

PHÁT HIỆN VÀ PHÂN LOẠI BIỂN BÁO GIAO THÔNG DỰA TRÊN SVM TRONG THỜI GIAN THỰC

Lê Thanh Tâm¹, Trần Thái Sơn², Seichii Mita²

¹ *Khoa Công Nghệ Thông Tin – Trường ĐH Khoa học Tự nhiên TP.HCM*

² *Học viện Công Nghệ Toyota, Nhật Bản*

lttam@fit.hcmus.edu.vn, {ttson,smiita}@toyota-ti.ac.jp

Tóm tắt. Chúng tôi giới thiệu một cách tiếp cận mới hiệu quả sử dụng đặc trưng màu trên SVM để phát hiện vùng ứng cử cho biển báo giao thông trong thời gian thực. Đặc trưng màu được xử lý trên vùng của pixel để sử dụng các thông tin pixel lân cận thay vì trên từng pixel như các cách tiếp cận đã có. Sau đó, phép biến đổi Hough và thuật toán phát hiện contour được áp dụng để phân lớp cũng như khử nhiễu dựa trên đặc trưng hình học của biển báo giao thông. Kết quả thử nghiệm nhận được trên ảnh với nhiều điều kiện khác nhau của môi trường là rất khả quan.

Từ khoá: phát hiện biển báo giao thông, phép biến đổi Hough, thuật toán phát hiện contour

REALTIME TRAFFIC SIGN DETECTION AND CLASSIFICATION USING SVM

Abstract. A new approach for color detection and segmentation based on Support Vector Machine to get candidate regions for traffic signs in real time is presented. Instead of processing on each pixel, this approach does on a block of pixels to use neighbor's information locally. After that, Hough transform and contour detection algorithm are applied to verify the candidate regions. The experimental result is very promising based on the fact that the testing database has various kinds of not only environment, but also traffic sign.

Keywords: detection traffic signs, Hough transform, contour detection algorithm

PHÁT HIỆN VÀ PHÂN LOẠI BIỂN BÁO GIAO THÔNG DỰA TRÊN SVM TRONG THỜI GIAN THỰC^(*)

Lê Thanh Tâm¹, Trần Thái Sơn², Seichii Mita²

¹ Khoa Công Nghệ Thông Tin – Trường ĐH Khoa học Tự nhiên TP.HCM

² Học viện Công Nghệ Toyota, Nhật Bản

lttam@fit.hcmus.edu.vn, {tson,smi}@toyota-ti.ac.jp

Tóm tắt

Chúng tôi giới thiệu một cách tiếp cận mới hiệu quả sử dụng đặc trưng màu trên SVM để phát hiện vùng ứng cử cho biến báo giao thông trong thời gian thực. Đặc trưng màu được xử lý trên vùng của pixel để sử dụng các thông tin pixel lân cận thay vì trên từng pixel như các cách tiếp cận đã có. Sau đó, phép biến đổi Hough và thuật toán phát hiện contour được áp dụng để phân lớp cũng như khử nhiễu dựa trên đặc trưng hình học của biến báo giao thông. Kết quả thử nghiệm nhận được trên ảnh với nhiều điều kiện khác nhau của môi trường là rất khả quan.

1. Giới thiệu

Biển báo giao thông là cách thức để thông báo tình trạng đường, đưa ra những cảnh báo cũng như chỉ ra những nguy hiểm trên đường cho tài xế. Những thông tin hữu ích này sẽ giúp cho giao thông trở nên an toàn và tiện lợi hơn.

Việc phát hiện và nhận dạng biển báo giao thông gặp nhiều khó khăn do sự phức tạp của hoàn cảnh xung quanh. Biển báo giao thông có thể bị hư hại khi tiếp xúc một thời gian dài dưới ánh nắng mặt trời. Đặc trưng màu sắc rất nhạy trước những điều kiện ánh sáng khác nhau như trong điều kiện sương mù, mây v.v... Hơn nữa, màu sắc không chỉ ảnh hưởng do sự chiếu sáng vào ban ngày mà còn phụ thuộc với ánh sáng yếu của ban đêm. Sự khác biệt về góc nhìn cũng làm cho việc phát hiện và nhận dạng trở nên khó khăn hơn. Thêm nữa, biển báo giao thông có thể bị che khuất bởi cây, tòa nhà hay những người đi bộ v.v...

Ở thời điểm hiện tại, chưa có cơ sở dữ liệu cho ảnh giao thông chuẩn nên việc lượng giá, so sánh một phương pháp mới được đề nghị với các phương pháp đã có là rất khó khăn.

Hầu hết các công trình nghiên cứu sử dụng đặc trưng màu sắc là một trong những đặc trưng chính để phát hiện biển báo giao thông bên cạnh đặc trưng hình học. Cách tiếp cận ban đầu để có thể phát hiện và phân đoạn các vùng màu, các tác giả sử dụng ngưỡng trong không gian màu phù hợp, trong đó HSV được

chọn bởi hầu hết các tác giả [1, 2, 3] bởi vì nó gần với cảm giác màu sắc của con người và có thể tách thông tin màu sắc với độ sáng, mà rất khó làm được trong không gian màu phổ biến RGB. Cách tiếp cận này đơn giản, độ phức tạp thấp nhưng sẽ rất khó tách màu quan tâm do tính liên tục của không gian màu. A de la Escalera cùng các cộng sự sử dụng 2 bản tra trên kênh màu sắc (hue) và kênh bão hòa (saturation) trong không gian màu HSI để nâng cao khả năng tách ra được màu quan tâm [4]. H. Fleyed đã đưa ra một số thuật toán để phân đoạn màu quan tâm như thuật toán với ngưỡng động, phân đoạn màu dựa trên tập mờ và thuật toán bất biến với cường độ sáng [6]. Những thuật toán này sử dụng thông tin toàn cục của toàn bộ các pixel trong ảnh như thông tin thêm để đạt được sự chính xác cao hơn. C. Fang và các cộng sự đã áp dụng mô hình mạng nơron 2 lớp trên kênh màu(hue) trong không gian màu HSI để lấy ra màu quan tâm [7, 8, 9], đây là cách tiếp cận đầu tiên dựa trên phương pháp học. Phương pháp này lựa chọn sự tương đồng tốt nhất giữa giá trị pixel và giá trị màu quan tâm trên kênh màu(hue) được lưu lại sau quá trình học.

2. Mô hình phát hiện và phân loại biển báo giao thông

Trong bài toán biển báo giao thông, các nghiên cứu đều dựa trên hai đặc trưng chính là màu sắc và hình học của biển báo. Do vậy mô hình chung cho bài toán thường như hình 1.

Với yêu cầu của dự án là giải quyết bài toán trong thời gian thực, ảnh giao thông phải được phát hiện với khoảng cách từ 15m trở lên với video đầu vào có kích thước mỗi khung ảnh là 640x480.

Đóng góp của chúng tôi là xây dựng thuật toán phát hiện vùng ứng cử dựa trên đặc trưng màu sắc dựa trên SVM sử dụng giá trị của vùng pixel, mà các thuật toán hiện nay chỉ sử dụng giá trị của từng pixel hay thêm thông tin toàn cục của ảnh. Cách tiếp cận này giúp cho hệ thống có thể sử dụng những thông tin của các pixel lân cận để đạt được độ chính xác hơn. Bên cạnh việc vẫn giữ được độ phủ cao, thuật toán trên có khả năng loại bỏ một phần nhiễu mà các thuật toán dựa trên đặc trưng màu hiện tại không có. Thuật toán sẽ được trình bày chi tiết trong phần 3.

(*) Đây là một module nằm trong dự án hệ thống lái xe tự động của học viện Công Nghệ Toyota được tài trợ bởi tập đoàn ô tô Toyota



Hình 1. Mô hình chung được sử dụng rộng rãi

Để giải quyết bài toán trong thời gian thực, chúng tôi đề nghị mô hình được miêu tả trong hình 2 dựa trên những ưu điểm của thuật toán phát hiện vùng ứng cử dựa trên màu có khả năng chịu nhiễu.



Hình 2. Mô hình đề nghị

Ảnh đầu vào được thu nhỏ kích thước 2 lần chiều rộng và 2 lần chiều cao (320x240). Thuật toán phân đoạn màu quan tâm sẽ đưa ra các vùng ứng cử. Sau đó các vùng ứng cử sẽ được rút trích

từ chính ảnh gốc ban đầu dựa trên vị trí ảnh lấy được qua bước phân đoạn màu sẽ được xử lý bởi thuật toán hội tụ màu (color constancy) [17, 18, 19] để giảm bớt một phần nhiễu và giúp ảnh đạt chất lượng cao hơn, hình 3 minh họa hiệu quả của việc sử dụng thuật toán trên. Sau đó, thuật toán biến đổi Hough và contour được áp dụng để phân loại theo hình dạng các biển báo đồng thời loại các vùng ứng cử nhiễu.



Hình 3. Minh họa khả năng nâng cao chất lượng ảnh của thuật toán hội tụ màu [17, 18, 19]

3. Phát hiện và phân đoạn màu với SVM

Hầu hết các phương pháp đã có đều xử lý trên từng pixel riêng lẻ hay dùng thêm thông tin toàn cục của ảnh. Cách tiếp cận của chúng tôi dựa trên khối pixel, do vậy sẽ lấy được thông tin các pixel lân cận làm cho việc phát hiện và phân đoạn hiệu quả hơn (dùng thông tin cục bộ).

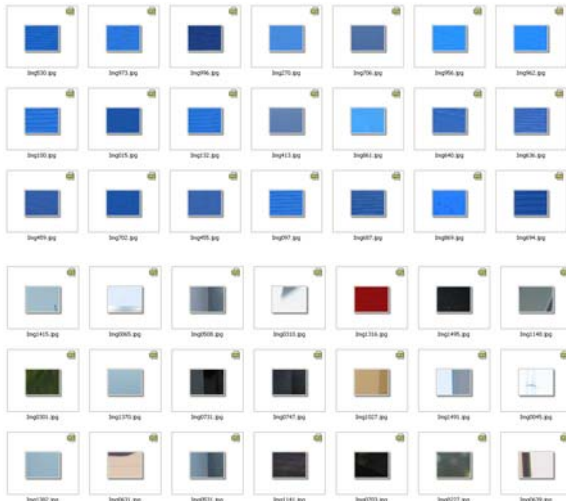
3.1 Ý tưởng chính

Thay vì quyết định màu của mỗi pixel có phải là màu được quan tâm hay không, phương pháp của chúng tôi sẽ chọn khối pixel điều khiển - là khối mà có thể định nghĩa được vùng ứng cử dựa trên phương pháp SVM. Hơn nữa, việc sử dụng khối pixel điều khiển giúp khử được một phần nhiễu.

3.2 Rút trích đặc trưng màu

Hiện nay có rất nhiều không gian màu như RGB, HSV, CIELUV v.v... Mỗi không gian màu có những ưu điểm khác nhau. Không gian màu RGB được sử dụng phổ biến nhất, các kênh trong RGB có độ tương quan cao nhưng thông tin về màu sắc và độ sáng được trộn lẫn vào nhau. Không gian màu HSV biểu diễn trực quan màu sắc đối với mắt người dựa trên ý tưởng của các họa sĩ về màu sắc như sắc thái, độ bão hòa, mức độ sáng. Kênh màu (hue) chứa thông tin màu chính và bất biến với độ chói dưới nguồn ánh sáng trắng, kênh bão hòa (saturation) đại diện cho độ đầy đủ màu của một vùng dựa trên tỉ lệ độ sáng và độ chói của màu. Không gian màu CIELUV được đề xuất bởi G. Wyszecki và được chuẩn hóa bởi CIE (Ủy ban quốc tế L'Eclairage), và đây là không gian màu chuẩn theo tri giác con người.

Cách tiếp cận của chúng tôi dựa trên tỉ số giữa các kênh màu trong không gian RGB như trong [5] để lấy đặc trưng bởi vì nó có thể rút gọn không gian biểu diễn nhưng vẫn đảm bảo được việc định nghĩa các vùng màu cụ thể.



Hình 4. Minh họa một số mẫu học trên màu xanh da trời của biển báo giao thông đã xây dựng

3.3 Xây dựng bộ dữ liệu học màu

Do hiện tại chưa có bộ dữ liệu chuẩn về biển báo giao thông để triển khai các thuật toán học nên chúng tôi đã xây dựng bộ dữ liệu dựa trên các ảnh giao thông ở Việt Nam, Nhật Bản và các ảnh thu được từ Internet với nhiều điều kiện ảnh khác nhau như: biển báo có màu bị hư hại bởi điều kiện môi trường, ảnh mờ, ảnh chụp dưới điều kiện ánh sáng chói, ảnh được chụp vào ban đêm v.v...

Chúng tôi sử dụng phương pháp K-Means trên đặc trưng tỉ lệ giữa các kênh màu trong không gian RGB của khối pixel 2x2 để có thể phân cụm màu trên

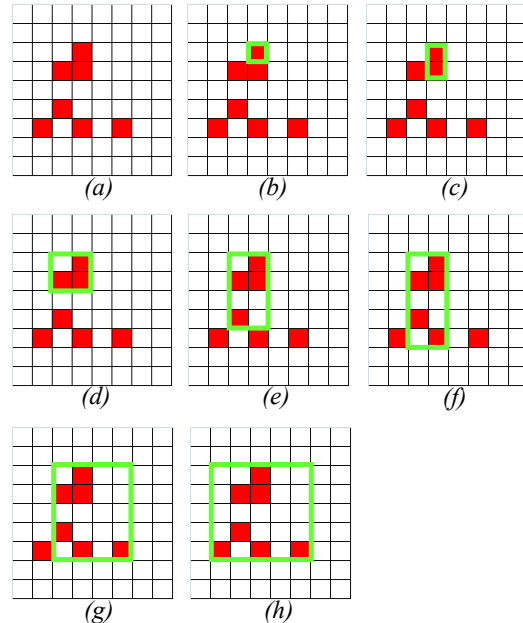
ảnh và thu được tập các khối pixel có màu quan tâm để xây dựng cơ sở dữ liệu học.

Việc phát hiện biển báo giao thông được áp dụng cho hệ thống lái xe tự động của Toyota, do vậy những biển báo cung cấp những thông tin như yêu cầu dừng lại (biển stop), quẹo trái, quẹo phải sẽ cần thiết cho xe hơn là các biển báo thông tin (biển hình chữ nhật). Từ đặc trưng màu sắc của biển báo quan tâm như trên, màu đỏ và màu xanh da trời là hai màu sắc của biển báo được trích lọc từ các biển báo để xây dựng bộ học màu.

Trong hình 4, 6 minh họa một phần dữ liệu học màu đỏ, xanh da trời xây dựng được, ba hàng trên của hình là dữ liệu mẫu màu quan tâm, ba hàng dưới của ảnh là dữ liệu mẫu màu không quan tâm. Mẫu dùng để huấn luyện là các khối 2x2, được tập hợp lại thành 1 khối ảnh 64x48 để lưu trữ trong cơ sở dữ liệu được minh họa như trong hình 4, 6.

3.4 Phương pháp học SVM

SVM là kỹ thuật học được sử dụng rộng rãi trong các bài toán phân lớp mẫu trong miền liên tục cũng như miền rời rạc dựa trên cơ sở toán của lý thuyết học thống kê. Phương pháp này do Vapnik cùng nhóm



Hình 5. Minh họa thuật toán nhóm vùng ứng cử mở rộng từ BFS với khoảng cách định nghĩa trước ($d = 2$).

nghiên cứu của ông đề nghị ở phòng thí nghiệm AT&T Bell vào năm 1992 [11, 12].

Dựa trên những thí nghiệm được triển khai, chúng tôi nhận thấy rằng những đặc trưng bất biến để xác định vùng màu quan tâm bằng tỉ số các kênh màu trong không gian RGB có thể đạt được bằng việc sử dụng SVM tuyến tính. Do vậy, chúng ta có thể rút ra được kết luận rằng những màu quan tâm như đỏ và xanh da trời của biển báo giao thông được trích bằng đặc trưng trong phần 3.2 cũng đạt được hiệu quả với



Hình 6. Minh họa một số mẫu học trên màu đỏ của biển báo giao thông đã xây dựng

các mô hình tuyến tính khác, do vậy chúng tôi sử dụng SVM tuyến tính thay vì SVM phi tuyến do tính hiệu quả cũng như có độ phức tạp thấp.

3.5 Phương pháp nhóm các vùng điều khiển đạt vùng ứng cử

Sau khi có các vùng điều khiển trên màu quan tâm qua việc phân lớp bằng SVM, chúng tôi sử dụng phiên bản mở rộng của thuật toán loang chiều rộng(BFS) trong lý thuyết đồ thị với khoảng cách được định nghĩa trước để nhóm các vùng điều khiển để đạt được vùng ứng cử.

Phiên bản mở rộng này của BFS có thể giúp hình thành vùng ứng cử từ một nhóm nhỏ các vùng điều khiển mà không phải đòi hỏi tất cả các vùng cơ sở của màu quan tâm. Vì vậy, trong bước phân lớp, chúng tôi chỉ cần lấy được một số vùng điều khiển mà không phải lấy tất cả các vùng điều khiển trên màu quan tâm. Hình 5 (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h) minh họa từng bước thực hiện của thuật toán nhóm vùng ứng cử dựa trên BFS với khoảng cách được định nghĩa trước là $d = 2$ để lấy vùng ứng cử khi chỉ biết một tập hợp không đầy đủ của vùng điều khiển.

3.6 Kết hợp SVM với ngưỡng thô

Để cải thiện về tốc độ của mô hình, chúng tôi đưa ra sự kết hợp phương pháp trên với một ngưỡng thô. Ngưỡng thô có tác dụng loại trừ các màu để phân biệt với màu quan tâm do vậy số vùng phải kiểm tra bởi SVM sẽ giảm xuống làm giảm thời gian tính toán một cách đáng kể.

Đầu tiên, chúng tôi sử dụng ngưỡng thô trong không gian HLS với mỗi pixel trong vùng 2×2 , nếu tất cả các pixel đều vượt qua được ngưỡng thô hay nói một cách khác, đây là những màu dễ phân biệt với màu chúng ta quan tâm, do vậy chúng ta sẽ giảm được số vùng được kiểm tra bằng SVM. SVM chỉ kiểm tra những vùng màu khó phân biệt với màu quan

tâm, điều này giúp cho độ phức tạp tính toán của mô hình giảm bớt.

4. Phân loại biển báo giao thông sử dụng biến đổi Hough và contour

Sau khi lấy được vùng ứng cử, chúng tôi sử dụng biến đổi Hough để phát hiện các biển báo giao thông hình tròn. Đối với các biển báo tam giác, đầu tiên chúng tôi sử dụng phương pháp phát hiện cạnh Canny[14] với đa ngưỡng để lấy vùng ứng cử dạng nhị phân. Sau đó, chúng tôi sử dụng thuật toán phát hiện contour đồng thời sử dụng tính chất hình học của tam giác để kiểm chứng kết quả, chúng tôi bỏ qua các biển báo hình chữ nhật (biển báo thông tin) do tính chất của hệ thống lái xe tự động, các thông tin này sẽ được hệ thống GPS giải quyết.

Độ phức tạp của bước phân loại phụ thuộc vào số vùng ứng cử. Dựa trên thí nghiệm, số vùng ứng cử cùng tỉ lệ diện tích của vùng ứng cử so với toàn ảnh là nhỏ nên độ phức tạp của bước này là không đáng kể.

5. Thí nghiệm và kết quả

Thí nghiệm được triển khai trên ngôn ngữ C trên máy tính xách tay có bộ xử lý hai nhân 1.66GHz với ảnh không được tiền xử lý trước. SVM Light được cài đặt bởi Joachims[15, 16] được dùng để lượng giá kết quả trên phương pháp mà chúng tôi đề nghị.

Bảng 1. Những tham số của quá trình học SVM trên màu quan tâm

	Màu đỏ	Màu xanh da trời
Mẫu đúng	30000	30000
Mẫu sai	45000	60000
Độ phủ	88,24%	98,03%
Độ chính xác	88,28%	98,03%

Bảng 2. Chi phí thời gian thực hiện của thuật toán phân đoạn màu quan tâm dựa trên SVM trên ảnh (320 x 240)

	Màu đỏ	Màu xanh da trời
Xấu nhất	0.14s	0.14s
Tốt nhất	0.09s	0.09s
Trung bình	0.11s	0.11s

Bảng 3. Chi phí thời gian thực hiện của thuật toán phân đoạn màu quan tâm dựa trên SVM trên ảnh (320 x 240) có kết hợp ngưỡng thô

	Màu đỏ	Màu xanh da trời
Tốt nhất	0.032s	0.032s
Xấu nhất	0.015s	0.015s
Trung bình	0.023s	0.023s

Dựa vào thực nghiệm, các tham số của quá trình học màu đỏ và màu xanh da trời dựa trên SVM được chọn như được nêu trong bảng 1, do trong quá trình phân đoạn màu này, cần có độ phủ tốt hơn là quan tâm đến độ chính xác nên bộ mẫu sai được chọn nhiều hơn so với bộ mẫu đúng, sự chênh lệch mẫu này sẽ giúp cho SVM phân lớp màu đạt được độ phủ tốt hơn

so với khi không có chênh lệch của mẫu học đúng và mẫu học sai.

Việc sử dụng ngưỡng thô trong quá trình phân đoạn màu giúp cho độ phức tạp tính toán giảm đáng kể, những thống kê ở bảng 2 và bảng 3 cho thấy khi áp dụng ngưỡng thô thì thời gian tính toán cho quá trình phân đoạn màu bằng SVM giảm đi 5 lần so với khi không áp dụng.

Hơn nữa, khi phân đoạn ảnh để lấy vùng ứng cử, do vị trí đặt của biển báo giao thông nên chúng tôi sử dụng heuristic là ảnh giao thông chỉ có trên 2/3 trên của ảnh đưa vào, do vậy sẽ giúp giảm độ phức tạp tính toán, và khi thử nghiệm ảnh với điều kiện tổng quát, heuristic này được bỏ qua.

Phương pháp này dựa trên vùng màu quan tâm để thu vùng ứng cử, sau đó dựa trên kết quả biến đổi Hough và contour để phân loại biển báo loại hình tròn, tam giác hay là vùng nhiều. Do hiện tại chưa có cơ sở dữ liệu bảng giao thông chuẩn, chúng tôi đã thu thập các biển báo giao thông cung cấp bởi phòng nghiên cứu của Toyota, một số biển báo trong luận văn tiến sĩ của Giáo Sư Fleyeh[6] và các biển báo thu thập từ internet, đây là cơ sở dữ liệu chứa các ảnh thu được ở các điều kiện rất đa dạng như ánh sáng yếu hay có tuyết, cũng như biển báo ở những điều kiện khác nhau như bị che phủ một phần, bị mờ, bị nhiễu. Cơ sở dữ liệu kiểm tra này được chúng tôi cung cấp tại địa chỉ:

<http://www.fit.hcmus.edu.vn/~littam/LTTam-TestingDatabase.rar>

Bảng 4. Kết quả phương pháp đề nghị và một số kết quả liên quan trên cơ sở dữ liệu kiểm tra đề nghị.

	Tỉ lệ đúng (Precision)	Tỉ lệ sai (False Positive)	Thời gian xử lý
Soetedjo [2]	85%	10%	2440 ms
Shneier [5]	88%	58%	50 ms
Phương pháp đề nghị	92.91%	7.04%	53 ms

Từ bảng 4 cho thấy, phương pháp đề nghị đạt kết quả tốt trong thời gian thực (khoảng 20 khung ảnh trên giây) trên cơ sở dữ liệu kiểm tra có nhiều điều kiện khác nhau cũng như tình trạng bảng đa dạng như miêu tả ở trên và đã được áp dụng trong phân phân loại biển báo giao thông của hệ thống lái xe tự động của Toyota mà có tốc độ xe tối đa là 30 km/h. Hình 7 minh họa một số kết quả thử nghiệm trên cơ sở dữ liệu ảnh biển báo giao thông đề nghị. Kết quả đạt được tốt do những ưu điểm của thuật toán phân loại màu dựa trên SVM kết hợp với thuật toán nhóm vùng dựa trên BFS với khoảng cách được định nghĩa trước, do vậy có thể sử dụng được thông tin cục bộ trên vùng ảnh thay vì xử lý trên từng điểm ảnh mà các phương pháp trước áp dụng nên thu được vùng ứng cử tốt, hơn nữa việc áp dụng thuật toán hội tụ màu cho phép nâng cao chất lượng ảnh đặc biệt là những ảnh có điều kiện ánh sáng yếu cũng như bị mờ. Các vùng ứng cử có kích thước nhỏ hơn so với toàn ảnh do vậy khắc phục được hạn chế của thuật toán hội tụ

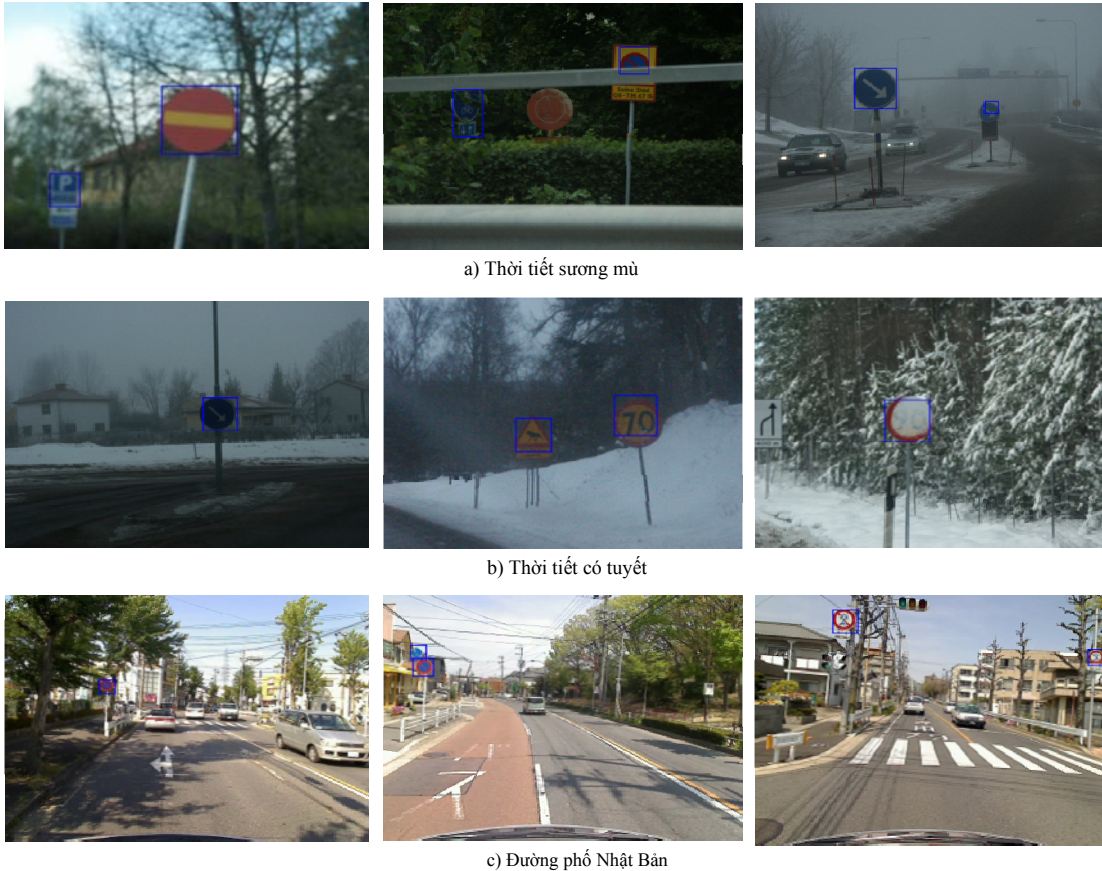
màu là có độ phức tạp lớn, tức xử lý lần lượt trên từng vùng ứng cử, do vậy thời gian xử lý của thuật toán hội tụ màu được tối ưu. Việc các vùng ứng cử có kích thước nhỏ cũng làm cho biến đổi Hough và thuật toán phát hiện contour kết hợp với phát hiện cạnh bằng Canny[14] trên đa ngưỡng đạt được thời gian xử lý nhanh hơn so với áp dụng ngay trên ảnh gốc ban đầu.

Do sử dụng thuật toán phân đoạn màu trên SVM, chúng tôi không phụ thuộc vào tham số như các phương pháp khác sử dụng ngưỡng để phân đoạn màu nên trong bài không có vẽ ROC.

Tài liệu tham khảo

- [1] S.Vitabile, F.Sorbello. Pictogram road signs detection and understanding in outdoor scenes. *Proc. Conf. Enhanced and Synthetic Vision*, Orlando, Florida, 1998.
- [2] A. Soetedjo, K. Yamada: An Efficient Algorithm for Traffic Sign Detection, *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol. 10, No. 3, pp. 409-418 (2006).
- [3] S. Vitabile, G.Pollaccia, C. Pilato, and E.Sorbello. Road sign recognition using a dynamic pixel aggression technique in the HSV color space. *Proc. 11th. Inter. Conf. Image Analysis and Processing*, Palermo, Italy, 2001.
- [4] A. de la Escalera, L. Moreno, E. Puente, and M. Salichs. Neural traffic sign recognition for autonomous vehicles. *Proc. 20th Inter. Conf. on Industrial Electronics Control and Instrumentation*, Bologna, Italy, 1994.
- [5] M. Shneier, Road Sign Detection and Recognition, *Proceeding of SPIE, the International Society for Optical Engineering*, Florida, USA, 2006
- [6] H. Fleyeh. Traffic and road sign recognition. PhD thesis at Dalarna University, Sweden, 2008.
- [7] C. Fang, C. Fuh, S.Chen, and P.Yen. A road sign recognition system based on dynamic visual model. *Proc IEEE Computer Society Conf, Computer Vision and Pattern Recognition*, Madison, Wisconsin, 2003.
- [8] C. Fang, S. Chen, and C. Fuh. Road sign detection and tracking. *IEEE Trans on Vehicular Technology*, Vol 52, pp. 1329-1341, 2003.
- [9] C. Fang. A vision-based driver assistance system based on a dynamic visual model. PhD Thesis at National Taiwan University, 2003.
- [10] MacQueen, J. B. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. *Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, 281-297, University of California Press, 1967.
- [11] B. E. Boser, I. M. Guyon, and V. N. Vapnik. A training algorithm for optimal margin classifiers. In D. Haussler, editor, *5th Annual ACM Workshop on COLT*, pages 144-152. Pittsburgh, PA, 1992.
- [12] Corinna Cortes, and V. Vapnik. Support Vector Networks. *Machine Learning*, 1995.
- [13] Duda, R. O. and P. E. Hart, "Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures," *Comm. ACM*, Vol. 15, pp. 11-15 (January, 1972)

- [14] Canny, J., *A Computational Approach To Edge Detection*, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8:679-714, 1986
- [15] T. Joachims. Making large-Scale SVM Learning Practical. MIT-Press, 1999.
- [16] C. Burges, and A. Smola. Advances in Kernel Methods – Support Vector Learning. MIT-Press, 1999.
- [17] B. Funt, K. Barnard, L. Martin, "Is Machine colour constancy good enough?", The fifth European Conf. on Computer Vision (ECCV), Freiburg, Germany, 1998.
- [18] C. Rosenberg, M. Hebert, S. Thrun, "Color constancy using KL-Divergence," The 8th IEEE Intern. Conf. Computer Vision (ICCV), Vancouver, BC Canada, 2001
- [19] M. Ebner, "Color constancy using local color shifts", The 8th European Conf on Computer Vision (ECCV), Prague, Czech Republic, 2004



Hình 7. Một số ví dụ kết quả kiểm tra trên cơ sở dữ liệu kiểm tra đề nghị