

Xây dựng giải pháp cảnh báo sớm tình trạng cháy rừng

Nguyễn Chí Ngôn*, Lưu Trọng Hiếu, Phạm Bảo Nhân
Phạm Duy Nghiệp, Nguyễn Chánh Nghiệp

Trường Đại học Cần Thơ

Ngày nhận bài 16.10.2015, ngày chuyển phản biện 20.10.2015, ngày nhận phản biện 19.11.2015, ngày chấp nhận đăng 24.11.2015

Nghiên cứu cung cấp giải pháp cảnh báo sớm tình trạng cháy rừng bằng cách nhận dạng khói. Ở mỗi điểm quan sát, một webcam có khả năng quét một góc rộng 360° để nhận diện những làn khói đầu tiên bốc lên từ khu vực có cháy và cảnh báo cho những đơn vị, cá nhân liên quan bằng nhiều hình thức khác nhau. Phần cứng của thiết bị cảnh báo bao gồm: (i) để xoay được kiểm soát bởi bộ điều khiển PID tích hợp trên vi điều khiển ATTINY 2131, (ii) webcam kết nối với máy tính. Phần mềm cài đặt trên máy tính có khả năng điều khiển để xoay quét tuần hoàn một góc 360° (để khỏi phải lắp nhiều camera), xử lý hình ảnh thu được từ webcam, lọc thông tin và nhận diện khói. Thuật toán trừ nền được áp dụng để phân tách đối tượng ra khỏi khung nền, sau đó các thuật toán co giãn, nhận diện cạnh được áp dụng để xác định vị trí khói đang bốc lên. Kết quả ban đầu cho thấy, giải pháp đề xuất rất khả thi và hoàn toàn có thể triển khai vào thực tế.

Từ khóa: nhận dạng khói, phòng chống cháy rừng, xử lý ảnh.

Chỉ số phân loại 2.2

DEVELOPING A SOLUTION FOR EARLY DETECTION OF FOREST FIRE

Summary

This paper proposes a method for early detection of forest fire based on smoke detection. At each observation point, a webcam that can rotate in 360° is used to detect the very early flowing up smoke to alarm the officers. The hardware system includes two different parts: (i) a rotatable base that is controlled by a PID controller integrated on ATTINY 2131 microcontroller, (ii) a high resolution webcam connected to a computer. A software program is executed to control the rotation of the base in 360° and detect the smoke in the image captured by the webcam by the background subtraction after noise elimination to recognize the right position of smoke. Experimental results have shown that the proposed system is feasible and applicable for early detection of forest fire.

Keywords: computer vision, early detection of forest fire, smoke detection.

Classification number 2.2

Đặt vấn đề

Ngày nay, phòng chống cháy rừng đang là vấn đề được xã hội rất quan tâm. Cháy rừng là thảm họa, gây thiệt hại lớn đối với tính mạng và tài sản của con người, tài nguyên rừng và môi trường sống. Cháy rừng không những tác động đến một quốc gia mà còn ảnh hưởng đến cả khu vực và toàn cầu. Các giải pháp phòng chống cháy rừng đang được các nhà khoa học tập trung tìm phương pháp phát hiện và cảnh báo sớm để có giải pháp phòng ngừa hoặc chữa cháy kịp thời. Phương pháp phòng chống cháy dựa trên vệ tinh và robot tự hành được đề xuất bởi [1-3]. Tuy nhiên, giải pháp này lại tốn kém nhiều chi phí cho thiết bị. Phương pháp sử dụng các cảm biến hồng ngoại phòng chống cháy nổ cho rừng hoặc các hầm mỏ được trình bày bởi [4-6]. Tuy nhiên, khi cháy xảy ra, công tác cứu hộ sẽ trở nên khó khăn và phức tạp. Ở Việt Nam hiện nay, các giải pháp phòng chống cháy rừng hiện tại chỉ thực hiện bằng phương pháp công nghệ thông tin địa lý GIS (Geographical Information System) [7, 8] nhằm đo đạc và tính toán dự đoán vùng nào có thể xảy ra cháy theo 5 cấp khác nhau. Tuy nhiên, giải pháp này không thể phòng chống cháy do nguyên nhân từ phía con người.

Theo số liệu thống kê của Cục Kiểm lâm, trong giai đoạn 10 năm (2002-2011), cả nước đã xảy ra

*Tác giả liên hệ: Email: ncngon@ctu.edu.vn

7.380 vụ cháy rừng; diện tích rừng bị thiệt hại 49.837 ha. Bình quân 715 vụ/năm, diện tích rừng bị thiệt hại gần 5.000 ha/năm [9]. Trong khi đó, các phương pháp và công cụ hỗ trợ công việc phòng chống cháy rừng ở nước ta còn khá thô sơ nên có hiệu quả tương đối thấp. Cách phổ biến để kiểm tra một khu rừng là các cán bộ kiểm lâm hoặc nhân viên bảo vệ rừng đi tuần tra hoặc thiết lập các tháp canh ở một số vị trí đặc biệt. Tuy nhiên, diện tích rừng thường bao gồm một khu vực rất rộng lớn nên mọi người không thể quan sát một khu rừng chỉ bằng các phương pháp trên. Kết quả là một khu vực rừng rộng lớn thường bị tàn phá khi cháy rừng xảy ra. Do đó, vấn đề xây dựng hệ thống phát hiện và cảnh báo sớm cháy rừng được đặt ra một cách cấp thiết. Nghiên cứu này trình bày một giải pháp thiết kế thí nghiệm đánh giá và hoàn thiện khả năng nhận biết và cảnh báo cháy rừng dựa trên việc nhận diện khói sử dụng webcam để giảm chi phí thực hiện. Thiết bị thí nghiệm được thiết kế nhỏ gọn và lắp đặt trên các điểm quan sát để giám sát rừng từ trên cao. Phần cứng của thiết bị có thể xoay toàn bộ quanh trục. Phần mềm trên máy tính kết nối với camera chịu trách nhiệm nhận diện khói.

Nội dung nghiên cứu

Bài báo nghiên cứu giải pháp phòng chống cháy rừng bằng hình ảnh dựa trên phương pháp trừ nền. Đầu tiên, hình ảnh nhận được từ webcam sẽ được chuyển đổi sang hệ màu HSV, sau đó phương pháp trừ nền được áp dụng trên chuẩn màu này. Trong phương pháp này, 30 khung hình đầu được dùng làm dữ liệu nền, các khung hình tiếp theo so sánh độ lệch điểm ảnh với 30 khung hình trước. Kết quả của phương pháp này được lọc nhiễu bằng phương pháp co giãn ảnh. Sau đó, thuật toán nhận diện cạnh được áp dụng. Tọa độ vị trí của các cạnh được lưu lại trước khi được xuất ra để so sánh kết quả.

Chuyển đổi hệ màu

Chuẩn màu RGB được sử dụng rất nhiều trong hình ảnh và phim ảnh. Mỗi một điểm ảnh sẽ chứa 3 giá trị 8 bit được thể hiện bởi 3 màu: đỏ (red), xanh lá cây (green) và xanh dương (blue). Điều này giúp miêu tả điểm ảnh sinh động và đẹp mắt. Tuy nhiên, chuẩn màu này rất nhạy cảm với ánh sáng. Để khắc phục điều đó, ảnh màu từ webcam được chuyển từ chuẩn RGB sang HSV dựa theo [10]:

$$V = \max(R, G, B), \quad (1)$$

$$S = \frac{V - \min(R, G, B)}{\min(R, G, B)}, \quad (2)$$

Đặt:

$$\begin{aligned} r &:= (VR)/(V - X), \\ -g &:= (V - G)/(V - X), \\ -r &:= (V - B)/(V - X) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Nếu: } R = V \text{ thì } H &:= \begin{cases} 5 + b, & G = X \\ 1 - g, & \text{else} \end{cases} \\ \text{Nếu: } G = V \text{ thì } H &:= \begin{cases} 1 + r, & B = X \\ 3 - b, & \text{else} \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{Hoặc: } H := \begin{cases} 3 + g, & R = X \\ 5 - R, & \text{else} \end{cases}$$

$$\text{Hoặc: } H := \frac{H}{6} \quad (5)$$

Với: R, G, B và H, S, V lần lượt là giá trị của 3 chuẩn màu (R, G, B) và (H, S, V) .

Phương pháp trừ nền

Có nhiều phương pháp khác nhau để cảnh báo cháy rừng như thông tin địa lý GIS để dự đoán khả năng cháy rừng, hoặc lắp đặt cảm biến nhiệt độ để đánh giá vị trí. Tuy nhiên, các giải pháp trên đều không thể xác định được cháy một cách đột ngột (do con người) và khả năng cảnh báo sớm. Trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất phương pháp cảnh báo cháy rừng bằng cách xác định khói thông qua giải thuật trừ nền. Trong phương pháp này, nhận diện đối tượng dựa trên sự so sánh giữa dữ liệu cũ và dữ liệu mới. Vì vậy, việc thu thập dữ liệu khung ban đầu hết sức quan trọng. Các dữ liệu ban đầu này là dữ liệu nền.

Đặt ρ là giá trị trung bình của khung ảnh và σ là độ sai lệch chuẩn của khung ảnh, ta có:

$$\overline{\rho}_m = \frac{\sum_{i=1}^m \rho_i}{m} \quad (6)$$

$$\overline{\sigma}_m = \frac{\sum_{i=2}^m |\rho - \rho_{i-1}|}{m-1} \text{ với } m > 1 \quad (7)$$

Khi khung ảnh $(n+1)$ được cập nhật. Các giá trị $\overline{\rho}_{n+1}$ và giá trị sai lệch $\overline{\sigma}_{n+1}$ cần được cập nhật dựa trên:

$$\overline{\rho}_{n+1} = \alpha \cdot \rho_{n+1} + (1 - \alpha) \overline{\rho}_n \quad (8)$$

$$\overline{\sigma}_{n+1} = \alpha \cdot |\rho_{n+1} - \rho_n| + (1 - \alpha) \overline{\sigma}_n \quad (9)$$

Với α là độ lớn thông số của giá trị mới cập nhật và

(1- α) là giá trị cũ được tính toán dựa trên tất cả các giá trị trước đó.

Những điểm ảnh với giá trị sai lệch dựa trên $\overline{\rho_{n+1}}$ và $\overline{\sigma_{n+1}}$ có thể được định nghĩa thành đối tượng cần xác định hoặc khung ảnh chung không di chuyển.

$$\text{Nếu } \sigma_{n+1} > 2\overline{\sigma} \Rightarrow \rho_{n+1} \text{ là đối tượng,} \quad (10)$$

$$\overline{\rho_{n+1}} = \overline{\rho_n} \text{ và } \overline{\sigma_{n+1}} = \overline{\sigma_n},$$

hoặc $\sigma_{n+1} \leq 2\overline{\sigma} \Rightarrow \rho_{n+1}$ là hình nền, lặp lại (8), (9).

Tuy nhiên, tồn tại trường hợp hình nền không thay đổi giá trị trong một thời gian rất lâu, điều đó dẫn đến giá trị sai lệch sẽ bị hòa lẫn vào nhiễu ($\overline{\sigma_n} \rightarrow 0$). Vì vậy, một giá trị giới hạn cho biến sai lệch với:

$$\overline{\sigma_n} = \max(\sigma_{\min}, \overline{\sigma_n}) \quad (11)$$

$$\text{Nếu } \sigma_{n+1} > \beta \overline{\sigma'_n} \Rightarrow \rho_{n+1} \text{ là đối tượng,} \quad (12)$$

$$\overline{\rho_{n+1}} = \overline{\rho_n} \text{ và } \overline{\sigma_{n+1}} = \overline{\sigma_n}$$

$$\text{Nếu } \sigma_{n+1} \leq \beta \overline{\sigma'_n} \Rightarrow \rho_{n+1} \text{ là hình nền, lặp lại (8), (9).}$$

Trong đó β là trọng số, khi β càng lớn, khu vực đối tượng càng nhỏ lại. Thay đổi giá trị β cho phép tìm ra kết quả tốt nhất cho nhận dạng khói trong môi trường.

Nhận dạng khói

Kết quả của phương pháp trừ nền tiếp tục được xử lý để loại bỏ nhiễu và nhận dạng đối tượng. Đầu tiên, dữ liệu ảnh được co giãn để loại bỏ điểm ảnh quá mờ hoặc không rõ ràng. Phương trình miêu tả thuật toán này được trình bày dựa theo:

$$\text{output}(x,y) = \min_{(x',y') \text{ in element}} \text{input}(x+x',y+y') \quad (13)$$

$$\text{output}(x,y) = \max_{(x',y') \text{ in element}} \text{input}(x+x',y+y') \quad (14)$$

Sau khi khung nền được co giãn, khói được xác định bằng phương pháp nhận diện cạnh dựa theo [11, 12]. Phương pháp này, về tổng quát, được thể hiện qua 5 bước sau:

- Ứng dụng bộ lọc Gauss để làm mượt ảnh và loại bỏ nhiễu.
- Tìm cường độ độ dốc của bức ảnh.
- Thực hiện phương pháp non-maximum suppression để dò biên của ảnh.

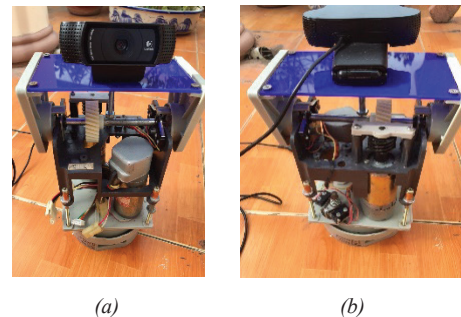
- Áp dụng phân ngưỡng 2 lần để tìm ra các điểm ảnh là cạnh tiềm năng.

- Hoàn thiện kết quả bằng cách loại bỏ các cạnh trong điểm ảnh nhỏ và không có kết nối ảnh đủ lớn.

Trong một số trường hợp, một khung nền không thể cho kết quả nhận diện tốt được, vì vậy, vị trí tọa độ các đối tượng được nhận diện sẽ được lưu lại và hiển thị lên trong 30 khung hình tiếp theo. Giá trị này tìm được dựa vào các thực nghiệm.

Thiết kế phần cứng

Hệ thống được thiết kế nhỏ gọn có khả năng lắp đặt trên các trạm quan trắc trong rừng nhằm đáp ứng khả năng cảnh báo sớm khi có khói xảy ra. Vì vậy, một hệ thống máy tính kết hợp webcam quan sát được thiết kế nhằm đáp ứng khả năng quan sát và cảnh báo cháy. Trong hệ thống, một Webcam Logitech HD Pro C920 có độ phân giải 1080p, kết nối máy tính bằng chuẩn USB, có khả năng quay phim ở 30 khung hình mỗi giây và chụp ảnh đạt được 15 megapixels. Webcam được đặt trên bệ có thể xoay 360° theo trục Yaw và 180° theo trục Pitch, do đó hệ thống có thể bao quát toàn bộ tầm nhìn theo chiều kim đồng hồ. Bộ điều khiển cấp thấp bao gồm vi điều khiển có hiệu chỉnh PID cho bộ trục xoay. Vận tốc và chiều trục xoay được điều khiển từ máy tính thông qua chuẩn RS232.



Hình 1: trục xoay và webcam: (a) mặt trước, (b) mặt sau

Khi để xoay, máy tính thiết lập để webcam không lưu dữ liệu ảnh, điều này giúp giảm nhiễu trong quá trình xử lý và mất tín hiệu khi truyền dữ liệu về.

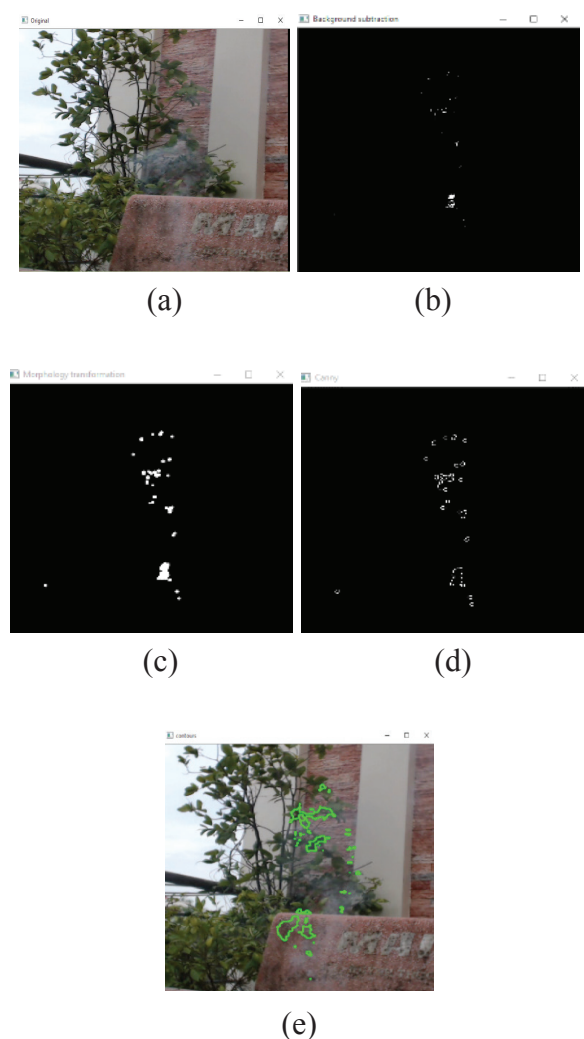
Kết quả

Kết quả thiết kế phần cứng và phần mềm được nhóm tác giả kiểm chứng trên nhiều thí nghiệm. Nghiên cứu này, nhóm tác giả chỉ trình bày kết quả của 5 thí nghiệm điển hình. Do sự hạn chế về điều kiện ngoại cảnh, ở 5 thí nghiệm này, nhóm tác giả quyết định sử dụng một clip tự dàn dựng 4 đoạn clip miêu tả khói cháy rừng có sẵn trên mạng để kiểm tra giải thuật. Đặc điểm chính

của các đoạn clip này là camera ghi lại cảnh cháy rừng đều được đặt ở vị trí quan sát từ trên cao, phù hợp với mục tiêu nghiên cứu.

Thí nghiệm 1

Đoạn phim về khói được sử dụng dựa theo [13], theo đó, 30 khung ảnh liên tục ban đầu được dùng làm dữ liệu nền, từ các khung ảnh tiếp theo, độ lệch sẽ được so sánh với hình nền gốc. Từ hình 2, phương pháp nhận diện trừ nền lọc nhiễu và nhận diện cạnh đã cho kết quả tốt. Kết quả thực nghiệm cho thấy, giải thuật cho kết quả tốt trong đoạn này.

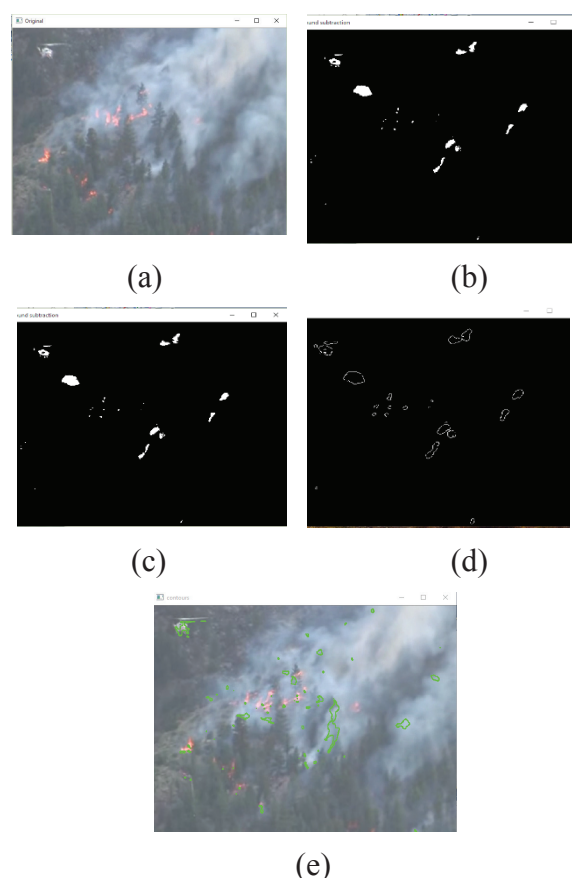


Hình 2: thí nghiệm 1: (a) ảnh gốc, (b) trừ ảnh, (c) co giãn ảnh, (d) nhận diện cạnh, (e) kết quả nhận dạng

Thí nghiệm 2

Thí nghiệm 2 cũng dựa trên đoạn phim về cháy rừng theo [13]. Đây là đoạn clip mô tả đám cháy ở bang Colorado, Hoa Kỳ. Nhận diện đoạn phim này cũng cho kết quả khả quan, thuật toán không nhận diện nhầm hình nền xung quanh (rừng) với đám cháy.

Trong thí nghiệm này, hình ảnh ban đầu cần xác định là hình 3(a). Các thuật toán trừ ảnh, co giãn, và nhận diện cạnh lần lượt được thể hiện ở các hình 3(b), (c), (d). Việc này được lặp lại trong 30 khung ảnh liên tục, kết quả so sánh được thể hiện ra ở hình 3(e). Tuy nhiên, khác với thí nghiệm 1, khói trong thí nghiệm này rõ ràng hơn nên hình 3(b) và 3(c) không thể hiện sự sai lệch lớn.



Hình 3: thí nghiệm 2: (a) ảnh gốc, (b) trừ ảnh, (c) co giãn ảnh, (d) nhận diện cạnh, (e) kết quả nhận dạng

Thí nghiệm 3

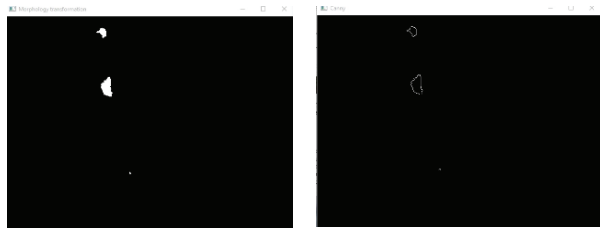
Thí nghiệm 3 dựa trên đoạn phim cháy rừng theo [14]. Đây là một đoạn clip miêu tả khói trên dãy núi Alps. Trong thí nghiệm này, đoạn phim được quay từ 1 khoảng cách khá xa và khá mờ. Tuy nhiên, dữ liệu lưu lại sau 30 khung hình cho kết quả rất khả quan. Thuật toán nhận diện tốt vị trí có cháy đang diễn ra.

Các bước tiến hành thí nghiệm 3 được diễn ra tương tự như thí nghiệm 2. Tuy nhiên, dễ dàng nhận ra rằng, trong 1 khung hình kết quả nhận diện khói là không rõ ràng. Vì vậy, kết quả được lưu lại trong 30 khung tiếp theo là cần thiết.



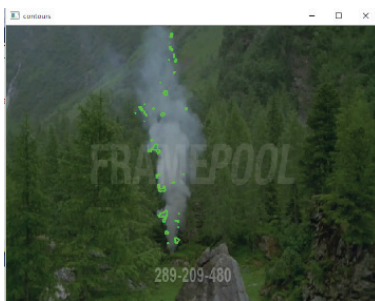
(a)

(b)



(c)

(d)



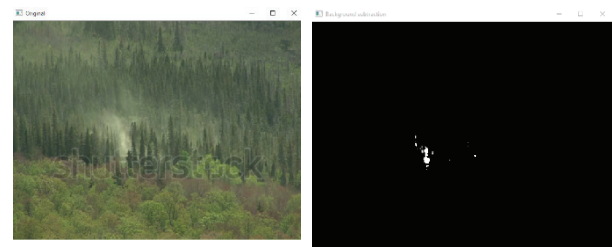
(e)

Hình 4: thí nghiệm 3: (a) ảnh gốc, (b) trừ ảnh, (c) co giãn ảnh, (d) nhận diện cạnh, (e) kết quả nhận dạng

Thí nghiệm 4

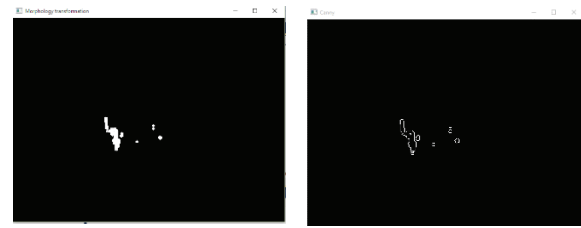
Thí nghiệm 4 dựa trên đoạn phim về cháy rừng theo [15]. Đoạn clip miêu tả khói bốc lên tương đối mờ ở một cánh rừng tại Pháp vào sáng sớm. Phương pháp trừ nền hiển thị kết quả không rõ ràng, tuy nhiên sau khi được co giãn ảnh, kết quả nhận được tương đối rõ nét.

Trong thí nghiệm này, hình 5(b) và 5(c) đã cho kết quả rất rõ nét về phương pháp co giãn ảnh. Kết quả sau khi trừ nền được co giãn cho thông tin rất tốt về độ rõ ràng của khói đang bay lên. Tuy nhiên, trong thí nghiệm này, các vết khói mờ không thể nhận diện được.



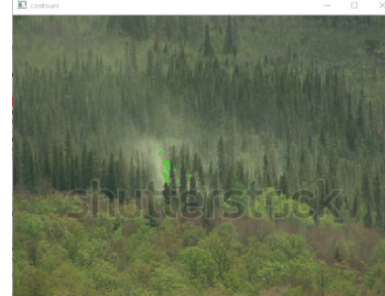
(a)

(b)



(c)

(d)



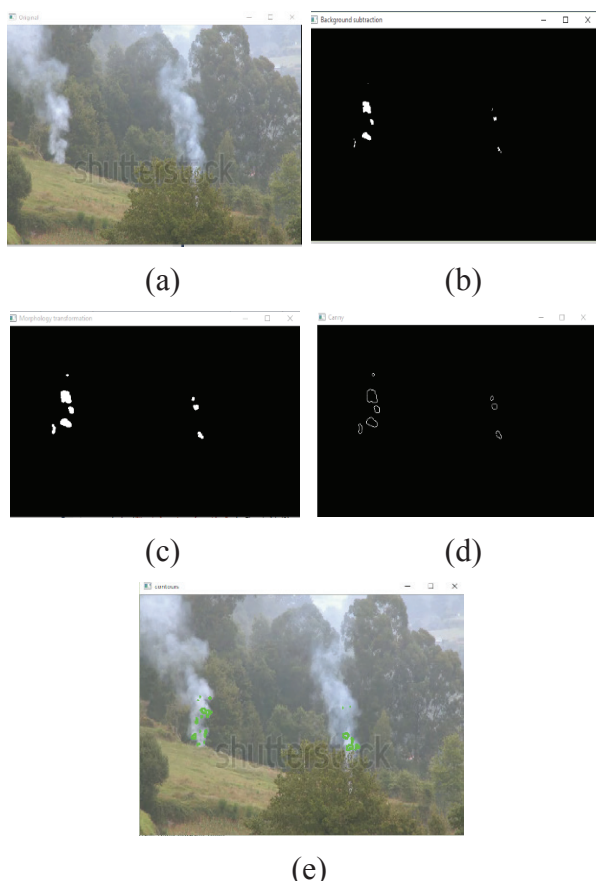
(e)

Hình 5: thí nghiệm 4: (a) ảnh gốc, (b) trừ ảnh, (c) co giãn ảnh, (d) nhận diện cạnh, (e) kết quả nhận dạng

Thí nghiệm 5

Thí nghiệm 5 dựa trên đoạn phim về cháy rừng theo [16]. Đoạn clip thể hiện 2 vụ cháy được diễn ra cùng lúc, phương pháp nhận diện cho kết quả rất tốt khi gần như cùng lúc có thể nhận dạng được 2 đám khói đang bốc lên cao.

Các bước tiến hành thí nghiệm này cũng tương tự như các thí nghiệm trước. Kết quả thí nghiệm này cho thấy tính khả thi của phương pháp khi có thể nhận diện 2 đám cháy cùng một lúc.



Hình 6: thí nghiệm 5: (a) ảnh gốc, (b) trừ ảnh, (c) co giãn ảnh, (d) nhận diện cạnh, (e) kết quả nhận dạng

Bài báo đề xuất giải pháp cảnh báo cháy rừng dựa trên phương pháp nhận diện khói. Các thí nghiệm thực tế ban đầu từ thực nghiệm và từ các đoạn phim ngắn trên mạng cho kết quả khả quan. Tuy nhiên, thí nghiệm còn vài hạn chế: thời gian xử lý của máy tính là tương đối lâu (gần 1 phút); khối phần cứng còn chưa được linh hoạt, vẫn điều khiển từ máy tính. Thuật toán cũng còn hạn chế khi chưa nhận diện được mây bay tầm thấp, sương mù và khi gió quá to. Nhóm tác giả đã tiến hành khoảng 10 thí nghiệm khác nhau, từ đó có thể kết luận, thuật toán đạt thành công ở mức gần 80%.

Kết luận và đề nghị

Chúng tôi đã nghiên cứu thiết kế chế tạo và thử nghiệm một thiết bị dùng để cảnh báo cháy rừng bằng phương pháp nhận diện khói. Các kết quả thực nghiệm trong nhà và ngoài trời cho thấy, thuật toán đáp ứng được các yêu cầu đề ra, với khả năng nổi bật như sau: (i) thiết bị nhỏ gọn, có khả năng bao quát toàn bộ tầm nhìn theo chiều kim đồng hồ; (ii) hệ thống có khả năng nhận diện khói trong cả trường hợp khói rất mờ.

Thông qua công bố này, nhóm nghiên cứu kêu gọi

sự đầu tư thêm từ các tổ chức, cá nhân nhằm hoàn thiện sản phẩm, đưa vào sản xuất với giá thành thấp, nhằm xây dựng một mạng lưới cảnh báo cháy rừng cho đất nước.

Tài liệu tham khảo

- [1] H.K Preislera, D Schweizerb, R Cisnerosc, T Procter, M Ruminski and L Tarnayf (2015), "A statistical model for determining impact of wildland fires on Particulate Matter (PM_{2.5}) in Central California aided by satellite imagery of smoke", *Environ, Pollution*, pp.340-349.
- [2] S Karmaa, E Zorbaa, G.C Pallisa, G Statheropoulousa, I Baltaa, K Mikedia, J Vamvakaria, A Pappaa, M Chalarish, G Xanthopoulouc, M Statheropoulousa (2015), "Use of unmanned vehicles in search and rescue operations in forest fires: Advantages and limitations observed in a field trial", *Inter. of Journal of Disaster Risk*, pp.307-312.
- [3] Y.S Chung, H.V Le (1984), "Detection of forest-fire smoke plumes by satellite imagery", *Atmospheric Environment*, pp.2143-2151.
- [4] M Denera, Y Özköka, C Bostancioglu (2015), *Fire detection systems in Wireless Sensor Network*, World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship.
- [5] W Krülla, Robert Toberaa, I Willmsa, H Essenb, N.V Wahlb (2012), *Early Forest Fire Detection and Verification using Optical Smoke, Gas and Microwave Sensors*, Inter. Symposium on Safety Science and Technology.
- [6] S Bhattacharjeea, P Royaa, S Ghosha, S Misraa, M.S Obaidat (2012), "Wireless sensor network-based fire detection, alarming, monitoring and prevention system for Bord-and-Pillar coal mines", *Journal of Systems and Software*, pp.571-581.
- [7] Xuân Hiền Trần (2007), *Ứng dụng công nghệ GIS trong việc cung cấp thông tin dự báo cháy rừng trên địa bàn tỉnh Lâm Đồng*, Trung tâm Dự báo Khí tượng thủy văn tỉnh Lâm Đồng.
- [8] Nguyễn Thanh Thủy (2011), *Ứng dụng Viễn thám và GIS trong nghiên cứu dự báo cháy rừng tỉnh Bắc Kạn*.
- [9] Chủ động phòng cháy chữa cháy rừng, tongcuclamnghep.gov, truy cập ngày 27.7.2015.
- [10] A.R Smith (1978), "Color gamut transform pairs", *Computer Graphics*, 12, pp.12-19.
- [11] R.T Collins, A.J Lipton, T Kanade (1999), "A system for video surveillance and monitoring", *American Nuclear Society 8th Internal Topical Meeting on Robotics and Remote systems*, Pittsburgh, PA. pp.25-29.
- [12] John Canny (1986), "A computational approach to Edge detection", *IEEE trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8, pp.697-714.
- [13] https://www.youtube.com/watch?v=RGU8_tPkIGk (accessed on Aug 2015).
- [14] <http://footage.framepool.com/en/shot/289209480-camp-fire-coniferous-forest-smoke-alps> (accessed on Aug 2015).
- [15] <http://www.shutterstock.com/fr/video/clip-1721386-stock-footage-fog-drifts-across-woods-at-bottom-of-hill.html?src=recommended/1634170:3/3p> (accessed on Aug 2015).
- [16] <http://www.shutterstock.com/fr/video/clip-410893-stock-footage-start-a-forest-fire.html?src=recommended/1721386:2/3p> (accessed on Aug 2015).