ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

ĐỒ ÁN MÔN HỌC THIẾT KẾ LUẬN LÝ (CO3091)

BÁO CÁO GIAI ĐOẠN 1

Lớp L08 - Nhóm 3 - HK221

Giảng viên hướng dẫn: Huỳnh Phúc Nghị

STT	Sinh viên thực hiện	Mã số sinh viên
1	Phạm Duy Quang	2011899
2	Hà Vĩnh Nguyên	2011698
3	Đỗ Thành Minh	2011610
4	Phạm Đức Thắng	2012080

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 10 năm 2022

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

ĐỀ TÀI: ỨNG DỤNG PHÁT HIỆN VẠCH KẺ ĐƯỜNG, VẠCH KẺ Ô ĐỖ XE, VẠCH TRẮNG CHỈ ĐƯỜNG,... THÔNG QUA HÌNH ẢNH THU ĐƯỢC TỪ CAMERA

STT	Sinh viên thực hiện	Phân công
1	Phạm Duy Quang	Đề xuất giải thuật, hiện thực giải thuật trên phần mềm, kiểm thử, viết báo cáo về các bước giải thuật trên phần mềm và tổng hợp báo cáo
2	Hà Vĩnh Nguyên	Hỗ trợ, chỉnh sửa hiện thực, kiểm thử giải thuật trên phần mềm
3	Đỗ Thành Minh	Tìm hiểu giải thuật, viết tóm tắt giới thiệu lý thuyết của giải thuật
4	Phạm Đức Thắng	Hỗ trợ tìm hiểu, đề xuất, hiện thực giải thuật, viết báo cáo về giải thuật

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 10 năm 2022

MỤC LỤC

I. Báo cáo giai đoạn 1

Link Github về Project của nhóm 3: https://github.com/ULTIMATE-Mystery/Logic-Design-Project-Group-3-Semester-221-HCMUT.

1. Nội dung đã làm được trong giai đoạn vừa rồi là gì?

- Phân công, chọn các giải thuật cần thiết để hiện thực project.
- Tìm hiểu các lý thuyết cơ bản về giải thuật phát hiện cạnh/góc như:
  - Gaussian blur / Bilateral filter
  - Canny Edge Detection
  - Hough Line Transform
- Tìm hiểu, học hỏi các project có đề tài liên quan đến phát hiện vạch kẻ đường, vạch kẻ ô đỗ xe, vạch trắng chỉ đường,... thông qua hình ảnh thu được từ camera.
- Tìm hiểu, thảo luận các thiết bị phần cứng được đề xuất để hiện thực project.
- Trao đổi, thực nghiệm các giải thuật nêu trên để xử lý một số ảnh ví dụ từ đó rút ra sai sót và tiến hành chỉnh sửa.

2. Nội dung dự định làm trong giai đoạn tiếp theo là gì?

- Hoàn thiện thêm giải thuật của nhóm để loại bỏ những lỗi sai đang có.
- Từng bước xây dựng sơ đồ khối, hoàn thiện các khối xử lý từ đó tiến đến hiện thực phần cứng.
- Hiện thực phần cứng từ các thiết bị đã được bàn bạc và chọn lựa.
- Kiểm thử phần cứng và tiến hành chỉnh sửa.

3. Khó khăn nào gặp phải trong giai đoạn vừa rồi?

- Khó khăn về nội dung mới lạ, phức tạp của các giải thuật phát hiện cạnh/góc từ hình ảnh.
- Khó khăn trong việc bàn bạc, quyết định chọn lựa phần cứng để từ đó lựa chọn phương pháp, nền tảng hiện thực giải thuật.
- Khó khăn trong việc hiện thực, xây dựng các giải thuật trên phần mềm.

II. Nội dung báo cáo

1. Gaussian blur

1.1. Giới thiệu

Xử lý ảnh ở giai đoạn đầu giúp phân biệt các điểm nổi bật trong ảnh, có vai trò quan trọng trong việc đánh giá cấu trúc và đặc tính của các mục trong một cảnh. Cạnh là một trong những đặc tính đó, cũng thành phần quan trọng để đánh giá hình ảnh. Vì vậy trong đề tài này nhóm sử dụng thuật toán Gaussian blur làm mờ ảnh để loại bỏ nhiễu và tăng độ chính xác khi tìm cạnh.

1.2. Lý thuyết

Trong toán học, việc ứng dụng Gaussian Blur cho một hình cũng chính là tính tích chập (Convolution) hình đó với hàm Gaussian.

Vì phép biến đổi Fourier của một Gaussian là một Gaussian khác, việc áp dụng Gaussian blur có tác dụng làm giảm các thành phần tần số cao của hình ảnh.

Công thức của hàm Gaussian một chiều:

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

Trong hai chiều, nó là tích của hai hàm Gaussian như vậy, một trong mỗi chiều:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

Trong đó x là khoảng cách từ điểm gốc theo trục hoành, y là khoảng cách từ điểm gốc theo trục tung và σ là độ lệch chuẩn của phân bố Gauss. Điểm gốc nằm ở tâm (0, 0). Khi được áp dụng trong hai chiều, công thức này tạo ra một bề mặt có các đường bao là các vòng tròn đồng tâm với phân bố Gauss từ tâm điểm.

Các giá trị từ phân phối này được sử dụng để xây dựng một ma trận tích chập được áp dụng cho hình ảnh ban đầu. Giá trị mới của mỗi pixel được đặt thành giá trị trung bình trọng số của vùng lân cận pixel đó. Trọng số của sự phụ thuộc được lấy theo hàm Gauss (cũng được sử dụng trong quy luật phân phối chuẩn). Giá trị của pixel gốc nhận được trọng lượng nặng nhất (có giá trị Gaussian cao nhất) và các pixel lân cận nhận được trọng số nhỏ hơn khi khoảng cách của chúng đến pixel gốc tăng lên. Điều này dẫn

đến hiệu ứng làm mờ bảo toàn ranh giới và các cạnh tốt hơn các bộ lọc làm mờ khác, đồng nhất hơn.

1.3. Tính chất

Về lý thuyết, hàm Gaussian tại mọi điểm trên hình ảnh sẽ khác 0, có nghĩa là toàn bộ hình ảnh sẽ cần được đưa vào các phép tính cho mỗi pixel. Trong thực tế, khi tính toán xấp xỉ rời rạc của hàm Gaussian, các pixel ở khoảng cách lớn hơn 3 σ có ảnh hưởng đủ nhỏ để được coi là 0 một cách hiệu quả. Do đó, đóng góp từ các pixel bên ngoài phạm vi đó có thể bị bỏ qua. Thông thường, một chương trình xử lý ảnh chỉ cần tính toán một ma trận với các kích thước [6σ] x [6σ] ([...] là hàm trần) để đảm bảo một kết quả đủ gần với kết quả thu được của toàn bộ phân phối Gauss.

Ngoài tính chất đối xứng tròn, hiệu ứng mờ Gaussian có thể được áp dụng cho hình ảnh hai chiều dưới dạng hai phép tính một chiều độc lập, và vì vậy được gọi là bộ lọc tách biệt. Có nghĩa là, hiệu quả của việc áp dụng ma trận hai chiều cũng có thể đạt được bằng cách áp dụng một loạt các ma trận Gaussian đơn chiều theo hướng ngang, sau đó lặp lại quá trình theo hướng dọc. Theo thuật ngữ máy tính, đây là một thuộc tính hữu ích, vì phép tính có thể được thực hiện trong thời gian O (w_kernel * w_image * h_image) + O (h_kernel * w_image * h_image), thay vì O (w_kernel * h_kernel * w_image * h_image).

2. Canny Edge Detection

2.1. Ý tưởng

Được chia thành 4 bước:

- Chọn bộ lọc Gaussian để làm mịn hình ảnh (lấy đạo hàm của ảnh theo chiều ngang và dọc dựa trên phân phối Gaussian - Gaussian Smoothing).
- Tính toán cường độ và hướng của gradient hình ảnh (Calculation of the Image Gradient).
- Sử dụng thuật toán Loại bỏ các giá trị không phải cực đại để loại bỏ đi các bounding box dư thừa của cùng một đối tượng trong ảnh (Non-maximum Suppression of the Grad value).
- Sử dụng threshold để tạo loại bỏ cạnh giả, xác định cạnh thực sự (Image Threshold Setting and Edge Connection).

2.2. Lý thuyết

Gaussian Smoothing - giảm nhiễu:

Việc giảm nhiễu, làm mịn ảnh đầu vào là điều cần thiết, giúp giảm sự nhầm lẫn với biên ảnh, và do hầu hết hình ảnh từ máy chụp sẽ chứa lượng nhiễu ảnh nhất định. Bằng cách áp dụng bộ lọc Gauss. Nhân của bộ lọc Gauss với độ lệch chuẩn σ = 1,4 được thể hiện trong phương trình sau (ở đây ta sử dụng một bộ lọc 5 x 5):

$$S = \frac{1}{159} \cdot \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix}$$

Calculation of the Image Gradient - Tìm Gradient:

Hình ảnh được làm mịn sau đó được lọc bằng hạt nhân Sobel theo cả hướng ngang và dọc để có được đạo hàm đầu tiên theo hướng ngang (G_x) và hướng dọc (G_y). Từ hai hình ảnh này, chúng ta có thể tìm thấy độ dốc và hướng của cạnh cho mỗi pixel như sau:

$$Edge\ Gradient\ (G) = \sqrt{G_x^2 + G_Y^2}$$

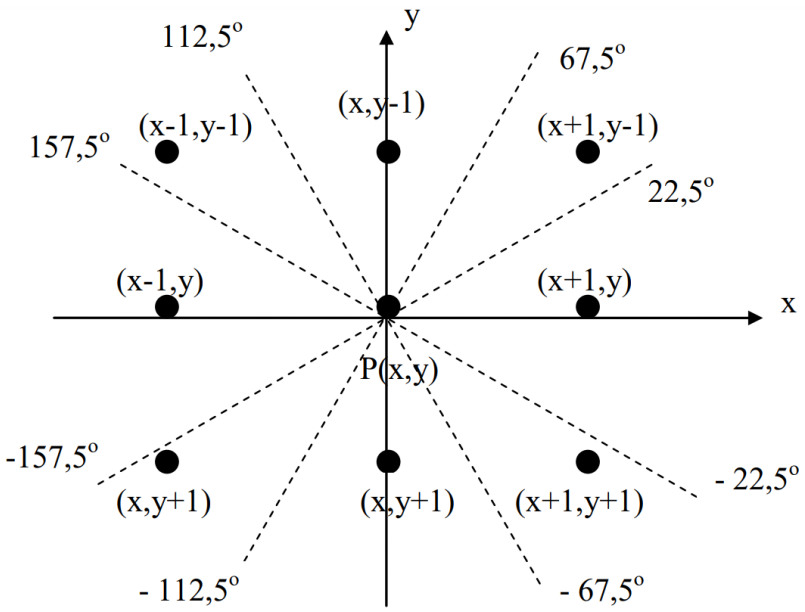
Trong đó G_x và G_y là gradient theo 2 hướng x và y tương ứng và hướng của biên θ như sau:

$$Angle\ (\theta) = \tan^{-1}\left(\frac{G_y}{G_x}\right)$$

Ảnh G tìm được là kết quả của quá trình này.

Non-maximum Suppression of the Grad value

Sau khi nhận được độ lớn và hướng của gradient, quá trình quét toàn bộ hình ảnh sẽ được thực hiện để loại bỏ bất kỳ pixel không mong muốn nào có thể không tạo thành cạnh. Đối với điều này, tại mỗi pixel, pixel được kiểm tra xem nó có phải là cực đại cục bộ trong vùng lân cận của nó theo hướng gradient hay không. Giả sử với điểm biên đang xét tại vị trí P (x, y), ta có 8 điểm biên lân cận điểm biên này:



Hình 2.1: Hình mô tả các điểm biên lân cận của P

Tại điểm biên đó ta tiến hành tính giá trị góc của hướng đường biên θ. Nếu hướng của đường biên $\theta \leq 22.5^o$ hoặc $\theta > 157.5^o$ thì đặt giá trị của $\theta = 0^o$, khi đó hai điểm biên lân cận điểm biên này tại vị trí (x-1, y) và (x+1, y).

Tương tự ta có kết quả hai điểm biên lân cận theo các hướng biên khác nhau như bảng dưới đây:

Giá trị θ	**Phương hướng**	**Điểm ảnh**
$\theta \leq 22,5^0$ hoặc $\theta > 157,5^0$	$\theta = 0^0$	(x − 1, y); (x + 1, y)
$22,5^0 < \theta \leq 67,5^0$	$\theta = 45^0$	(x − 1, y − 1); (x + 1, y + 1)
$67,5^0 < \theta \leq 112,5^0$	$\theta = 90^0$	(x − 1, y − 1); (x + 1, y − 1)
$112,5^0 < \theta \leq 157,5^0$	$\theta = 135^0$	(x, y + 1); (x, y − 1)

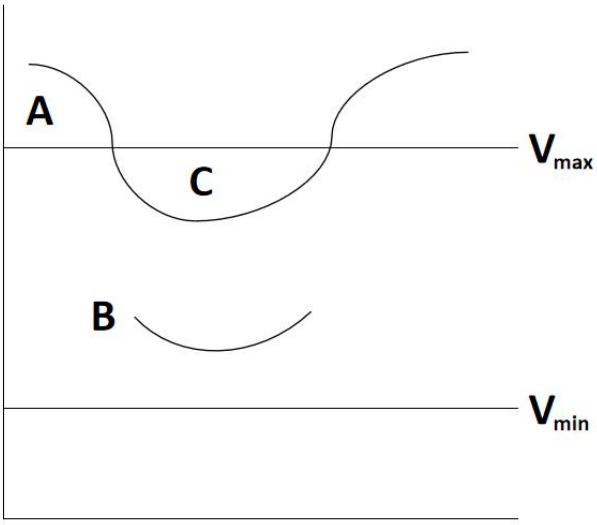
Nếu điểm ảnh P (x, y) có cường độ gradient lớn nhất trong ba điểm ảnh kiểm tra thì được giữ lại điểm biên này. Nếu một trong hai điểm ảnh khác có cường độ gradient cao hơn thì điểm ảnh P (x, y) này không có trong "trung tâm" của biên và không nên được phân loại như là một điểm biên (tức là loại đi – cho giá trị điểm này = 0).

Tóm lại, kết quả nhận được là một hình ảnh nhị phân với "các cạnh mỏng".

Image Threshold Setting and Edge Connection

Bước này sẽ quyết định một cạnh ta dự đoán ở các bước trên nó có phải là một cạnh thật sự hay không. Giá trị threshold ở đây có hai ngưỡng Vmax và Vmin.

Bất kỳ cạnh nào có gradient cường độ lớn hơn Vmax chắc chắn là cạnh và những cạnh dưới Vmin chắc chắn không phải là cạnh, do đó, bị loại bỏ. Những cạnh nằm giữa hai ngưỡng này được phân loại các cạnh hoặc không cạnh dựa trên khả năng kết nối của chúng. Nếu chúng được kết nối với các pixel một cách chắc chắn, chúng được coi là một phần của các cạnh. Nếu không, chúng cũng bị loại bỏ. Ta có ví dụ như hình bên dưới:



Hình 2.2: Ví dụ về strong edge (cạnh chắc chắn), weak edge (không là cạnh) và sự kết nối giữa chúng.

Ví dụ ở hình trên A nằm trên ngưỡng Vmax nên A chắc chắn là cạnh (strong edge). C nằm giữa ngường Vmax và Vmin nên C là cạnh yếu (weak edge) nhưng C kết nối với strong edge là A nên C cũng là một cạnh. Tuy nhiên B cũng nằm trong ngưỡng giống C nhưng không kết nối với cạnh nào chắc chắn là cạnh (strong edge) nên B được xem là nhiễu.

Vì vậy, những gì cuối cùng nhận được là các cạnh thực sự trong hình ảnh.

3. Hough Line Transform

3.1. Ý tưởng

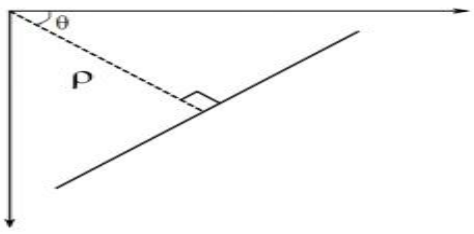
- Dựa trên kết quả phát hiện cạnh để tiến hành phát hiện đường thẳng. Giải thuật phát hiện cạnh thường được sử dụng cùng với Hough Line Transform là Canny Edge Detection.
- Trên mỗi pixel thuộc cạnh được phát hiện trong ảnh, lần lượt thử các phương trình đường thẳng đi qua pixel đó. Số phương trình đường thẳng được thử càng nhiều, ít bỏ lỡ đường thẳng có trong ảnh sẽ cho ra kết quả phát hiện đường thẳng càng tốt. Pixel cạnh đó sẽ cho thêm 1 giá trị vào ma trận thống kê.
- Duyệt hết tất cả các pixel cạnh, sau đó lọc theo một giá trị ngưỡng đã được xác định trước trên ma trận thống kê, từ đó xác định được các phương trình đường thẳng có trong ảnh.
- Sau khi xác định được các đường thẳng, cuối cùng sẽ vẽ các đường thẳng đó lên ảnh.

3.2. Lý thuyết

Hough Transform là một kỹ thuật phổ biến để phát hiện bất kỳ hình dạng nào, có thể biểu diễn hình dạng đó dưới dạng toán học. Nó có thể phát hiện hình dạng ngay cả khi nó bị hỏng hoặc bị bóp méo. Chúng ta sẽ xem nó hoạt động như thế nào đối với một đường thẳng bất kỳ.

Phương trình đường thẳng trong không gian ảnh

Phương trình đường thẳng được biểu diễn với dạng 2 tham số m, c như sau: $y = mx + c$; đối với dạng được biểu diễn trong hệ tọa độ cực: $\rho = x\cos\theta + y\sin\theta$, với ρ là khoảng cách vuông góc từ điểm gốc đến đường thẳng, θ là góc tạo bởi đường vuông góc này và trục hoành (góc được đo ngược chiều kim đồng hồ). Hình ảnh bên dưới thể hiện các thông số của đường thẳng dạng tham số:



Hình 3.1: Đường thẳng dạng tham số

Cách biểu diễn đường thẳng ở dạng tham số gây khó khăn cho việc sử dụng giải thuật Hough Transform, vì yêu cầu đầu vào của giải thuật này đòi hỏi các giá trị m, c phải nằm trong một khoảng xác định (bị chặn trên dưới), trong khi giá trị góc nghiêng m trải dài từ -∞ đến +∞.

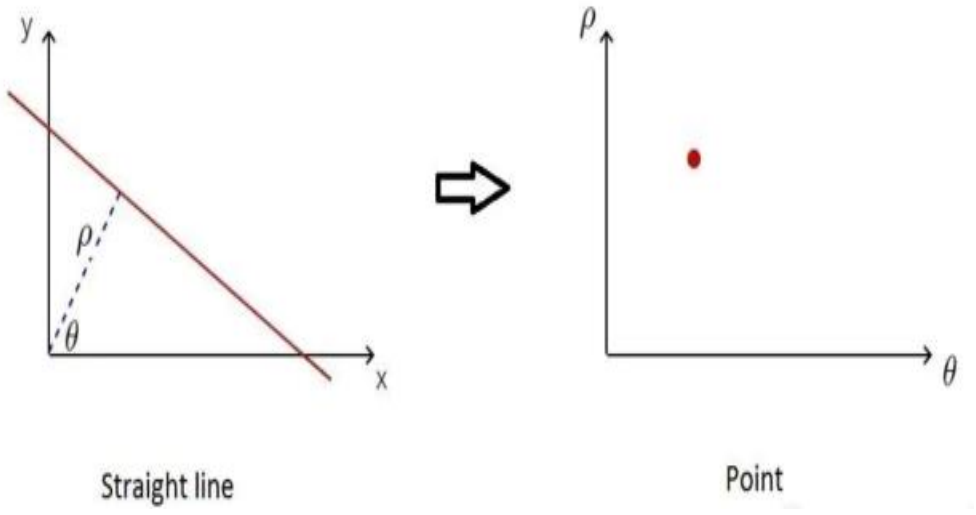
Trong phương trình hệ tọa độ cực, giá trị góc θ có thể được lấy chặn trong khoảng [0, π), dẫn tới giá trị ρ cũng bị chặn (do trên thực tế, không gian ảnh cũng là không gian hữu hạn).

Ngoài ra, phương trình trong hệ tọa độ cực có thể được viết lại như sau (tương đồng với dạng tham số):

$$y = -\frac{\cos\theta}{\sin\theta} \cdot x + \frac{r}{\sin\theta}$$

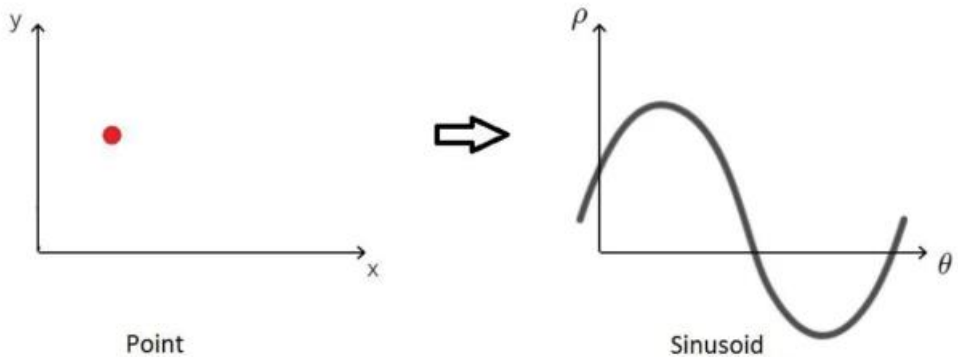
Mapping giữa không gian ảnh và không gian Hough

Với một đường thẳng trong không gian ảnh (kèm theo thông số ρ và θ), map sang không gian Hough sẽ chuyển thành một điểm:



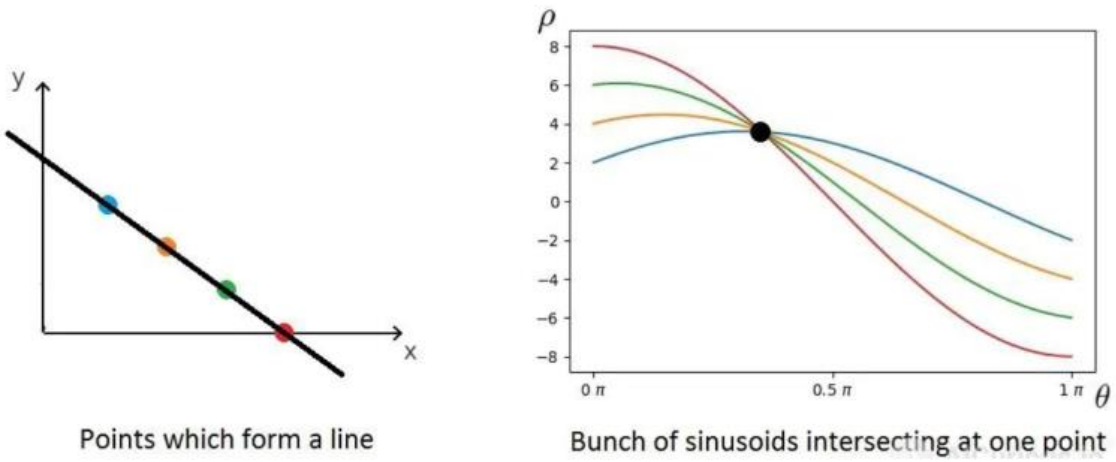
Hình 3.2: Mapping đường sang điểm giữa không gian ảnh và không gian Hough

Với một điểm trong không gian ảnh, map sang không gian Hough sẽ có được một hình sin:

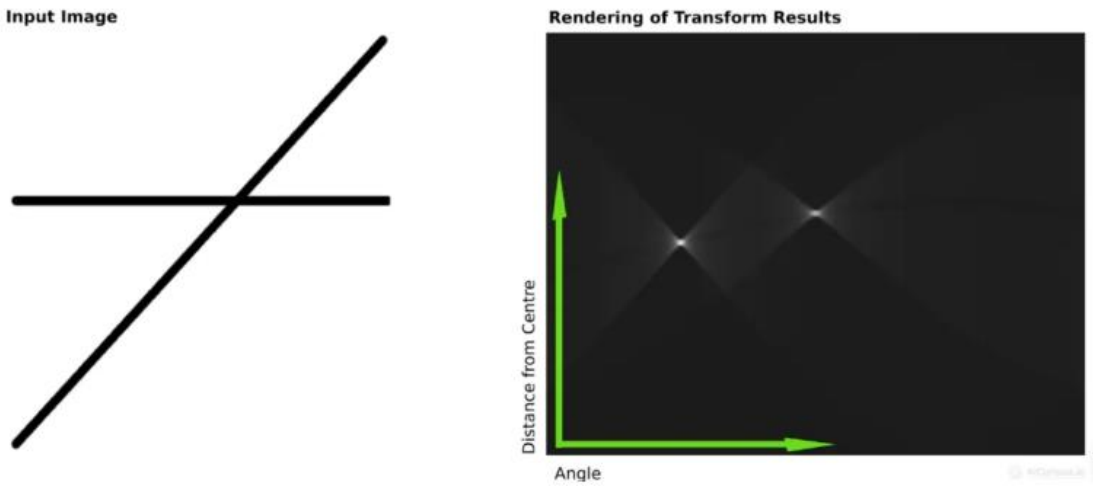


Hình 3.3: Mapping điểm sang đường sóng sin giữa không gian ảnh và không gian Hough

Thực chất, khi biểu diễn một đường thẳng, đường thẳng vốn là tập hợp của vô hạn các điểm nằm trên nó, mà một điểm trong không gian ảnh sẽ tương ứng là một hình sóng sin trong không gian Hough. Từ đó, tập hợp các điểm thuộc đường thẳng đang xét trong không gian ảnh sẽ cho ra tập hợp các đường sóng sin. Đặc biệt, các đường sóng sin đó sẽ có một điểm giao với nhau. Điểm giao này chính là dấu hiệu nhận biết tập hợp các điểm đang xét thuộc về một đường thẳng. Mỗi đường thẳng khác nhau sẽ tạo thành một điểm giao các đường sóng sin (hay còn gọi là điểm sáng) trong không gian Hough. Từ đó, xác định được đường thẳng trong không gian ảnh.



Hình 3.4: Mapping nhiều điểm thẳng hàng sang nhiều đường sóng sin giữa không gian ảnh và không gian Hough



Hình 3.5: Hai đường thẳng được chuyển thành hai điểm sáng trong không gian Hough

4. Thực nghiệm giải thuật trên phần mềm

4.1. Phân ngưỡng ảnh (threshold)

4.1.1. Các điểm ảnh cô lập có thể đại diện cho các vạch kẻ đường

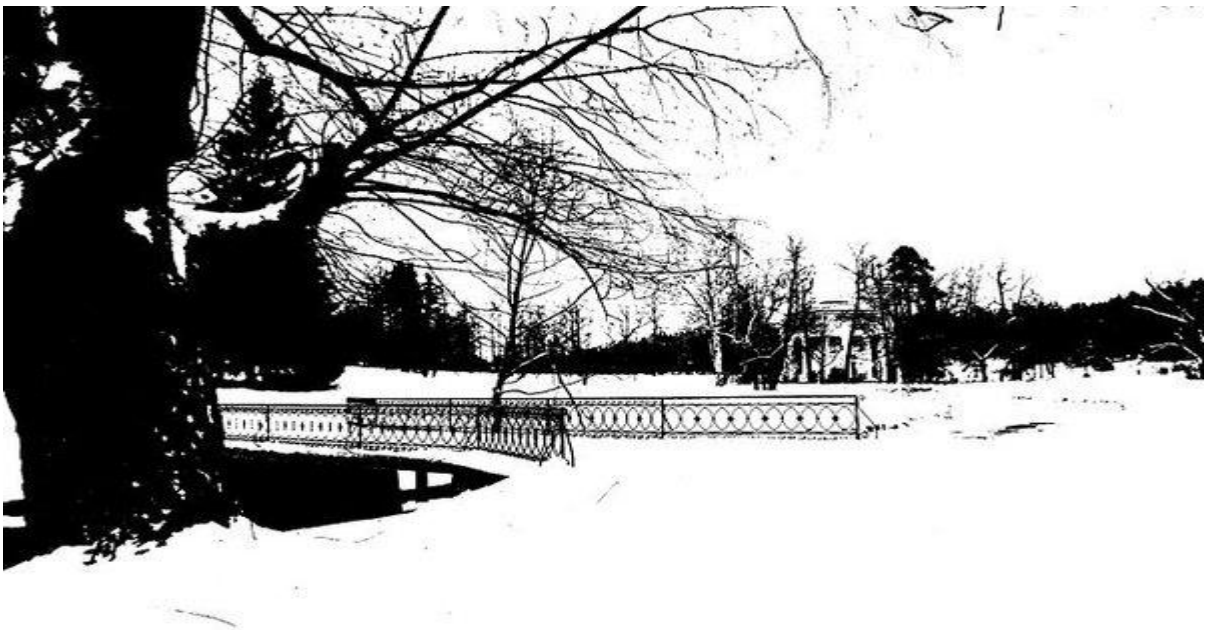
Trong xử lý hình ảnh kỹ thuật số, phân ngưỡng ảnh (thresholding) là phương pháp phân đoạn hình ảnh đơn giản nhất. Từ một hình ảnh thang độ xám, phân ngưỡng ảnh có thể được sử dụng để tạo hình ảnh nhị phân.

Ánh sáng chói từ mặt trời, bóng tối, đèn pha ô tô và những thay đổi của mặt đường đều có thể gây khó khăn cho việc tìm làn đường trong hình ảnh hoặc khung hình video.

Phần đầu tiên của quy trình phát hiện làn đường là áp dụng phân ngưỡng ảnh cho mỗi khung hình video để ta có thể loại bỏ những thứ gây khó khăn cho việc phát hiện làn đường. Bằng cách áp dụng phân ngưỡng ảnh, chúng ta có thể cô lập các điểm ảnh (pixels) đại diện cho các làn đường.

Trước khi phân ngưỡng ảnh:

Sau khi phân ngưỡng ảnh:



4.1.2. Các bước phân ngưỡng ảnh

4.1.2.1. Chuyển đổi khung hình video từ không gian màu BGR (xanh lam, xanh lục, đỏ) sang HLS (sắc độ, độ bão hòa, độ đậm nhạt)

Có rất nhiều cách để thể hiện màu sắc trong hình ảnh. Nếu ta sử dụng chương trình như Microsoft Paint hoặc Adobe Photoshop, ta thấy rằng một cách để biểu thị màu là sử dụng không gian màu RGB (trong thư viện OpenCV, nó là BGR thay vì RGB), trong đó mỗi màu là hỗn hợp của ba màu sắc, đỏ, xanh lá cây và xanh lam.

Không gian màu HLS tốt hơn không gian màu BGR để phát hiện các vấn đề hình ảnh do ánh sáng: chẳng hạn như bóng đổ, ánh sáng chói từ mặt trời, đèn pha, v.v… Nhóm muốn loại bỏ tất cả những thứ này để giúp phát hiện các vạch làn đường dễ dàng hơn. Vì lý do này, nhóm sử dụng không gian màu HLS, chia tất cả các màu thành các giá trị sắc độ, độ bão hòa và độ đậm nhạt.

4.1.2.2. Thực hiện giải thuật Sobel edge detection trên kênh L (độ đậm nhạt) của hình ảnh để phát hiện sự gián đoạn rõ nét trong cường độ pixel dọc theo trục x và y của khung hình video

Những thay đổi rõ nét về cường độ từ một điểm ảnh sang điểm ảnh lân cận có nghĩa là một cạnh có thể xuất hiện. Nhóm muốn phát hiện các đường cạnh có cường độ mạnh nhất trong hình ảnh để có thể cô lập các cạnh có thể là làn đường.

4.1.2.3. Thực hiện phân ngưỡng nhị phân trên kênh S (bão hòa) của khung hình video

Giá trị độ bão hòa cao có nghĩa là màu sắc rõ ràng. Các đường phân làn thường có màu sắc sáng, rõ ràng, chẳng hạn như màu trắng và màu vàng. Cả màu trắng và màu vàng đều có giá trị kênh bão hòa cao.

Ngưỡng nhị phân tạo ra một hình ảnh có đầy đủ các giá trị cường độ từ 0 (đen) đến 255 (trắng). Các điểm ảnh có giá trị bão hòa cao (ví dụ: > 80 trên thang giá trị từ 0 đến 255) sẽ được đặt thành màu trắng, trong khi mọi thứ khác sẽ được đặt thành màu đen.

4.1.2.4. Thực hiện phân ngưỡng nhị phân trên kênh R (sắc độ) của khung hình video BGR ban đầu

Bước này giúp trích xuất các giá trị màu vàng và trắng, là màu đặc trưng của đường phân làn. Màu trắng thuần là bgr (255, 255, 255). Màu vàng thuần là bgr (0, 255, 255). Cả hai đều có giá trị kênh sắc độ cao.

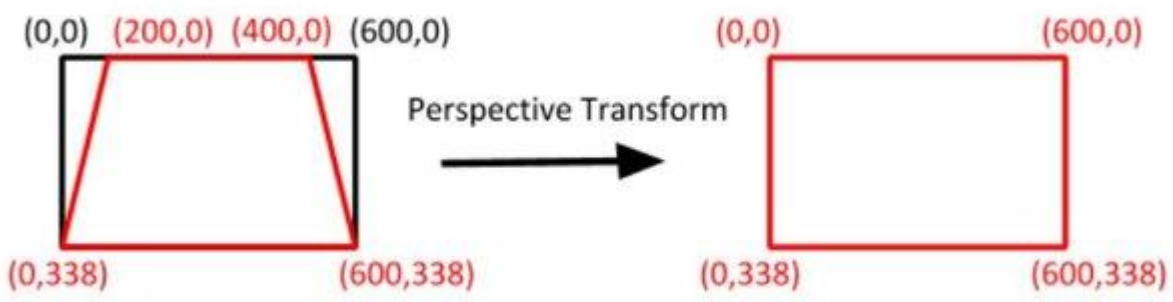
Để tạo hình ảnh nhị phân giai đoạn này, các điểm ảnh có giá trị kênh R cao (ví dụ: > 120 trên thang giá trị từ 0 đến 255) sẽ được đặt thành màu trắng. Tất cả các điểm ảnh khác sẽ được đặt thành màu đen.

4.1.2.5. Thực hiện thao tác bitwise AND để giảm nhiễu trong ảnh do bóng đổ và các biến thể của màu khi xe chạy trên đường

Đường phân làn phải có màu thuần và có giá trị kênh R (sắc độ) cao. Thao tác bitwise AND giúp giảm nhiễu và bôi đen bất kỳ điểm ảnh nào có vẻ không rõ ràng, thuần và đồng nhất.

Phương thức **get_line_markings (self, frame = None)** trong **lane.py** thực hiện tất cả các bước mà nhóm đã đề cập ở trên.

4.2. Cách thức hoạt động của quá trình chuyển đổi phối cảnh

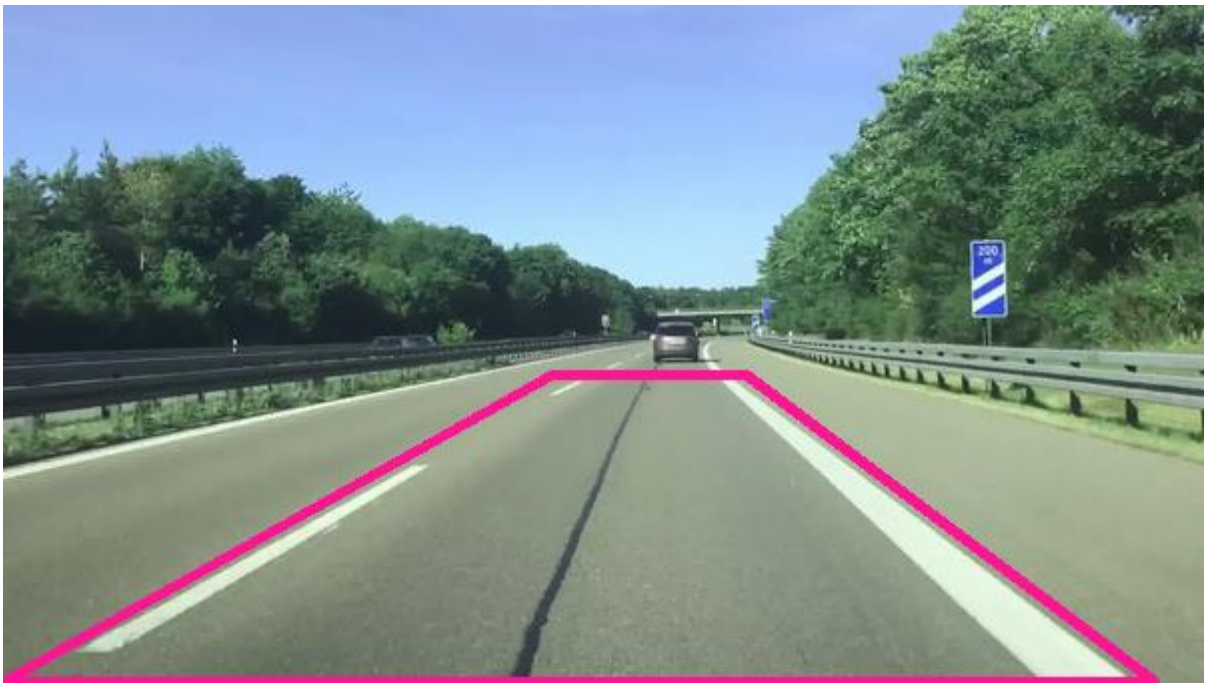


Thư viện OpenCV có các phương pháp giúp chúng ta thực hiện chuyển đổi phối cảnh (tức là biến đổi xạ ảnh hoặc hình học xạ ảnh). Các phương pháp này làm cong góc nhìn của máy ảnh thành chế độ xem góc nhìn cao (tức là chế độ xem từ trên cao nhìn xuống).

Đối với bước đầu tiên của chuyển đổi phối cảnh, chúng ta cần xác định khu vực quan tâm (ROI – Region of Interest). Bước này giúp xóa các phần của hình ảnh mà chúng ta không quan tâm. Chúng ta chỉ quan tâm đến đoạn làn đường ngay phía trước ô tô.

Đoạn code sau sẽ hiện thực nó:

```
lane_obj.plot_roi(plot=True)
```



Ta có thể thấy rằng khu vực ROI là hình thang với bốn góc riêng biệt.

Bây giờ chúng ta đã có khu vực quan tâm (ROI), ta sử dụng các phương pháp **getPerspectiveTransform** và **warpPerspective** của OpenCV để chuyển đổi phối cảnh giống hình thang thành một phối cảnh giống như hình chữ nhật.

```
warped_frame = lane_obj.perspective_transform(plot=True)
```

Đây là một ví dụ về hình ảnh sau quá trình này. Ta có thể thấy phối cảnh bây giờ như thế nào từ chế độ xem góc nhìn cao. Các đường trong khu vực quan tâm hiện song

song với các cạnh của hình ảnh, giúp tính toán độ cong của đường và làn đường dễ dàng hơn.

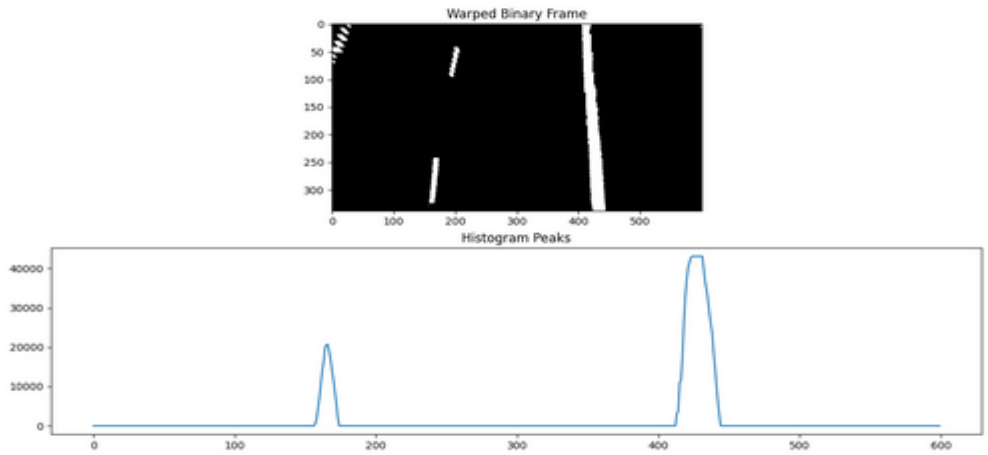
4.3. Xác định các điểm ảnh làn đường

Bây giờ chúng ta cần xác định các điểm ảnh trên hình ảnh bị cong vênh tạo nên các làn đường. Nhìn vào hình ảnh bị cong vênh, chúng ta có thể thấy rằng các điểm ảnh màu trắng đại diện cho các phần của các làn đường.

Chúng ta bắt đầu phát hiện các điểm ảnh làn đường bằng cách tạo biểu đồ để xác định vị trí các khu vực của hình ảnh có cường độ các điểm ảnh màu trắng cao.

Lý tưởng nhất là khi chúng ta vẽ biểu đồ, chúng ta sẽ có hai đỉnh. Sẽ có một đỉnh bên trái và một đỉnh bên phải, tương ứng với vạch của làn đường bên trái và vạch của làn đường bên phải.

```
histogram = lane_obj.calculate_histogram(plot=True)
```

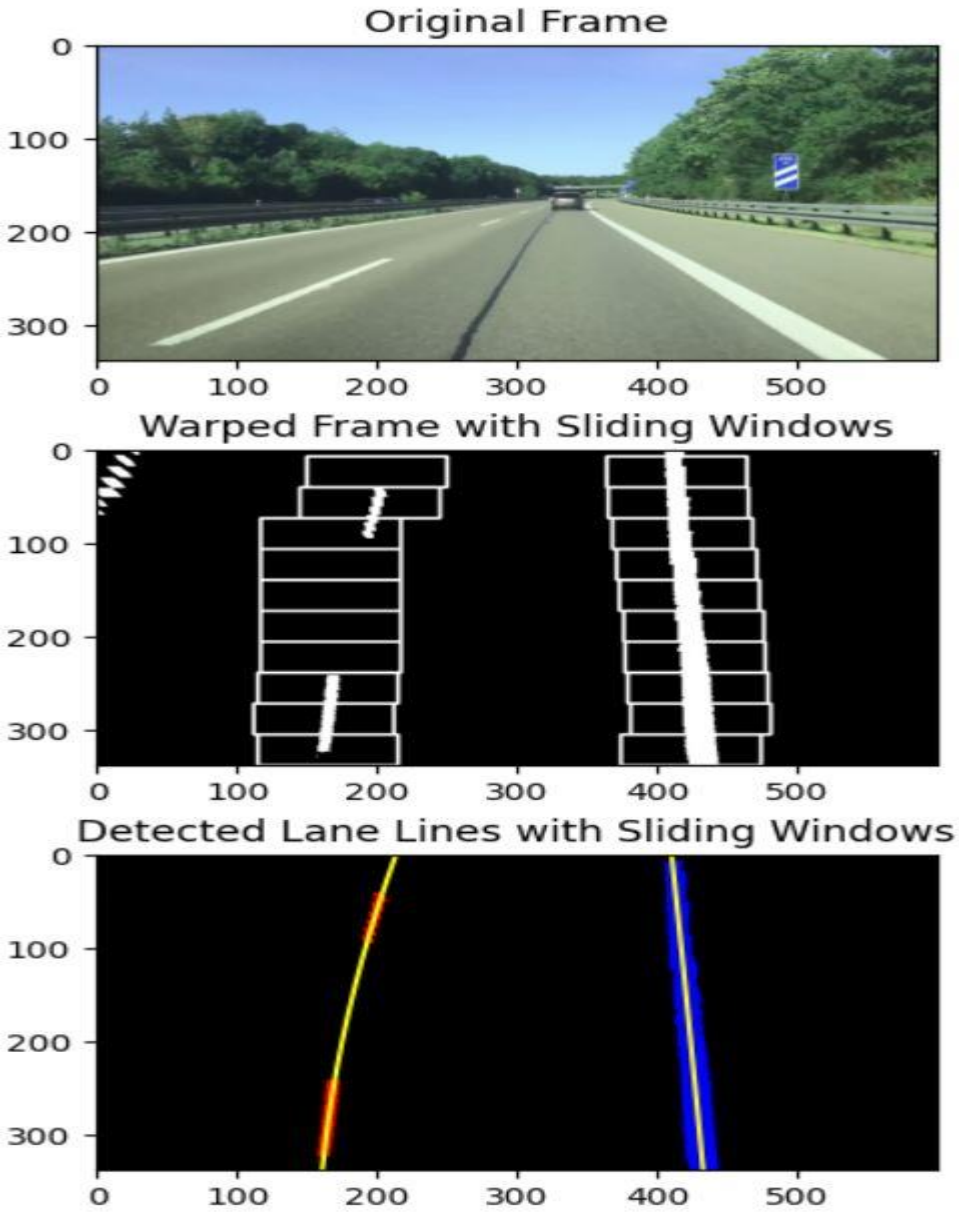


4.4. Kỹ thuật cửa sổ trượt (Sliding Windows) để phát hiện điểm ảnh trắng

Bước tiếp theo là sử dụng kỹ thuật cửa sổ trượt (Sliding Windows), nơi chúng ta bắt đầu ở dưới cùng của hình ảnh và quét tất cả lên trên cùng của hình ảnh. Mỗi lần chúng ta tìm kiếm trong cửa sổ trượt, chúng ta thêm các điểm ảnh có thể là làn đường vào danh sách. Nếu chúng ta có đủ các điểm ảnh làn đường trong một cửa sổ, thì vị trí trung bình của những điểm ảnh này sẽ trở thành tâm của cửa sổ trượt tiếp theo.

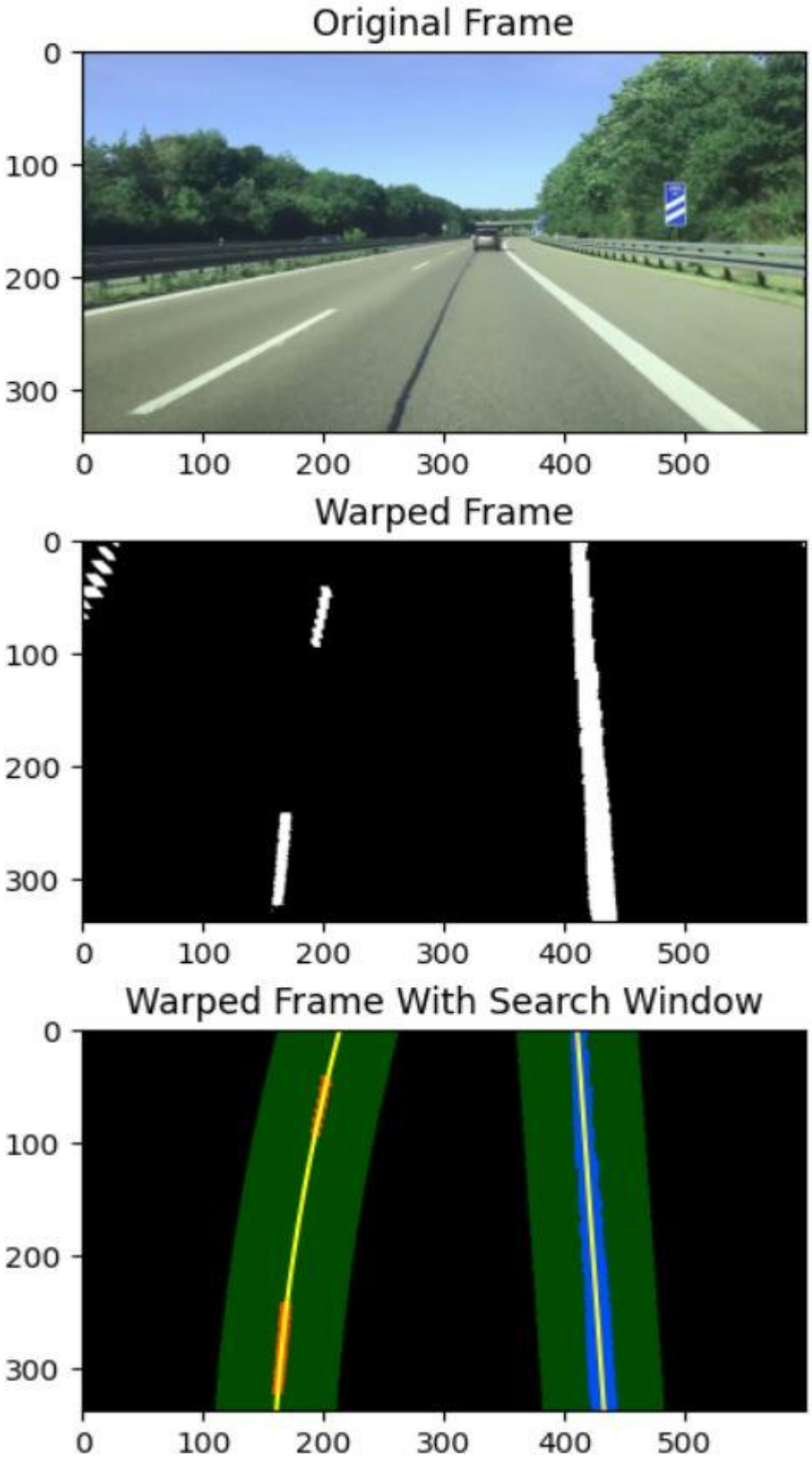
Khi chúng ta đã xác định được các điểm ảnh tương ứng với các đường làn bên trái và bên phải, chúng ta vẽ một đường đa thức phù hợp nhất qua các điểm ảnh. Đường này thể hiện ước tính tốt nhất của nhóm về các làn đường.

```
left_fit, right_fit = lane_obj.get_lane_line_indices_sliding_windows(plot=True)
```



4.5. Phát hiện vạch kẻ đường

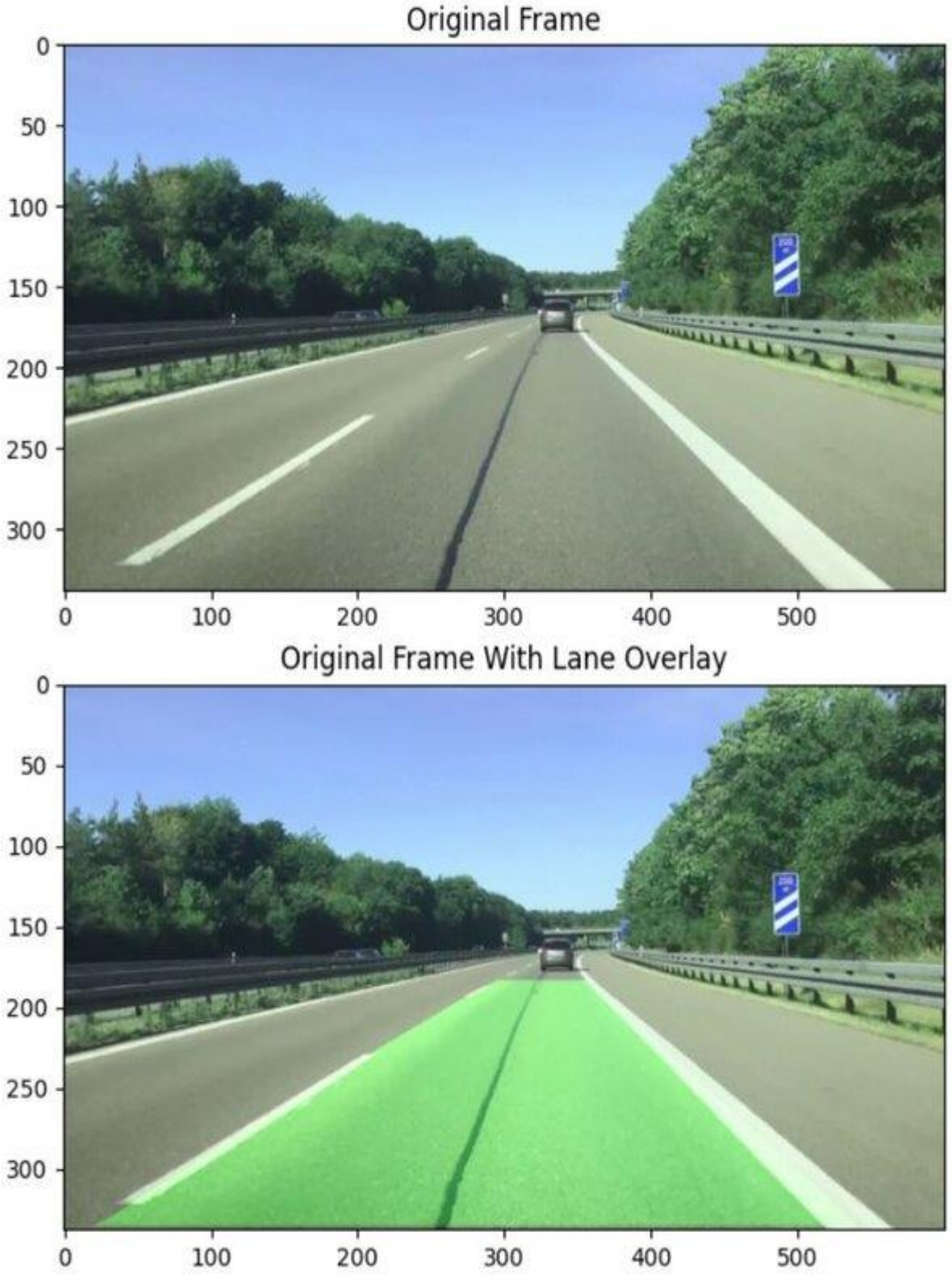
```
lane_obj.get_lane_line_previous_window(left_fit, right_fit, plot=True)
```



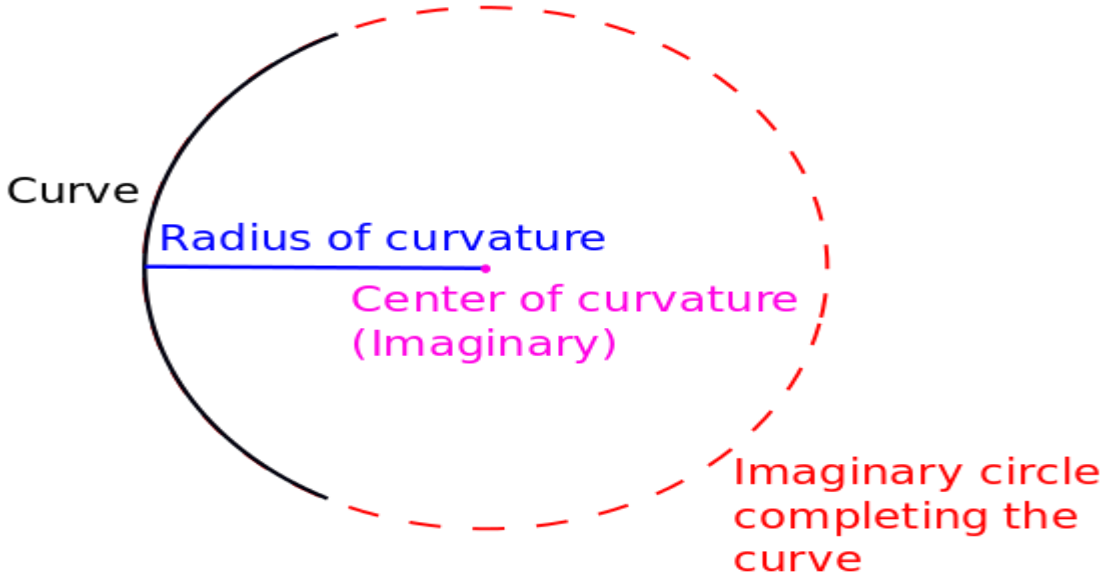
4.6. Lớp phủ màu làn đường đang đi trên hình ảnh gốc

Chúng ta đã xác định được các vạch làn đường, giờ chúng ta cần phủ lớp màu lên làn đường đang đi từ hình ảnh gốc ban đầu.

```
frame_with_lane_lines = lane_obj.overlay_lane_lines(plot=True)
```



4.7. Tính toán độ cong làn đường




```
lane_obj.calculate_curvature(print_to_terminal=True)
```

Đây là kết quả tính toán độ cong làn đường. Ta có thể thấy bán kính cong từ các đường làn bên trái và bên phải:

```
40.31949794887235 m 3772.427228241085 m
```

4.8. Tính độ lệch tâm

Chúng ta cần tính toán xem trọng tâm của chiếc xe cách chính giữa làn đường bao xa (tức là tính toán "Độ lệch của đường tâm").

```
lane_obj.calculate_car_position(print_to_terminal=True)
```

Đây là kết quả đầu ra. Ta có thể thấy độ lệch tâm tính bằng cen-ti-mét:

```
1.435914726167449cm
```

4.9. Hiển thị kết quả cuối cùng

Chúng ta sẽ hiển thị kết quả cuối cùng với các chú thích về độ cong và độ lệch cũng như làn đường đã được đánh dấu khi xe đang chạy trên làn đường đó.

```
frame_with_lane_lines2 =
lane_obj.display_curvature_offset(frame=frame_with_lane_lines, plot=True)
```

Chạy chương trình **lane.py**:

```
python lane.py
```

Kết quả cuối cùng:

Ta nhận thấy rằng bán kính đường cong là giá trị trung bình của bán kính cong cho các làn đường bên trái và làn đường bên phải.

III. Tài liệu tham khảo

1. OpenCV | Real Time Road Lane Detection: https://www.geeksforgeeks.org/opencv-real-time-road-lane-detection.
2. Edge Detection with Gaussian Blur: https://www.projectrhea.org/rhea/index.php/Edge_Detection_with_Gaussian_Blur.
3. OpenCV - Image Thresholding: https://docs.opencv.org/5.x/d7/d4d/tutorial_py_thresholding.html.
4. OpenCV - Canny Edge Detection: https://docs.opencv.org/5.x/da/d22/tutorial_py_canny.html.
5. OpenCV - Hough Line Transform: https://docs.opencv.org/5.x/d3/de6/tutorial_js_houghlines.html.