

NHẬN DẠNG BIỂN BÁO GIAO THÔNG BẰNG BỘ LỌC MÀU VÀ TỐI ƯU HÓA NHÓM HẠT

TRAFFIC SIGN RECOGNITION USING COLOR FILTERING AND PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Võ Minh Tiến, Huỳnh Hữu Hưng

Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; Email: hhhung@dut.udn.vn

Tóm tắt: Cùng với sự phát triển của hệ thống hỗ trợ cho xe tự hành thì vấn đề tự động phát hiện và nhận dạng biển báo giao thông ngày càng trở nên quan trọng. Bài báo này trình bày một phương pháp nhận dạng biển báo giao thông bằng cách áp dụng thuật toán tối ưu hóa nhóm hạt hợp lý hơn so với một số nghiên cứu tương tự, đồng thời kết hợp một số bước tiền xử lý giúp nâng cao hiệu quả nhận dạng. Đầu vào là các ảnh thu được từ camera gắn trên xe, các lần thu ảnh cách nhau một quãng thời gian Δt giây. Lọc màu và phân đoạn ảnh được sử dụng để phát hiện vị trí biển báo. Sau đó các đối tượng được kiểm tra và phân loại (biển cấm, biển nguy hiểm, không phải biển báo) bằng cách so khớp hình dạng với các ảnh nhị phân biểu báo chuẩn. Cuối cùng, tối ưu hóa nhóm hạt được dùng để nhận dạng. Giải pháp này được thử nghiệm với hơn 60 biển báo, thu được kết quả có độ chính xác cao (độ chính xác trung bình 93,5%).

Từ khóa: biển báo giao thông; nhận dạng; màu sắc; lọc màu; hình dạng; tối ưu hóa nhóm hạt

1. Đặt vấn đề

Biển báo giao thông mang thông tin như chỉ dẫn, cấm, cảnh báo hoặc hiệu lệnh nhằm giúp cho việc lưu thông trên đường của các phương tiện giao thông an toàn và hiệu quả hơn. Nếu người lái xe bỏ qua sự hiện diện của các biển báo trên đường đi thì có thể rơi vào tình huống nguy hiểm hoặc thậm chí tai nạn. Hệ thống tự động phát hiện và nhận dạng biển báo được sử dụng nhằm giúp cho người lái xe điều khiển phương tiện an toàn hơn. Với sự phát triển của các hệ thống hỗ trợ điều khiển cho xe tự hành, vấn đề tự động phát hiện và nhận dạng biển báo giao thông ngày càng trở nên quan trọng. Đầu vào của hệ thống được đề xuất là chuỗi ảnh thu từ camera gắn trên xe, việc xử lý được thực hiện lần lượt trên từng ảnh riêng lẻ.

Bước đầu tiên để giải quyết vấn đề là phát hiện biển báo giao thông. Ở giai đoạn này, phần lớn các giải pháp đã có đều sử dụng bộ lọc màu để xác định các đối tượng có màu tương tự với biển báo. Tuy vậy, việc chỉ dựa trên thông tin màu sắc làm cho nhiều đối tượng bị phát hiện nhầm. Để khắc phục hạn chế này, chương trình sẽ kiểm tra hình dạng của đối tượng để xác định đó có khả năng là một biển báo hay không, từ đó loại bỏ những gì không liên quan nhằm giảm chi phí tính toán và hạn chế việc nhận dạng nhầm ở các bước tiếp theo. Không gian màu HSV được chúng tôi sử dụng bởi ưu điểm chính của nó: tách riêng được thông tin về cường độ sáng của điểm ảnh, giúp giảm sự tác động của ánh sáng lên kết quả phát hiện biển báo.

Ở giai đoạn nhận dạng, biển báo thường được phân lớp bằng các phương pháp máy học (như mạng nơron nhân tạo [2]) hoặc so khớp (đối sánh mẫu tương quan chéo [3]) dựa

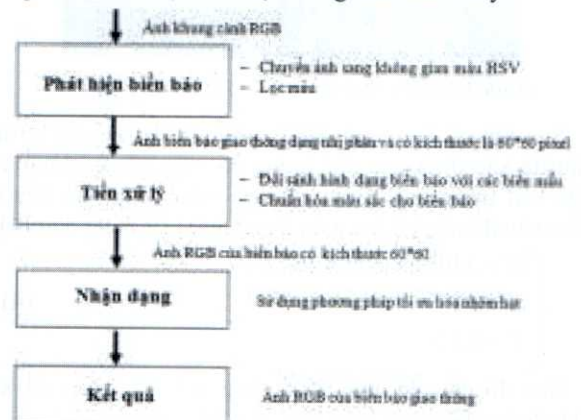
Abstract: With the development of autonomous Driver Support Systems, automatic detection and classification of traffic signs are becoming increasingly important. This paper presents a method of identifying traffic signs by applying the algorithm to optimize particle group more reasonable than some similar researchs, while incorporating some pre-processing steps to enhance effective identification. The input data are images that captured via a camera mounted on the car. The lapse between two consecutive receiving image is Δt second(s). Color filter and image segmentation is used to detect the location of traffic signs. Filtered color objects in input image was checked and classified (prohibition signs, warning signs, not signs) by matching binary shape template. Finally, particle swarm optimization is used to identify traffic sign. This solution was tested for two types of traffic signs (prohibition signs, warning signs) and obtained results are highly accurate (average recognition rate of 93.5%).

Key words: traffic sign; recognition; color; filtering; shape; particle swarm optimization

trên giá trị các điểm ảnh của ảnh cần nhận dạng và các ảnh biển báo mẫu. Tuy nhiên các phương pháp trên cần số lượng lớn phép toán dẫn đến yêu cầu cao về phần cứng và chưa thuận tiện trong việc áp dụng cho hệ thống nhận dạng biển báo thực thi theo thời gian thực. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất việc nhận dạng biển báo sử dụng phương pháp tối ưu hóa nhóm hạt để khắc phục những vấn đề trên.

Chương trình MATLAB đã được sử dụng để thực hiện tất cả các giai đoạn của hệ thống nhận dạng biển báo giao thông.

Quá trình thực hiện của hệ thống phát hiện và nhận dạng biển báo được thể hiện trong hình dưới đây:



Hình 1. Các bước xử lý của hệ thống

Các bước xử lý cụ thể được trình bày trong những phần tiếp theo.

2. Phát hiện biển báo giao thông

Ảnh đầu vào được thu từ camera là ảnh ở không gian

màu RGB sẽ được chuyển sang không gian màu HSV để phục vụ cho việc phát hiện và nhận dạng biển báo giao thông. Ảnh RGB được chuyển sang HSV theo các công thức dưới đây [5]:

$$H = \begin{cases} 60^\circ \times \left(\frac{G' - B'}{\Delta} \bmod 6 \right), C_{max} = R' \\ 60^\circ \times \left(\frac{B' - R'}{\Delta} + 2 \right), C_{max} = G' \\ 60^\circ \times \left(\frac{R' - G'}{\Delta} + 4 \right), C_{max} = B' \end{cases} \quad (1)$$

$$S = \begin{cases} 0, & \Delta = 0 \\ \frac{\Delta}{C_{max}}, & \Delta > 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$V = C_{max} \quad (3)$$

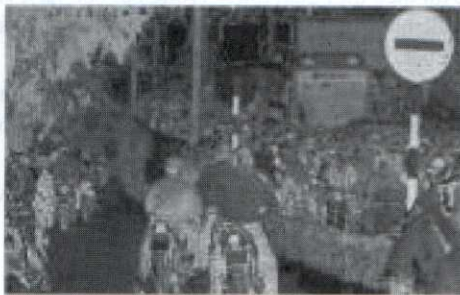
Với: $R' = R/255$, $G' = G/255$, $B' = B/255$ (chuẩn hóa các giá trị RGB thuộc $[0,255]$ về miền $[0,1]$).

$$C_{max} = \max(R', G', B'), C_{min} = \min(R', G', B'),$$

$$\Delta = C_{max} - C_{min}$$



Hình 2. Minh họa ảnh đầu vào ở không gian RGB



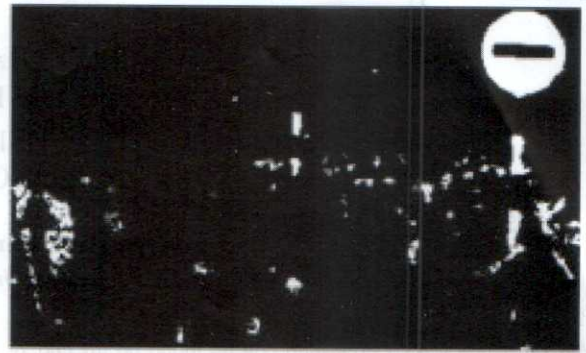
Hình 3. Chuyển ảnh đầu vào sang không gian HSV

Sau khi có được ảnh HSV, chúng tôi sử dụng bộ lọc màu để xác định các đối tượng có màu tương đồng với biển báo trong ảnh. Biển cấm và biển cảnh báo đều có viền màu đỏ nên bộ lọc màu đỏ sẽ được sử dụng như (4).

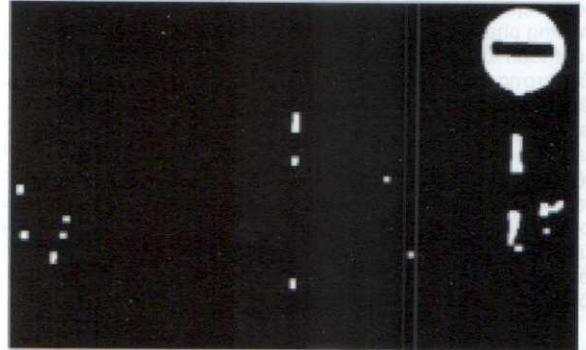
$$\begin{cases} H > 340^\circ \text{ hoặc } H < 15^\circ \\ S > 0.15 \\ V > 0.12 \end{cases} \quad (4)$$

Sau đó chuyển ảnh HSV sang ảnh nhị phân để xác định đường biên của biển báo, Hình 4.

Tiếp theo, chúng tôi sử dụng phép đóng mở ảnh để làm trơn đường biên các đối tượng trong ảnh đồng thời bỏ các đối tượng có kích thước nhỏ, Hình 5.

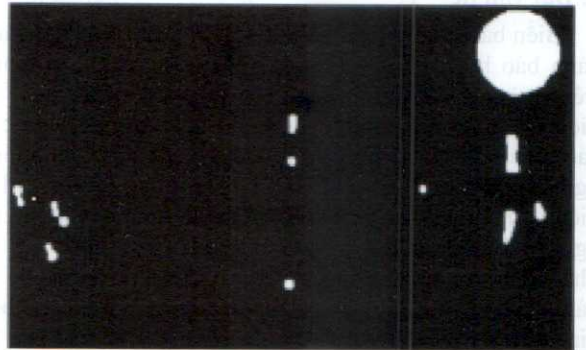


Hình 4. Ảnh đầu vào được chuyển sang ảnh nhị phân



Hình 5. Ảnh sau khi dùng phép đóng mở ảnh

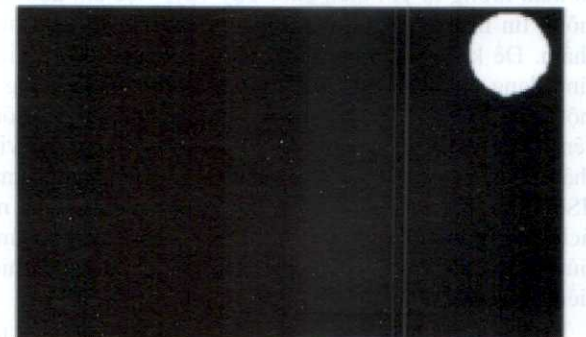
Sau đó, các thành phần liên thông được tô kín để kiểm tra và phân loại đối tượng, Hình 6.



Hình 6. Ảnh sau khi tô kín các thành phần liên thông

Các thành phần liên thông được kiểm tra kích thước. Nếu tổng số điểm ảnh của một thành phần liên thông nhỏ hơn một ngưỡng α thì đối tượng đó bị loại bỏ.

Các đối tượng còn lại trong ảnh được tách riêng ra và biến đổi về kích thước 60x60.



Hình 7. Ảnh sau khi loại bỏ các đối tượng nhỏ

3. Tiền xử lý

Đây là giai đoạn phân loại đối tượng dựa vào hình dạng. Đối tượng được quyết định thuộc một trong ba loại: biển báo tròn (biển cấm), biển tam giác (biển cảnh báo) và không phải biển báo. Ảnh nhị phân của đối tượng được đối sánh với ảnh nhị phân hình tròn và tam giác của các mẫu biển báo chuẩn có cùng kích thước là 60x60.



Hình 8. Minh họa ảnh nhị phân của biển cấm được cắt từ khung cảnh



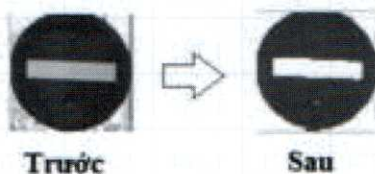
Hình 9. Ảnh nhị phân của các mẫu biển báo chuẩn

Độ sai lệch giữa hai ảnh nhị phân A, B có kích thước 60x60 được tính như sau:

$$D = \sum_{i=1, j=1}^{60} |A(i, j) - B(i, j)| \quad (5)$$

Trước tiên chúng tôi cho ảnh nhị phân của đối tượng đối sánh với ảnh nhị phân mẫu biển báo nguy hiểm. Nếu giá trị $D_{nguy\text{ hiem}} < 900$ thì đó là biển báo nguy hiểm, ngược lại thì tiếp tục đối sánh nó với mẫu biển báo cấm. Nếu $D_{cấm} < 900$ thì kết luận đối tượng là biển báo cấm. Nếu cả 2 giá trị D đều không thỏa mãn yêu cầu thì đối tượng không phải biển báo và được loại bỏ.

Sau khi đối tượng được xác định là biển báo, vùng ảnh tại vị trí tương ứng trong ảnh RGB được cắt ra và thay đổi kích thước về cùng kích thước các biển báo trong tập mẫu 60x60 và được chuẩn hóa màu sắc để làm ảnh đầu vào cho giai đoạn nhận dạng biển báo bằng phương pháp tối ưu hóa nhóm hạt.



Hình 10. Ảnh trước và sau khi chuẩn hóa màu sắc

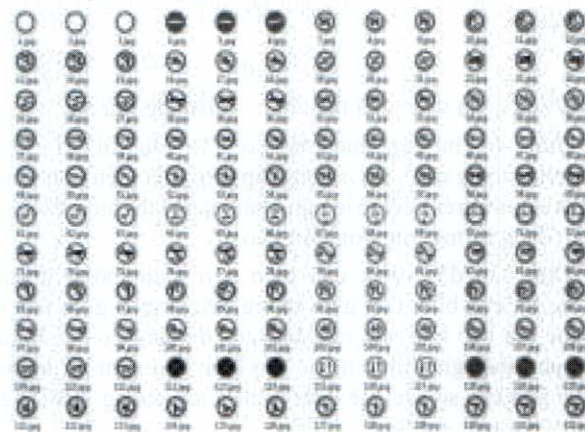
4. Ứng dụng tối ưu hóa nhóm hạt vào nhận dạng biển báo giao thông

Tối ưu hóa nhóm hạt là thuật toán tối ưu tuy đơn giản nhưng rất mạnh, được đề xuất bởi Kennedy and Eberhart vào năm 1995. Trong 10 năm trở lại đây, tối ưu hóa nhóm hạt được phát triển và áp dụng thành công trong lĩnh vực phân tích ảnh. Trong thực tế quá trình phân tích ảnh có thể thay chức năng tối ưu để phù hợp với bài toán.

Tối ưu hóa nhóm hạt tối ưu một vấn đề bằng cách lặp đi lặp lại chuyển động của các ứng cử viên trong nhóm, các ứng cử viên ở đây là các hạt và chúng di chuyển trong không gian tìm kiếm nhằm tìm ra vị trí tối ưu nhất của chính hạt đó và vị trí tốt nhất của cả nhóm. Sự di chuyển

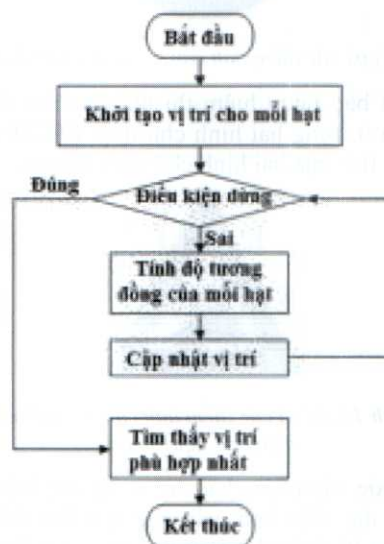
của các hạt lấy ý tưởng từ việc tìm kiếm thức ăn của đàn chim. Khi nhóm hạt di chuyển trong không gian tìm kiếm, tọa độ của các hạt chính là vị trí của chúng. Ở mỗi lần di chuyển, mỗi hạt sẽ đến một vị trí mới và tại vị trí này hạt được đánh giá mức phù hợp. Lấy giá trị phù hợp đó đem so sánh với các giá trị phù hợp của các vị trí của nó trước đó. Nếu giá trị tại vị trí mới tốt hơn thì vận tốc và vị trí mới sẽ được cập nhật.

Để áp dụng phương pháp tối ưu hóa nhóm hạt vào việc nhận dạng biển báo giao thông, chúng ta hình dung mỗi biển báo giao thông mẫu là một hạt. Tất cả các biển báo mẫu trong thư viện là một nhóm các hạt. Một số nghiên cứu cũng chọn nhóm hạt theo cách tương tự [6] và đạt hiệu quả khả quan.



Hình 11. Thư viện biển báo cấm mẫu

Các hạt ở đây không có vận tốc mà chỉ có độ tương đồng và vị trí của các hạt có thể trùng nhau trong cùng một thời điểm. Sơ đồ khối của thuật toán tối ưu hóa nhóm hạt áp dụng để nhận dạng biển báo giao thông được thể hiện ở Hình 12.



Hình 12. Sơ đồ khối của hệ thống nhận dạng biển báo giao thông bằng tối ưu hóa nhóm hạt

Quá trình nhận dạng biển báo bằng PSO được thực hiện qua 4 bước:

Bước 1: Khởi tạo vị trí ban đầu cho tất cả biển báo mẫu tại gốc tọa độ O trên trục Ox.

Bước 2: Tính độ tương đồng của các biển báo mẫu trong mỗi lần lặp bằng cách lấy giá trị một điểm ảnh của biển báo cần nhận dạng so sánh với giá trị điểm ảnh tại vị trí tương ứng của các ảnh mẫu. Quá trình này được thực hiện trên ba kênh R, G, B trong không gian màu RGB. Độ tương đồng $d_{i,j}$ của biển báo j trong lần lặp thứ i được tính theo (6):

$$d_{i,j} = 255 - |gt_{i,j} - gt_{i,t}| \quad (6)$$

Với $gt_{i,j}$ là giá trị điểm ảnh thứ i của biển báo j , $gt_{i,t}$ là giá trị điểm ảnh thứ i của biển báo t , $|gt_{i,j} - gt_{i,t}|$ được gọi là độ sai lệch của 2 điểm ảnh thuộc biển báo j và biển báo t .

Bước 3: Cập nhật vị trí của từng biển báo mẫu trên trục Ox dựa vào độ tương đồng ở bước 2. Giả sử cần tính vị trí của biển báo j trong lần lặp thứ i chúng ta tính $x_{i,j}$ theo (7):

$$x_{i,j} = x_{i-1,j} + d_{i,j} \quad (7)$$

Với $x_{i-1,j}$ là vị trí của biển báo j ở lần lặp thứ $i-1$.

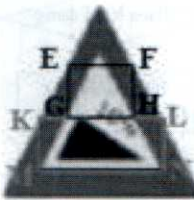
Bước 4: Tìm được biển báo có vị trí gần với đối tượng cần nhận dạng nhất sau n vòng lặp (với n là diện tích vùng cần kiểm tra trên biển báo cần nhận dạng) thì biển báo cần nhận dạng tương ứng với biển báo đó.

Dựa vào đặc điểm của biển báo giao thông là các thông tin của biển báo giao thông đều nằm ở giữa nên ta có thể thu hẹp khu vực cần đối sánh để tăng độ chính xác và giảm thời gian thực hiện. Với biển báo cấm thì những điểm ảnh cần so sánh sẽ nằm trong hình vuông ABCD có độ dài cạnh là d . Với $d = \sqrt{n}$.



Hình 13. Vị trí các điểm ảnh cần so sánh của biển báo cấm

Với biển báo nguy hiểm thì những điểm ảnh cần so sánh sẽ nằm ở trong hai hình chữ nhật EFGH và KLMN và tổng diện tích của hai hình chữ nhật bằng n .



Hình 14. Vị trí các điểm ảnh cần so sánh của biển báo nguy hiểm

Kích thước của nhóm hay số lượng các biển báo giao thông trong thư viện ảnh mẫu nếu quá lớn thì thời gian thực hiện của hệ thống sẽ tăng lên nhưng tỉ lệ nhận dạng cao và ngược lại nếu kích thước của nhóm quá nhỏ, tỉ lệ nhận dạng sẽ thấp, mặc dù thời gian tiêu tốn ngắn hơn. Nếu n càng lớn thì hiệu quả nhận dạng càng cao nhưng thời gian thực hiện sẽ tăng và ngược lại. Trong thực nghiệm chúng tôi chọn $n = 800$ và số lượng biển báo trong mỗi thư viện mẫu là 132, tương ứng với 264 biển báo mẫu thuộc cả hai loại (biển báo cấm và biển báo nguy

hiểm). Quá trình thực nghiệm và kết quả sẽ được trình bày cụ thể trong phần 5.

5. Kết quả thực nghiệm

Chúng tôi sử dụng 65 hình ảnh con đường chứa biển báo để làm ảnh đầu vào cho chương trình nhận dạng biển báo giao thông bằng tối ưu hóa nhóm hạt.

Các khung cảnh chứa biển báo cấm và biển báo nguy hiểm được làm ảnh nhận dạng. Và các khung cảnh này được chụp ở khoảng cách từ 10 đến 30 mét. Góc nghiêng của ảnh so với mặt đường không quá 20° . Kết quả thực hiện việc nhận dạng được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả kiểm tra của việc nhận dạng

Loại biển báo	Số lượng đầu vào	Số lượng nhận dạng đúng	Tỉ lệ nhận dạng đúng
Cấm	40	38	95.0 %
Nguy hiểm	25	23	92.0 %

Các biển báo nhận dạng sai là do độ tương phản giữa biển báo và khung cảnh không lớn nên quá trình phát hiện biển báo thiếu chính xác làm ảnh hưởng đến kết quả nhận dạng. Để kiểm tra tính ổn định của thời gian thực hiện quá trình nhận dạng, chúng tôi đã chọn ngẫu nhiên 8 ảnh khung cảnh cho thực hiện quá trình nhận dạng mỗi khung cảnh 5 lần và kết quả được thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả thực hiện trên 8 khung cảnh, lặp lại 5 lần và so sánh với phương pháp tương tự ([6]) trên cùng một cấu hình máy tính

Khung cảnh	Thời gian (giây)					
	Lần 1	Lần 2	Lần 3	Lần 4	Lần 5	[6]
1	1.709	1.716	1.702	1.729	1.704	2.757
2	1.743	1.739	1.704	1.735	1.724	2.766
3	1.751	1.781	1.782	1.784	1.773	2.775
4	1.766	1.741	1.757	1.762	1.743	2.786
5	1.774	1.771	1.784	1.765	1.776	2.801
6	1.817	1.778	1.786	1.76	1.779	2.862
7	1.834	1.820	1.811	1.812	1.786	2.915
8	2.057	2.048	2.054	2.053	2.049	3.112

Tốc độ trung bình của chương trình khi nhận dạng 8 khung cảnh trên là 1.792 giây. Độ sai lệch về thời gian của các lần trong một khung cảnh không quá lớn. Ở khung cảnh 8 chứa nhiều đối tượng cùng màu biển báo nên thời gian xử lý chậm hơn các khung cảnh khác. Máy tính được sử dụng để thực hiện chương trình này có bộ vi xử lý là Pentium4 1.8Ghz. Mỗi khung ảnh có kích thước là 500x375. Từ kết quả thu được cho thấy chương trình có khả năng nhận dạng tốt biển báo giao thông và thời gian thực thi ngắn hơn so với

phương pháp áp dụng PSO cổ điển.

6. Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi đã đề xuất phương pháp phát hiện biển báo giao thông bằng bộ lọc màu trong không gian màu HSV và sử dụng phương pháp tối ưu hóa nhóm hạt có hiệu chỉnh để nhận dạng. Ưu điểm của phương pháp này là có thể phân loại biển báo để loại bỏ các đối tượng bị phát hiện nhầm, đồng thời việc nhận dạng được thực hiện nhanh, dễ cài đặt, thích hợp cho các hệ thống thực thi theo thời gian thực. Qua thực nghiệm với các ảnh có chứa biển báo nguy hiểm và biển báo cấm cho thấy phương pháp có thể đưa ra kết quả khá nhanh và mức độ chính xác khá cao.

Trong tương lai, chúng tôi cố gắng cải thiện tốt hơn việc phát hiện biển báo giao thông để tăng độ chính xác và giảm thời gian xử lý. Đồng thời mở rộng ứng dụng cho tất cả các biển báo giao thông ở Việt Nam. Bên cạnh đó chúng tôi cũng cố gắng đưa ra những thông tin chi tiết hơn về biển báo giao thông được nhận dạng.

(BBT nhận bài: 25/08/2013, phản biện xong: 04/10/2013)

Tài liệu tham khảo

- [1] L. Mussi, S. Cagnoni, E. Cardarelli, F. Daolio, P. Medici, and P. P. Porta, *GUI Implementation of a Road Sign Detector based on Particle Swarm Optimization*, Springer: Evol. Intel. 2010, 3: 155-169.
- [2] A. de la Escalera, L. E. Moreno, M. A. Salichs, and J. M. Armingol, Road Traffic Sign Detection and Classification, *IEEE Trans. on Industrial Electronics*. 1997, 44 (6): 848-859.
- [3] G. Piccioli, E. D. Micheli, P. Parodi, and M. Campani, A Robust Method for Road Sign Detection and Recognition, *Image and Vision Computing*, 1996, 14 (3): 209-223.
- [4] J. Kennedy, and R. Eberhart, Particle Swarm Optimization, *Proc. of IEEE International Conference on Neural Networks*, New York. 1995, pp. 1942-1948.
- [5] Color Conversion Algorithms, http://www.cs.rit.edu/~necs/color/t_convert.html.
- [6] T. Surinwarangkoon, S. Nitsuwat and Elvin J. Moore, Traffic Sign Recognition by Color Filtering and Particle Swarm Optimization, *4th International Conference on Computer Research and Development*, Singapore, 2012, pp. 55-59.