

GIẢI THUẬT ĐƠN GIẢN ĐỂ PHÁT HIỆN LÀN ĐƯỜNG VÀ ĐIỀU KHIỂN LÁI CHO ÔTÔ TỰ HÀNH

Trương Quốc Bảo¹

¹ Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

ABSTRACT

Automated Guided Vehicle (AGV) is an intelligent machine that has enough intelligence to determine its motion status according to the environment conditions. Typical AGV has the ability to operate and move purposely without human intervention. In this paper, we present a simple method based on computer vision techniques which help the vehicle to move inside the lane boundaries. The vision image will be processed to detect the lane boundaries using vector-lane-concept and estimate the road lane curvature. Using this information, we calculate the steering angle which is used to steer the vehicle to move inside the lane boundaries without using any other control technique. Several demonstrations were carried out, using diverse images, to show the result of lane-boundary detection and vehicle navigation. In conclusion, the proposed algorithm can be used to control vehicle to move inside the lane boundaries without human intervention.

Thông tin chung:

Ngày nhận: 03/09/2013

Ngày chấp nhận: 21/10/2013

Title:

Simple lane detection and steering control algorithm for autonomous guided vehicle

Từ khóa:

Ôtô tự hành (AVG), Phát hiện làn đường, Vector-làn đường, Non-uniform B-spline (NUBS), Độ cong của làn đường

Keywords:

Automated Guided Vehicle (AGV), Lane detection, Vector-lane-concept, Non-uniform B-spline (NUBS), Road lane curvature

TÓM TẮT

Ôtô tự hành (AVG) là một dạng máy thông minh có đủ khả năng hiểu biết để tự xác định trạng thái chuyển động của mình dựa trên những điều kiện môi trường. Một dạng tiêu biểu của ô tô hay robot tự hành là khả năng vận hành và chuyển động không cần sự điều khiển của con người. Trong bài báo này, chúng tôi trình bày một giải thuật xử lý ảnh đơn giản giúp ô tô tự di chuyển trong giới hạn làn đường của mình. Giải thuật sẽ tiến hành phát hiện làn đường sử dụng khái niệm vector-làn đường và ước lượng độ cong của làn đường. Dựa trên các thông tin nhận được chúng tôi tính góc lái và tiến hành xây dựng giải thuật lái xe giúp ô tô tự hành di chuyển trong giới hạn làn đường của mình mà không cần sử dụng thêm giải thuật điều khiển nào. Nhiều dạng khác nhau của ảnh làn đường đã được sử dụng để minh họa cho tính hiệu quả của giải thuật được đề nghị. Các kết quả thực nghiệm đã cho thấy giải thuật có thể được áp dụng để điều khiển ô tô tự hành di chuyển trong giới hạn làn đường của mình mà không cần tác động của con người.

1 GIỚI THIỆU

Ôtô tự hành được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau trong thực tế và đóng vai trò quan trọng trong môi trường giao thông có nguy cơ tai nạn cao như đường đồi dốc, trơn trượt hay các hệ thống giao thông thông minh. Điều

khiến chuyển động tự động thông minh của xe có thể giúp hạn chế tai nạn cũng như ùn tắc giao thông.

Ôtô hay robot tự hành là lĩnh vực nghiên cứu thú vị và nhiều thách thức trong lĩnh vực trí tuệ nhân tạo và điều khiển học. Về nguyên tắc, một hệ

thống AVG đơn giản sẽ bao gồm hai thành phần chính: (1) Bộ phận tiền xử lý và (2) Bộ phận điều khiển.

Bộ tiền xử lý sử dụng hệ thống cảm biến (sensors), radar, GPS hoặc hệ thị giác máy tính với các camera đi kèm để thu nhận thông tin từ môi trường như giới hạn, hướng, độ rộng, độ cong, độ phẳng của làn đường cũng như sự xuất hiện của các vật cản,... Hầu hết các nghiên cứu gần đây đều sử dụng camera để nhận dạng làn đường. Nhiều mô hình và giải pháp khác nhau đã được đề nghị nhằm giải quyết vấn đề này. Đa phần các hệ thống đều nhận dạng làn đường dựa trên các giả thuyết định trước về mô hình toán học biểu diễn cho làn đường. Mô hình thường được sử dụng rộng rãi là đường cong bậc hai [1] hoặc Bsnack [2]. Gần đây cũng có một số nghiên cứu mới [3-4] nhưng vẫn chưa đạt được kết quả tối ưu. Vì vậy, bài toán phát hiện và nhận dạng làn đường vẫn là đề tài cần tiếp tục nghiên cứu và phát triển.

Bộ phận điều khiển sẽ điều khiển ô tô hay robot tự hành chuyển động dọc theo giới hạn làn đường của mình và có thể tránh các vật cản trên đường nếu cần. Có nhiều phương pháp có thể được áp dụng để xây dựng hệ thống điều khiển. Tiếp cận phổ biến nhất là hệ điều khiển mờ dựa trên fuzzy logic [5-6] hoặc hệ thống lai kết hợp giữa mạng neural và logic mờ [7]. Các hệ thống này thường là công kênh tốn nhiều bộ nhớ và thời gian xử lý.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất một giải thuật đơn giản cùng mô hình tính toán thích nghi dựa trên các kỹ thuật xử lý ảnh nhằm giúp ô tô tự hành có thể di chuyển và điều khiển lái để chỉ trong giới hạn làn đường của mình tùy theo độ cong của làn đường. Mục đích chính là tìm một phương pháp hiệu quả, đơn giản nhưng phát hiện chính xác làn đường, đồng thời giảm thời gian và chi phí tính toán cho hệ thống điều khiển ô tô tự hành di chuyển chính xác theo làn đường quy định. Đầu tiên, chúng tôi sử dụng khái niệm vector làn đường dựa trên lý thuyết Non-uniform Bspline (NUBS) để xây dựng các đường giới hạn cho làn đường trái và phải. Tiếp theo, chúng tôi ước lượng độ cong của các làn đường trái và phải một cách riêng biệt. Cuối cùng, dựa trên thông tin về giới hạn và độ cong của làn đường, chúng tôi tính toán góc lái để sử dụng cho giải thuật điều khiển lái. Kết quả của quá trình xử lý ảnh sẽ cung cấp thông tin cần thiết và ước lượng độ cong của làn đường nhằm giúp ô tô tự hành di chuyển trong giới hạn làn đường quy định và xác định được hướng di chuyển

chính xác cho ô tô từ vị trí hiện tại trên làn đường.

Các phần tiếp theo của bài báo được tổ chức như sau: Phần 2 chúng tôi đề xuất khái niệm vector làn đường và phương pháp phát hiện và xây dựng giới hạn làn đường dựa trên khái niệm này kết hợp với phép nội suy NUBS để đạt được bản đồ làn đường từ ảnh đầu vào. Giải thuật ước lượng độ cong của làn đường sẽ được trình bày trong mục 3. Tiếp đến, phương pháp điều khiển góc lái để cho phép ô tô tự hành di chuyển đúng làn đường quy định được mô tả chi tiết trong mục 4. Một số kết quả mô phỏng minh họa cho hệ thống được miêu tả và phân tích trong mục 5. Cuối cùng, Kết luận và định hướng nghiên cứu tương lai được nêu tóm tắt trong phần 6.

2 THUẬT TOÁN PHÁT HIỆN LÀN ĐƯỜNG

Các thuật toán xử lý ảnh cho phát hiện làn đường có thể được phân chia thành ba nhóm chính: (1) dựa trên phân vùng (region-based), (2) dựa trên phân tích đặc trưng (feature-based) và (3) dựa trên mô hình toán học hóa làn đường (model-based). Hầu hết các nghiên cứu đều đi theo hướng tiếp cận ba này, sử dụng mô hình toán học để mô hình hóa làn đường [1-4]. Mục đích của phương pháp tiếp cận này là cố gắng làm cho phù hợp giữa ảnh làn đường được quan sát với mô hình giả thuyết được xây dựng. Kỹ thuật này dựa trên giả thuyết rằng làn đường là sự kết hợp của các phân có dạng đường thẳng, đường cong parabol hoặc đường cong dạng Bsnack.

Giải thuật cho phương pháp phát hiện làn đường của chúng tôi được trình bày như trong sơ đồ Hình 1. Đây là một hướng tiếp cận dựa trên sự mở rộng của mô hình hóa làn đường.

Đầu tiên, các điểm ảnh thuộc đường biên ảnh giới hạn làn đường sẽ được phát hiện nhờ thuật toán phát hiện đường biên Canny. Thuật toán rút xương ảnh [8] sẽ được áp dụng vào ảnh phát hiện cạnh để được ảnh đường biên có độ dày 1 điểm ảnh. Tiếp đến, ảnh đường biên sau khi rút xương sẽ được dùng để rút trích các điểm điều khiển (control points). Phép nội suy NUBS được sử dụng để xây dựng đường cong đại diện cho làn đường trái và phải một cách riêng biệt. Trong nghiên cứu của chúng tôi, các làn đường trái và phải được phát hiện và xây dựng một cách tách biệt. Điều này có nghĩa là các đường biên trái và phải được xem xét và xử lý riêng lẻ, không giống như nhiều nghiên cứu khác xem xét 2 làn đường trái và phải là đồng nhất với nhau.



Hình 1: Lưu đồ giải thuật phát hiện làn đường

2.1 Mô hình hóa làn đường bằng đường cong B-Spline

Đường cong NUBS ký hiệu là C [9] có thể được biểu diễn bằng tập hợp $(n + 1)$ điểm điều khiển $\{P_0, P_1, P_2, \dots, P_n\}$. Điểm $P_i(x_i, y_i)$ thuộc đường cong C được tính theo công thức (1):

$$C(u) = \sum_{i=0}^n B_{i,m}(u)P_i \tag{1}$$

Trong đó, $t_{\min} \leq u \leq t_{\max}$, $2 \leq m \leq n + 1$ và $B_{i,m}(u)$ được gọi là đường cong B-Spline và được định nghĩa như công thức (2):

$$B_{i,m}(u) = \begin{cases} 1, & t_i \leq u \leq t_{i+1} \\ 0, & u \in [t_i, t_{i+1}] \end{cases} \quad m=1$$

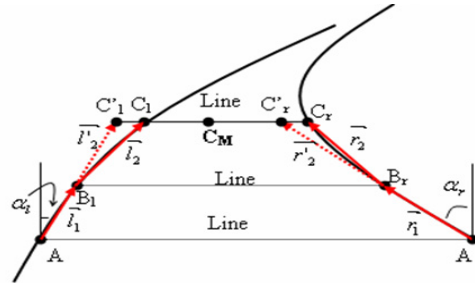
$$B_{i,m}(u) = \frac{u - t_i}{t_{i+m-1} - t_i} B_{i,m-1}(u) + \frac{t_{i+m} - u}{t_{i+m} - t_{i+1}} B_{i+1,m-1}(u) \quad , m > 1 \tag{2}$$

Xét công thức (2) ta thấy, để tính được giá trị của $B_{i,m}(u)$ chúng ta cần xác định được tập hợp các vector nút (knot vectors) $T = \{T_0, T_1, T_2, \dots, T_{i+m}\}$ và các điểm nút (knot points) $t_j, j = 0..i + m$. Khi khoảng cách giữa các điểm nút là bằng nhau ta gọi đường cong là đường cong B-Spline đồng nhất (uniform), ngược lại là đường cong B-Spline không đồng nhất (Non-uniform). Càng nhiều điểm điều khiển và điểm nút

được xác định thì đường cong B-Spline được biểu diễn bằng các đa thức bậc càng cao và sẽ mô tả đường cong càng chính xác.

2.2 Rút trích đặc trưng đường biên

Chúng tôi đề xuất mô hình làn đường như mô tả ở Hình 2 mà chúng tôi gọi là khái niệm **vector-làn đường (vecto-lane concept)**.



Hình 2: Mô hình vecto-làn đường cho bài toán phát hiện làn đường

Đầu tiên, chúng tôi xét 2 đường quét ngang trong ảnh bản đồ làn đường đạt được từ ảnh phát hiện đường biên và định nghĩa các điểm điều khiển là A_l, B_l cho làn đường bên trái; A_r, B_r cho làn đường bên phải. Xây dựng các vector làn đường $\vec{l}_1 = \overline{A_l B_l}$ cho làn đường bên trái, $\vec{r}_1 = \overline{A_r B_r}$ cho làn đường bên phải. Tiếp theo, chúng tôi ước lượng góc biểu diễn độ cong của đường biên biểu diễn làn đường sử dụng công thức (3):

$$\alpha_l = \arctg\left(\frac{x_{A_l} - x_{B_l}}{y_{A_l} - y_{B_l}}\right); \alpha_r = \arctg\left(\frac{x_{A_r} - x_{B_r}}{y_{A_r} - y_{B_r}}\right) \tag{3}$$

Sử dụng góc biểu diễn độ cong của làn đường được định nghĩa trong công thức (3) ở trên, chúng tôi phát triển giải thuật để tìm kiếm các điểm điều khiển trên đường cong B-Spline. Nội dung chi tiết của giải thuật này được mô tả như sau:

Giải thuật tìm các điểm điều khiển

Bước 1: Thiết lập 2 đường quét ngang tại vùng trống ở vị trí cuối ảnh, tìm 2 điểm điều khiển đầu tiên cho mỗi đường quét, điểm điều khiển trái và điểm điều khiển phải. Vị trí bắt đầu quét để tìm các điểm điều khiển được chọn là vị trí trung điểm của mỗi đường quét.

Bước 2: Xây dựng 2 vector làn đường \vec{l}_1 và \vec{r}_1 , sau đó tính góc nghiêng của 2 vector này α_l và α_r theo công thức (3).

Bước 3: Chia vùng không gian còn lại của ảnh thành 4 phần (dựa trên độ dài của ảnh bản đồ làn đường) bằng cách sử dụng 3 đường quét ngang. Tiếp theo, thực hiện các bước xử lý sau:

Bước 3.1: Xác định vị trí của điểm C'_l dựa trên hướng của vectơ làn đường \vec{l}_2 là một sự mở rộng (nói dài) của vectơ làn đường \vec{l}_1 (Hình 2).

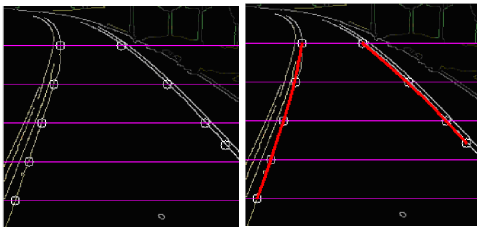
Bước 3.2: Xác định vị trí của điểm C'_r dựa trên hướng của vectơ làn đường \vec{r}_2 là một sự mở rộng (nói dài) của vectơ làn đường \vec{r}_1 (Hình 2).

Bước 3.3: Xác định vị trí trung điểm C_M của C'_l và C'_r .

Bước 3.4: Quét từ điểm C_M sang trái để tìm điểm điều khiển C_l nằm trên làn đường bên trái. Nếu không tìm được C_l do làn đường bên trái không liên tục hoặc ảnh bị nhiễu ta sẽ sử dụng C'_l thay cho C_l .

Bước 3.5: Quét từ điểm C_M sang phải để tìm điểm điều khiển C_r nằm trên làn đường bên phải. Nếu không tìm được C_r do làn đường bên phải không liên tục hoặc ảnh bị nhiễu ta sẽ sử dụng C'_r thay cho C_r .

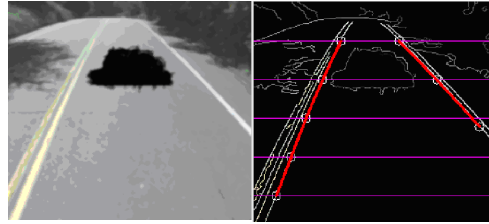
Do chiều dài của các làn đường nhận từ ảnh chụp được từ camera thường là không bằng nhau, vì vậy chúng tôi chọn làn đường có chiều dài lớn hơn để phân chia phần không gian còn lại của ảnh thành 4 phần và tiến hành áp dụng giải thuật trên để tìm kiếm các điểm điều khiển. Quá trình này bảo đảm rằng ta có thể phát hiện được gần như đầy đủ làn đường (Hình 3). Ở đây chúng tôi chọn làn đường có độ dài dài hơn (làn đường bên trái) vì vậy điểm điều khiển đầu tiên không xuất hiện trên đường quét ngang ở làn đường bên phải.



Hình 3: Phát hiện làn đường sử dụng khái niệm vectơ-làn đường

Trong một số trường hợp, khi chúng ta sử dụng đường quét từ vị trí trung điểm của đường quét sang trái hoặc sang phải để tìm các điểm điều khiển nằm trên các làn đường thì có thể xuất hiện nhiễu trên ảnh nằm ở vùng không gian giữa 2 làn đường

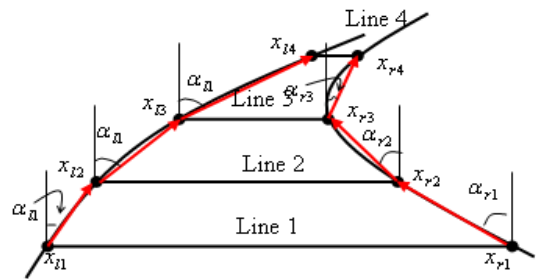
(Hình 4 – trái). Để khắc phục điều này chúng tôi sử dụng một giá trị góc đặt trước DELTA_ANGLE. DELTA_ANGLE là giá trị khác biệt của giá trị 2 góc nghiêng liên tiếp trên làn đường trái hoặc phải. Nếu DELTA_ANGLE nhỏ hơn một giá trị ngưỡng định trước, ta tiếp tục di chuyển sang trái hoặc sang phải để tìm điểm điều khiển. Trong thử nghiệm của mình, chúng tôi thiết lập giá trị ngưỡng cho DELTA_ANGLE = 15°. Một ví dụ minh họa được thể hiện như ở Hình 4.



Hình 4: Kết quả phát hiện làn đường với ảnh bị nhiễu giữa 2 làn đường

3 THUẬT TOÁN ƯỚC LƯỢNG ĐỘ CONG CỦA LÀN ĐƯỜNG

Sau khi phát hiện được giới hạn của các làn đường, việc tiếp theo chúng tôi sẽ rút trích thông tin để ước lượng độ cong hay hướng của các làn đường. Chúng tôi đề xuất thuật toán sau để ước lượng độ cong của các làn đường trái và phải một cách riêng biệt (Hình 5).



Hình 5: Mô hình ước lượng độ cong làn đường

Giải thuật ước lượng độ cong của các làn đường

Bước 1: Tính 3 góc ước lượng độ cong cho mỗi làn đường sử dụng 4 đường quét từ cuối ảnh như minh họa ở Hình 5 và công thức (4):

$$\begin{cases} \alpha_{li} = \arctg\left(\frac{x_{l(i+1)} - x_{li}}{y_{l(i+1)} - y_{li}}\right) \\ \alpha_{ri} = \arctg\left(\frac{x_{r(i+1)} - x_{ri}}{y_{r(i+1)} - y_{ri}}\right) \end{cases} \quad (i = 1..3) \quad (4)$$

Bước 2: Tính giá trị khác biệt giữa các góc:

Bước 2.1: Đối với làn đường bên trái:

$$\Delta\alpha_{l1} = \alpha_{l2} - \alpha_{l1}; \quad \Delta\alpha_{l2} = \alpha_{l3} - \alpha_{l2} \quad (5)$$

Bước 2.2: Đối với làn đường bên phải:

$$\Delta\alpha_{r1} = \alpha_{r2} - \alpha_{r1}; \quad \Delta\alpha_{r2} = \alpha_{r3} - \alpha_{r2} \quad (6)$$

Bước 3: Tính giá trị trung bình (mean) của các góc:

Bước 3.1: Đối với làn đường bên trái:

$$\alpha_l = a_l \Delta\alpha_{l2} + b_l \Delta\alpha_{l1} + c_l \alpha_{l1} \quad (7)$$

Bước 3.2: Đối với làn đường bên phải:

$$\alpha_l = a_l \Delta\alpha_{l2} + b_l \Delta\alpha_{l1} + c_l \alpha_{l1} \quad (8)$$

Bước 3.3: Chọn dấu cho các hệ số a_l, b_l, c_l dựa vào các công thức (9a), (9b), (9c):

$$\begin{cases} a_l \geq 0 \text{ if } \Delta\alpha_{l2} \geq 0 \\ a_l < 0 \text{ if } \Delta\alpha_{l2} < 0 \end{cases} \quad (9a)$$

$$\begin{cases} b_l \geq 0 \text{ if } \Delta\alpha_{l1} \geq 0 \\ b_l < 0 \text{ if } \Delta\alpha_{l1} < 0 \end{cases} \quad (9b)$$

$$\begin{cases} c_l \geq 0 \text{ if } \alpha_{l1} \geq 0 \\ c_l < 0 \text{ if } \alpha_{l1} < 0 \end{cases} \quad (9c)$$

Bước 3.4: Chọn dấu cho các hệ số a_r, b_r, c_r dựa vào các công thức (10a), (10b) và (10c):

$$\begin{cases} a_r \geq 0 \text{ if } \Delta\alpha_{r2} \geq 0 \\ a_r < 0 \text{ if } \Delta\alpha_{r2} < 0 \end{cases} \quad (10a)$$

$$\begin{cases} b_r \geq 0 \text{ if } \Delta\alpha_{r1} \geq 0 \\ b_r < 0 \text{ if } \Delta\alpha_{r1} < 0 \end{cases} \quad (10b)$$

$$\begin{cases} c_r \geq 0 \text{ if } \alpha_{r1} \geq 0 \\ c_r < 0 \text{ if } \alpha_{r1} < 0 \end{cases} \quad (10c)$$

Giá trị độ lớn của a_l, b_l, c_l và a_r, b_r, c_r được thiết lập và lựa chọn dựa vào thực nghiệm. Trong thử nghiệm của chúng tôi thì $|a_l| = |a_r| = 3, |b_l| = |b_r| = 2, |c_l| = |c_r| = 1$.

4 TÍNH TOÁN GÓC LÁI VÀ LÀN VẾT LÀN ĐƯỜNG CHO ÔTÔ TỰ HÀNH

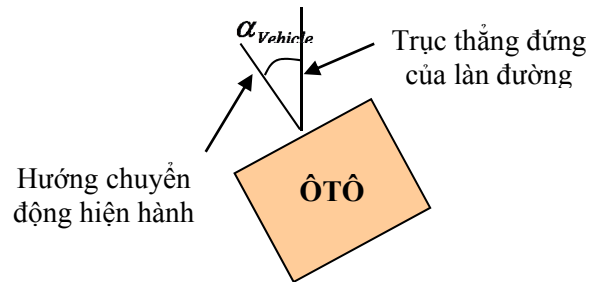
Để làn vết làn đường và điều khiển góc lái cho ô tô tự hành chuyển động dọc theo làn đường quy định thì góc lái của xe cần phải được xác định. Góc

lái của xe có thể được tính toán dựa trên các điều kiện:

– Độ cong của làn đường trái α_l và làn đường phải α_r ,

– Vị trí hiện hành của ô tô trên làn đường, ký hiệu là $p_{Vehicle}$. Ở đây $p_{Vehicle}$ phải thỏa mãn điều kiện $0 \leq p_{Vehicle} \leq W$ với W là độ rộng của làn đường. Trong thực nghiệm của chúng tôi $W = 256$ là độ rộng của ảnh nhận được từ camera.

– Hướng di chuyển hiện hành của ô tô, ký hiệu là $\alpha_{Vehicle}$. Ở đây $\alpha_{Vehicle}$ là góc tạo bởi thân của ô tô và trục thẳng đứng như minh họa ở Hình 6.



Hình 6: Minh họa vị trí ô tô trong làn đường

Dựa trên các tham số đã định nghĩa trên, chúng tôi tiến hành xác định giá trị của góc lái cần thiết để điều khiển ô tô tự hành có thể chuyển động trong làn đường quy định.

Giải thuật tính toán góc lái của ô tô

Bước 1: Tính toán 2 hệ số k_l và k_r tương ứng lần lượt cho các làn đường trái và phải sử dụng các công thức (11) sau:

$$k_l = 2 \frac{(W - p_{Vehicle})}{W}; \quad k_r = 2(1 - k_l) \quad (11)$$

Bước 2: Tính toán giá trị đầu ra của góc lái như sau:

Nếu α_l và α_r trái dấu nhau:

$$\alpha_{Out} = \frac{(k_l \alpha_l + k_r \alpha_r)}{(k_l + k_r)} - \alpha_{Vehicle} \quad (12)$$

Ngược lại, nếu α_l và α_r cùng dấu nhau:

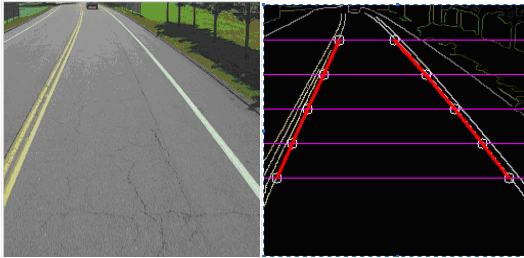
$$\alpha_{Out} = \begin{cases} \frac{(k_l \alpha_l - k_r \alpha_r)}{(k_l + k_r)} - \alpha_{Vehicle} & \text{if } |\alpha_l| \geq |\alpha_r| \\ \frac{(k_r \alpha_r - k_l \alpha_l)}{(k_l + k_r)} - \alpha_{Vehicle} & \text{if } |\alpha_l| < |\alpha_r| \end{cases} \quad (13)$$

5 MỘT SỐ KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

5.1 Kết quả thực nghiệm minh họa giải thuật phát hiện làn đường

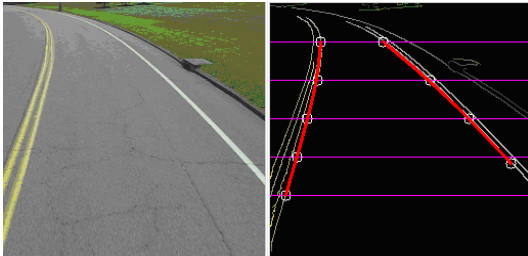
Giải thuật phát hiện làn đường được kiểm tra trên tập ảnh sưu tập từ camera trong các điều kiện khác nhau về thời gian và vị trí chụp ảnh. Hình 7 trình bày một số kết quả kiểm tra giải thuật được đề xuất trong một số trường hợp tiêu biểu sử dụng khái niệm vectơ-làn đường.

Trường hợp 1: Làn đường có dạng gần như đường thẳng, không có nhiều và độ dài của 2 làn đường trái và phải là xấp xỉ nhau. Trong trường hợp này, giải thuật của chúng tôi phát hiện làn đường rất tốt và xây dựng lại đầy đủ làn đường bằng cách sử dụng hàm nội suy NUBS bậc 3 như minh họa sau:

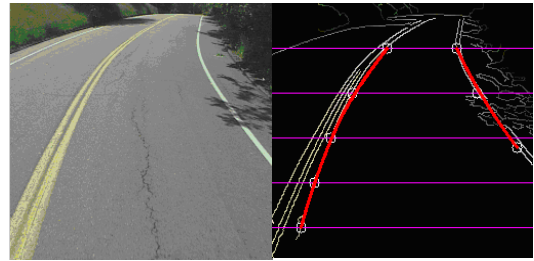


Trường hợp 2: Làn đường có dạng cong lệch sang trái hoặc sang phải và ảnh bị nhiễu bởi bóng cây trên đường. Trong trường hợp này, hàm nội suy NUBS bậc 2 hoặc bậc 3 sẽ được sử dụng để xây dựng lại làn đường tùy thuộc vào số lượng điểm điều khiển được phát hiện nhờ kỹ thuật vectơ làn đường.

Trường hợp 2.1: Làn đường có dạng cong lệch sang trái một ít và ảnh thu được không có nhiễu. Trong trường hợp này, số điểm điều khiển được phát hiện trên 2 làn đường là không bằng nhau. Tuy nhiên, làn đường vẫn được xây dựng lại một cách đầy đủ.

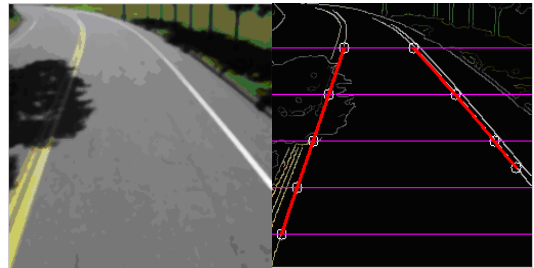


Trường hợp 2.2: Làn đường có dạng cong lệch sang nhiều sang phải và ảnh thu được có nhiễu bóng cây trên làn đường phải. Trong trường hợp này, sử dụng vectơ-làn đường giúp ta vượt qua vấn đề khó khăn về nhiễu. Làn đường được phát hiện và xây dựng lại đầy đủ.

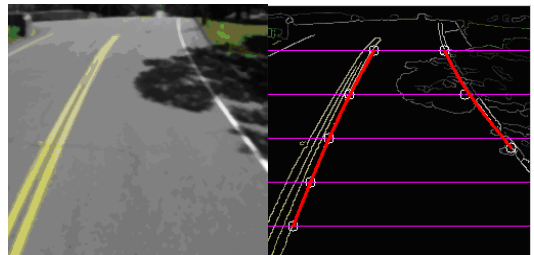


Trường hợp 3: Làn đường có dạng cong lệch sang trái hoặc sang phải và ảnh bị nhiễu khá nhiều bởi bóng cây hay trụ đèn trên đường. Trong các trường hợp này, nếu không tìm được các điểm điều khiển chính xác, chúng tôi sử dụng vectơ làn đường để tính toán vị trí điểm điều khiển và dùng hàm nội suy NUBS bậc 2 hoặc bậc 3 sẽ được sử dụng để xây dựng lại làn đường tùy thuộc vào số lượng điểm điều khiển được tính toán nhờ kỹ thuật vectơ làn đường.

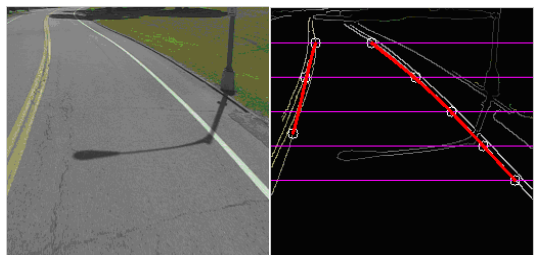
Trường hợp 3.1: Làn đường có dạng cong lệch sang trái và nhiễu do bóng cây xuất hiện nhiều trên làn đường:



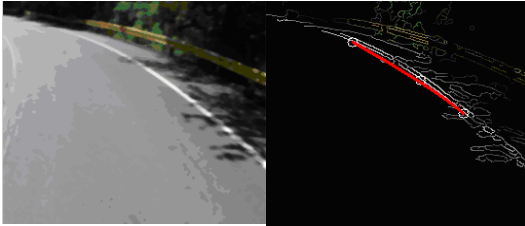
Trường hợp 3.2: Làn đường có dạng cong lệch sang phải và nhiễu do bóng cây xuất hiện khá dày trên làn đường:



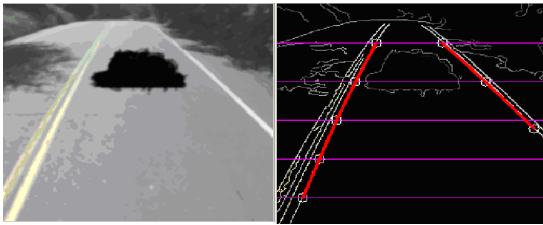
Trường hợp 3.3: Làn đường có dạng cong lệch sang trái và nhiễu do bóng cột đèn hiện nhiều trên làn đường:



Trường hợp 4: Làn đường có dạng cong lệch nhiều sang một phía và làn đường còn lại bị mất (ảnh do camera chụp không nhìn thấy được làn đường còn lại). Ngoài ra, làn đường còn bị nhiễu rất dày nhưng giải thuật của chúng tôi vẫn phát hiện và xây dựng lại thành công dạng làn đường này.



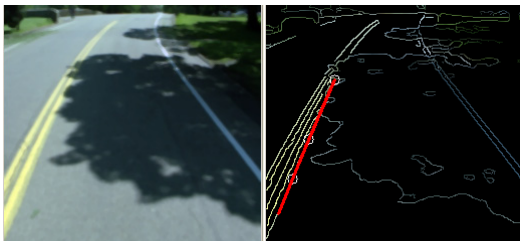
Trường hợp 5: Trường hợp nhiễu khá nhiều xuất hiện trong vùng giới hạn của 2 làn đường giải thuật của chúng tôi định giá trị ngưỡng của DELTA_ANGLE kết hợp với vector làn đường cho phép xây dựng được các điểm điều khiển cho phép phát hiện và xây dựng lại các làn đường một cách chính xác.



Hình 7: Một số kết quả thực nghiệm minh họa giải thuật phát hiện làn đường

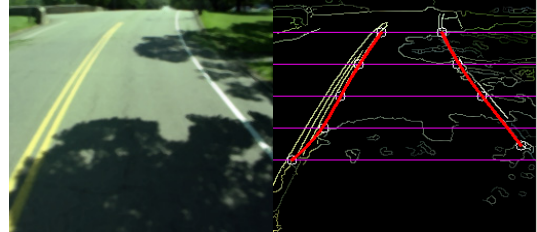
Trong trường hợp ảnh bị nhiễu quá nặng và nhiều che khuất hầu hết vết sơn đánh dấu làn đường thì giải thuật phát hiện làn đường của chúng tôi bị thất bại không xây dựng lại được làn đường (Hình 8).

Trường hợp 1: Làn đường có dạng cong lệch nhiều sang phải và vết sơn đánh dấu làn đường bị nhiễu bóng cây che phủ gần như toàn bộ. Trong trường hợp này, giải thuật của chúng tôi không xây dựng được vector làn đường cho làn đường bên phải và không phát hiện được làn đường bên phải này.



Trường hợp 2: Làn đường có dạng cong lệch nhiều sang phải và nhiễu do bóng cây che phủ phần

lớn lòng đường và một phần làn đường. Trong trường hợp này, đôi khi giải thuật của chúng tôi phát hiện và xây dựng được làn đường nhưng không chính xác hoàn toàn. Trong đa phần các trường hợp có dạng như thế này giải thuật của chúng tôi cũng bị thất bại.



Hình 8: Các trường hợp giải thuật phát hiện làn đường bị thất bại

Chúng tôi sử dụng 2 tập dữ liệu ảnh từ cơ sở dữ liệu ảnh [10] để chạy kiểm tra giải thuật được đề xuất. Tập dữ liệu 1 chứa 69 ảnh và tập dữ liệu 2 chứa 99 ảnh chụp các dạng làn đường khác nhau ở các thời điểm khác nhau. Đối với tập ảnh đầu tiên, giải thuật của chúng tôi phát hiện làn đường thất bại trong 5 trường hợp và với tập ảnh thứ 2 là 7 trường hợp. Thời gian thực hiện giải thuật là hơn 13 frames ảnh/giây. Nói tóm lại, phương pháp của chúng tôi phát hiện một làn đường thất bại nếu không thể xác định được 2 điểm điều khiển đầu tiên để xây dựng vector làn đường cho làn đường này.

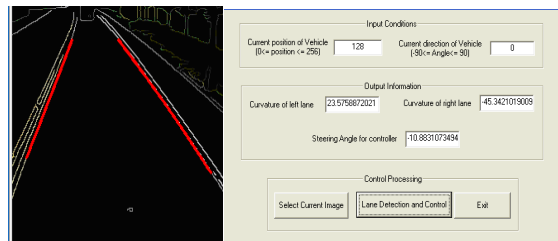
5.2 Kết quả thực nghiệm ước lượng độ cong làn đường và xác định góc lái

Trong phần này, chúng tôi trình bày một số kết quả mô phỏng minh họa cho giải thuật ước lượng độ cong của làn đường tính giá trị đầu ra của góc điều khiển lái cho ô tô tự hành.

Trường hợp 1: $P_{Vehicle} = \frac{W}{2}$ và $\alpha_{Vehicle} = 0^0$

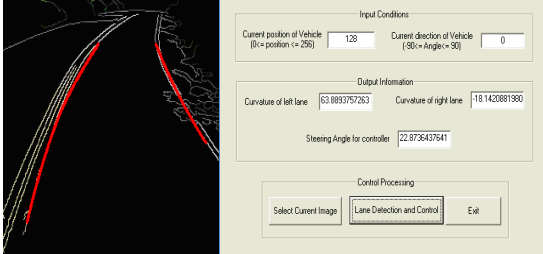
Trong trường hợp này, vị trí của ô tô là chính giữa hai làn đường, và góc lái hiện hành của ô tô là 0. Bốn dạng khác nhau của trường hợp này được tiến hành thử nghiệm và mô phỏng minh họa như ở các hình tiếp theo.

Trường hợp 1.1: Các làn đường có dạng gần như đường thẳng và không bị nhiễu



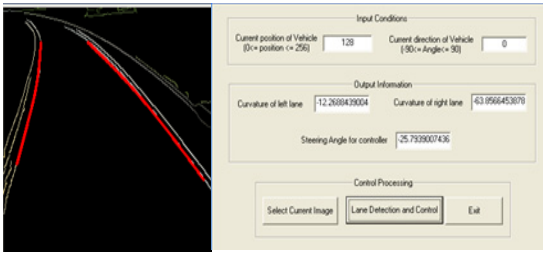
Kết quả mô phỏng như sau:
 $\alpha_l = 23.576^0$; $\alpha_r = -45.342^0 \Rightarrow \alpha_{Out} = -10.883^0$.
 Điều này cho biết từ vị trí này, ô tô sẽ quẹo một ít sang trái với góc lái là 10.883^0 .

Trường hợp 1.2: Làn đường có dạng cong sang phải và làn đường bị nhiễu một ít.



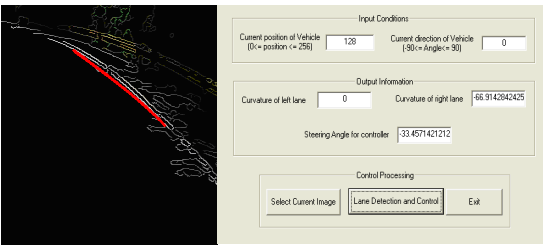
Kết quả mô phỏng như sau:
 $\alpha_l = 63.889^0$; $\alpha_r = -18.142^0 \Rightarrow \alpha_{Out} = 22.874^0$.
 Điều này cho biết từ vị trí này, ô tô sẽ quẹo sang phải với một góc lái trung bình và có giá trị là 22.874^0 .

Trường hợp 1.3: Làn đường có dạng cong sang trái và không bị nhiễu.



Kết quả mô phỏng như sau:
 $\alpha_l = -12.269^0$; $\alpha_r = -63.857^0 \Rightarrow \alpha_{Out} = -25.794^0$. Điều này cho biết từ vị trí này, ô tô sẽ quẹo sang trái với một góc lái trung bình có giá trị là 25.749^0 .

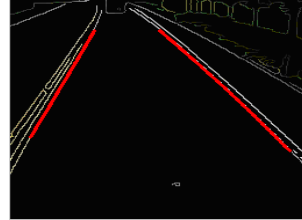
Trường hợp 1.4: Làn đường bên phải có dạng cong rất nhiều sang trái, làn đường bên phải và làn đường bên trái bị mất.



Kết quả mô phỏng như sau:
 $\alpha_l = 0^0$; $\alpha_r = -66.914^0 \Rightarrow \alpha_{Out} = -33.457^0$. Điều này cho biết từ vị trí này, ô tô sẽ quẹo sang trái với một góc lái tương đối lớn có giá trị 33.457^0 .

Trường hợp 2: $0 \leq P_{Vehicle} \leq W$ và $\alpha_{Vehicle} = 0^0$

Với trường hợp này, ô tô đang ở vị trí bất kỳ giữa hai làn đường, và góc lái hiện hành của ô tô là 0. Một số dạng của trường hợp này được mô phỏng với dạng làn đường như sau:



Trường hợp 2.1: $P_{Vehicle} = \frac{1}{4}W$

$$\Rightarrow \alpha_{Out} = 6.346^0$$

Kết quả mô phỏng cho thấy rằng ô tô cần thay đổi chuyển động một ít sang phải từ vị trí hiện tại. Kết quả này cũng rất phù hợp vì vị trí hiện hành của ô tô là ở gần làn đường giới hạn trái và làn đường chỉ cong sang trái một ít.

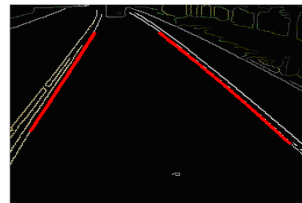
Trường hợp 2.2: $\frac{3}{4}W < P_{Vehicle} < W$

$$\Rightarrow \alpha_{Out} = -30.266^0$$

Kết quả mô phỏng cho thấy rằng ô tô cần thay đổi chuyển động sang trái với một góc lái lớn từ vị trí hiện tại. Kết quả này cũng rất phù hợp vì vị trí hiện hành của ô tô là ở gần làn đường giới hạn phải và làn đường lại cong sang trái một ít.

Trường hợp 3: $0 \leq P_{Vehicle} \leq W$ và $\alpha_{Vehicle} \neq 0^0$

Ở trường hợp này, ô tô được xét đang ở vị trí bất kỳ giữa hai làn đường, và góc lái hiện hành của ô tô là khác 0. Một số dạng của trường hợp này được mô phỏng với dạng làn đường sau:



Trường hợp 3.1: $P_{Vehicle} = \frac{1}{2}W, \alpha_{Vehicle} = 10^0$

$$\Rightarrow \alpha_{Out} = -20.883^0$$

Kết quả mô phỏng cho thấy rằng ô tô cần thay đổi chuyển động sang trái từ vị trí hiện tại với góc lái tương đối có độ lớn là 20.883^0 .

$$\text{Trường hợp 3.2: } P_{Vehicle} = \frac{W}{4}, \alpha_{Vehicle} = -30.5^{\circ}$$

$$\Rightarrow \alpha_{Out} = -6.154^{\circ}$$

Kết quả mô phỏng cho thấy rằng ô tô cần thay đổi chuyển động sang trái từ vị trí hiện tại với góc lái nhỏ có độ lớn là 6.154° .

6 KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

Bài báo đã đề xuất một giải thuật xử lý ảnh mới và đơn giản cho bài toán phát hiện, xây dựng làn đường và điều khiển góc lái cho ô tô tự hành có thể chuyển động trong phạm vi làn đường cho phép. Tốc độ xử lý của hệ thống là hơn 13 frames ảnh/giây. Mặc dù không có điều kiện thực hiện các hệ thống ô tô tự hành kết hợp sensor hoặc camera với bộ điều khiển fuzzy hay neural nhưng có thể khẳng định chắc chắn rằng hệ thống được đề xuất là đơn giản hơn và cho đáp ứng nhanh hơn các hệ thống kết hợp bộ điều khiển fuzzy hay neural. Lý do là vì thông tin nhận được qua các kỹ thuật xử lý ảnh đơn giản sẽ được hệ thống tính ra góc lái tức thời không cần thời gian chờ đợi đáp ứng của bộ điều khiển mà thông thường các bộ điều khiển đều cần có một thời gian trễ nhất định để phản hồi lại thông tin cho hệ thống (tối thiểu cũng xấp xỉ 0.1s). Các kết quả thử nghiệm chứng minh rằng phương pháp đề nghị là phù hợp cho việc điều khiển ô tô chuyển động chính xác trong giới hạn làn đường cho phép mà không cần sự can thiệp của con người. Một số điểm mạnh của hệ có thể được tóm tắt như sau:

- Phương pháp phát hiện làn đường có thể được áp dụng cho việc nhận dạng và xây dựng nhiều dạng làn đường khác nhau và có độ cong lớn dựa trên khái niệm vectơ-làn đường.

- Làn đường trái và phải được phát hiện và xây dựng tách biệt không giống như một số nghiên cứu đã có dựa trên giả thuyết 2 làn đường là đồng nhất.

- Kỹ thuật sử dụng vectơ-làn đường cho phép vượt qua các khó khăn về nhiễu trên ảnh để phát hiện đầy đủ các làn đường không liên tục, hoặc bị nhiễu do các đối tượng khác tạo ra.

- Ước lượng độ cong của các làn đường để cho phép điều khiển góc lái của ô tô chuyển động theo đúng giới hạn làn đường cho phép.

Trong thời gian tới, nếu điều kiện cho phép chúng tôi sẽ xây dựng mô hình ô tô tự hành và kiểm nghiệm giải thuật được đề nghị trong môi trường thực cũng như xây dựng giải thuật cho phép phát

hiện và tránh vật cản trên đường di chuyển của robot hay ô tô.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. M.Asif, M.R.Arshad, and P.A.Wilson, 2007. "AGV Guidance System: An Application of Simple Active Contour for Visual Tracking", Proceeding world academy of science engineering and technology, Vol. 6, No. 2, pp. 664 –667.
2. Yue Wang, Eam Khwang Teoh, Dinggang Shen, 2004. "Lane detection and tracking using Bsnake", Journal of Image and Vision Computing, Vol. 22, No. 1, pp. 269–280.
3. Jiang Ruyi, Klette Reinhard, Vaudrey Tobi, Wang Shigang, 2011. "Lane detection and tracking using a new lane model and distance transform", Journal of Machine Vision and Application, Vol. 22, No. 4, pp. 721–737.
4. Mohamed Aly, 2008. "Real time Detection of Lane Markers in Urban Streets", International Conference on Intelligent Vehicles Symposium, pp.7-12.
5. Hodge, N. E., Shi, L. Z., Trabia, M. B., 2004. "A distributed Fuzzy Logic Controller for an Autonomous Vehicle. Journal of Robotic and Systems, Vol. 21, No.10, 499-516.
6. Castro, A. P. A., da Silva, J. D. S., Simoni, P. O., 2001. "Image based Autonomous Navigation with Fuzzy Logic Control". Proceeding on IEEE International conference on Neural Network, pp.2200-2205.
7. Ryooy, Y. J., Lim, Y. C., 1999. "Neuro-Fuzzy Control system for Vision-Based Autonomous Vehicle", Proceeding on IEEE International conference on Fuzzy system, pp.1643-1648.
8. Lu, H. E., Wang, P. S. P., 1986. "A Comment on "a Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns", Journal of Communication of the ACM, Vol. 29, No. 6, pp. 239-242.
9. Chihab, N., Zergainoh, A., Astruc, J.-P., 2003. "Generalized non-uniform B-spline functions for discrete signal interpolation", Proceeding on IEEE International symposium on Signal processing and its applications, pp.129-132.
10. http://vasc.ri.cmu.edu/idb/html/road/may30_90/index.html.