

Ngày nhận bài: 09/6/2025; Ngày thẩm định: 26/11/2025; Ngày duyệt đăng: 08/12/2025.

ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN TÌM KIẾM NGƯỜI BỊ NẠN BẰNG THIẾT BỊ QUÉT HỒNG NGOẠI TRONG HOẠT ĐỘNG CỨU NẠN, CỨU HỘ CỦA LỰC LƯỢNG CẢNH SÁT PHÒNG CHÁY, CHỮA CHÁY VÀ CỨU NẠN, CỨU HỘ

Đại tá, TS VŨ VĂN THỦY

Trưởng Khoa Chữa cháy và cứu nạn, cứu hộ, Trường Đại học PCCC

Thiếu tá, TS ĐỖ HOÀNG THANH

Khoa Chữa cháy và cứu nạn, cứu hộ, Trường Đại học PCCC

*Tác giả liên hệ: Đỗ Hoàng Thanh (Email: hoangthanhpccc@gmail.com)

Tóm tắt: Bài báo đề xuất việc ứng dụng thuật toán nhằm hỗ trợ hoạt động tìm kiếm người bị nạn bằng thiết bị quét hồng ngoại trong môi trường hạn chế tầm nhìn do tai nạn, sự cố, cháy, nổ. Trong điều kiện nồng độ khói, nhiệt độ cao, ánh sáng yếu hoặc không có ánh sáng, việc nhận diện vị trí nạn nhân gặp nhiều khó khăn, ảnh hưởng đến hiệu quả cứu nạn, cứu hộ (CNCH) và an toàn của lực lượng làm nhiệm vụ. Việc ứng dụng thuật toán giúp rút ngắn thời gian tìm kiếm người bị nạn và tối ưu hóa công tác chỉ huy, điều phối lực lượng tại hiện trường tai nạn, sự cố, cháy, nổ.

Từ khóa: CNCH, hồng ngoại, thuật toán, tìm kiếm người bị nạn.

Abstract: The paper proposes the application of algorithms to support victim search operations using infrared scanning devices in low-visibility environments caused by incidents, accidents, fires or explosions. In conditions of heavy smoke, elevated temperatures and poor or no lighting, identifying the location of victims becomes significantly challenging, thereby affecting the effectiveness of rescue operations and the safety of responders. The proposed algorithms help shorten the time required to locate victims and optimizes command and coordination of rescue forces at the scene of incidents, accidents, fires or explosions.

Keywords: rescue, infrared, algorithm, victim search.

1. Trong những năm gần đây tai nạn, sự cố, cháy, nổ ngày càng gia tăng về cả quy mô lẫn mức độ nguy hiểm, gây tổn thất nghiêm trọng về người và tài sản. Đặc biệt nhiều tai nạn, sự cố xảy ra trong môi trường không gian hạn chế, nhiều khói, khí độc, nhiệt độ cao hoặc trong điều kiện ánh sáng yếu, gây khó khăn cho lực lượng Cảnh sát Phòng cháy, chữa cháy và cứu nạn, cứu hộ (PCCC&CNCH) khi xác định vị trí và tiếp cận người bị nạn. Việc chậm trễ trong phát hiện người bị nạn không chỉ làm tăng nguy cơ tử vong mà còn ảnh hưởng đến an toàn của

cán bộ, chiến sỹ chữa cháy và CNCH khi thực hiện nhiệm vụ.

Khi xảy ra cháy, tầm nhìn thường bị hạn chế bởi khói dày, nhiệt độ cao và điều kiện thiếu ánh sáng hoặc ánh sáng yếu. Trước thực trạng đó, các thiết bị quét hồng ngoại (Camera nhiệt) đã và đang được nhiều quốc gia ứng dụng rộng rãi để hỗ trợ tìm kiếm trong điều kiện khó quan sát bằng mắt thường. Tuy nhiên, phần lớn thiết bị hiện nay vẫn phụ thuộc vào thao tác thủ công và khả năng nhận diện hình ảnh của người sử dụng, dẫn đến độ chính xác chưa cao và tiềm ẩn nguy cơ bỏ sót người bị nạn.

Để nâng cao hiệu quả của thiết bị quét hồng ngoại, việc kết hợp với các thuật toán xử lý hình ảnh và trí tuệ nhân tạo là một xu hướng tất yếu. Các thuật toán này có thể tự động phân tích tín hiệu nhiệt, xác định đặc trưng của người bị nạn và phát cảnh báo kịp thời. Ứng dụng công nghệ này không chỉ góp phần rút ngắn thời gian tìm kiếm mà còn tối ưu hóa công tác chỉ huy và điều phối lực lượng trên hiện trường.

Bài báo này nhằm mục tiêu nghiên cứu và đề xuất ứng dụng thuật toán nhận diện người bị nạn từ dữ liệu thu được qua thiết bị quét hồng ngoại. Qua đó, góp phần nâng cao hiệu quả hoạt động tìm kiếm, cứu người bị nạn của lực lượng Cảnh sát PCCC&CNCH, đặc biệt trong môi trường khả năng quan sát và tầm nhìn hạn chế.

2. Hoạt động tìm kiếm người bị nạn là một trong những nhiệm vụ trọng tâm của lực lượng PCCC&CNCH khi tiếp cận hiện trường tai nạn, sự cố. Mục tiêu là nhanh chóng xác định vị trí các nạn nhân còn bị mắc kẹt hoặc mất khả năng tự di chuyển do các yếu tố từ đám cháy tác động. Người chỉ huy căn cứ vào thông tin từ công tác trinh sát và hiện trường để xác định khu vực ưu tiên tìm kiếm, lựa chọn phương án tiếp cận và cứu nạn phù hợp, với nguyên tắc: an toàn, chính xác và nhanh chóng.

Hoạt động tìm kiếm, CNCH của lực lượng Cảnh sát PCCC&CNCH được thực hiện ngay từ lúc lực lượng và phương tiện CNCH đến hiện trường tai nạn, sự cố. Theo Khoản 1, Điều 32, Luật PCCC&CNCH quy định về tình huống CNCH của lực lượng Cảnh sát PCCC&CNCH bao gồm: CNCH trong đám cháy; CNCH trong tình huống tai nạn, sự cố bao gồm: có người đuối nước; sập, đổ nhà, công trình, cây cối; tai nạn, sự cố do phương tiện, thiết bị gây ra; sạt lở đất, đá; tai nạn giao thông đường bộ, đường sắt, đường thủy nội địa; các tai nạn, sự cố khác khi có yêu cầu; tìm kiếm nạn nhân [1].

Hoạt động tìm kiếm người bị nạn thường được triển khai thông qua các phương pháp cơ bản sau:

Phương pháp quan sát hiện trường: được sử dụng bằng mắt thường hoặc thiết bị hỗ trợ (ống nhòm, Camera) để quan sát khu vực nghi ngờ có người bị nạn. Trong điều kiện ánh sáng yếu hoặc nhiều khói, cần bổ sung nguồn chiếu sáng như: đèn pha, đèn pin.

Phương pháp phỏng vấn: được sử dụng thông qua việc khai thác thông tin từ những người có mặt tại hiện trường tai nạn, sự cố để xác định: số lượng, vị trí và tình trạng của nạn nhân; lối tiếp cận an toàn và ngắn nhất tới nơi xảy ra tai nạn, sự cố;... thông tin thu thập được ghi lại làm cơ sở cho việc tổ chức tìm kiếm.

Phương pháp nghe tín hiệu âm thanh: lắng nghe các tín hiệu như tiếng kêu cứu, tiếng động bất thường do nạn nhân phát ra. Trong nhiều trường hợp, có thể ra lệnh tạm dừng mọi hoạt động trong vài phút để tập trung lắng nghe.

Phương pháp sử dụng thiết bị tìm kiếm: trong quá trình tìm kiếm để nhanh chóng phát hiện được vị trí của người bị nạn, lực lượng CNCH có thể sử dụng các phương tiện, thiết bị hỗ trợ tìm kiếm người bị nạn. Khi CNCH trong điều kiện có nhiều khói: có thể sử dụng Camera nhiệt để tìm kiếm người bị nạn. Khi CNCH trong hiện trường sập đổ nhà và công trình: có thể sử dụng camera đầu dò, hay sử dụng thiết bị tìm kiếm âm thanh....

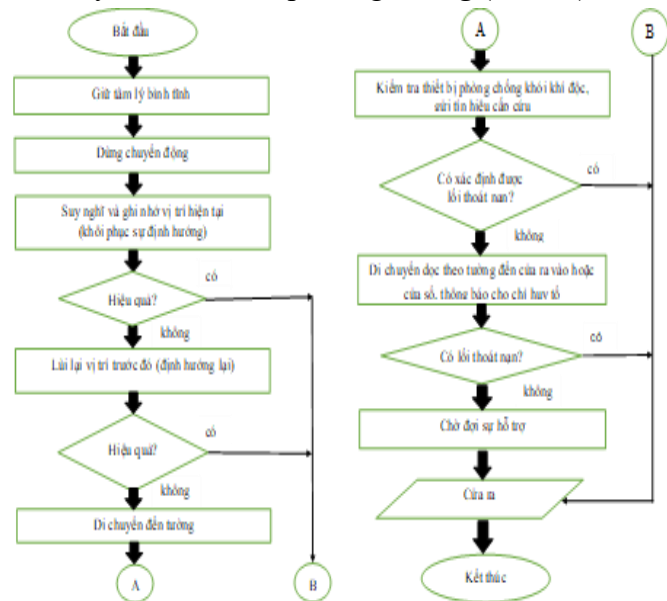
Phương pháp dùng chó nghiệp vụ: đây là phương pháp dùng chó nghiệp vụ để tìm kiếm người bị nạn dựa trên khả năng khứu giác có độ nhạy cao của chó đối với mùi của người bị nạn để lại hoặc thoát lên bề mặt đồng đồ nát do tai nạn tạo nên.

Tuy nhiên, khi tiến hành hoạt động tìm kiếm người bị nạn, trong điều kiện thiếu thông tin về tình trạng và số lượng người bị nạn cũng như thiếu các thông tin về thông số, bố trí mặt bằng, hệ thống giám sát của hiện trường tai nạn, sự cố thì việc áp dụng thuật toán xử lý dữ liệu hồng ngoại để xác định phạm vi tìm kiếm người bị nạn là một hướng đi có tính khả thi cao. Việc ứng dụng công nghệ không chỉ góp phần tăng khả năng phát hiện người bị nạn nhanh chóng mà còn tối ưu hóa công tác chỉ huy và điều hành lực lượng tại hiện trường.

3. Khi chữa cháy và CNCH trong các tòa nhà, đặc biệt là các tòa nhà có kiến trúc phức tạp, lực lượng chữa cháy và CNCH thường xuyên phải làm việc trong điều kiện tầm nhìn bị hạn chế (đôi khi không nhìn thấy) hoặc không có thông tin đầy đủ về tình trạng và số lượng người bị nạn cũng như việc mất định hướng không gian. Việc duy trì giao tiếp và giữ liên lạc giữa nhóm hoạt

động bên trong hiện trường tai nạn, sự cố với lực lượng chỉ huy, điều hành bên ngoài là rất quan trọng.

Một trong những vấn đề quan trọng là yếu tố tâm lý của chiến sỹ chữa cháy và CNCH khi tại hiện trường bị mất phương hướng, không định hướng được không gian, kèm theo đó là các yếu tố do tai nạn, sự cố, đám cháy tác động đến và để hạn chế được điều này các chiến sỹ phải thường xuyên được huấn luyện, đặc biệt là huấn luyện tâm lý. Khi tầm nhìn bị hạn chế, các chiến sỹ có thể bị mất phương hướng (Hình 1).



Hình 1: Thuật toán hành động của chiến sỹ CNCH khi mất phương hướng trong điều kiện tầm nhìn bị hạn chế

Hình 1: Thuật toán hành động của chiến sỹ CNCH khi mất phương hướng trong điều kiện tầm nhìn bị hạn chế.

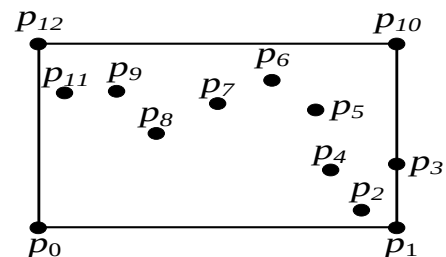
Để tránh trường hợp các chiến sỹ mất định hướng về không gian trong quá trình hoạt động khi điều kiện tầm nhìn khó khăn, có thể sử dụng Camera hồng ngoại sóng ngắn cho tổ trinh sát, tổ CNCH. Việc ứng dụng những công nghệ hồng ngoại trong giai đoạn đầu của hoạt động tìm kiếm, CNCH sẽ làm tăng tốc độ trinh sát, tốc độ di chuyển của lực lượng CNCH. Điều đó đồng nghĩa với việc nâng cao khả năng tìm kiếm và hạn chế đến mức thấp nhất những thiệt hại cho người bị nạn.

Khi tiến hành trinh sát đám cháy trong một tòa nhà có sơ đồ bố trí phức tạp và trong điều kiện tầm nhìn bị hạn chế (hoặc không nhìn thấy), lực lượng chữa cháy và CNCH có nhiệm vụ xác định vị trí của các loại đối tượng khác nhau, cũng như tìm kiếm người bị nạn. Vấn đề này có thể giải quyết bằng phương pháp xác định phạm vi, các thuật toán được

sử dụng để xác định phạm vi: quét Graham (thuật toán duyệt Graham) [5, 6]; quét Jarvis (thuật toán duyệt Jarvis) [5, 7].

Giả định tình huống một căn phòng với n các điểm trong thời gian $O(n)$, tiến hành xác định phạm vi. Phạm vi $CH(Q)$ là tập hợp các đối tượng trong phòng (được biểu thị bằng các điểm Q) nằm trong khu vực bên trong của căn phòng hoặc trên đường viền. Việc sử dụng công nghệ hồng ngoại của tổ trinh sát, tổ CNCH giúp xác định các đối tượng trong phòng hoặc trên đường biên giới của n - góc P có hiệu suất hoạt động thấp.

Kết quả của việc thực hiện thuật toán quét Graham để xác định tập hợp các đối tượng trong phòng được thể hiện trong hình 2. Bằng cách xác định phạm vi trong phòng cho n - góc P theo thời gian $O(n \lg n)$ sử dụng công nghệ hồng ngoại, có thể xác định khu vực tìm kiếm nạn nhân trong phòng bao gồm các đối tượng trong phòng và ranh giới của hoạt động tìm kiếm của tổ trinh sát, tổ CNCH.



Hình 2: Tập hợp các đối tượng trong một căn phòng $P = \{P_0, P_1, \dots, P_{12}\}$ và phạm vi $CH(Q)$.

Đặt ít nhất ba vật thể không thẳng hàng trong căn phòng chứa của phạm vi mong muốn $CH(Q)$. Việc xác định các đối tượng bằng thuật toán quét Graham được giải quyết bằng cách sử dụng một ngăn xếp được hình thành từ các đối tượng tương ứng.

Quá trình quét Graham bắt đầu bằng cách tìm một đối tượng ban đầu (được biểu thị bằng điểm P_0 trong hình 2) từ một tập hợp các đối tượng P , được đảm bảo là đỉnh của phạm vi $CH(Q)$. Đối tượng P_0 được đưa về phía ngoài cùng bên trái của các điểm thấp nhất trong tập hợp và có thể được tìm thấy trong thời gian $O(n)$.

Sau đó, tất cả các đối tượng Q trong tập hợp ban đầu của các đối tượng P trong phòng được sắp

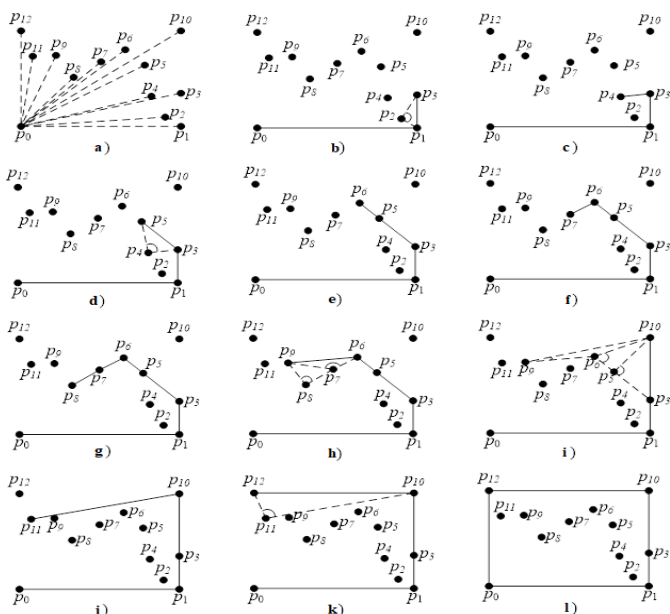
xếp theo thứ tự tăng dần của góc cực tạo thành bởi mỗi điểm hiện tại, với điều kiện là các điểm trên đối tượng ban đầu (điểm P_0) có góc bằng không và các góc cực lớn dần theo chiều ngược chiều kim đồng hồ.

Tất cả các đối tượng tương ứng Q được ghi vào ngăn xếp này S_t . Các đối tượng không phải là đỉnh $CH(Q)$ được loại bỏ khỏi ngăn xếp S_t . Kết quả cuối cùng trong ngăn xếp S_t là các đỉnh của vỏ được lưu trữ theo thứ tự ngược chiều kim đồng hồ, do đó cho phép xác định các giới hạn n - góc P .

Tổ trình sát, tổ CNCH sử dụng công nghệ hồng ngoại khi tìm kiếm người bị nạn trong phòng, xác định tập hợp các đối tượng Q , nơi $|Q| \geq 3$ cần quét bởi Graham. Chức năng được gọi cho phép quay trở lại đối tượng ở trên cùng của ngăn xếp mà không thay đổi nội dung của ngăn xếp.

Chức năng được gọi tiếp theo quay trở lại đối tượng Q nằm trên ngăn xếp S_t , trừ đi một bước so với đối tượng Q trên cùng, mà không thay đổi nội dung của ngăn xếp S_t . Kết quả nhận được là các đối tượng được sắp xếp theo thứ tự ngược chiều kim đồng hồ của quá trình quét Graham, được trả về bởi thủ tục ngăn xếp S_t .

Phạm vi của n - góc P nằm trên ngăn xếp S_t được thể hiện bằng một đường liền nét ở mỗi bước quét (Hình 3).



Hình 3: Phạm vi của n - góc P nằm trên ngăn xếp S_t được trình bày bằng một đường liền nét ở mỗi bước quét

Trong hình 3 thể hiện:

a) Đối tượng $\langle P_1, P_2, \dots, P_{12} \rangle$, được đánh số theo thứ tự tăng dần của góc cực liên quan đến P_0 , và các đối tượng nguồn của ngăn xếp S_t chứa P_0, P_1 và P_2 ;

b) Dạng của ngăn xếp S_t sau mỗi lần lặp lại của vòng lặp. Các đường đứt nét thể hiện các phép quay trái loại bỏ các đối tượng khỏi ngăn xếp S_t ;

h) Một ví dụ về việc loại bỏ một đối tượng khỏi ngăn xếp S_t . Xoay sang phải trong một góc $\langle P_7 P_8 P_9 \rangle$ sẽ xóa một đối tượng P_8 khỏi ngăn xếp S_t , xoay sang phải trong một góc $\langle P_6 P_7 P_9 \rangle$ sẽ xóa một đối tượng P_7 khỏi ngăn xếp S_t ;

l) Kết quả của phạm vi $CH(Q)$ thu được bằng quy trình trả về, trùng với phạm vi được chỉ ra trong Hình 2.

Đối với mỗi lần quét sẽ xóa một đối tượng P_k khỏi ngăn xếp S_t hoặc chuyển sang đối tượng tiếp theo P_{k+1} và kết thúc quá trình quét khi quay lại đối tượng ban đầu. Đối tượng này sẽ không bị xóa và không thực hiện thêm n bước nào.

Như vậy, tổng thời gian chạy của thuật toán quét Graham là tổng thời gian chạy của thuật toán sắp xếp và thời gian chạy của quá trình quét.

$$O(n \lg n) + O(n) = O(n \lg n)$$

Nhược điểm của quét Graham là mức độ tối ưu ở mức trung bình, đòi hỏi kiến thức về vị trí của các đối tượng trong phòng để hoạt động. Ưu điểm của quét Graham là năng suất tuyến tính-logarit được đảm bảo.

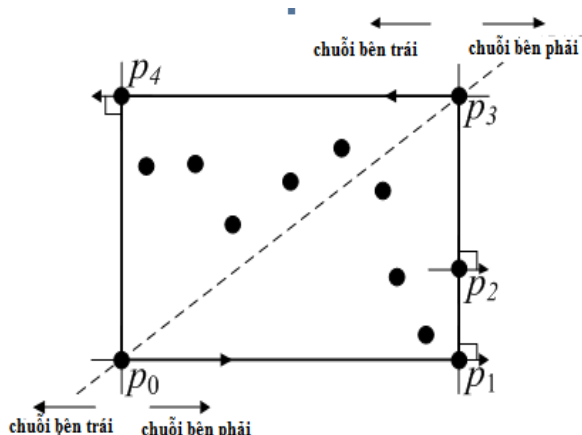
Trong bài toán sử dụng thuật toán quét Jarvis, thời gian chạy làm việc là $O(nh)$, h số đỉnh $CH(Q)$. Đối tượng đầu tiên P_0 được xác định trong thời gian $O(n)$. Biết vị trí của các đối tượng $P_0, P_1, \dots, P_k$, sẽ tìm được đối tượng tiếp theo của phạm vi $CH(Q)$ trong thời gian $O(n)$. Do đó, tổng thời gian thực hiện của thuật toán quét Graham được tính:

$$O\left(\sum_{k=1}^{h+1} n\right) = O(n(h+1)) = O(nh)$$

Trong trường hợp, khi h bằng $O(\lg n)$, quét Jarvis nhanh hơn quét Graham.

Quét Jarvis xác định trình tự $h = \langle P_0, P_1, \dots, P_{h-1} \rangle$ của các đối tượng $CH(Q)$. Đối tượng tham chiếu ban đầu P_0 , qua hình 4 cho thấy đỉnh tiếp theo của phạm vi P_1 có góc cực nhỏ nhất so với đối tượng P_0 . Trong trường hợp trùng khớp, việc lựa chọn đối tượng

nằm xa đối tượng P_0 hơn được thực hiện. Vật thể sẽ có góc phân cực nhỏ nhất so với đối tượng $P_1, \dots$



Hình 4: Phạm vi n -góc quét bởi Jarvis.

Kết quả của việc bao gồm đối tượng xa nhất P_k trong tất cả n -góc thu được chuỗi bên phải được xây dựng của phạm vi $CH(Q)$ (Hình 4).

Để xây dựng chuỗi bên trái, hãy bắt đối tượng trong quá trình xây dựng. Tiếp theo, tiến hành xác định đối tượng P_{k+1} với góc cực nhỏ nhất so với đối tượng P_k , nhưng so với chiều âm của trục x . Đếm góc cực từ chiều âm của trục x cho đến khi quay trở lại đối tượng ban đầu P_0 . Trong hình 4, đối tượng gần nhất P_0 được chọn làm đối tượng đầu tiên. Khi đó đối tượng P_2 có góc nhỏ nhất so với P_1 . Chuỗi bên phải đi lên chính đối tượng P_3 . Sau đó, chuỗi bên trái được xây dựng bằng cách tìm các góc cực nhỏ nhất so với hướng âm của trục x .

Với khả năng quét đồng đều các đối tượng theo Jarvis, góc của cạnh cuối lỗi được theo dõi và yêu cầu được tính đến là thứ tự của các góc tạo bởi các mặt của vỏ với chiều dương của trục x tăng lên một cách nghiêm ngặt (trong phạm vi từ 0 tới 2π radian). Ưu điểm của việc xác định chuỗi bên phải và bên trái là các góc không được tính toán. Nhược điểm của quét Jarvis là độ năng suất bậc hai cao trong trường hợp xấu nhất. Ưu điểm của quét Jarvis là có thể sử dụng được trong không gian có kích thước lớn hơn hai lần. Kiến thức về vị trí và số lượng đồ vật trong phòng trên lý thuyết cho phép độ năng suất tối ưu.

4. Việc ứng dụng thuật toán và thiết bị hồng ngoại hỗ trợ lực lượng chữa cháy, CNCH trong hoạt động tìm kiếm người bị nạn khi điều kiện tầm nhìn bị hạn chế hoặc mất định hướng không gian cho thấy được một số các ưu điểm sau:

Thứ nhất, thuật toán xử lý tín hiệu ảnh hồng ngoại giúp lọc nhiễu, tăng độ chính xác trong phát hiện nguồn phát nhiệt của cơ thể người, từ đó rút ngắn đáng kể thời gian xác định vị trí nạn nhân.

Thứ hai, việc tự động hóa quá trình tìm kiếm qua thuật toán giúp giảm áp lực công việc, tăng tính chủ động và độ an toàn cho lực lượng CNCH, đặc biệt trong môi trường nguy hiểm hoặc có nguy cơ sập đổ.

Thứ ba, tích hợp hệ thống quét hồng ngoại với các mô hình hiện trường số hóa cho phép xác định hướng tiếp cận tối ưu, góp phần xây dựng phương án CNCH nhanh chóng và hiệu quả hơn.

Thứ tư, qua nghiên cứu và kết quả thực nghiệm bước đầu cho thấy, khi kết hợp thuật toán xử lý với thiết bị quét hồng ngoại, khả năng phát hiện nạn nhân tăng đáng kể trong các tình huống mô phỏng, đồng thời rút ngắn thời gian tìm kiếm.

Thứ năm, thuật toán không chỉ tăng tốc độ phát hiện mà còn hỗ trợ định vị chính xác, cung cấp dữ liệu trực tiếp cho lực lượng chữa cháy và CNCH qua các thiết bị cầm tay hoặc hệ thống điều hành trung tâm, giúp nhanh chóng đưa ra các quyết định hợp lý cho lực lượng chữa cháy và CNCH.

Bên cạnh những ưu điểm, việc ứng dụng thuật toán và thiết bị hồng ngoại còn tồn tại một số điểm hạn chế cần được khắc phục:

Ảnh hưởng của điều kiện môi trường, hiệu quả phát hiện có thể bị ảnh hưởng trong điều kiện nhiệt độ môi trường quá cao hoặc quá thấp, làm giảm độ tương phản nhiệt độ giữa cơ thể con người và nền; khả năng xuyên qua các vật cản vẫn bị giới hạn đối với các vật liệu có khả năng cách nhiệt tốt như tường bê tông hoặc kim loại; việc trang thiết bị hồng ngoại có giá thành cao, yêu cầu bảo trì, bảo dưỡng định kỳ cũng như thuật toán yêu cầu máy tính có cấu hình đủ mạnh để xử lý dữ liệu theo thời gian thực; việc sử dụng thành thạo thiết bị cũng như khả năng phân tích của người vận hành cũng là yếu tố then chốt để đưa ra các quyết định chiến thuật và triển khai lực lượng hợp lý.

5. Việc ứng dụng thuật toán tìm kiếm người bị nạn bằng thiết bị quét hồng ngoại là một hướng đi có tiềm năng lớn, góp phần nâng cao hiệu quả trong hoạt động tìm kiếm, CNCH của lực lượng Cảnh sát PCCC&CNCH. Hiện nay, lực lượng Cảnh sát

PCCC&CNCH đã được trang bị một số thiết bị quan sát hồng ngoại cầm tay, tuy nhiên phần lớn các thiết bị này vẫn hoạt động theo cơ chế thủ công, chưa tích hợp khả năng xử lý và phân tích hình ảnh tự động dựa trên thuật toán thông minh. Do đó, để phát huy tối đa hiệu quả ứng dụng của hệ thống thuật toán tìm kiếm kết hợp thiết bị quét hồng ngoại trong thực tiễn, tác giả đề xuất một số kiến nghị sau:

Một là, xây dựng và chuẩn hóa quy trình kỹ thuật ứng dụng thiết bị quét hồng ngoại trong các tình huống chữa cháy và CNCH, đặc biệt tại hiện trường cháy, nổ, sập đổ công trình và các khu vực nguy hiểm khó tiếp cận.

Hai là, đầu tư trang bị đồng bộ thiết bị quét hồng ngoại cho các đơn vị trực tiếp thực hiện nhiệm vụ, ưu tiên khu vực đô thị, khu công nghiệp, hạ tầng ngầm và các địa bàn có nguy cơ cao xảy ra tai nạn, sự cố.

Ba là, phát triển phần mềm thuật toán theo hướng mở, có khả năng tích hợp với các hệ thống định vị GPS, bản đồ số, cơ sở dữ liệu hiện trường và hệ thống thông tin chỉ huy, điều hành CNCH.

Bốn là, tổ chức đào tạo, tập huấn chuyên sâu cho cán bộ, chiến sỹ về kỹ năng vận hành, khai thác thiết bị và xử lý, phân tích dữ liệu hình ảnh hồng ngoại, bảo đảm ứng dụng hiệu quả trong điều kiện thực tế.

Năm là, tăng cường hợp tác nghiên cứu và chuyển giao công nghệ với các viện nghiên cứu, trường đại học và tổ chức quốc tế nhằm hoàn thiện mô hình thuật toán và mở rộng khả năng ứng dụng trong nhiều loại hình tai nạn, sự cố khác nhau.

Sáu là, thực hiện các đợt thử nghiệm và đánh giá thực tế quy mô lớn để kiểm chứng độ tin cậy, khả năng hoạt động ổn định của hệ thống, làm cơ sở cho việc triển khai chính thức trên phạm vi toàn quốc.

Việc triển khai ứng dụng công nghệ tìm kiếm người bị nạn bằng thiết bị quét hồng ngoại không chỉ mang lại lợi ích trực tiếp trong hoạt động chữa cháy và CNCH, mà còn góp phần xây dựng nền tảng cho hệ thống hỗ trợ ra quyết định thông minh, phục vụ công tác chỉ huy, điều hành và quản lý an toàn trong các tình huống khẩn cấp, hướng tới hiện đại hóa lực lượng Cảnh sát PCCC&CNCH trong thời kỳ chuyển đổi số.■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Quốc hội (2024), *Luật Phòng cháy, chữa cháy và CNCH số 55/2024/QH15*, Hà Nội.
2. Vũ Văn Thủy (2020), *Giáo trình “Kỹ thuật cá nhân và đội hình CNCH”*, Nxb Công an nhân dân, Hà Nội.
3. Vũ Văn Thủy (2021), *Sách chuyên khảo “Tổ chức hoạt động CNCH trong sự cố, tai nạn tại hiện trường*, Trường Đại học PCCC, Hà Nội.
4. До Хоанг Тхань (2021), *Модели и алгоритмы поддержки управления проведением поисково-спасательных работ во Вьетнаме*. (Các mô hình và thuật toán hỗ trợ quản lý trong tiến hành hoạt động tìm kiếm-CNCH tại Việt Nam). Luận án Tiến sỹ, Học viện PCCC Liên bang Nga.
5. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы. Построение и анализ. Вильямс, 2005. 1296 с.
6. Graham R. L. An efficient algorithm for determining the convex hull of a finite planar set // Information Processing Letters. 1972. Vol. 1. Pp. 132-133.
7. Jarvis A. On the identification of the convex hull of a finite set of points in the plane // Information Processing Letters. 1973. Vol. 2. pp. 18-21.