộc vào trạm thủy văn, do đó các phương thức kết nối mạng để truyền tải dữ liệu cho các camera này có thể rất đa dạng, đặt ra một số thử thách cho việc lấy dữ liệu đầu vào nhằm mục đích lưu trữ cũng như xử lý. Ở một số nơi không có kết nối internet có dây, kết nối không dây 4G thường được triển khai.

- Máy chủ xử lý: có nhiệm vụ xử lý và phân tích thông tin hình ảnh camera và cung cấp các kết quả phân tích này. Các hoạt động được thực thi tại máy chủ xử lý được phân tách ra một số thành phần (module) nhỏ hơn, nhằm dễ dàng thay thế cũng như khắc phục các lỗi xảy ra. Các thành phần này được chia thành các dịch vụ, bao gồm:

+ Dịch vụ phân tích có nhiệm vụ nhận một hình ảnh đầu vào, kèm theo một cấu hình mô tả mô hình thuật toán, sau đó tiến hành phân tích và trả kết quả. Đây là dịch vụ chính và quan trọng nhất của toàn bộ giải pháp. Đi kèm với dịch vụ này là các mô hình thuật toán cụ thể cho các camera. Các mô hình được áp dụng cho toàn bộ camera, tuy nhiên mỗi camera sẽ có các cấu hình riêng được tinh chỉnh để cải thiện độ chính xác cao nhất có thể được, thông qua các ví dụ sai dưới dạng các ảnh mà mô hình gốc nhận diện chưa chính xác.

+ Dịch vụ lưu trữ có nhiệm vụ định dạng, gắn nhãn, lưu trữ và tra cứu các kết quả đã phân tích. Nhiệm vụ này đòi hỏi một lớp trừu tượng hóa các phương thức lưu trữ, cho phép khả năng linh hoạt trong việc lựa chọn vị trí lưu trữ. Ngoài ra, dịch vụ này cũng cung cấp các kết quả phân tích trong quá khứ (tra cứu) với đầu vào mô tả một bộ lọc, gồm tên camera và thời điểm trong quá khứ. Các dữ liệu kết quả trong quá khứ sẽ được tra cứu. Kết quả tại thời điểm gần với thời điểm được đưa ra trong bộ lọc nhất sẽ được trả về.

+ Dịch vụ web nằm trong nhóm các dịch vụ với nhiệm vụ cung cấp thông tin kết quả. Về mặt bản chất, dịch vụ này sẽ cung cấp thông tin kết quả qua môi trường web. Với mỗi loại yêu cầu, dịch vụ web sẽ liên hệ với các dịch vụ khác để thu thập kết quả tương ứng, sau đó tổng hợp lại và chuyển định dạng sang ngôn ngữ web phù hợp cho việc trình bày trên trình duyệt và gửi kết quả về người dùng.



Hình 18. Nguyên lý hoạt động của dịch vụ web.

Các đường dẫn của dịch vụ web được thiết kế theo quy chuẩn tài nguyên REST mang tính thống nhất:

/api cung cấp thông tin dạng chữ thuần túy. Dạng thông tin này giúp kết quả được truyền đi nhanh hơn, cũng như giúp việc phát triển ứng dụng tích hợp dễ dàng hơn (ứng dụng cho máy tính hoặc các thiết bị thông minh)

+ /api/<tên trạm thủy văn>/current_water_level: cung cấp thông tin mực nước của trạm thủy văn tại thời điểm mới nhất

+ /api/<tên trạm thủy văn>/history?time=yyyy-MM-dd-HH-mm-ss: cung cấp thông tin mực nước của trạm thủy văn gần nhất với thời điểm năm yyyy, tháng MM (2 chữ số), ngày dd (2 chữ số), giờ HH (dạng 24 giờ, 2 chữ số), phút mm (2 chữ số), giây ss (2 chữ số)

/img cung cấp thông tin dạng hình ảnh. Dạng thông tin này cho phép hiển thị trực quan hình ảnh gốc lẫn kết quả phân tích nếu có.

+ /img/<tên trạm thủy văn>/current_water_level: cung cấp hình ảnh mực nước của trạm thủy văn tại thời điểm mới nhất

+ /img/<tên trạm thủy văn>/history?time=yyyy-MM-dd-HH-mm-ss: cung cấp hình ảnh mực nước của trạm thủy văn gần nhất với thời điểm năm yyyy, tháng MM (2 chữ số), ngày dd (2 chữ số), giờ HH (dạng 24 giờ, 2 chữ số), phút mm (2 chữ số), giây ss (2 chữ số)

/<tên trạm thủy văn> thể hiện trang web bao gồm hình ảnh lẫn kết quả phân tích cho trạm thủy văn.

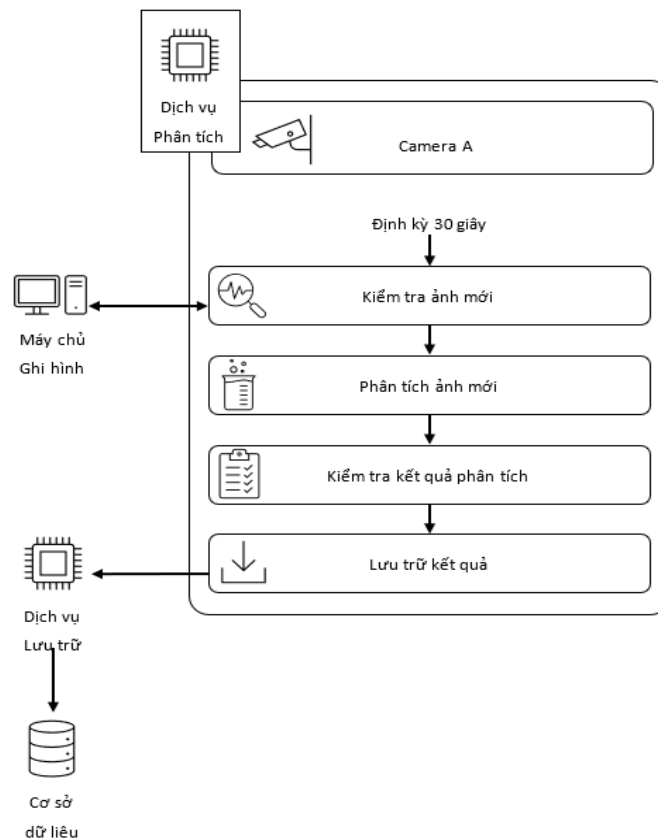
Dịch vụ phân tích sẽ đọc các cấu hình camera, sau đó khởi động các quy trình phân tích cho từng camera dựa trên những cấu hình này. Mỗi quy trình phân tích bao gồm một số bước và được lặp lại định kỳ sau một khoảng thời gian nhất định có thể cấu hình được.

Kiểm tra ảnh mới: tại bước này, dịch vụ sẽ tiến hành liên hệ đến máy chủ ghi hình để kiểm tra sự tồn tại của ảnh mới. Trong trường hợp có ảnh mới, ảnh này sẽ được tải về và gắn nhãn dựa trên thời điểm ghi hình. Ngược lại, trong trường hợp không có ảnh mới, điều này có nghĩa kết quả hiện tại là mới nhất và không cần làm gì thêm.

Sau khi ảnh mới được tải về, thuật toán nhận dạng và phân tích sẽ được triển khai trên ảnh và đưa ra kết quả.

Với kết quả phân tích thu thập được sau khi thuật toán hoàn thành, các bước kiểm tra kết quả sẽ được thực thi để đảm bảo kết quả là hợp lý và đúng định dạng.

Cuối cùng, các kết quả hợp lệ sẽ được chuyển sang dịch vụ lưu trữ và theo đó ghi vào cơ sở dữ liệu đã được cấu hình (Hình 19).



Hình 19. Quy trình xử lý ảnh từ trạm thủy văn để đọc thông tin tự động và ghi dữ liệu vào cơ sở dữ liệu.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả sản phẩm thu được

Sau khi lắp đặt, qua thời gian thử nghiệm, nhận thấy hiện nay hoạt động của hệ thống thu nhận được kết quả như mong muốn. Với đầy đủ các chức năng, vừa có thể xem hình ảnh thực và các ảnh gởi về đầy đủ, đảm bảo cho bước xử lý hình ảnh để đưa ra các số liệu thực. Đồng thời qua theo dõi nhận thấy với buổi tối ánh sáng kém, thời tiết xấu như mưa vẫn có thể thu nhận được các ảnh có chất lượng.

Đánh giá kết quả so với số liệu quan trắc thủ công:

- So sánh số đọc thủ công trực tiếp từ thủy chí và số liệu sử dụng camera trên nền tảng công nghệ AI cho kết quả tốt. Tỷ lệ số liệu bằng nhau chiếm trên 35%, sai số chênh lệch của hai phương pháp đo phần lớn dao động từ -0,5 cm đến 0,5 cm chiếm trên 75%. Kết quả đánh giá được trích xuất từ Báo cáo tại Hội thảo Ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong lĩnh vực khí tượng thủy văn [19].

- So sánh giữa số liệu trích xuất thủ công từ giàn đồ máy Stevens và số liệu sử dụng camera, kết quả của hai phương pháp khá đồng nhất, chênh lệch của hai phương pháp đo phần lớn dao động từ 0,5 cm đến 1,5 cm trong phạm vi sai số cho phép. Kết quả đánh giá được trích xuất từ Báo cáo tại Hội thảo Ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong lĩnh vực khí tượng thủy văn [19].

Tuy trong thời gian thử nghiệm (cho máy học) nhưng sai số chênh lệch nằm trong giới hạn cho phép, có thể áp dụng trong thực tế được.

3.2. Nhược điểm, hạn chế và giải pháp

- Kết quả còn phụ thuộc vào đường truyền internet, 3G; phụ thuộc vào thời tiết khi mưa to, làm ảnh hưởng đến chất lượng hình ảnh. Giải pháp xử lý là tăng dung lượng đường truyền và chất lượng hình ảnh của camera.

- Độ chính xác có thể bị ảnh hưởng đối với các trạm bị bèo, rác bao quanh thủy chí. Giải pháp xử lý là che chắn thủy chí hoặc vớt bèo, rác che chắn quanh thủy chí.

- Đòi hỏi phải có vị trí lắp camera thuận lợi, camera phải cố định, chắc chắn, chịu được mưa to, gió lớn khi lắp đặt ngoài trời khi dùng để đọc trắc thủy chí. Giải pháp xử lý là thiết kế vị trí lắp đặt camera chắc chắn.

- Khoảng cách từ camera đến thủy chí không quá xa. Sẽ có khó khăn khi trạm thủy văn ở bãi lầy, có nhiều thủy chí. Giải pháp xử lý là có thể phải gắn thêm camera.

3.3. Hiệu quả kinh tế

- Giải quyết được bài toán tinh giảm biên chế theo chủ trương của Đảng và Nhà nước, tiết kiệm được nguồn nhân lực; giải quyết bài toán thiếu hụt nhân sự, khó khăn trong việc tuyển dụng theo vị trí việc làm.

- Chi phí đầu tư để xây dựng công trình, trang thiết bị cho trạm quan trắc mực nước bằng camera kết hợp công nghệ AI thấp thấp hơn nhiều so với mức đầu tư hiện tại. Đồng thời dễ thay thế, bảo dưỡng công trình, thiết bị.

3.4. Ưu điểm, thuận lợi

- Đảm bảo độ chính xác của số liệu, khách quan, không bị chi phối bởi yếu tố chủ quan của người đọc.

- Có thể chuyển đổi số, tự động hóa các trạm quan trắc thủ công thành các trạm tự động trên cơ sở công trình chuyên môn hiện có.

- Khai thác số liệu thuận lợi, không quá khó khăn.

- Kinh phí để trang bị cho toàn bộ hệ thống camera, đường truyền số liệu... không quá lớn.

- Lắp đặt đơn giản, dễ dàng không đòi hỏi kỹ thuật quá cao.

- Giải quyết được bài toán trong thời gian dịch bệnh Covid-19, trạm nằm trong khu phong tỏa, quan trắc viên không đến trạm được. Giải pháp dùng camera để có ngay số liệu để phục vụ cho công tác dự báo, cảnh báo.

4. Kết luận

Nghiên cứu xử lý nhận dạng hình ảnh thu được từ hệ thống camera trên cơ sở các thuật toán trí tuệ nhân tạo để tính toán xác định giá trị mực nước tự động tại các thời điểm, lưu trữ hình ảnh và số liệu tương ứng vào cơ sở dữ liệu tại máy chủ của Đài. Nghiên cứu cho thấy kết quả đảm bảo độ chính xác của số liệu, khách quan, không bị chi phối bởi yếu tố chủ quan của người đọc. Kết quả nghiên cứu cho thấy có thể ứng dụng để chuyển đổi số, để tự động hóa các trạm quan trắc thủ công hiện nay thành các trạm tự động trên cơ sở công trình chuyên môn hiện có.

Ngoài ra, để đẩy mạnh việc tự động hóa, số hóa, Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ đã chủ động phối hợp với Trường Đại học Khoa học Tự nhiên TP. Hồ Chí Minh nghiên cứu, sử dụng và phát triển các ứng dụng chuyên ngành trên nền trí tuệ nhân tạo.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: L.N.Q.; Lắp đặt camera thử nghiệm: P.H.Q.T.; Viết bản thảo bài báo: P.H.Q.T., N.N.Đ., T.T.D.; Thực hiện các thuật toán AI: T.M.T.; Thu thập, so sánh số liệu: N.N.Đ.; Chỉnh sửa bài báo: N.N.Đ., T.T.D., N.M.G.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ đã cho khai thác, sử dụng số liệu và các báo cáo; Cảm ơn Trường Đại học Khoa học Tự nhiên TP. Hồ Chí Minh đã phối hợp tốt để nhóm tác giả trình bày những kết quả nghiên cứu.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Chỉ thị 16/CT-TTg của Thủ tướng Chính phủ về thực hiện các biện pháp cấp bách phòng, chống dịch Covid-19.
2. Thúc, N.D. Trí tuệ nhân tạo – Lập trình tiến hóa. Nhà xuất bản Giáo dục, 1995.
3. Thủy, N.T. Trí tuệ nhân tạo – Các phương pháp giải quyết vấn đề và kỹ thuật xử lý tri thức. Nhà xuất bản Giáo dục, 1995.
4. Luger, G.F.; William, A. Stubblefield – Albuquerque – Artificial Intelligence. Wesley Publishing Company, Inc, 1997.
5. Toại, B.X.; Việt T.G. Trí tuệ nhân tạo – Các cấu trúc và chiến lược giải quyết vấn đề. Nhà xuất bản Thông kê, 2000 (Phần I và Phần II).
6. Geogre, F. Luger – Artificial Intelligence, Structures and Strategies for Complex Problem Solving– Addison – Wesley Publishing Company, Inc, 2002.
7. Tom, M. Mitchell – Machine Learning – McGraw Hill, Inc.
8. Phương, P.L. và cs. Nghiên cứu, xây dựng công cụ nhận dạng và số hóa các giản đồ tự ghi khí tượng thủy văn. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ. Mã số TNMT.2018.05.16, 2018.
9. Thái, T.H.; Khiêm, M.V.; Thủy, N.B.; Hà, B.M.; Ngọc, P.K. Xây dựng mô hình mạng nơ-ron hồi quy dự báo độ cao sóng có nghĩa tại trạm Cồn Cỏ, Quảng Trị, Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, EME4, 73–84.
10. Chinh, T.H.; Lâm, H.P.; Thăng, V.V.; Kiên, T.B. Thử nghiệm khả năng dự báo số ngày nắng nóng trên lãnh thổ Việt Nam bằng mạng thần kinh nhân tạo. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 741, 98–105.
11. Thanh, N.C; Giang, N.T. Xây dựng mô hình máy học LSTM (Long Short Term Memory) phục vụ công tác dự báo mặn tại trạm đo mặn Đại Ngãi. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 740(1), 98–104.

12. Quyền, L.N. và cs. Nghiên cứu, xây dựng và triển khai thử nghiệm hệ thống cảnh báo sớm ngập lụt đô thị dựa trên nền tảng trí tuệ nhân tạo tại Thành phố Hồ Chí Minh. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Thành phố, 2022.
13. Le, Q.C.; Le, M.Q.; Tran, M.K.; Le, N.Q.; Tran, M.T. FL-Former: Flood Level Estimation with Vision Transformer for Images from Cameras in Urban Areas. *LNCSE* **2023**, 13833, 408–419.
14. Quyết định 749/QĐ-TTg ngày 03 tháng 6 năm 2020 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt “Chương trình Chuyển đổi số quốc gia đến năm 2025, định hướng đến năm 2030”.
15. <http://vnmma.gov.vn/kttv-voi-san-xuat-va-doi-song-106/ung-dung-chuyen-doi-so-nang-tam-du-bao-canb-bao-khi-tuong-thuy-van-13999.html>.
16. <http://vnmma.gov.vn/chi-dao-dieu-hanh-103/tong-cuc-khi-tuong-thuy-van-daymanh-ung-dung-tri-tue-nhan-tao-trong-linh-vuc-khi-tuong-thuy-van-14112.html>.
17. Quyết định số 1970/QĐ-TTg phê duyệt Chiến lược phát triển ngành khí tượng thủy văn đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045.
18. Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ. Báo cáo Tổng kết công tác năm 2022, 2022.
19. Tổng cục Khí tượng Thủy văn. Hội thảo “Ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong lĩnh vực khí tượng thủy văn” tổ chức tại Tổng cục KTTV, ngày 22/9/2021.
20. Bonafilia, D.; Tellman, B.; Anderson, T.; Issenberg, E. Sen1floods11: a georeferenced dataset to train and test deep learning flood algorithms for sentinel-1. In: 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW). 2020, pp. 835–845.

Applying AI in water level measurement by Camera

Nguyen Nam Duc^{1*}, Le Ngoc Quyen¹, Pham Ho Quoc Tuan¹, Nguyen Minh Giam, Tran Minh Triet², Tran Tien Dung³

¹ Southren Regional Hydrometeorological Center; ngnamduc@gmail.com; quyentccb@gmail.com; phamhoquoctuan@yahoo.com; nmg@kttvn.vn

² University of Science, VNU-HCM, Ho Chi Minh City, Viet Nam National University; tmtriet@hcmus.edu.vn

³ Office of Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; dungtranca5@gmail.com

Abstract: Researching and processing image recognition obtained from the camera system on the basis of artificial intelligence algorithms (AI) to convert manual water level monitoring stations into automatic water level monitoring stations. Simultaneously, combining information technology to collect and connect water level monitoring data from hydrological stations to enhance the quantity and quality of data provided for hydrological forecasting models. This study meets the requirements of digital transformation and automation of manual monitoring stations into automatic stations on the basis of existing professional works, while saving human resources at hydro-meteorological stations. ; solve the problem of shortage of personnel, difficulties in recruiting human resources for stations according to job positions.

Keywords: Camera; Hydrometeorology; Artificial intelligence; AI.