MỤC LỤC

Lời cảm ơn 4

Phần mở đầu 5

Chương 1: TỔNG QUAN VỀ XỬ LÝ ẢNH VÀ BÀI TOÁN ĐỐI SÁNH ẢNH. 6

1.1. Khái quát về xử lý ảnh 6

1.1.1. Xử lý ảnh là gì? 6

1.1.2. Một số vấn đề cơ bản trong xử lý ảnh. 7

1.1.2.1. Điểm ảnh và ảnh. 7

1.1.2.2. Độ phân giải của ảnh. 7

1.1.2.3 Mức xám của ảnh. 7

1.1.2.4. Trích chọn đặc điểm. 7

1.2. Bài toán đối sánh ảnh 8

1.2.1 Giới thiệu bài toán đối sánh ảnh 8

1.2.2. Cách tiếp cận bài toán đối sánh ảnh 8

Chương 2: MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP TRÍCH CHỌN ĐẶC TRƯNG DỰA VÀO HÌNH DẠNG 10

2.1. Phân ngưỡng và trừ ảnh 10

2.1.1. Phân ngưỡng 10

2.1.2. Trừ ảnh 10

2.2. Đối sánh mẫu 11

2.2.1. Định nghĩa 11

2.2.2. Thực hiện biến đổi Fourier 17

2.2.3. Thảo luận về các đối sánh mẫu 19

2.3. Biến đổi Hough (HT – Hough transform) 20

2.3.1 Tổng quan về biến đổi Hough 20

2.3.2. Biến đổi Hough cho đường thẳng 20

2.3.3. Biến đổi Hough cho hình tròn 24

2.3.4. Biến đổi Hough cho ellipse 28

2.3.5. Tham số phân hủy không gian 30

2.3.5.1. Giảm không gian tham số cho đường thẳng 30

2.3.5.2. Giảm không gian tham số cho hình tròn.....31
2.3.5.3. Giảm không gian tham số cho hình elip 36
2.4. Biến đổi Hough tổng quát (GHT – Generalised Hough transform) 38
2.4.1. Định nghĩa chính thức của GHT 39
2.4.2. Định nghĩa cực.....41
2.4.3. Kỹ thuật biến đổi hough tổng quát.....41
2.4.4.Biến đổi Hough tổng quát bất biến.....44
2.5. Phần mở rộng khác với HT.....48
Chương 3: CHƯƠNG TRÌNH THỬ NGHIỆM..... 49
3.1. Bài toán 49
3.2. Phân tích, thiết kế chương trình.....49
3.3. Một số kết quả chương trình. 50
Phần kết luận.....53
Tài liệu tham khảo 54

DANH MỤC HÌNH

Hình 1.1 Quá trình xử lý ảnh

Hình 1.2 Các bước cơ bản trong 1hệ thống xử lý ảnh

Hình 2.1 Trích chọn hình dạng của phép trừ và phân ngưỡng

Hình 2.2 Minh họa đối sánh mẫu

Hình 2.3 Ví dụ về nhị phân và đối sánh mẫu cạnh

Hình 2.4 Mảng tích lũy từ đối sánh mẫu

Hình 2.5 Đối sánh mẫu bởi biến đổi Fourier

Hình 2.6 Minh họa các Hough chuyển đổi cho đường thẳng

Hình 2.7 Áp dụng các biến đổi Hough cho đường thẳng

Hình 2.9 Minh họa biến đổi Hough cho hình tròn

Hình 2.10 Áp dụng các biến đổi Hough cho hình tròn

Hình 2.11 Bằng cách sử dụng HT cho vòng tròn

Hình 2.12 Sự xác định của trục elip

Hình 2.13 Áp dụng các biến đổi Hough cho elip

Hình 2.14 Sự xác định của các đạo hàm bậc nhất và đạo hàm bậc hai cho một hình tròn

Hình 2.15 Hình học của các góc của đạo hàm bậc nhất và đạo hàm bậc hai

Hình 2.16 Giảm không gian tham số cho biến đổi Hough cho hình tròn

Hình 2.17 Hình học của các góc của đạo hàm bậc nhất và đạo hàm bậc hai

Hình 2.18 Hình học của GHT

Hình 2.19 Ví dụ của GHT

Hình 2.20 Hình học của GHT bất biến

Hình 2.21 Áp dụng các GHT bất biến

Hình 3.1 Giao diện chính của chương trình

Hình 3.2 Hình ảnh đầu vào

Hình 3.3 Kết quả phép tìm biên

Hình 3.4 Kết quả phép biến đổi hough cho đường thẳng.

Hình 3.5 Kết quả phép biến đổi hough cho hình tròn.

Lời cảm ơn

Trước hết em xin bày tỏ lòng biết ơn tới giáo viên hướng dẫn phó giáo sư tiến sĩ Ngô Quốc Tạo là trưởng phòng nhận dạng và công nghệ tri thức, Viện công nghệ thông tin, Viện hàm lâm khoa học và công nghệ Việt Nam đã tận tình giúp đỡ em rất nhiều trong suốt quá trình tìm hiểu nghiên cứu và hoàn thành báo cáo tốt nghiệp.

Em xin cảm ơn các thầy cô trong khoa công nghệ thông tin trường Đại học Dân Lập Hải Phòng đã trang bị cho em những kiến thức cần thiết để em có thể hoàn thành báo cáo tốt nghiệp và đã tạo điều kiện thuận lợi cho em trong suốt quá trình học tập tại trường.

Cuối cùng em xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới những người thân trong gia đình, bạn bè đã giành cho em sự quan tâm sâu sắc và động viên em trong quá trình học tập. Vì thời gian có hạn, trình độ hiểu biết của bản thân còn nhiều hạn chế.Cho nên trong dồ án không tránh khỏi những thiếu sót. Em rất mong nhận được sự đóng góp ý kiến của các thầy cô và bạn bè để đồ án của em được hoàn thiện hơn.

Em xin chân thành cảm ơn!

Hải Phòng, ngày…28..tháng…6..năm 2013

Sinh viên

Lê Thị Hân

Phần mở đầu

Xử lý ảnh là một lĩnh vực mang tính khoa học và công nghệ. Nó là một trong những chuyên ngành quan trọng của công nghệ thông tin hiện nay được áp dụng trong những lĩnh vực khác nhau như: y học, toán học, tìm kiếm tội phạm và nhiều lĩnh vực khoa học khác….

Các phương pháp xử lý ảnh bắt đầu từ các ứng dụng chính là nâng cao chất lượng ảnh và phân tích ảnh. Các phương pháp xử lý ảnh trong tìm kiếm hình dạng trong hình ảnh máy tính để có thể tự động nhận dạng khuôn mặt đang được áp dụng phổ biến trong quốc phòng an ninh. Để có thể đối sánh được hình dạng thì phải trích trọn được các đặc trưng bất biến của hình dạng. Chính vì vậy mà em lựa chọn đề tài " Tìm hiểu phương pháp trích chọn bằng đối sánh ảnh" để tìm hiểu các phương pháp trích chọn đặc trưng bất biến của ảnh, các đường thẳng Hough, Hough tổng quát và mở rộng.

Nội dung đồ án bao gồm 3 chương:

Chương 1: Tổng quan về xử lý ảnh và bài toán đối sánh ảnh: chương này thể hiện khái quát về xử lý ảnh, các khái niệm liên quan đến xử lý ảnh, giới thiệu bài toán đối sánh và cách tiếp cận.

Chương 2: Một số kỹ thuật trích trọn đặc trưng dựa vào hình dạng: Chương này thể hiện một số kỹ thuật trích chọn đặc trưng như: Đối sánh mẫu, phân ngưỡng và trừ ảnh, biến đổi Hough, Hough tổng quát và mở rộng.

Chương 3: Chương trình thử nghiệm và kết quả

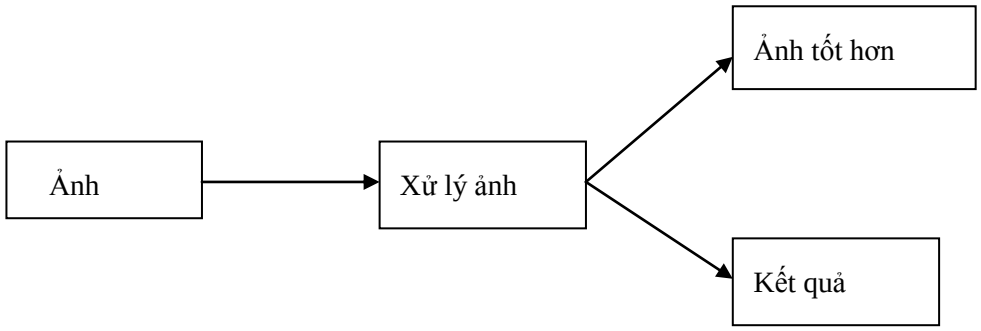
cuối cùng là phần kết luận.

Chương 1: TỔNG QUAN VỀ XỬ LÝ ẢNH VÀ BÀI TOÁN ĐỐI SÁNH ẢNH.

1.1. Khái quát về xử lý ảnh

1.1.1. Xử lý ảnh là gì?

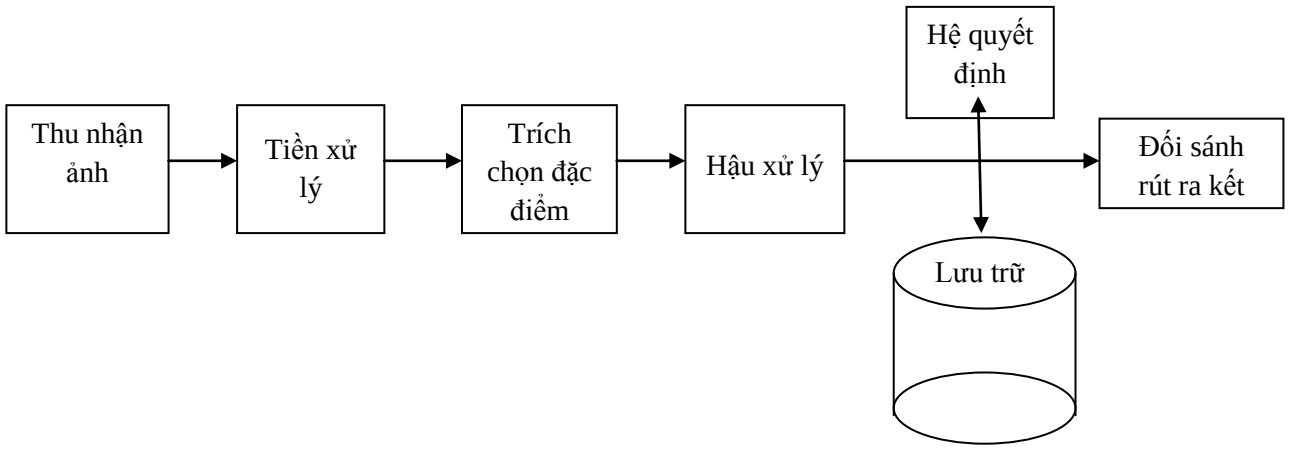
Xử lý ảnh là một loạt các thao tác và phân tích ảnh bằng máy tính nhằm cải thiện chất lượng ảnh cho tốt hơn và xử lý dữ liệu tự động trên máy. Quá trình này được xem như là thao tác ảnh đầu vào nhằm cho ra kết quả mong muốn. Kết quả đầu ra của quá trình sẽ là một ảnh tốt hơn hoặc một kết luận.



Hình 1.1: Quá trình xử lý ảnh

Ảnh có thể xem là tập hợp các điểm ảnh và mỗi điểm ảnh được xem như là đặc trưng cường độ sáng hay một dấu hiệu nào đó tại một vị trí nào đó của tượng trong không gian và nó có thể xem như một hàm n biến P(c1, c2, c3,..., cn). Do đó, ảnh trong xử lý ảnh có thể xem như ảnh n chiều.

Sơ đồ tổng quát của một hệ thống xử lý ảnh:



Hình 1.2: Các bước cơ bản trong 1 hệ thống xử lý ảnh

1.1.2. Một số vấn đề cơ bản trong xử lý ảnh.

1.1.2.1. Điểm ảnh và ảnh.

Gốc của ảnh là ảnh liên tục về không gian và độ sáng. Để xử lý bằng máy tính,ảnh cần phải được số hoá. Số hoá ảnh là sự biến đổi gần đúng một ảnh liên tục thành một tập điểm phù hợp với ảnh thật về vị trí (không gian) và độ sáng (mức xám). Khoảng cách giữa các điểm ảnh đó được thiết lập sao cho mắt người không phân biệt được ranh giới giữa chúng. Mỗi một điểm như vậy gọi là điểm ảnh (PEL:Picture Element) hay gọi tắt là Pixel. Trong khuôn khổ ảnh hai chiều, mỗi pixel ứng với cặp tọa độ (x, y).

Điểm ảnh (Pixel) là một phần tử của ảnh số tại toạ độ (x, y) với độ xám hoặc màu nhất định.

Ảnh là tập hợp của các điểm ảnh.

1.1.2.2. Độ phân giải của ảnh.

Khoảng cách giữa các điểm ảnh phải được chọn sao cho mắt người vẫn thấy được sự liên tục của ảnh. Việc lựa chọn khoảng cách thích hợp tạo nên một mật độ phân bố, đó chính là độ phân giải và được phân bố theo trục x và y trong không gian hai chiều. Vậy độ phân giải của ảnh là mật độ điểm ảnh được ấn định trên một ảnh số được hiển thị.

1.1.2.3 Mức xám của ảnh.

Mức xám của điểm ảnh là cường độ sáng của nó được gán bằng giá trị số tại điểm đó.Các thang giá trị mức xám thông thường là: 16, 32, 64, 128, 256. Mức xám dùng 1 byte biểu diễn: 2^8=256 mức, tức là từ 0 đến 255.

Ảnh đen trắng: là ảnh có hai màu đen, trắng (không chứa màu khác) với mức xám ở các điểm ảnh có thể khác nhau.

Ảnh nhị phân: ảnh chỉ có 2 mức đen trắng phân biệt tức dùng 1 bit mô tả 21 mức khác nhau. Nói cách khác mỗi điểm ảnh của ảnh nhị phân chỉ có thể là 0 hoặc 1.

1.1.2.4. Trích chọn đặc điểm.

Các đặc điểm của đối tượng được trích chọn tuỳ theo mục đích nhận dạng trong quá trình xử lý ảnh. Có thể nêu ra một số đặc điểm của ảnh sau đây:

Đặc điểm không gian: Phân bố mức xám, phân bố xác suất, biên độ, điểm uốn v.v..

Đặc điểm biến đổi: Các đặc điểm loại này được trích chọn bằng việc thực hiện lọc vùng (zonal filtering). Các bộ vùng được gọi là "mặt nạ đặc điểm" (feature mask) thường là các khe hẹp với hình dạng khác nhau (chữ nhật, tam giác, cung tròn v.v..)

Đặc điểm biên và đường biên: Đặc trưng cho đường biên của đối tượng và do vậy rất hữu ích trong việc trích trọn các thuộc tính bất biến được dùng khi nhận dạng đối tượng. Các đặc điểm này có thể được trích chọn nhờ toán tử gradient, toán tử la bàn, toán tử Laplace,toán tử sobel, toán tử canny v.v..

Việc trích chọn hiệu quả các đặc điểm giúp cho việc nhận dạng các đối tượng ảnh chính xác, với tốc độ tính toán cao và dung lượng nhớ lưu trữ giảm xuống.

1.2. Bài toán đối sánh ảnh

1.2.1 Giới thiệu bài toán đối sánh ảnh

Đối sánh ảnh là một bài toán đã và đang thu hút được sự quan tâm của các nhà nghiên cứu và phát triển. Mỗi khi bài toán này được giải quyết, nó mở ra rất nhiều các ứng dụng hữu ích như: tìm kiếm ảnh, nhận dạng, theo dõi và phát hiện đối tượng, vv… Đối sánh hai ảnh là tìm ra những vùng giống nhau trên hai ảnh. Thông thường, để so sánh hai ảnh người ta so sánh các phần tử cơ bản cấu thành nên nó. Đơn giản nhất là so sánh các điểm ảnh (Pixel). Tuy nhiên phép so sánh này đòi hỏi nhiều thời gian tính toán và thường không đạt được độ chính xác mong muốn. Các phương pháp sau này đề xuất trích chọn đặc trưng để biểu diễn ảnh. Khi đó bài toán đối sánh ảnh sẽ quy về bài toán so sánh đặc trưng trích chọn. Các đặc trưng cho phép biểu diễn ảnh đã được nghiên cứu bao gồm đường biên, vùng ảnh, điểm đặc trưng, histogram, vv…

Bài toán đối sánh ảnh đã được đề cập vào những năm 50. Hai thập kỷ gần đây, số lượng các công trình nghiên cứu và phát triển các giải thuật đối sánh ảnh tăng một cách đáng để. Dù vậy, đối sánh ảnh vẫn còn là một bài toán mở. Có hai vấn đề cơ bản thường được đặt ra trong bài toán đối sánh ảnh: i) làm sao có thể biểu diễn thông tin một cách hiệu quả nhằm thực hiện việc đối sánh một cách chính xác và nhanh nhất có thể; ii) làm thế nào để giải pháp đối sánh vẫn hoạt động hiệu quả khi có sự thay đổi của môi trường: nhiễu trong quá trình thu nhận ảnh, sự thay đổi về ánh sang, sự che khuất, vv…

Các phương pháp đối sánh ảnh dựa trên việc đối sánh các điểm đặc trưng được đề xuất rất nhiều và đã gặt hái được những thành công đáng kể. Tuy nhiên để đạt được một độ chính xác nhất định, các phương pháp này đều đòi hỏi rất nhiều thời gian tính toán. Vì vậy để việc đối sánh ảnh cho kết quả nhanh và chính xác, việc đưa ra một phương pháp trích trọn đặc trưng của ảnh là một việc cần thiết. Đóng góp cơ bản trong bài báo cáo này là đề xuất một số phương pháp trích chọn đặc trưng của ảnh dựa vào hình dạng.

1.2.2. Cách tiếp cận bài toán đối sánh ảnh

Trích chọn đặc trưng cao cấp tìm kiếm hình dạng trong hình ảnh máy tính. Một phương pháp tiếp cận là để trích chọn các đặc trưng thành phần. Trong trích chọn đặc trưng, chúng ta thường tìm kiếm các tính chất bất biến mà nó không thay đổi theo điều kiện được lựa chọn. Đó là, kỹ thuật nên tìm hình dạng đáng tin cậy và bền vững bất kể giá trị của bất kỳ thông số kiểm soát sự xuất hiện hình dạng. Như một bất biến cơ bản, chúng ta tìm kiếm khả năng không ảnh hưởng với những thay đổi cường độ sáng: chúng ta tìm kiếm để tìm một hình dạng cho dù đó là sáng hoặc tối. Về nguyên tắc, miễn là có sự tương phản giữa hình dạng và nền tảng của nó, hình dạng nếu tồn tại, thì có thể phát hiện được nó. Sau yếu tố về độ sáng, các tham số quan trọng nhất tiếp theo là vị trí: chúng ta tìm kiếm để tìm một hình dạng bất cứ nơi nào nó xuất hiện. Các tham số này được gọi là bất biến vị trí, địa điểm hoặc dịch chuyển. Sau đó, chúng ta thường tìm kiếm tham số hình dạng không phụ thuộc

vào phép quay của nó, điều này thường được gọi là bất biến quay hoặc bất biến theo hướng. Sau đó, chúng ta có thể tìm cách xác định đối tượng ở bất cứ kích thước nó xuất hiện, có thể là do sự thay đổi về thể chất, hoặc khoảng cách giữa các đối tượng đã được đặt vào máy ảnh. Điều này đòi hỏi bất biến kích thước hay bất biến tỉ lệ. Đây là tính chất bất biến chính mà chúng ta phải tìm kiếm từ các kỹ thuật trích chọn đặc trưng. Tuy nhiên, chúng ta lại gặp tình huống ảnh có nhiễu. Cũng kể từ khi chúng ta đang quan tâm đến hình dạng, lưu ý rằng có thể nhiều hơn một hình dạng trong hình ảnh. Nếu có một hình dạng trên hình dạng khác, nó sẽ bao trùm hoặc ẩn hình dạng khác, vì vậy không phải tất cả các hình dạng của một đối tượng sẽ được hiển thị.

Nhưng trước khi chúng ta có thể phát triển các kỹ thuật phân tích hình ảnh, chúng ta cần kỹ thuật để trích chọn các hình dạng. Việc trích chọn thường phức tạp hơn phát hiện đối tượng, kể từ khi trích chọn có nghĩa là chúng ta có một mô tả của một hình dạng, chẳng hạn như vị trí và kích thước của nó, trong khi phát hiện một hình dạng chỉ đơn thuần là ý nói kiến thức về sự tồn tại của nó trong một hình ảnh.

Để trích chọn hình dạng của một hình ảnh, cần phải xác định các yếu tố nền. Điều này có thể được thực hiện bằng cách xem xét các thông tin cường độ hoặc bằng cách so sánh các điểm ảnh hình thành hình dạng. Trong tiếp cận đầu tiên, nếu độ sáng của hình dạng được biết, thì các điểm ảnh tạo thành hình dạng có thể được trích chọn bằng cách phân loại các điểm ảnh theo một ngưỡng cường độ cố định. Ngoài ra, nếu hình ảnh nền được biết trước, thì nền có thể được trừ để có được các điểm ảnh để xác định hình dạng của một đối tượng được đặt trên nền.Ta có một số cách tiếp cận như:

Đối sánh mẫu là một phương pháp tiếp cận dựa trên mô hình mà trong đó hình dạng được trích chọn bằng cách tìm kiếm sự tương quan tốt nhất giữa một mô hình được biết đến và các điểm ảnh trong một hình ảnh. Có những cách thay thế để tính toán sự tương quan giữa các mẫu và hình ảnh. Sự tương quan có thể được thực hiện bằng cách xem xét các hình ảnh, lĩnh vực tần số. Ngoài ra, các mẫu có thể được xác định bằng cách xem xét giá trị cường độ hoặc một hình dạng nhị phân.

Biến đổi Hough xác định một thực hiện có hiệu quả của các đối sánh mẫu cho các mẫu nhị phân. Kỹ thuật này có thể trích chọn hình dạng đơn giản như các đường thẳng và các dạng bậc hai cũng như các hình dạng tùy ý. Trong bất kỳ trường hợp nào, sự phức tạp của việc thực hiện có thể được giảm bằng cách xem xét các tính năng bất biến của các hình dạng.

Chương 2: MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP TRÍCH CHỌN ĐẶC TRƯNG DỰA VÀO HÌNH DẠNG

2.1. Phân ngưỡng và trừ ảnh

2.1.1. Phân ngưỡng

Phân ngưỡng là một kỹ thuật trích chọn hình dạng đơn giản, ở đây hình ảnh có thể được xem như là kết quả của sự cố gắng để tách mắt từ nền. Nếu nó có thể giả thiết rằng hình dạng cần phải trích chọn được xác định bởi độ sáng của nó. Việc phân ngưỡng một hình ảnh ở mức độ sáng đó sẽ tìm thấy hình dạng. Phân ngưỡng rõ ràng là nhạy cảm với những thay đổi trong độ sáng: nếu độ sáng hình ảnh thay đổi thì sẽ quan sát được độ sáng của hình dạng mục tiêu. Trừ trường hợp mức ngưỡng có thể được sắp xếp để thích ứng với sự thay đổi trong mức độ sáng, bất kỳ kỹ thuật phân ngưỡng sẽ thất bại. Sự thu hút của nó đơn giản là: Phân ngưỡng không đòi hỏi nhiều nỗ lực tính toán. Nếu những thay đổi mức độ sáng trong một tuyến tính, sau đó sử dụng biểu đồ cân bằng (histogram) sẽ có kết quả là một hình ảnh không thay đổi. Kết quả của biểu đồ cân bằng nhạy cảm với tiếng ồn, bóng tối và thay đổi độ sáng: tiếng ồn có thể ảnh hưởng đến hình ảnh kết quả khá đáng kể và điều này một lần nữa sẽ làm cho một kỹ thuật phân ngưỡng vô dụng.

Phân ngưỡng sau khi cường độ bình thường là ít nhạy cảm với tiếng ồn,khi tiếng ồn được kéo dài với hình ảnh ban đầu,và không thể ảnh hưởng nhiều đến quá trình kéo dài. Tuy nhiên, vẫn còn nhạy cảm với bóng tối và thay đổi độ sáng. Một lần nữa, phân ngưỡng chỉ có thể tìm ứng dụng mà độ sáng có thể được kiểm soát cẩn thận.Yêu cầu này là phù hợp cho bất kỳ ứng dụng sử dụng phân ngưỡng cơ bản. Nếu mức độ sáng tổng thể không thể kiểm soát thì nó có thể dữ liệu cường độ cạnh ngưỡng vì đây là nhạy cảm với mức độ sáng tổng thể nhờ quá trình sai phân ẩn. Tuy nhiên, dữ liệu cạnh hiếm khi liên tục và có thể có những khoảng trống trong chu vi phát hiện của một hình dạng. Một khó khăn lớn, áp dụng cho phân ngưỡng các dữ liệu độ sáng tốt thường có nhiều hình dạng hơn một. Nếu các hình dạng bao trùm lên hình dạng khác thì hình dạng cần phải được tách.

2.1.2. Trừ ảnh

Trừ ảnh là một kỹ thuật trừ ảnh từ một nền được biết trước phân ngưỡng. Điều này giả thiết rằng nền được biết chính xác, nhiều chi tiết hơn là đặc trưng mục tiêu sẽ xuất hiện trong hình ảnh kết quả, rõ ràng phép trừ sẽ không khả thi nếu có tiếng ồn ở một trong hai hình ảnh, và đặc biệt là ở cả hai. Trong phương pháp này, không có tiềm ẩn mô tả hình dạng, nhưng nếu quá trình phân ngưỡng là đủ thì nó là đơn giản để ước tính các tham số hình dạng cơ bản, chẳng hạn như vị trí.

Phương pháp trừ được minh họa trong hình 2.1. Ở đây chúng ta tìm cách tách hay trích xuất đối tượng đi bộ từ nền. Làm thế nào các bộ lọc trung bình có thể được sử dụng để cung cấp một ước tính của nền cho chuỗi các hình ảnh đến từ hình 2.1 (a). Khi chúng ta trừ nền từ hình ảnh của hình 2.1(a), chúng ta có được hầu hết đối tượng với một số nền tảng thêm phía sau đầu của đối tượng. Điều này là do tác động của đối tượng di chuyển về phía ánh sáng. Ngoài ra, quá trình trừ loại bỏ nền, loại bỏ một số các đối tượng như: các thanh ngang trong nền đã được gỡ bỏ từ đối tượng này. Những khía cạnh được tô đậm trong hình ảnh phân ngưỡng, hình 2.1(c).

Nó không phải là một cách đặc biệt xấu của đối tượng tách từ nền nhưng nó cũng không phải là cách đặc biệt tốt.

(a) Hình ảnh của đối tượng đi bộ

(b) Sau khi trừ nền sau

(c) Sau khi phân ngưỡng

Hình 2.1 Trích chọn hình dạng của phép trừ và phân ngưỡng

Mặc dù phân ngưỡng và trừ là hấp dẫn (vì đơn giản và do tốc độ của chúng), hiệu suất của cả hai kỹ thuật này là nhạy cảm với một phần dữ liệu hình dạng, tiếng ồn, sự thay đổi trong độ sáng và nhiễu hình dạng mục tiêu của các đối tượng khác. Theo đó, nhiều cách tiếp cận để giải thích hình ảnh sử dụng thông tin cấp độ cao hơn trong trích chọn hình dạng, cụ thể là các điểm ảnh được kết nối trong hình dạng có thể giải quyết những yếu tố này.

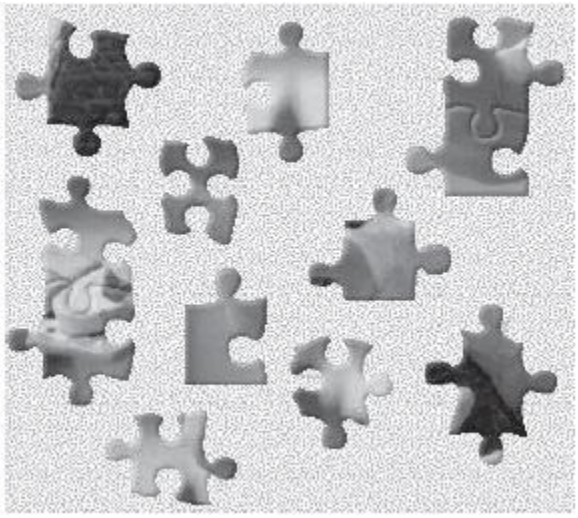
2.2. Đối sánh mẫu

2.2.1. Định nghĩa

Đối sánh mẫu là khái niệm một quá trình đơn giản. chúng ta cần phải đối sánh mẫu để có một hình ảnh, nơi mà các mẫu là một tiểu hình ảnh có chứa các hình dạng chúng ta đang cố gắng tìm. Chúng ta tập trung mẫu trên một điểm ảnh và đếm bao nhiêu điểm trong mẫu phù hợp với những điểm trong ảnh. Thủ tục này lặp đi lặp lại cho toàn bộ hình ảnh và các điểm dẫn đến kết quả tốt nhất, số lượng tối đa, được coi là điểm mà hình dạng (do mẫu) nằm trong hình ảnh.

Hãy xem xét rằng chúng ta muốn tìm mẫu ở hình 2.2 (b) trong hình ảnh của hình 2.2 (a). Mẫu đầu tiên được đặt ở gốc và sau đó xuất hiện với hình ảnh để cung cấp cho một số phản ánh như thế nào đối sánh mẫu là một phần của hình ảnh ở vị trí đó. Số lượng điểm ảnh phù hợp được tăng một cho mỗi điểm mà độ sáng của các mẫu phù hợp với độ sáng của hình ảnh. Điều này cũng tương tự như quá trình chập mẫu. Sự khác biệt ở đây là điểm trong hình ảnh được đối sánh với những điểm trong mẫu đó, và tổng là số lượng các điểm phù hợp như trái ngược với tổng giá trị của dữ liệu hình ảnh. Phù hợp nhất là khi các mẫu được đặt ở vị trí mà hình chữ nhật phù hợp với chính nó. Rõ ràng, quá trình này có thể được tổng quát để tìm kiếm, ví dụ, các mẫu kích thước hay định hướng khác nhau. Trong những trường

hợp này, chúng ta phải thử tất cả các mẫu (tại phép quay và kích thước dự kiến) để xác định phù hợp nhất.



(a) Hình ảnh có chứa hình

(b) Mẫu hình dạng mục tiêu

Hình 2.2 Minh họa đối sánh mẫu

Chính thức, Đối sánh mẫu có thể được định nghĩa là một phương pháp ước lượng tham số. Các tham số xác định vị trí của mẫu. Chúng ta có thể xác định mẫu như một hàm rời rạc $T_{x,y}$. Hàm này có giá trị trong một cửa sổ. Đó là, sự phối hợp của các điểm (x,y) ∈ W. Ví dụ, cho một mẫu 2×2 là một tập các điểm W = {(0,0),(0,1),(1,0),(1,1)}. Chúng ta hãy xem xét rằng mỗi điểm ảnh trong hình ảnh $I_{x,y}$ đã bị lỗi do tiếng ồn Gauss. Tiếng ồn có giá trị bằng 0 và độ lệch chuẩn là σ. Do đó, xác suất mà một điểm trong mẫu được đặt ở tạo độ (i, j) phù hợp với điểm ảnh tương ứng tại vị trí (x,y) ∈ W được đưa ra bởi sự phân bố bình thường.

$$p_{i,j}(x,y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{I_{x+i,y+j} - T_{x,y}}{\sigma}\right)^2} \tag{2.1}$$

Khi tiếng ồn ảnh hưởng đến mỗi điểm ảnh là độc lập, thì xác suất mà mẫu tại vị trí (i,j) là xác suất kết hợp của mỗi điểm ảnh mà mẫu bao gồm. Đó là,

$$L_{i,j} = \prod_{(x,y)\in W} p_{i,j}(x,y) \tag{2.2}$$

Bằng sự thay thế phương trình 2.1 ta có

$$L_{i,j} = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}}\right)^n e^{-\frac{1}{2}\sum_{(x,y)\in W}\left(\frac{I_{x+i,y+j} - T_{x,y}}{\sigma}\right)^2} \tag{2.3}$$

Trong đó n là số lượng điểm ảnh trong mẫu. Hàm này được gọi là hàm hợp.Nói chung nó được thể hiện dưới dạng logarit để đơn giản hóa việc phân tích . Chú ý phạm vi hàm logarit, nhưng nó không thay đổi vị trí của các trị số cực đại. Như vậy bằng cách lấy logarit hàm hợp được xác định lại là

$$\ln(L_{i,j}) = n \ln\left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}}\right) - \frac{1}{2}\sum_{(x,y)\in W}\left(\frac{\mathbf{I}_{x+i,y+j} - \mathbf{T}_{x,y}}{\sigma}\right)^2 \tag{2.4}$$

Theo ước tính khả năng tối đa, chúng ta lựa chọn các tham số nhằm tối đa hóa hàm hợp. có nghĩa là, các vị trí để giảm thiểu tốc độ thay đổi của hàm mục tiêu

$$\frac{\partial \ln(L_{i,j})}{\partial i} = 0 \quad \text{and} \quad \frac{\partial \ln(L_{i,j})}{\partial j} = 0 \tag{2.5}$$

Đó là,

$$\sum_{(x,y)\in W}(\mathbf{I}_{x+i,y+j} - \mathbf{T}_{x,y})\frac{\partial \mathbf{I}_{x+i,y+j}}{\partial i} = 0$$

$$\sum_{(x,y)\in W}(\mathbf{I}_{x+i,y+j} - \mathbf{T}_{x,y})\frac{\partial \mathbf{I}_{x+i,y+j}}{\partial j} = 0 \tag{2.6}$$

Chúng ta có thể nhận thấy rằng những phương trình này cũng là giải pháp của các vấn đề giảm thiểu được đưa ra bởi

$$\min e = \sum_{(x,y)\in W}(\mathbf{I}_{x+i,y+j} - \mathbf{T}_{x,y})^2 \tag{2.7}$$

Đó là, ước tính khả năng tối đa tương đương với việc lựa chọn vị trí mẫu giảm thiểu các lỗi bình phương (các giá trị bình phương của sự khác biệt giữa các điểm mẫu và các điểm ảnh tương ứng). Vị trí mà mẫu phù hợp nhất với hình ảnh là vị trí ước tính của mẫu trong hình ảnh. Vì vậy, nếu bạn đánh giá kết hợp sử dụng các tiêu chuẩn sai số bình phương sẽ được lựa chọn giải pháp hợp lý tối đa. Điều này cho thấy kết quả đạt được bởi đối sánh mẫu là tối ưu cho hình ảnh bị hỏng bởi tiếng ồn Gauss.Tất nhiên chúng ta có thể sử dụng tiêu chuẩn lỗi khác chẳng hạn như sự khác biệt tuyệt đối chứ không phải sự khác biệt bình phương, hoặc có thể xem xét các biện pháp mạnh mẽ như ước lượng M.

Chúng ta có thể lấy được các hình thức thay thế các tiêu chuẩn sai số bình phương bằng cách xem xét phương trình 2.7 có thể được viết như

$$\min e = \sum_{(x,y)\in W}(\mathbf{I}^2_{x+i,y+j} - 2\mathbf{I}_{x+i,y+j}\mathbf{T}_{x,y} + \mathbf{T}^2_{x,y}) \tag{2.8}$$

Số hạng cuối cùng không phụ thuộc vào vị trí mẫu (*i,j*). Như vậy nó là không đổi và không thể được giảm thiểu. Như vậy, tối ưu trong phương trình này có thể thu được bằng cách giảm thiểu

$$\min e = \sum_{(x,y)\in W} \mathbf{I}^2_{x+i,y+j} - 2 \sum_{(x,y)\in W} \mathbf{I}_{x+i,y+j}\,\mathbf{T}_{x,y} \tag{2.9}$$

Nếu số hạng đầu tiên

$$\sum_{(x,y)\in W} \mathbf{I}^2_{x+i,y+j} \tag{2.10}$$

là xấp xỉ liên tục, số hạng còn lại đưa ra một đánh giá sự tương tự giữa hình ảnh và các mẫu. Có nghĩa là, chúng ta có thể tối đa hóa các tương quan chéo giữa các mẫu và hình ảnh. Vị trí tốt nhất có thể được tính bằng cách

$$\max e = \sum_{(x,y)\in W} \mathbf{I}_{x+i,y+j}\,\mathbf{T}_{x,y} \tag{2.11}$$

Tuy nhiên, số hạng trong phương trình 2.10 có thể thay đổi theo vị trí, do đó đối sánh được xác định bởi phương trình 2.11 có thể vô giá trị. Ngoài ra, Phạm vi của hàm tương quan chéo phụ thuộc vào kích thước của mẫu và nó không phải là bất biến với những thay đổi trong điều kiện ánh sáng hình ảnh. Vì vậy, trong việc thực hiện nó là thuận tiện hơn để sử dụng một trong hai phương trình 2.7 hoặc phương trình 2.9. Ngoài ra, các tương quan chéo có thể được bình thường như sau. Chúng ta có thể viết lại phương trình 2.8 như

$$\min e = 1 - 2\,\frac{\sum_{(x,y)\in W} \mathbf{I}_{x+i,y+j}\,\mathbf{T}_{x,y}}{\sum_{(x,y)\in W} \mathbf{I}^2_{x+i,y+j}} \tag{2.12}$$

ở đây số hạng đầu tiên là không đổi và do vậy giá trị tối ưu có thể thu được bằng cách

$$\max e = \frac{\sum_{(x,y)\in W} \mathbf{I}_{x+i,y+j}\,\mathbf{T}_{x,y}}{\sum_{(x,y)\in W} \mathbf{I}^2_{x+i,y+j}} \tag{2.13}$$

Nói chung, nó là thuận tiện để bình thường hóa mức độ xám của mỗi cửa sổ hình ảnh dưới mẫu. Đó là

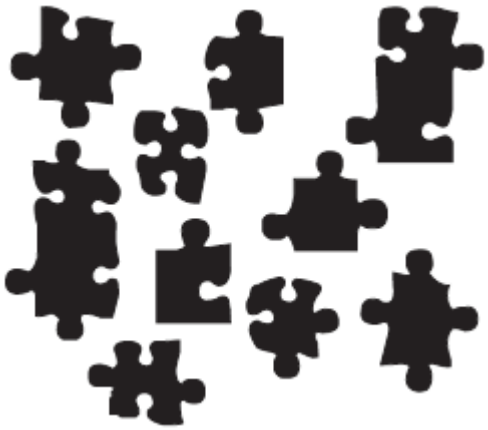
$$\max e = \frac{\sum_{(x,y)\in W} (\mathbf{I}_{x+i,y+j} - \bar{\mathbf{I}}_{i,j})(\mathbf{T}_{x,y} - \bar{\mathbf{T}})}{\sum_{(x,y)\in W} (\mathbf{I}_{x+i,y+j} - \bar{\mathbf{I}}_{i,j})^2} \tag{2.14}$$

Trong đó $\bar{I}_{i,j}$ là giá trị trung bình của các điểm ảnh $\bar{I}_{x+i,y+j}$ cho điểm trong cửa sổ (tức là $(x,y) \in W$) và T là giá trị trung bình của các điểm ảnh của mẫu.Sự bình thường hóa các tương quan chéo được đưa ra để thay thế cho phương trình 2.14. Điều này không thay đổi vị trí tối ưu và đưa ra một giải thích như bình thường của các vector tương quan chéo. Đó là, các tương quan chéo được chia trị tuyệt đối. Do đó,

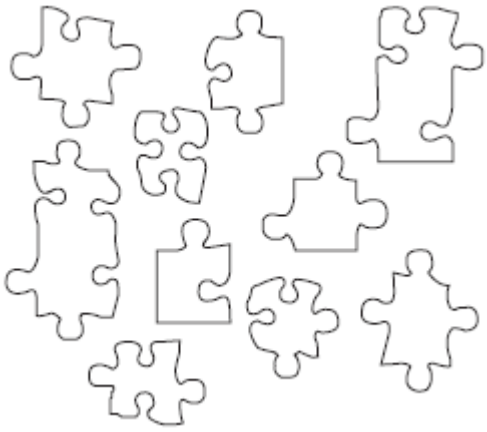
$$\max e = \frac{\sum_{(x,y)\in W} (I_{x+i,y+j} - \bar{I}_{i,j})(T_{x,y} - \bar{T})}{\sqrt{\sum_{(x,y)\in W} (I_{x+i,y+j} - \bar{I}_{i,j})^2 (T_{x,y} - \bar{T})^2}} \quad (2.15)$$

Tuy nhiên, phương trình này có một tính toán phức tạp tương tự như việc xây dựng ban đầu trong phương trình 2.7.

Một thực hiện cụ thể của đối sánh mẫu là khi hình ảnh và các mẫu là nhị phân. Trong trường hợp này, hình ảnh nhị phân có thể đại diện cho các khu vực trong hình ảnh hoặc nó có thể chứa các cạnh. Hai trường hợp được minh họa trong ví dụ trong hình 2.3.



(a) Hình ảnh nhị phân



(b) Hình ảnh cạnh

(c) Mẫu nhị phân

(d) Mẫu cạnh

Hình 2.3 Ví dụ về nhị phân và đối sánh mẫu cạnh

Ưu điểm của việc sử dụng hình ảnh nhị phân là có thể được giảm số lượng tính toán. Mỗi nghiệm trong phương trình 2.7 sẽ chỉ có hai giá trị: nó sẽ là 1trong khi $I_{x+i,y+j} = T_{x,y}$ và khác 0. Như vậy, phương trình 2.7 có thể được thực hiện như

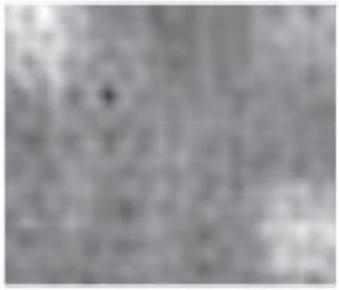
$$\max e = \sum_{(x,y)\in W} \overline{I_{x+i,y+j} \oplus T_{x,y}} \quad (2.16)$$

Trong đó ký hiệu $\overline{\oplus}$ biểu thị toán tử NOR riêng biệt. Phương trình này có thể được thực hiện dễ dàng và đòi hỏi ít tài nguyên hơn đáng kể so với các hàm đối sánh gốc.

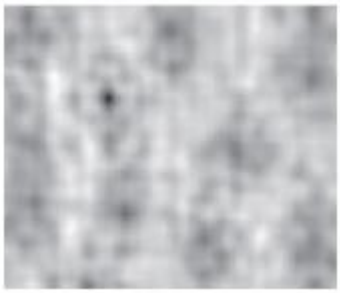
Đối sánh mẫu phát triển một không gian tích lũy lưu trữ các đối sánh mẫu với những hình ảnh tại các vị trí khác nhau, điều này tương ứng với việc thực hiện của phương trình 2.7. Nó được gọi là một bộ tích lũy, khi đối sánh được tích lũy trong quá trình ứng dụng. Về cơ bản, bộ tích lũy là một mảng hai chiều để giữ sự khác biệt giữa mẫu và hình ảnh tại các vị trí khác nhau. Vị trí trong hình ảnh cho

cùng một vị trí đối sánh trong bộ tích lũy. Ngoài ra, phương trình 2.11 cho thấy các đỉnh trong bộ tích lũy kết quả từ mẫu tương quan cung cấp cho các vị trí của mẫu trong một hình ảnh: sự phối hợp của các điểm phù hợp nhất. Theo đó, mẫu tương quan và đối sánh mẫu có thể được xác định bởi một trong hai quá trình. Việc thực hiện nhị phân của đối sánh mẫu, phương trình 2.16 thường có liên quan với các dữ liệu cạnh ngưỡng. Phương trình này sẽ được xem xét lại trong định nghĩa của biến đổi Hough, chủ đề của phần tiếp theo.

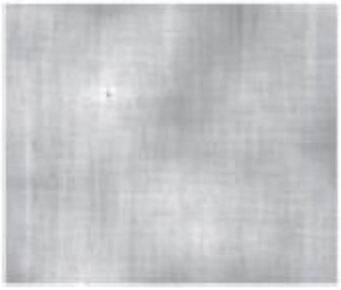
Kết quả đối sánh mẫu được minh họa trong hình 2.4. Ví dụ này cho thấy các mảng tích lũy cho đối sánh với hình ảnh thể hiện trong hình 2.2(a), 2.3(a) và 2.3(b) với các mẫu tương ứng. Những điểm tối trong mỗi hình ảnh đang ở tạo độ nguồn của vị trí mà các mẫu đối sánh nhất hình ảnh (tối thiểu). Lưu ý rằng có một đường biên nơi mẫu đã không được đối sánh với các dữ liệu hình ảnh.Tại những điểm biên, mẫu mở rộng hơn các dữ liệu hình ảnh, vì vậy không đối sánh đã được thực hiện. Đây là đường biên giống như kinh nghiệm mẫu chập. Chúng ta có thể nhận thấy rằng tối thiểu hơn là thu được hình 2.4 (c), từ những hình ảnh cạnh của hình 2.3. Điều này là do mức độ xám và hình ảnh nhị phân, có một số đối sánh khi mẫu không chính xác ở vị trí tốt nhất.



(a) Cho hình ảnh độ xám



(b) Cho hình ảnh nhị phân



(c) Cho hình ảnh cạnh

Hình 2.4 Mảng tích lũy từ đối sánh mẫu

Hầu hết các ứng dụng đòi hỏi độ tự do hơn nữa như phép quay, tỉ lệ hoặc các dạng góc nhìn. Phép quay có thể được xử lý bằng cách xoay mẫu, hoặc bằng cách sử dụng cực phối hợp, bất biến tỷ lệ có thể đạt được bằng cách sử dụng các mẫu kích thước khác nhau. Có nhiều tham số quan tâm có nghĩa là không gian tích lũy trở lên lớn hơn, kích thước của nó tăng một cho mỗi tham số phụ quan tâm. Vị trí đối sánh mẫu bất biến hàm ý một không gian tham số 2D, trong khi mở rộng tỷ lệ và vị trí đối sánh mẫu bất biến đòi hỏi một không gian tham số 3D.

Chi phí tính toán của đối sánh mẫu là lớn. Nếu mẫu là hình vuông và kích thước m×m và đối sánh với một hình ảnh có kích thước N × N sau đó từ các điểm ảnh m^2 được đối sánh tại tất cả các điểm ảnh (trừ biên) chi phí tính toán là $O(N^2m^2)$. Đây là chi phí cho vị trí đối sánh mẫu bất biến. Bất kỳ thông số tiếp tục quan tâm tăng chi phí tính toán tương ứng với số các giá trị của các tham số phụ. Đây rõ ràng là một bất lợi lớn và do đó thực hiện một kỹ thuật số trực tiếp của đối sánh mẫu là chậm. Theo đó, quan tâm đến kỹ thuật có thể cung cấp các kết quả tương tự đảm

bảo điều này nhưng nhanh hơn, chẳng hạn như thực hiện một Fourier dựa trên tốc độ biến đổi tính toán.

2.2.2. Thực hiện biến đổi Fourier

Chúng ta có thể thực hiện đối sánh mẫu thông qua biến đổi Fourier bằng cách sử dụng tính đối ngẫu giữa chập và phép nhân. Thiết lập tính đối ngẫu là một phép nhân trong miền không gian tương ứng với một chập trong miền tần số và ngược lại. Điều này có thể được khai thác để tính toán nhanh hơn bằng cách sử dụng miền tần số cho các thuật toán biến đổi Fourier nhanh. Vì vậy, để tìm ra một hình dạng chúng ta có thể tính toán tương quan chéo như một phép nhân trong miền tần số. Tuy nhiên, quá trình kết hợp trong phương trình 2.11 thực sự là tương quan không chập. Vì vậy, chúng ta cần phải thể hiện tương quan về một chập. Điều này có thể được thực hiện như sau. Đầu tiên chúng ta có thể viết lại các mối tương quan trong phương trình 2.11 là

$$\mathbf{I} \otimes \mathbf{T} = \sum_{(x,y)\in W} \mathbf{I}_{x',y'}\ \mathbf{T}_{x'-i,y'-j} \tag{2.17}$$

Trong đó $x' = x+i$ và $y' = y+j$. Chập được xác định là.

$$\mathbf{I} * \mathbf{T} = \sum_{(x,y)\in W} \mathbf{I}_{x',y'}\ \mathbf{T}_{i-x',j-y'} \tag{2.18}$$

Vì vậy, để thực hiện các đối sánh mẫu trong lĩnh vực tần số, chúng ta cần phải biểu diễn phương trình 2.17 về phương trình 2.18. Điều này có thể đạt được bằng cách xem xét rằng

$$\mathbf{I} \otimes \mathbf{T} = \mathbf{I} * \mathbf{T}' = \sum_{(x,y)\in W} \mathbf{I}_{x',y'}\ \mathbf{T}'_{i-x',j-y'} \tag{2.19}$$

Trong đó

$$\mathbf{T}' = \mathbf{T}_{-x,-y} \tag{2.20}$$

mối tương quan là tương đương với chập khi mẫu được thay đổi theo phương trình 2.20. Phương trình này đảo ngược các trục tọa độ và tương ứng với một thanh ngang và lật dọc.

Trong lĩnh vực tần số, chập tương ứng với phép nhân. Như vậy, ta có phương trình 2.19 có thể được thực hiện bởi

$$\mathbf{I} * \mathbf{T}' = F^{-1}(F(\mathbf{I})F(\mathbf{T}')) \tag{2.21}$$

Trong đó F biểu thị biến đổi Fourier (và tính toán của FFT) và F^{-1} biểu thị FFT ngược. Điều này có thể tính toán nhanh hơn so với thực hiện trực tiếp của nó với lợi thế tốc độ của FFT. Có hai cách thực hiện phương trình này. Trong phương pháp tiếp cận đầu tiên, chúng ta có thể tính toán T′ bằng cách lật các bản mẫu và sau đó tính toán biến đổi Fourier F(T′). Trong phương pháp thứ hai, chúng ta tính toán biến đổi của F(T), sau đó chúng ta tính toán liên hợp phức tạp. Đó là,

$$F(\mathbf{T}') = [F(\mathbf{T})]^* \tag{2.22}$$

Trong đó [ ]* biểu thị liên hợp phức tạp của dữ liệu biến đổi. Vì vậy, liên hợp của các biến đổi của mẫu ngụ ý rằng các sản phẩm của hai biến đổi dẫn đến sự tương quan. Đó là,

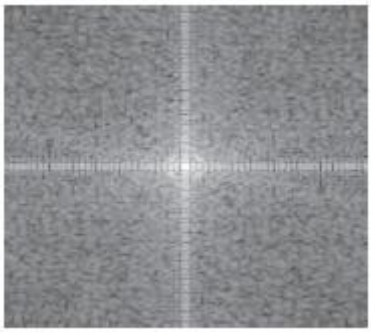
$$\mathbf{I} * \mathbf{T}' = F^{-1}(F(\mathbf{I})\ [F(\mathbf{T})]^*) \tag{2.23}$$

Đối với cả hai sự thực hiện, phương trình 2.21 và 2.23 sẽ đánh giá phù hợp và nhanh chóng hơn cho các mẫu lớn hơn bằng cách thực hiện trực tiếp của đối sánh mẫu. Lưu ý rằng một giả thiết là các biến đổi có cùng kích thước, mặc dù hình dạng của mẫu thường nhỏ hơn nhiều so với hình ảnh. Một giải pháp đơn giản là bao gồm thêm các giá trị bằng không để làm cho hình ảnh của các mẫu kích thước tương tự như hình ảnh.

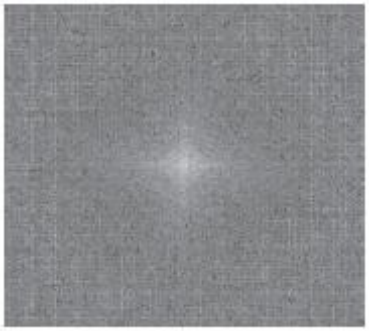
Hình 2.5 minh họa kết quả của đối sánh mẫu trong miền Fourier. Ví dụ này sử dụng hình ảnh và mẫu thể hiện trong hình 2.2. Hình 2.5(a) cho thấy mẫu lộn và mẫu đệm. Các biến đổi Fourier của hình ảnh và mẫu lộn được cho trong hình 2.5(b) và 2.5(c) tương ứng. Những biến đổi được nhân rộng từng điểm một để đạt được các hình ảnh trong hình 2.5(d). Khi điều này là biến đổi Fourier nghịch đảo, kết quả là hình 2.5(e) cho thấy nơi mà các mẫu đối sánh nhất hình ảnh (các tọa độ góc trên bên trái của mẫu).Ngoài ra, hình dạng một phần có thể đối sánh với một vài mẫu trong hình ảnh. Hình 2.5(f) cho thấy một khu vực phóng to nơi mà các đỉnh nằm.Chúng ta có thể thấy rằng đỉnh này được xác định rõ. Trái ngược với đối sánh mẫu thực hiện trong miền tần số không có đường biên. Điều này là do thực tế lý thuyết Fourier giả định nhân rộng hình ảnh đến vô cùng. Lưu ý rằng trong ứng dụng, biến đổi Fourier làm không cần phải được sắp xếp lại để được ở trung tâm, vì điều này đã được thực hiện ở đây chỉ cho mục đích hiển thị. Có nhiều khó khăn hơn nữa trong việc sử dụng miền biến đổi cho đối sánh mẫu trong hình ảnh rời rạc. Nếu chúng ta tìm kiếm bất biến xoay thì một hình ảnh có thể được biểu diễn theo tạo độ cực của nó. Sự rời rạc cho khó khăn hơn khi các điểm ảnh trong một hình dạng rời rạc xoay bản có thể ánh xạ không hoàn hảo với hình dạng ban đầu.

Vấn đề này biểu hiện tốt hơn khi một hình ảnh được thu nhỏ kích thước để trở thành lớn hơn. Trong trường hợp này, khoảng cách giữa các điểm sẽ tăng lên trong hình ảnh mở rộng. Khó khăn là làm thế nào để phân bổ giá trị cho các điểm ảnh trong hình ảnh mở rộng mà không được xác định trong quá trình mở rộng. Có một số phương pháp nội suy nhưng nó thường có thể xuất hiện thận trọng để tái cấu trúc phương pháp tiếp cận ban đầu. Khó khăn hơn nữa có thể bao gồm ảnh hưởng của đường biên hình ảnh: lý thuyết Fourier giả thiết rằng một hình ảnh tái tạo không gian đến vô cùng. Khó khăn này có thể được giảm bằng cách sử dụng các toán tử cửa sổ, chẳng hạn như Hamming hoặc các cửa sổ Hanning. Những khó khăn này không được cho phép biến đổi quang học Fourier và vì vậy bằng cách sử dụng biến đổi Fourier cho vị trí đối sánh mẫu bất biến thường được giới hạn trong việc triển khai quang.

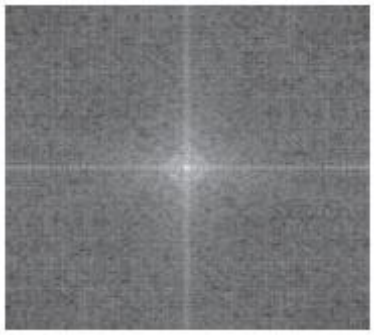
(a) Lộn và mẫu đệm



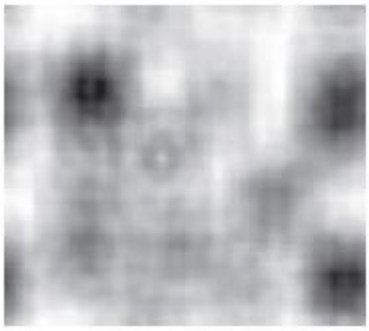
(b) Biến đổi Fourier của mẫu



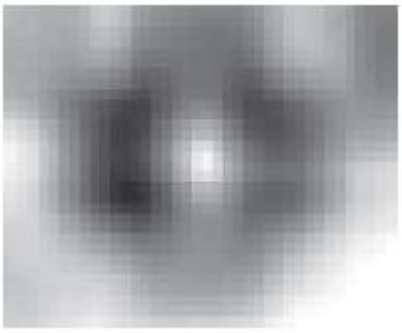
(c) Biến đổi Fourier của hình ảnh



(d) Nhân biến đổi



(e) Kết quả



(f) Vị trí của mẫu

Hình 2.5 Đối sánh mẫu bởi biến đổi Fourier

2.2.3. Thảo luận về các đối sánh mẫu

Những lợi thế liên quan đến đối sánh mẫu chủ yếu là lý thuyết vì nó có thể rất khó khăn để phát triển một kỹ thuật đối sánh mẫu mà hoạt động thảo đáng. Các kết quả trình bày ở đây chỉ được cho vị trí bất biến. Nếu bất biến để phép quay và tỷ lệ cũng được yêu cầu thì điều này có thể gây khó khăn. Điều này là do các mẫu được lưu trữ như một tập hợp rời rạc của các điểm. Khi các mẫu được quay, khoảng cách có thể xuất hiện do tính chất rời rạc của hệ tọa độ. Nếu mẫu được tăng kích thước sau đó một lần nữa sẽ bị mất điểm trong các phiên bản mở rộng. Có một phiên bản miền tần số có thể xử lý sự thay đổi về kích thước, từ tỷ lệ bất biến đối sánh mẫu có thể đạt được bằng cách sử dụng biến đổi Mellin (Bracewell 1986). Điều này tránh sử dụng nhiều mẫu để chứa sự thay đổi trong kích thước bằng cách đánh giá sự phù hợp tỷ lệ bất biến trong một lần chạy. Mellin biến đổi tỷ lệ cơ bản các tọa độ không gian của hình ảnh bằng cách sử dụng hàm mũ. Một điểm sau đó được chuyển đến một vị trí nhất định bởi một hàm logarit của tọa độ ban đầu của nó. Sự biến đổi của các hình ảnh thu nhỏ được nhân với các biến đổi của mẫu. Một lần nữa cho thấy đối sánh tốt nhất giữa biến đổi và hình ảnh. Điều này có thể được coi là tương đương với một sự thay đổi của biến. Ánh xạ logarit đảm bảo rằng sự định tỷ lệ (nhân) trở thành bổ sung. Bởi các ánh xạ logarit, vấn đề bất biến tỷ lệ trở thành một vấn đề của việc tìm kiếm vị trí của một đối sánh

Vì vậy, có những khó khăn bẩm sinh với đối sánh mẫu cho dù nó được thực hiện trực tiếp hay bằng cách biến đổi tính toán. Đối với những lý do này, và vì nhiều kỹ thuật trích chọn hình dạng đòi hỏi nhiều hơn là chỉ dữ liệu cạnh hoặc dữ liệu độ sáng, thực hiện kỹ thuật số trực tiếp của trích chọn đặc trưng thường được ưa chuộng. Điều này có lẽ cũng chịu ảnh hưởng của lợi thế tốc độ đó là một kỹ thuật phổ biến có thể trao hơn đối sánh mẫu là biến đổi Hough.

2.3. Biến đổi Hough (HT – Hough transform)

2.3.1 Tổng quan về biến đổi Hough

Biến đổi Hough (HT) (Hough, 1962) là một kỹ thuật mà nằm trong hình dạng hình ảnh. Đặc biệt, HT đã được sử dụng để trích chọn đường thẳng, hình tròn và hình elip (hoặc cắt hình nón). Trong trường hợp đường thẳng, xác định toán học của nó tương đương với biến đổi Radon (Deans, 1981). HT được giới thiệu bởi Hough (Hough, 1962) và sau đó được sử dụng để tìm đường bong bóng chứ không phải là hình dạng trong hình ảnh. Tuy nhiên, Rosenfeld ghi nhận lợi thế tiềm năng của HT như một thuật toán xử lý hình ảnh (Rosenfeld, 1969). HT do đó đã được thực hiện để tìm đường thẳng trong hình ảnh (Duda, 1972) và nó đã được mở rộng rất nhiều, vì HT có nhiều lợi thế và nhiều tuyến đường tiềm năng để cải thiện.

Ưu điểm chính của HT là nó có thể cung cấp các kết quả tương tự như đối với đối sánh mẫu nhưng nhanh hơn (Princen, 1992), (Sklansky, 1978), (Stockman, 1977). Điều này đạt được bởi một tái định dạng lại của quá trình đối sánh mẫu, dựa trên một phương pháp tiếp cận thu thập dấu hiệu là các bình chọn trong một mảng tích lũy. Việc thực hiện HT xác định một ánh xạ từ các điểm ảnh vào một không gian tích lũy (không gian Hough). Ánh xạ được thực hiện trong một cách tính toán hiệu quả dựa trên các hàm mô tả hình dạng mục tiêu. Ánh xạ này đòi hỏi ít tài nguyên hơn nhiều so với đối sánh mẫu. Tuy nhiên, nó vẫn đòi hỏi lưu trữ quan trọng và yêu cầu tính toán cao. Những vấn đề này được giải quyết sau, kể từ khi họ cung cấp tập trung cho sự phát triển liên tục của HT. Tuy nhiên, thực tế là HT tương đương với đối sánh mẫu đã đưa ra đủ động lực cho kỹ thuật này là trong số phổ biến nhất của tất cả các kỹ thuật trích chọn hình dạng hiện có.

2.3.2. Biến đổi Hough cho đường thẳng

Đầu tiên chúng ta sẽ xem xét việc tìm kiếm các đường thẳng trong một hình ảnh. Trong một sự biểu diễn tham số Đề các, điểm cộng tuyến trong một hình ảnh với tọa độ (x,y) là có liên quan của độ dốc m và chặn c theo:

$$y = mx + c \tag{2.24}$$

Phương trình này có thể được viết dưới hình thức đồng nhất như:

$$Ay + Bx + 1 = 0 \tag{2.25}$$

Trong đó A= -1/c và B = m/c. Do đó, một đường thẳng được xác định bằng cách cho một cặp giá trị (A,B). Tuy nhiên, chúng ta có thể quan sát một đối xứng trong sự xác định trong phương trình 2.25. Phương trình này là đối xứng từ một cặp tọa độ (x,y) cũng xác định một đường thẳng trong không gian với các tham số (A,B). Đó là, phương trình 2.25 có thể được xem như là phương trình của một đường thẳng cho tọa độ cố định (x,y) hay là phương trình của một đường thẳng cho các tham số cố

định (*A*,*B*). Như vậy, cặp có thể được sử dụng để xác định các điểm và đường thẳng đồng thời (Aguado, 2000a). HT tập hợp dấu hiệu của điểm (*A*,*B*) bằng cách xem xét tất cả các điểm (*x*,*y*) xác định cùng một đường thẳng trong không gian (*A, B*). Có nghĩa là, nếu tập hợp các điểm cộng tuyến $\{(x_i,y_i)\}$xác định đường thẳng (A, B), thì

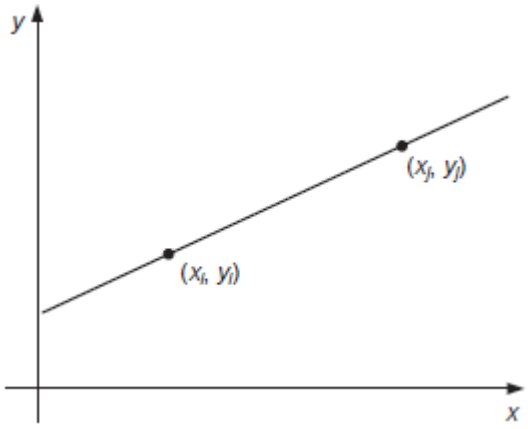
$$Ay_i + Bx_i + 1 = 0 \qquad (2.26)$$

Phương trình này có thể được xem như một hệ phương trình và nó có thể được viết lại đơn giản trong điều kiện của sự biểu diễn tham số Đề các như

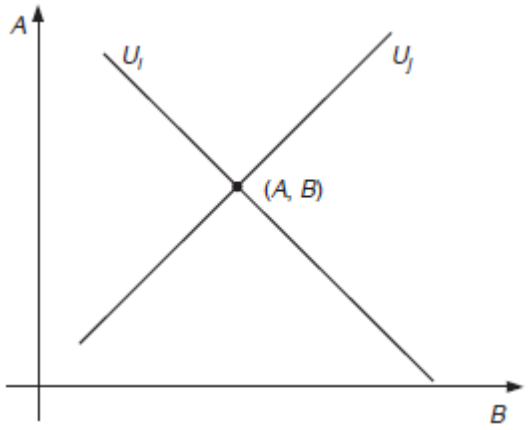
$$c = -x_i m + y_i \qquad (2.27)$$

Vì vậy, để xác định đường thẳng chúng ta phải tìm các giá trị của các tham số (*m*,*c*) (hoặc (*A, B*) trong hình thức đồng nhất) đáp ứng phương trình 2.27 (hoặc 2.26, tương ứng). Tuy nhiên, chúng ta phải nhận thấy rằng hệ thống thường quá mức xác định do có nhiều phương trình ẩn số. Vì vậy, chúng ta phải tìm ra giải pháp mà đến gần để đáp ứng tất cả các phương trình cùng một lúc. Loại vấn đề này có thể được giải quyết, ví dụ, sử dụng kỹ thuật hình vuông ít tuyến tính nhất. HT sử dụng một phương pháp tiếp cận thu thập dấu hiệu để cung cấp các giải pháp.

Mối quan hệ giữa một điểm (x_i, y_i) trong một hình ảnh và đường thẳng được đưa ra trong phương trình 2.27 được minh họa trong hình 2.6. Các điểm (x_i,y_i) và (x_j, y_j) trong hình 2.5(a) xác định các đường thẳng U_i và U_j trong hình 2.6(b) tương ứng. Tất cả các yếu tố thẳng trong một hình ảnh sẽ xác định đường thẳng kép với cùng điểm đồng thời (*A, B*) là độc lập với sự biểu diễn tham số đường thẳng đã sử dụng. HT giải quyết nó một cách hiệu quả bằng cách đơn giản là đếm các giải pháp tiềm năng trong một mảng tích lũy mà lưu trữ dấu hiệu, hoặc các bình chọn. Số được thực hiện bằng cách truy tìm tất cả các đường thẳng kép cho mỗi điểm (x_i, y_i). Mỗi điểm trong số gia dấu vết một phần tử trong mảng, do đó vấn đề trích chọn đường thẳng được biến đổi trong vấn đề định vị tối đa trong không gian lưu trữ. Chiến lược này là mạnh mẽ và đã chứng minh được khả năng xử lý tiếng ồn và nhiễu. Các trục trong không gian hai đại diện cho các tham số của đường thẳng. Trong trường hợp của sự biểu diễn tham số Đề các m thực sự có thể có một phạm vi vô hạn của các giá trị, vì đường thẳng có thể khác nhau theo chiều ngang và theo chiều dọc.Khi lựa chọn được tập hợp trong một mảng rời rạc, điều này sẽ tạo ra những lỗi sai lệch. Có thể xem xét một loạt các bình chọn trong không gian tích lũy mà bao gồm tất cả các giá trị có thể. Điều này tương ứng với kỹ thuật khử răng cưa và có thể cải thiện chiến lược thu thập (Brown, 1983), (Kiryati,1991).



(a) Hình ảnh có chứa một đường thẳng



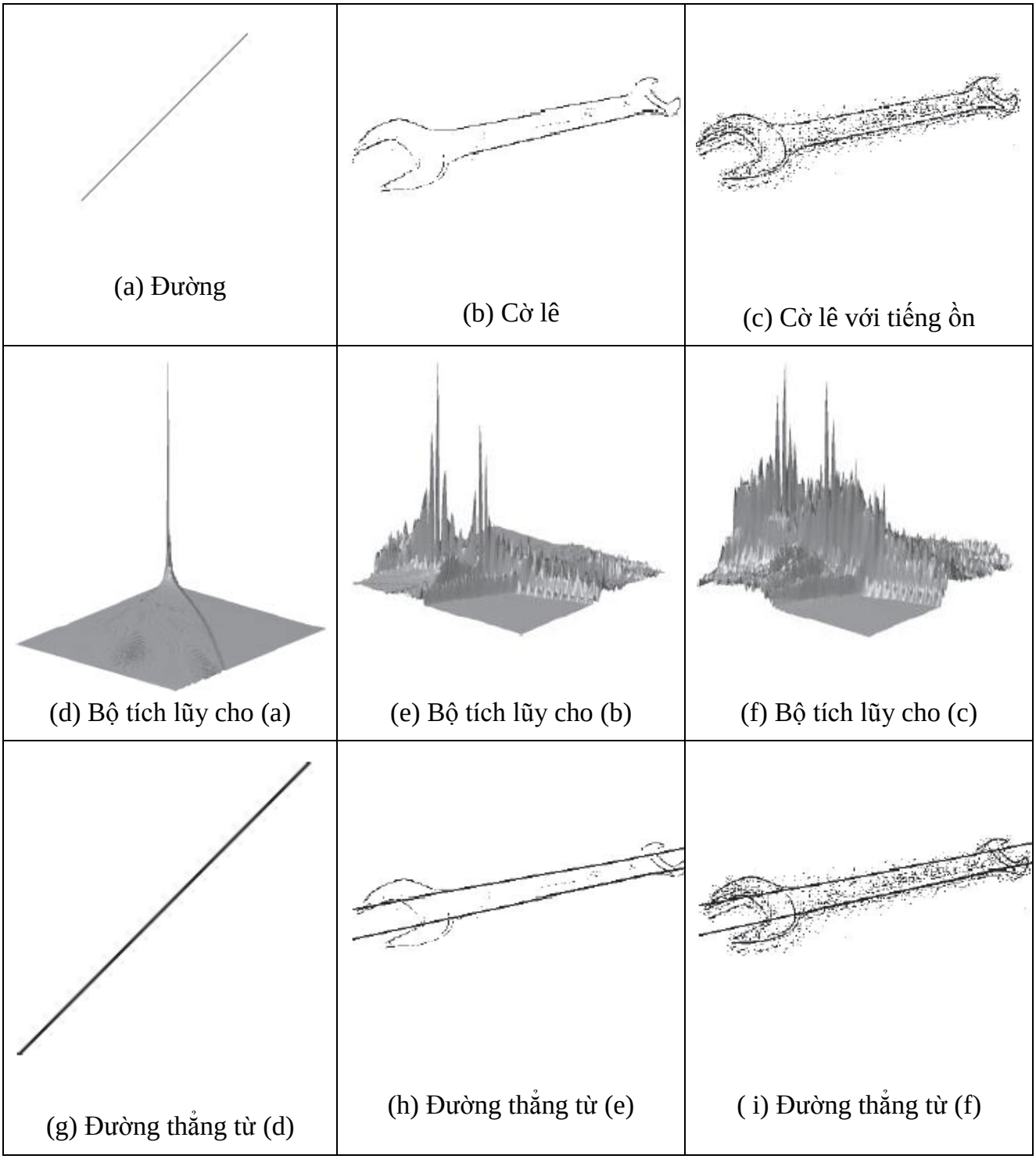
(b) Đường thẳng trong không gian hai

Hình 2.6 Minh họa các Hough chuyển đổi cho đường thẳng

Hình 2.7 cho thấy ba ví dụ về xác định vị trí đường thẳng bằng cách sử dụng HT. HT cung cấp một phản ứng chính xác, ước tính chính xác của các tham số được sử dụng để xác định đường thẳng, miễn là số lượng điểm thẳng dọc theo đường thẳng vượt quá số lượng các điểm thẳng trên bất kỳ đường thẳng nào trong ảnh. Tuy nhiên, tính phi tuyến của các tham số và sự rời rạc tạo các tích lũy tiếng ồn. Một vấn đề lớn trong việc thực hiện các HT cơ bản cho đường thẳng là sự xác định của một không gian tích lũy thích hợp. Trong ứng dụng, thuật toán vẽ đường thẳng Bresenham (Bresenham, 1965) có thể sử dụng để vẽ các đường thẳng bình chọn trong không gian tích lũy. Điều này đảm bảo rằng đường thẳng của các lựa chọn kết nối được rút ra như trái ngược với sử dụng phương trình 2.27 có thể dẫn đến những khoảng trống trong các đường vẽ. Ngoài ra, backmapping (Gerig, 1986) có thể được sử dụng để xác định chính xác điểm cạnh đóng góp cho một đỉnh đặc biệt. Backmapping là một ánh xạ ngược từ không gian tích lũy đến dữ liệu cạnh và có thể cho phép phân tích hình dạng của hình ảnh bằng cách loại bỏ các điểm cạnh góp phần đỉnh đặc biệt, và sau đó tái tích lũy bằng cách sử dụng HT. Lưu ý rằng các chi phí tính toán của HT phụ thuộc vào số lượng các điểm cạnh (n_e) và chiều dài của các đường thẳng hình thành trong không gian tham số (l) đưa ra một chi phí tính toán $O(n_e l)$. Chi phí này ít hơn đáng kể so với đối sánh mẫu được đưa ra trước đó là $O(n^2 m^2)$.

Một cách để tránh các vấn đề của sự biểu diễn tham số Đề các trong HT là cơ sở hàm ánh xạ trên một sự biểu diễn tham số thay thế. Một trong những kỹ thuật đã được chứng minh nhất được gọi là sự biểu diễn tham số chân-của-bình thường. Biểu diễn tham số một đường thẳng này bằng cách xem xét một điểm (x, y) như là một hàm của một góc bình thường với đường thẳng đi qua gốc của hình ảnh. Điều này cho phép một hình thức của HT cho các đường thẳng được gọi là HT cực cho các đường thẳng (Duda, 1972). Điểm mà đường thẳng này giao với đường thẳng trong hình ảnh được cho bởi:

$$\rho = x \cos(\theta) + y \sin(\theta) \tag{2.28}$$



(a) Đường (b) Cờ lê (c) Cờ lê với tiếng ồn

(d) Bộ tích lũy cho (a) (e) Bộ tích lũy cho (b) (f) Bộ tích lũy cho (c)

(g) Đường thẳng từ (d) (h) Đường thẳng từ (e) (i) Đường thẳng từ (f)

Hình 2.7 Áp dụng các biến đổi Hough cho đường thẳng

Trong đó θ là góc của đường thẳng bình thường với các đường thẳng trong một hình ảnh và ρ là chiều dài giữa gốc và điểm mà các đường giao nhau, ta có được

$$c = \frac{\rho}{\sin(\theta)} \quad m = -\frac{1}{\tan(\theta)} \tag{2.29}$$

Bằng sự thay thế trong phương trình 2.24 chúng ta có được những hình thức cực, phương trình 2.28. Điều này cung cấp một hàm ánh xạ khác nhau: Lựa chọn bây giờ đang bỏ một cách hình sin trong một mảng tích lũy 2D về θ và ρ, các tham số quan tâm. Ưu điểm của phép ánh xạ thay thế này là các giá trị của các tham số θ và ρ đang bị chặn và nằm trong một phạm vi cụ thể. Phạm vi cho ρ là trong vòng 180^o, các giá trị có thể có của ρ được đưa ra bởi kích thước hình ảnh, vì chiều dài tối đa của đường thẳng này là $\sqrt{2} \times N$, trong đó N là kích thước hình ảnh. Phạm vi của các giá trị có thể bây giờ là cố định, vì vậy kỹ thuật này là khả thi.

2.3.3. Biến đổi Hough cho hình tròn

Biến đổi Hough có thể được mở rộng bằng cách thay thế các phương trình của đường cong trong quá trình phát hiện. Phương trình của đường cong có thể được đưa ra trong hình thức rõ ràng hoặc tham số. Trong hình thức rõ ràng, HT được xác định bằng cách xem xét các phương trình cho một hình tròn bởi

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2 \tag{2.30}$$

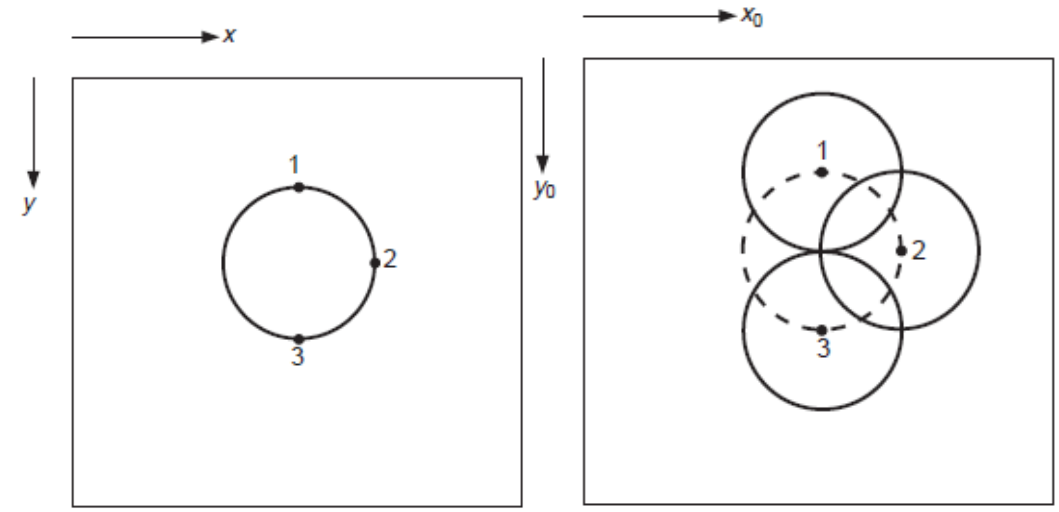
Phương trình này xác định một quỹ tích các điểm (x, y) tập trung vào gốc (x_0, y_0) và có bán kính r. Phương trình này một lần nữa có thể được hình dung trong hai cách kép: như một qũy tích các điểm (x, y) trong một hình ảnh, hoặc như một quỹ tích các điểm (x_0, y_0) tập trung vào (x, y) với bán kính r.

Hình 2.9 minh họa hai xác định này. Mỗi điểm cạnh xác định một tập hợp các hình tròn trong không gian tích lũy. Những hình tròn được xác định bởi tất cả các giá trị có thể của bán kính và tập trung vào các tọa độ của các điểm cạnh. Hình 2.9(b) cho thấy ba vòng tròn được xác định bởi ba điểm cạnh. Những hình tròn được xác định cho một giá trị bán kính nhất định. Trên thực tế, mỗi điểm cạnh xác định các hình tròn cho các giá trị khác của bán kính. Điều này cho thấy không gian tích lũy là ba chiều (đối với ba thông số quan tâm) và các điểm cạnh ánh xạ để một hình nón chọn trong không gian tích lũy. Hình 2.9(c) minh họa tích lũy này. Sau khi thu thập dấu hiệu của tất cả các điểm cạnh, tối đa trong không gian tích lũy lại tương ứng với các tham số của hình tròn trong hình ảnh ban đầu. Các thủ tục thu thập dấu hiệu là giống như HT cho đường thẳng, nhưng các bình chọn được tạo ra trong khối hình nón, theo phương trình 2.30 có thể được xác định dưới dạng tham số như

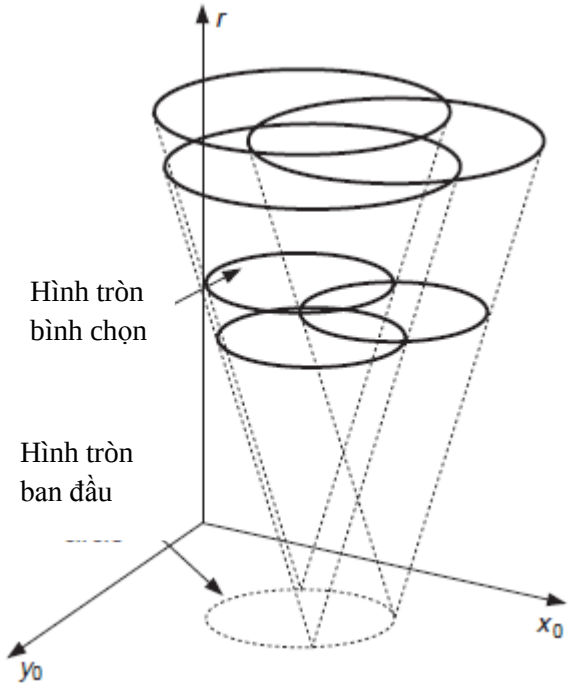
$$x = x_0 + r\cos(\theta) \quad y = y_0 + r\sin(\theta) \tag{2.31}$$

Ưu điểm của sự biểu diễn này là nó cho phép chúng ta giải quyết cho các tham số. Do đó, phép ánh xạ HT được xác định bởi

$$x_0 = x - r\cos(\theta) \quad y_0 = -r\sin(\theta) \tag{2.32}$$



(a) Hình ảnh có chứa một hình tròn (b) Không gian lưu trữ



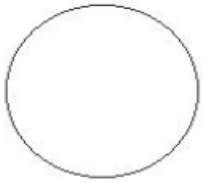
(c) Không gian lưu trữ 3D

Hình 2.9 Minh họa biến đổi Hough cho hình tròn

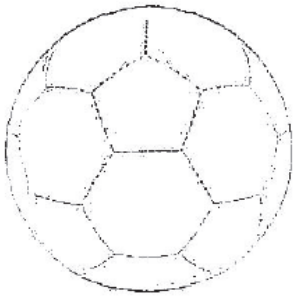
Những phương trình xác định các điểm trong không gian tích lũy (Hình 2.9(b)) phụ thuộc vào bán kính *r*. lưu ý rằng θ không phải là một tham số tự do, nhưng xác định các dấu vết của đường cong. Các dấu vết của đường cong (hoặc bề mặt) thường được gọi là hàm rải điểm.

Các ứng dụng của HT hình tròn được minh họa trong hình 2.10. Hình 2.10(a) cho thấy một hình ảnh với một hình tròn tổng hợp. Trong hình này, các cạnh là đầy đủ và được xác định rõ. Kết quả của quá trình HT được thể hiện trong hình 2.10(d). Đỉnh cao của không gian lưu trữ là trung tâm của hình tròn. Lưu ý rằng sự bình chọn tồn tại từ trung tâm của hình tròn và gia tăng đối với quỹ tích của hình tròn

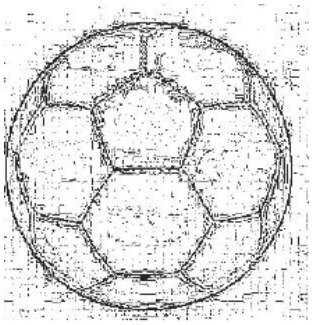
thực tế, mặc dù bình chọn nền ít hơn nhiều so với cao điểm thực tế. Hình 2.10(b) cho thấy một ví dụ về dữ liệu có chứa nhiễu và tiếng ồn. Hình ảnh trong hình 2.10(c) tương ứng với cùng một bối cảnh, nhưng mức độ tiếng ồn đã được tăng lên bằng cách thay đổi các giá trị ngưỡng trong quá trình phát hiện cạnh. Các tích lũy cho hai loại hình ảnh được thể hiện trong hình 2.10(e) và 2.10(f) và các hình tròn liên quan đến các đỉnh không gian tham số được chồng (màu đen) trên các hình ảnh cạnh trong hình 2.10(g) tới (i). Chúng ta có thể thấy rằng HT có khả năng chịu đựng nhiễu và tiếng ồn.



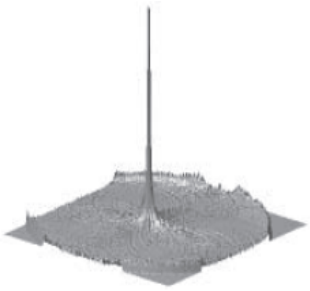
(a) Hình tròn



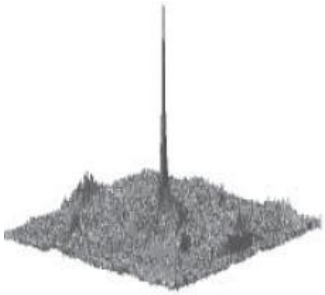
(b) Cạnh quả bóng đá



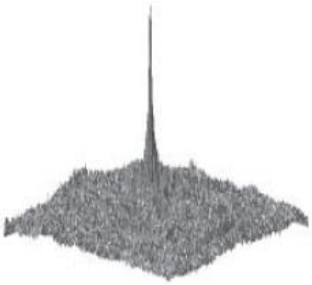
(c) Tiếng ồn cạnh quả bóng đá



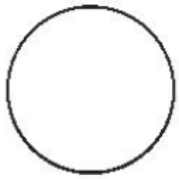
(d) Bộ lưu trữ cho (a)



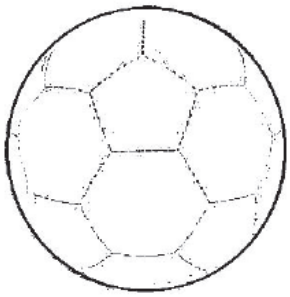
(e) Bộ lưu trữ cho (b)



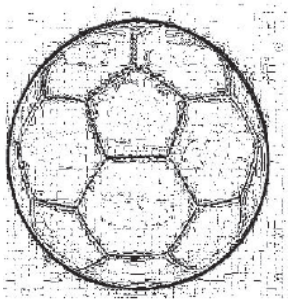
(f) Bộ lưu trữ cho (c)



(g) Vòng tròn từ (d)



(h) Vòng tròn từ (e)



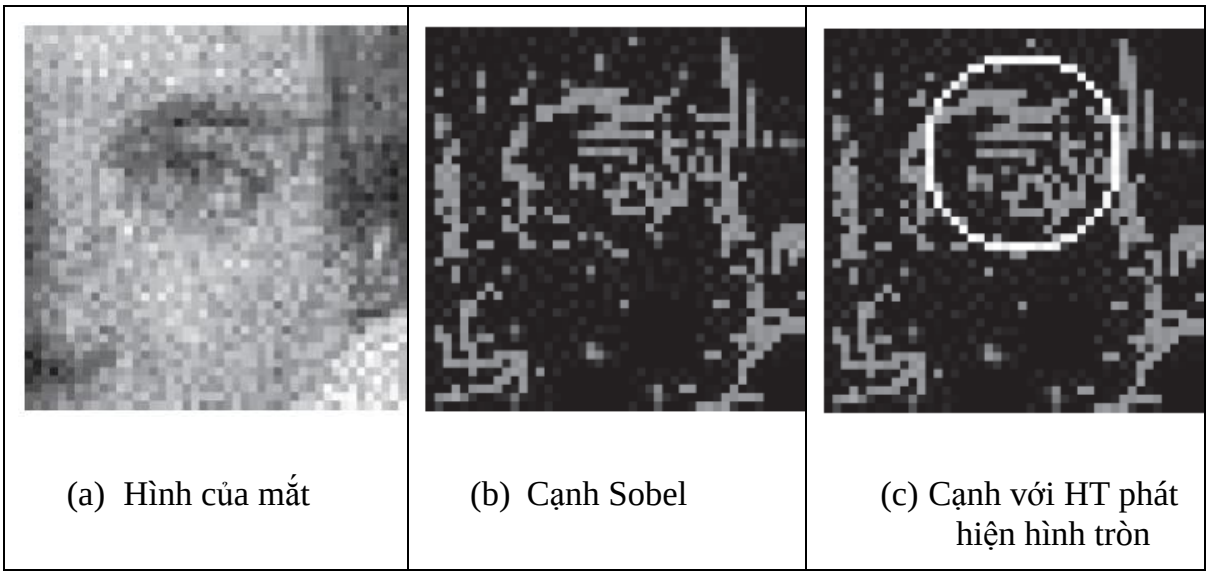
(i) Vòng tròn từ (f)

Hình 2.10 Áp dụng các biến đổi Hough cho hình tròn

Trong hình 2.10(c) có rất nhiều điểm cạnh do đó số lượng thời gian xử lý tăng. HT sẽ cung cấp các kết quả đúng miễn là điểm hơn là trong một quỹ tích hình tròn được mô tả bởi các tham số của hình tròn mục tiêu hơn là có trên bất kỳ hình tròn khác.

Đây chính là hiệu suất giống như cho HT cho đường thẳng như mong đợi và phù hợp với kết quả của đối sánh mẫu. Trong mã ứng dụng, thuật toán Bresenham cho hình tròn rời rạc (Bresenham, 1997) có thể được sử dụng để vẽ hình tròn bình chọn, chứ không phải là sử dụng thực hiện cực của phương trình 2.32. Điều này đảm bảo rằng quỹ tích hoàn chỉnh các điểm được rút ra và tránh sự cần thiết để lựa chọn một giá trị cho sự gia tăng trong các góc được sử dụng để theo dõi hình tròn. Thuật toán Bresenham có thể được sử dụng để tạo ra các điểm trong một chòm sao bát nhân, từ các điểm còn lại có thể thu được bởi sự phản ánh. Một lần nữa, backmapping có thể được sử dụng để xác định điểm đóng góp vào hình tròn trích chọn.

Một ví dụ khác của việc trích chọn hình tròn HT được thể hiện trong hình 2.11. Hình 2.11(a) lại là một hình ảnh thực sự (mặc dù với một độ phân giải thấp) được xử lý bằng cách phát hiện cạnh sobel và phân ngưỡng để cung cấp cho các điểm trong hình 2.11(b). Vòng tròn được phát hiện bởi ứng dụng của biến đổi hough cho hình tròn với bán kính 5 điểm ảnh được thể hiện trong hình 2.11(c) chồng lên dữ liệu cạnh. Hình tròn được trích chọn có thể được nhìn thấy để đối sánh với dữ liệu cạnh tốt. Điều này nêu bật hai lợi thế lớn của HT (và của đối sánh mẫu): khả năng xử lý tiếng ồn và nhiễu. Lưu ý rằng HT chỉ thấy hình tròn với số lượng điểm tối đa, nó có thể bao gồm các ràng buộc khác để kiểm soát quá trình lựa chọn hình tròn. Trong trường hợp của con mắt người, mống mắt thường đậm hơn môi trường xung quanh màu trắng của nó.



(a) Hình của mắt (b) Cạnh Sobel (c) Cạnh với HT phát hiện hình tròn

Hình 2.11 Bằng cách sử dụng HT cho hình tròn

Hình 2.11 cũng cho thấy một số khó khăn với HT, cụ thể là nó cơ bản là một thực hiện của đối sánh mẫu, và không sử dụng một số các nguồn thông tin lớn có sẵn trong một hình ảnh. Ví dụ,chúng ta có thể biết hạn chế về kích thước, kích thước lớn nhất và mống mắt sẽ là trong một hình ảnh giống như hình 2.11. Chúng ta biết một số các cấu trúc liên kết: vùng mắt có chứa hai cấu trúc hình elip với một hình tròn ở giữa. Ngoài ra,chúng ta có thể biết thông tin độ sáng: con ngươi đậm màu hơn màu của mống mắt xung quanh. Những yếu tố này có thể được xây dựng như hạn chế vào việc điểm cạnh có thể bình chọn trong mảng tích lũy. Một thay đổi

đơn giản là làm cho các bình chọn tỷ lệ thuận với biên độ lớn, theo cách này điểm với độ tương phản cao sẽ tạo ra nhiều bình chọn và do đó có ý nghĩa hơn trong quá trình bình chọn. Bằng cách này, các trích chọn đặc trưng bởi HT có thể được sắp xếp phù hợp với một ứng dụng cụ thể.

2.3.4. *Biến đổi Hough cho ellipse*

Hình tròn là rất quan trọng trong việc phát hiện hình dạng từ nhiều đối tượng có hình dạng tròn. Tuy nhiên, do quan điểm của máy ảnh, hình tròn không luôn luôn trông giống như hình tròn trong hình ảnh. Hình ảnh được hình thành bằng cách ánh xạ một hình trong không gian 3D vào một mặt phẳng (mặt phẳng ảnh). Cách ánh xạ này thực hiện một sự thay đổi quan điểm. Trong quá trình này, một hình tròn bị biến dạng trông giống như một hình elip. Chúng ta có thể xác định ánh xạ giữa hình tròn và một hình elip bằng một chuyển đổi tương tự. Đó là,

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\rho) & \sin(\rho) \\ -\sin(\rho) & \cos(\rho) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_x \\ S_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} \tag{2.33}$$

trong đó (x', y') xác định tọa độ của hình tròn trong phương trình 2.31, ρ đại diện cho các định hướng, (S_x, S_y) là một thừa số tỷ lệ và (t_x, t_y) một dịch chuyển. Nếu chúng ta xác định

$$\begin{aligned} a_0 &= t_x \quad a_x = S_x \cos(\rho) \quad b_x = S_y \sin(\rho) \\ b_0 &= t_y \quad a_y = -S_x \sin(\rho) \quad b_y = S_y \cos(\rho) \end{aligned} \tag{2.34}$$

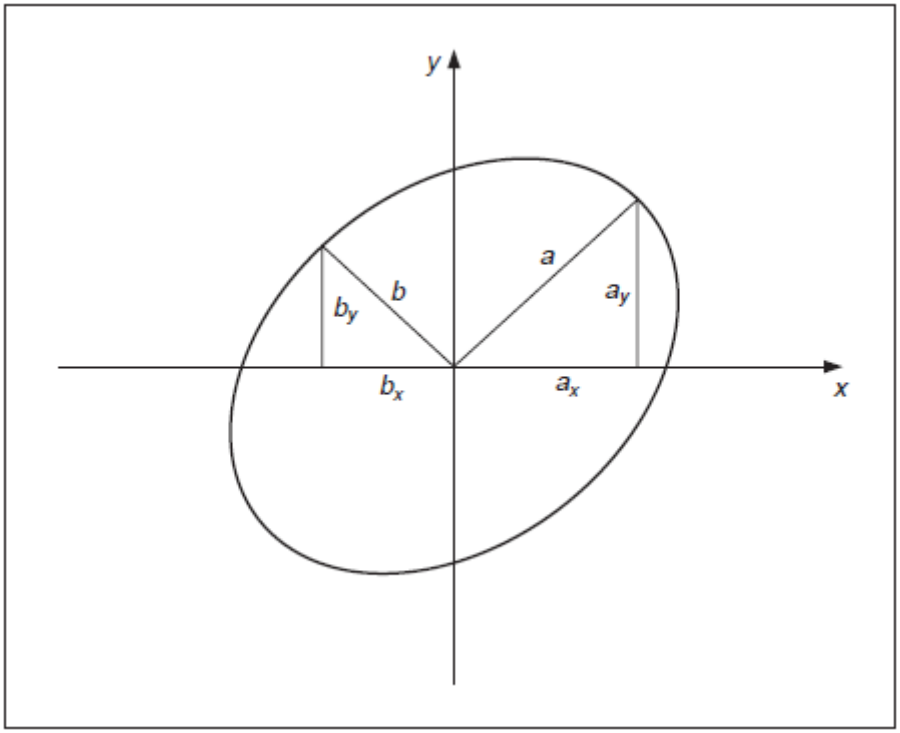
Sau đó chúng ta đã có hình tròn bị biến dạng thành

$$\begin{aligned} x &= a_0 + a_x \cos(\theta) + b_x \sin(\theta) \\ y &= b_0 + a_y \cos(\theta) + b_y \sin(\theta) \end{aligned} \tag{2.35}$$

Phương trình này tương ứng với các biểu diễn cực của một hình elip. Hình thức cực này có sáu tham số $(a_0, b_0, a_x, b_x, a_y, b_y)$ đặc trưng cho hình dạng của hình elip. θ không phải là một tham số tự do và chỉ đề cập đến một điểm cụ thể trong quỹ tích của elip. Tuy nhiên, một tham số là không cần thiết vì nó có thể được tính bằng cách xem xét tính trực giao của các trục của elip (tích số $a_xb_x+a_yb_y = 0$ là một trong những thuộc tính nổi bật của một hình elip). Do đó, một hình elip được xác định bởi trung tâm của nó (a_0, b_0) và ba tham số trục(a_x, b_x, a_y, b_y). Điều này cho phép năm tham số được trực giác chính xác từ một hình elip được xác định bởi trung tâm của nó (hai thông số), nó chỉnh kích thước dọc theo hai trục (hai thông số hơn) và phép quay của nó (một tham số). Trong tổng số các trạng thái này năm tham số mô tả một hình elip, vì vậy ba tham số trục phải cùng mô tả kích thước và phép quay. Trong thực tế, các thông số trục có thể được liên quan đến việc định hướng và chiều dài dọc theo trục bởi

$$\tan(\rho) = \frac{a_y}{a_x} \quad a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \quad b = \sqrt{b_x^2 + b_y^2} \tag{2.36}$$

Trong đó (a, b) là các trục của elip. Như minh họa trong hình 2.12



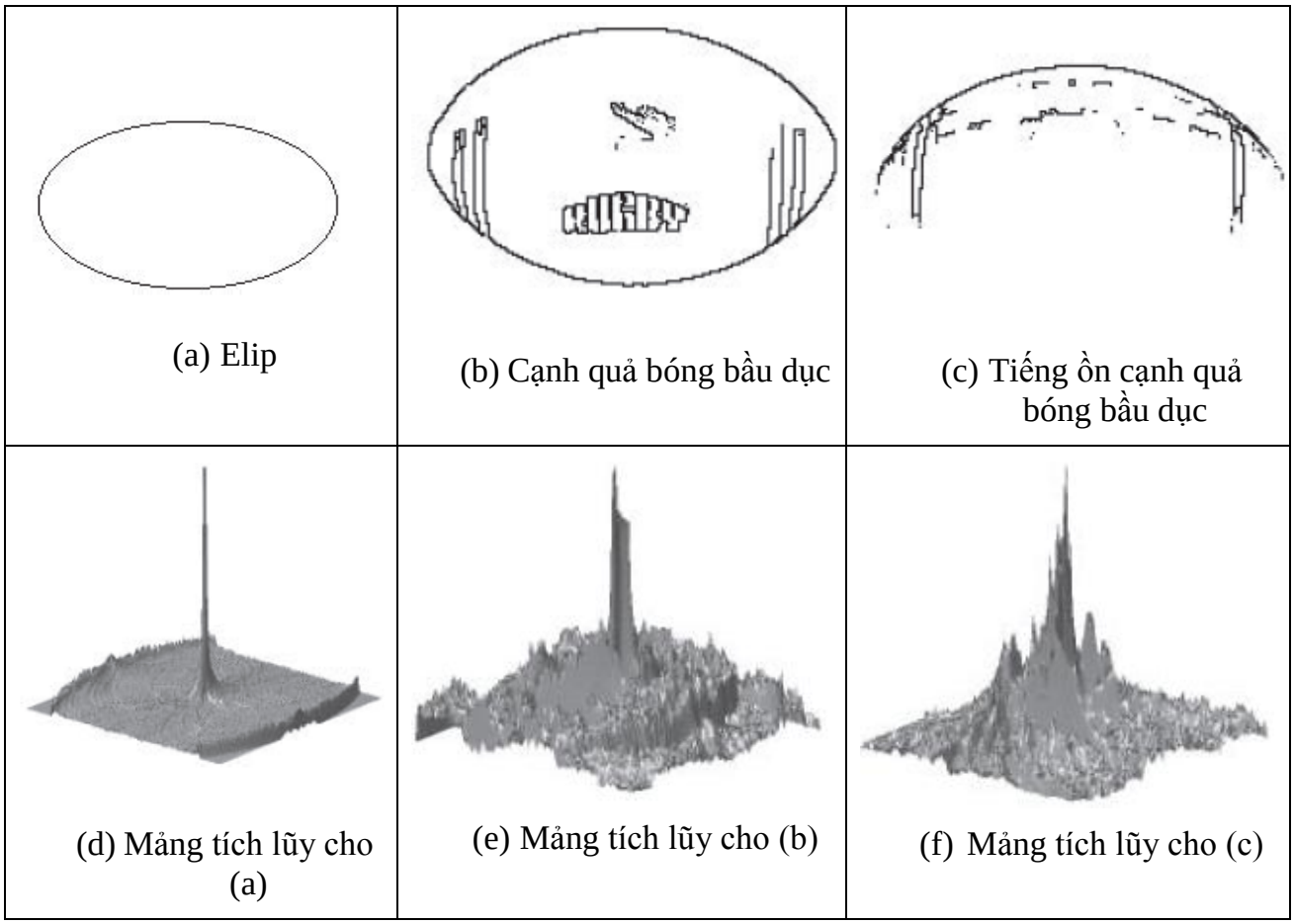
Hình 2.12 Sự xác định của trục elip

Một cách tương tự như phương trình 2.31, phương trình 2.35 có thể được sử dụng để tạo ra các hàm ánh xạ trong HT. Trong trường hợp này, vị trí trung tâm của hình elip được cho bởi

$$a_0 = x - a_x \cos(\theta) + b_x \sin(\theta)$$
$$b_0 = y - a_y \cos(\theta) + b_y \sin(\theta) \quad (2.37)$$

Vị trí phụ thuộc vào ba tham số, do đó phép ánh xạ xác định các dấu vết của một siêu diện trong một không gian 5D. Không gian này có thể rất lớn. Theo đó đã có nhiều lợi ích trong kỹ thuật phát hiện hình elip mà sử dụng không gian ít hơn và hoạt động nhanh hơn nhiều so với thực hiện trực tiếp của phương trình 2.37.

Hình 2.13 cho thấy ba ví dụ về các ứng dụng của quá trình trích chọn hình elip. Ví dụ đầu tiên (hình 2.13(a)) minh họa các trường hợp của một hình elip hoàn hảo trong một hình ảnh tổng hợp. Mảng trong hình 2.13(d) cho thấy một đỉnh nổi bật mà vị trí tương ứng với trung tâm của elip. Các ví dụ trong hình 2.13(b) và 2.13(c) minh họa cho việc sử dụng của HT để xác định vị trí một hình dạng tròn khi hình ảnh có một cái nhìn xiên. Mỗi ví dụ được thu thập bằng cách sử dụng một ngưỡng khác nhau trong quá trình phát hiện cạnh. Hình 2.13(c) có chứa nhiều dữ liệu tiếng ồn hơn mà lần lượt làm phát sinh tiếng ồn hơn trong lưu trữ. Chúng ta có thể quan sát rằng có nhiều hơn một hình elip được đặt trong hai hình dẫn đến các giá trị cao khác trong không gian lưu trữ. Như với các ví dụ trước đó cho trích chọn đường thẳng và hình tròn, một lần nữa là phạm vi để giải thích các không gian lưu trữ, để khám phá cấu trúc sản xuất kết hợp tham số cụ thể.



(a) Elip | (b) Cạnh quả bóng bầu dục | (c) Tiếng ồn cạnh quả bóng bầu dục

(d) Mảng tích lũy cho (a) | (e) Mảng tích lũy cho (b) | (f) Mảng tích lũy cho (c)

Hình 2.13 Áp dụng các biến đổi Hough cho elip

2.3.5. Tham số phân hủy không gian

HT cung cấp cho cùng một kết quả (tối ưu) như đối sánh mẫu và mặc dù nó là nhanh hơn, nó vẫn đòi hỏi tài nguyên tính toán đáng kể. Trong các phần trước, chúng ta đã thấy rằng khi chúng ta tăng sự phức tạp của đường cong dưới phát hiện, các yêu cầu tính toán tăng theo một cấp số nhân. Như vậy, HT trở lên ít thực tế. Vì lí do này, hầu hết các nghiên cứu trong HT đã tập trung vào sự phát kỹ thuật nhằm giảm độ phức tạp tính toán của nó (lllingworth, 1988), (tốt nghiệp, 1993). Một trong những cách quan trọng để giảm các tính toán đã sử dụng các tính chất hình học của hình dạng để phân hủy các không gian tham số. Một số kỹ thuật đã sử dụng tính chất hình học khác nhau. Những tính chất hình học thường được xác định bởi mối quan hệ giữa các điểm và các dẫn xuất.

2.3.5.1. Giảm không gian tham số cho đường thẳng

Cho một đường thẳng, không gian lưu trữ có thể được giảm từ 2D sang 1D bằng cách xem xét rằng chúng ta có thể tính toán độ dốc từ các thông tin của hình ảnh. Độ dốc có thể được tính bằng cách sử dụng các hướng dốc tại một điểm hoặc bằng cách xem xét một cặp điểm. Đó là,

$$m = \varphi \quad \text{or} \quad m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \tag{2.38}$$

Trong đó φ là hướng dốc tại điểm. Trong trường hợp có hai điểm, bằng cách xem xét phương trình 2.24 ta có,

$$c = \frac{x_2 y_1 - x_1 y_2}{x_2 - x_1} \tag{2.39}$$

Như vậy, theo phương trình 2.29, chúng ta đã có một trong những tham số của biểu diễn cực cho đường thẳng, θ bây giờ được cho bởi

$$\theta = -\tan^{-1}\left[\frac{1}{\varphi}\right] \quad \text{or} \quad \theta = \tan^{-1}\left[\frac{x_1 - x_2}{y_2 - y_1}\right] \tag{2.40}$$

Những phương trình này không phụ thuộc vào tham số khác ρ và cung cấp các ánh xạ thay thế để thu thập dấu hiệu. Chúng phân hủy không gian tham số như vậy mà hai tham số θ và ρ bây giờ là độc lập. Việc sử dụng các thông tin hướng cạnh là cơ sở của phương pháp trích chọn đường thẳng trình bày bởi O'Gorman và Clowes (O'Gorman, 1976). Việc sử dụng các cặp điểm có thể có liên quan đến sự xác định của biến đổi Hough ngẫu nhiên (Xu, 1990). Rõ ràng, số lượng các điểm đặc trưng được coi là tương ứng với tất cả các kết hợp của các điểm tạo thành cặp. Bằng cách sử dụng kỹ thuật thống kê có thể làm giảm không gian của các điểm để xem xét một mẫu đại diện của các yếu tố. Đó là một tập hợp con cung cấp đủ thông tin để có được các thông số với các lỗi dự toán được xác định trước và nhỏ.

2.3.5.2. Giảm không gian tham số cho hình tròn

Trong trường hợp đường thẳng mối quan hệ giữa thông tin cục bộ tính từ một hình ảnh và sự bao gồm của một nhóm điểm (cặp) là trong một mô tả phân tích thay thế sẽ dễ dàng được thành lập. Đối với nguyên thủy phức tạp hơn, nó có thể bao gồm một số mối quan hệ hình học. Các mối quan hệ không được xác định cho một thiết lập tùy ý của các điểm nhưng bao gồm hạn chế góc để xác định vị trí tương đối giữa chúng. Nói chung, chúng ta có thể xem xét tính chất hình học khác nhau của hình tròn để phân hủy các không gian tham số. Điều này đã thúc đẩy sự phát triển của nhiều phương pháp tham số không gian phân hủy (Aguado, 1996b). Một mối quan hệ hình học quan trọng được đưa ra bởi các hình học của các đạo hàm bậc hai. Mối quan hệ này có thể thu được bằng cách xem xét rằng phương trình 2.31 xác định một hàm vector vị trí. Đó là,

$$\omega(\theta) = x(\theta)\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + y(\theta)\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2.41}$$

Trong đó

$$x(\theta) = x_0 + r\cos(\theta) \quad y(\theta) = y_0 + r\sin(\theta) \tag{2.42}$$

Theo xác định này, chúng ta đã bao gồm các tham số của đường cong như một tham số để làm nổi bật thực tế là hàm xác định một vector cho mỗi giá trị của θ. Các điểm

kết thúc của tất cả các vector theo dõi một hình tròn. Các đạo hàm của công thức 2.41đối với θ xác định các đạo hàm bậc nhất và đạo hàm bậc hai. Đó là,

$$v'(\theta) = x'(\theta)\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + y'(\theta)\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2.43a}$$

$$v''(\theta) = x''(\theta)\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + y''(\theta)\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2.43b}$$

Trong đó

$$x'(\theta) = -r\sin(\theta) \qquad y'(\theta) = r\cos(\theta)$$

$$x''(\theta) = -r\cos(\theta) \qquad y''(\theta) = -r\sin(\theta) \tag{2.44}$$

Hình 2.14 minh họa các xác định của các đạo hàm bậc nhất và đạo hàm bậc hai. Đạo hàm bậc nhất xác định một vector tiếp tuyến trong khi đạo hàm bậc hai cũng tương tự như hàm vector nhưng có hướng ngược lại. Trong đó, các hướng cạnh đo hình tròn có thể được sắp xếp để chỉ về phía trung tâm thực sự là cơ sở của một trong những phương pháp tiếp cận sớm để giảm tải tính toán của HT cho hình tròn (Kimme, 1975).

Theo phương trình 2.42 và phương trình 2.44, chúng ta nhận thấy rằng sự tiếp xúc của góc của đạo hàm bậc nhất ký hiệu là $\phi'(\theta)$ được cho bởi

$$\phi'(\theta) = \frac{y'(\theta)}{x'(\theta)} = -\frac{1}{\tan(\theta)} \tag{2.45}$$

Góc sẽ được ký hiệu bằng cách sử dụng các biểu tượng ^. Đó là,

$$\hat{\phi}'(\theta) = \tan^{-1}(\phi'(\theta)) \tag{2.46}$$

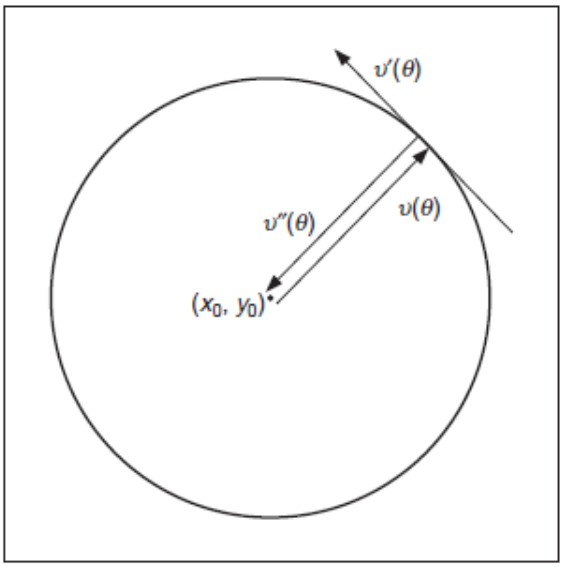
Tương tự như vậy, đối với tang của đạo hàm bậc hai, chúng ta có

$$\phi''(\theta) = \frac{y''(\theta)}{x''(\theta)} = \tan(\theta) \quad \text{and} \quad \hat{\phi}''(\theta) = \tan^{-1}(\phi''(\theta)) \tag{2.47}$$

Bằng cách quan sát sự xác định của $\phi''(\theta)$, ta có

$$\phi''(\theta) = \frac{y''(\theta)}{x''(\theta)} = \frac{y(\theta) - y_0}{x(\theta) - x_0} \tag{2.48}$$

Phương trình này xác định một đường thẳng đi qua điểm $(x(\theta), y(\theta))$ và (x_0, y_0) và nó có lẽ là mối quan hệ quan trọng nhất trong tham số phân hủy không gian. Sự xác định của đường thẳng này là hiển nhiên hơn bằng cách sắp xếp lại các điều kiện. Đó là,



Hình 2.14 Sự xác định của các đạo hàm bậc nhất và đạo hàm bậc hai cho một hình tròn

$$y(\theta) = \phi''(\theta)(x(\theta) - x_0) + y_0 \tag{2.49}$$

Phương trình này là độc lập với tham số bán kính. Do đó, nó có thể được sử dụng để thu thập dấu hiệu về vị trí của hình dạng trong một lưu trữ 2D. Phép ánh xạ HT được xác định bởi hình thức kép do

$$y_0 = \phi''(\theta)(x_0 - x(\theta)) + y(\theta) \tag{2.50}$$

Tức là,với một điểm ảnh (x(θ), y(θ)) và giá trị của $\phi''(\theta)$, chúng ta có thể tạo ra một đường thẳng bình chọn trong 2D lưu trữ (x_0, y_0). Từng là trung tâm của hình tròn được biết đến, sau đó lưu trữ 1D có thể được sử dụng để xác định vị trí bán kính. Các khía cạnh quan trọng của tham số phân hủy không gian là phương pháp được sử dụng để có được giá trị của $\phi''(\theta)$ từ dữ liệu hình ảnh. Chúng ta sẽ xem xét hai cách khác nhau. Đầu tiên, chúng ta sẽ thấy rằng $\phi''(\theta)$ có thể thu được bằng thông tin hướng cạnh. Thứ hai, làm thế nào $\phi''(\theta)$ có thể được lấy từ thông tin của một cặp điểm.

Để có được $\phi''(\theta)$, chúng ta có thể sử dụng các xác định trong phương trình 2.46 và phương trình 2.47. Theo các phương trình này, các tiếp tuyến $\phi''(\theta)$ và $\phi'(\theta)$ là vuông góc. Do đó,

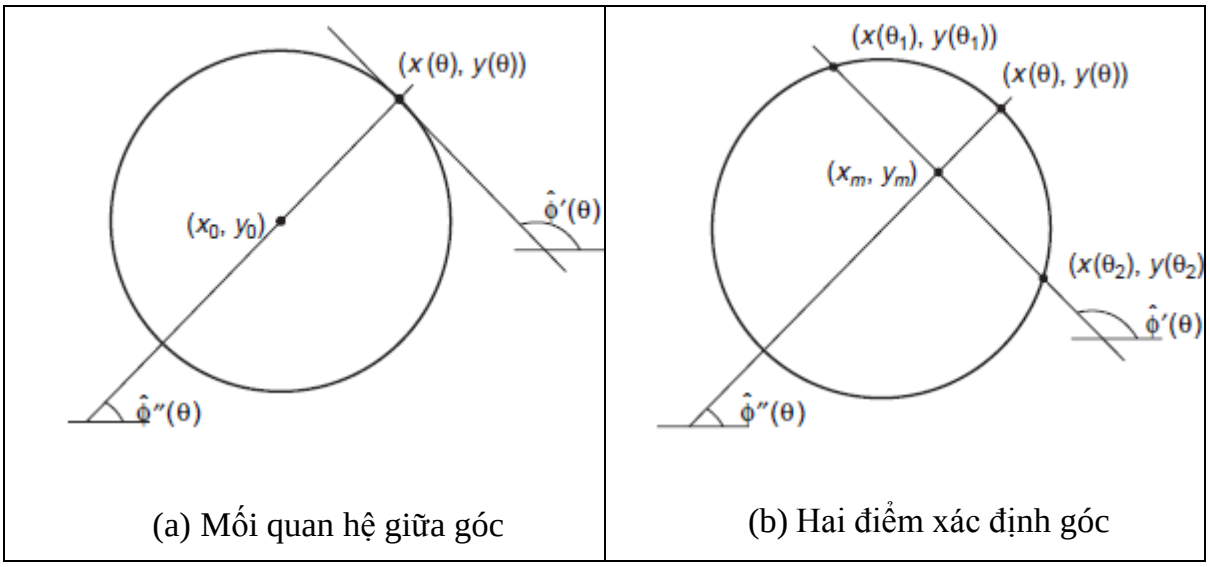
$$\phi''(\theta) = -\frac{1}{\phi'(\theta)} \tag{2.51}$$

Do đó, các ánh xạ HT trong phương trình 2.50 có thể được viết về độ dốc hướng $\phi'(\theta)$ như

$$y_0 = y(\theta) + \frac{x(\theta) - x_0}{\phi'(\theta)} \tag{2.52}$$

Phương trình này có một sự giải thích hình học đơn giản minh họa trong hình 2.15(a). Chúng ta có thể thấy rằng đường thẳng bình chọn đi qua các điểm *(x(θ),y(θ))* và *(x_0, y_0)*. Độ dốc của đường thẳng vuông góc với hướng của hướng dốc. Một phân hủy thay thế có thể thu được bằng cách xem xét hình học thể hiện trong hình 2.15(b). Trong hình này chúng ta có thể thấy rằng nếu chúng ta có một cặp điểm *(x_1, y_1) và (x_2, y_2)*, trong đó $x_i = x(\theta_i)$ thì đường thẳng đi qua các điểm có độ dốc giống như đường thẳng tại một điểm *(x(θ), y(θ))*. Theo đó,

$$\phi'(\theta) = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \tag{2.53}$$



(a) Mối quan hệ giữa góc (b) Hai điểm xác định góc

Hình 2.15 Hình học của các góc của đạo hàm bậc nhất và đạo hàm bậc hai

Trong đó

$$\theta = \tfrac{1}{2}(\theta_1 + \theta_2) \tag{2.54}$$

Dựa trên phương trình 2.53 ta có

$$\phi''(\theta) = -\frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} \tag{2.55}$$

Vấn đề này với việc sử dụng một cặp điểm là bởi phương trình 2.53 chúng ta không thể xác định vị trí của điểm *(x(θ), y(θ))*. May mắn thay, đường thẳng bình chọn cũng đi qua điểm giữa của đường thẳng giữa hai điểm được lựa chọn. Chúng ta hãy xác định điểm này là

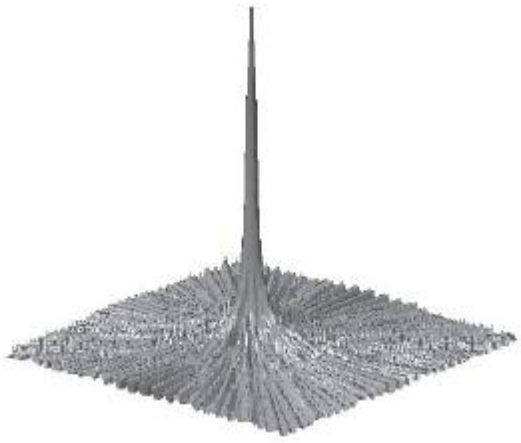
$$x_m = \frac{1}{2}(x_1 + x_2) \quad y_m = \frac{1}{2}(y_1 + y_2) \tag{2.56}$$

Như vậy, bằng cách thay thế phương trình 2.53 trong 2.52 và bằng cách thay thế các điểm ($x(\theta)$, $y(\theta)$) bởi (x_m, y_m), chúng ta đã có các ánh xạ HT có thể được thực hiện như

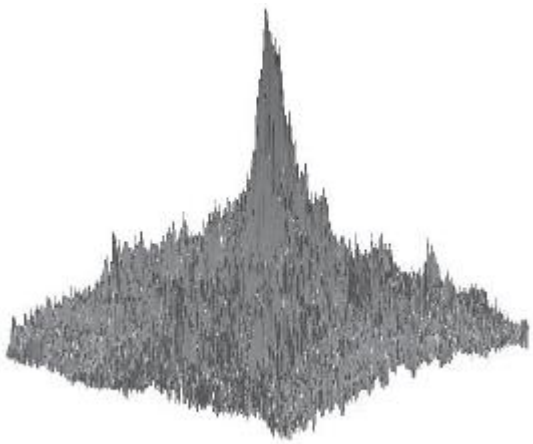
$$y_0 = y_m + \frac{(x_m - x_0)(x_2 - x_1)}{(y_2 - y_1)} \tag{2.57}$$

Phương trình này không sử dụng thông tin hướng dốc nhưng dựa trên cặp điểm. Điều này là tương tự như các tham số phân hủy không gian của đường thẳng đã trình trình bày trong phương trình 2.40. Trong trường hợp đó, độ dốc có thể được tính bằng cách sử dụng hướng dốc hoặc cách khác bằng cách lấy một cặp điểm. Trong trường hợp của hình tròn, tiếp tuyến (và do góc của đạo hàm bậc hai) có thể được tính bằng cách sử dụng hướng dốc (tức là phương trình 2.51) hoặc bởi một cặp điểm (tức là phương trình 2.55). Tuy nhiên, điều quan trọng là nhận thấy rằng có một số kết hợp khác của tham số phân hủy không gian (Aguado, 1996).

Hình 2.16 minh họa việc thực hiện của tham số phân hủy không gian cho HT cho hình tròn cho những hình ảnh trong hình 2.10(a) và hình 2.10(b). Cả hai tích lũy cho một đỉnh cao rõ ràng đại diện cho vị trí của hình tròn. Đỉnh nhỏ trong nền của lưu trữ trong hình 2.10(b) tương ứng với hình tròn với chỉ một vài điểm. Nói chung, có một sự thỏa hiệp giữa sự lây lan của của các đỉnh cao và tiếng ồn trong sự tích lũy. Đỉnh cao có thể được làm hẹp bằng cách xem xét cặp điểm địa bàn rộng hơn. Tuy nhiên điều này cũng có thể làm tăng mức độ của tiếng ồn xung quanh. Tiếng ồn xung quanh có thể được giảm bằng cách lấy điểm gần nhau hơn, nhưng điều này làm cho đỉnh cao rộng hơn.



(a) Lưu trữ cho hình 2.10(a)



(b) Lưu cho hình 2.10(b)

Hình 2.16 Giảm không gian tham số cho biến đổi Hough cho hình tròn

2.3.5.3. Giảm không gian tham số cho hình elip

Một phần của sự đơn giản trong quá trình phân hủy các tham số cho các hình tròn xuất phát từ thực tế các hình tròn là đẳng hướng. Hình elip có nhiều tham số tự do và hình học phức tạp hơn. Tính chất hình học liên quan đến các mối quan hệ phức tạp hơn giữa các điểm, các tiếp tuyến và các góc. Tuy nhiên,hình elip duy trì mối quan hệ hình học được xác định bởi các góc của đạo hàm bậc hai. Theo phương trình 2.41 và phương trình 2.43, vị trí vector và các đạo hàm định hướng của một hình elip trong phương trình 2.35 có các thành phần.

$$x'(\theta) = -a_x \sin(\theta) + b_x \cos(\theta) \qquad y'(\theta) = -a_y \sin(\theta) + b_y \cos(\theta)$$

$$x''(\theta) = -a_x \cos(\theta) - b_x \sin(\theta) \qquad y''(\theta) = -a_y \cos(\theta) - b_y \sin(\theta)$$

(2.58)

tang của góc của các đạo hàm bậc nhất và đạo hàm bậc hai được cho bởi

$$\phi'(\theta) = \frac{y'(\theta)}{x'(\theta)} = \frac{-a_y \cos(\theta) + b_y \sin(\theta)}{-a_x \cos(\theta) + b_x \sin(\theta)}$$

$$\phi''(\theta) = \frac{y''(\theta)}{x''(\theta)} = \frac{-a_y \cos(\theta) - b_y \sin(\theta)}{-a_x \cos(\theta) - b_x \sin(\theta)}$$

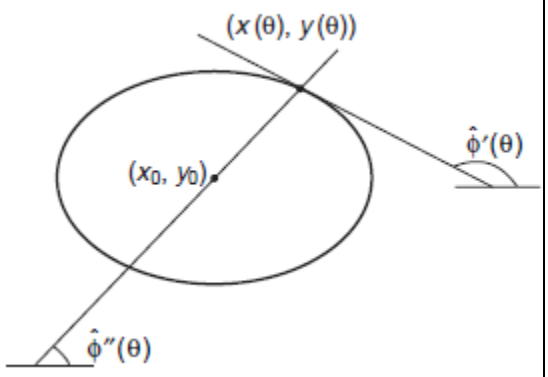
(2.59)

Bằng cách xem xét phương trình 2.58 ta có phương trình 2.48 cũng có giá trị trong một hình elip, đó là

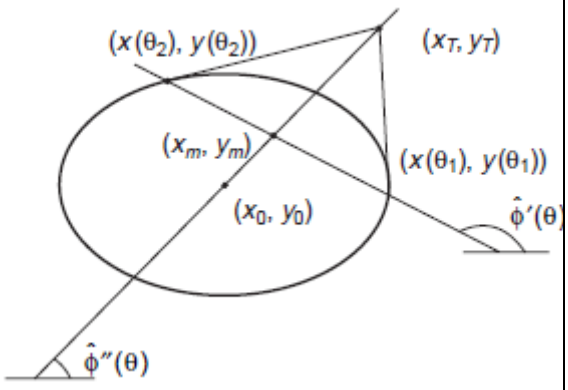
$$\frac{y(\theta) - y_0}{x(\theta) - x_0} = \phi''(\theta)$$

(2.60)

Hình học của sự xác định trong phương trình này được minh họa trong hình 2.17(a). Như trong trường hợp của hình tròn, phương trình này cho thấy có một đường thẳng đi qua các điểm (x(θ), y(θ)) và (x_0, y_0). Tuy nhiên, trong trường hợp của các hình elip các góc $\hat{\phi}'(\theta)$ và $\hat{\phi}''(\theta)$ là không trực giao. Điều này làm cho việc tính toán của $\phi''(\theta)$ phức tạp hơn. Để có được $\phi''(\theta)$, chúng ta có thể mở rộng các hình học được trình bày trong hình 2.15(b). Chúng ta có một cặp điểm để xác định một đường thẳng có độ dốc xác định giá trị của $\phi'(\theta)$ vào thời điểm khác. Điều này được minh họa trong phương trình 2.17(b). Đường thẳng trong phương trình 2.60 đi qua điểm giữa (x_m, y_m). Tuy nhiên, nó không phải là trực giao với đường tiếp tuyến. Để có được một biểu thức của việc ánh xạ HT, đầu tiên chúng ta sẽ thấy rằng mối quan hệ trong phương trình 2.54 cũng có giá trị trong elip. Sau đó, chúng ta sẽ sử dụng phương trình này để có được $\phi''(\theta)$.



(a) Mối quan hệ giữa các góc



(b) Hai điểm xác định góc

Hình 2.17 Hình học của các góc của đạo hàm bậc nhất và đạo hàm bậc hai

Các mối quan hệ trong hình 2.17(b) không phụ thuộc vào sự định hướng hay vị trí của hình elip. Do đó, chúng ta đã có ba điểm có thể được xác định bởi

$$\begin{aligned} x_1 &= a_x \cos(\theta_1) \qquad x_2 = a_x \cos(\theta_2) \qquad x(\theta) = a_x \cos(\theta) \\ y_1 &= b_x \sin(\theta_1) \qquad y_2 = b_x \sin(\theta_2) \qquad y(\theta) = b_x \sin(\theta) \end{aligned} \tag{2.61}$$

Điểm $(x(\theta), y(\theta))$ được đưa ra bởi các giao điểm của đường thẳng trong phương trình 2.60 với hình elip. Đó là,

$$\frac{y(\theta) - y_0}{x(\theta) - x_0} = \frac{a_x}{b_y} \cdot \frac{y_m}{x_m} \tag{2.62}$$

Bằng cách thay thế các giá trị của (x_m, y_m) được xác định là mức trung bình của các tọa độ của các điểm (x_1, y_1) và (x_2, y_2) trong phương trình 2.56, chúng ta có

$$\tan(\theta) = \frac{a_x}{b_y} \cdot \frac{b_y \sin(\theta_1) + b_y \sin(\theta_2)}{a_x \cos(\theta_1) + a_x \cos(\theta_2)} \tag{2.63}$$

Do đó,

$$\tan(\theta) = \tan\left(\tfrac{1}{2}(\theta_1 + \theta_2)\right) \tag{2.64}$$

Từ phương trình này rõ ràng là mối quan hệ trong phương trình 2.54 cũng có giá trị trong hình elip. Dựa trên kết quả này, góc tiếp tuyến của đạo hàm bậc hai có thể được xác định là

$$\phi''(\theta) = \frac{b_y}{a_x} \tan(\theta) \tag{2.65}$$

Bằng sự thay thế trong phương trình 2.62 ta có

$$\phi''(\theta) = \frac{y_m}{x_m} \tag{2.66}$$

Phương trình này là đúng khi hình elip là không dịch chuyển. Nếu hình elip được dịch thì tang của góc có thể được viết trong điều kiện của các điểm (x_m,y_m) và (x_T,y_T) như:

$$\phi''(\theta) = \frac{y_T - y_m}{x_T - x_m} \tag{2.67}$$

Bằng cách xem xét rằng điểm (x_T, y_T) là giao điểm của các đường tiếp tuyến tại (x_1,y_1) và (x_2, y_2), chúng ta có được

$$\phi''(\theta) = \frac{AC + 2BD}{2A + BC} \tag{2.68}$$

Trong đó,

$$A = y_1 - y_2 \quad B = x_1 - x_2$$
$$C = \phi_1 + \phi_2 \quad D = \phi_1 \cdot \phi_2 \tag{2.69}$$

và ϕ_1, ϕ_2 là độ dốc của tiếp tuyến với các điểm. Cuối cùng, bằng cách xem xét phương trình 2.60, phép ánh xạ HT cho tham số trung tâm được xác định là

$$y_0 = y_m + \frac{AC + 2BD}{2A + BC}(x_0 - x_m) \tag{2.70}$$

Phương trình này có thể được sử dụng để thu thập dấu hiệu độc lập với quay hay tỷ lệ. Một khi vị trí được biết đến, một không gian tham số 3D là cần thiết để có được các thông số còn lại. Tuy nhiên, các thông số này có thể được tính toán một cách độc lập sử dụng hai không gian tham số 2D (Aguado, 1996b). Tất nhiên chúng ta có thể tránh sử dụng hướng dốc trong phương trình 2.68 bằng cách bao gồm nhiều điểm hơn. Trong thực tế, tang $\phi''(\theta)$ có thể được tính bằng cách lấy bốn điểm (Aguado, 1996). Tuy nhiên, sự bao gồm nhiều điểm hơn thường dẫn đến tiếng ồn xung quanh nhiều hơn trong các lưu trữ.

2.4. Biến đổi Hough tổng quát (GHT – Generalised Hough transform)

Nhiều hình dạng là phức tạp hơn đường thẳng, hình tròn hoặc hình elip. Nó thường có thể phân chia một hình dạng thành nhiều hình học cơ bản, nhưng điều này có thể dẫn đến một cấu trúc dữ liệu phức tạp. Nói chung nó là thuận tiện hơn để trích chọn toàn bộ hình dạng. Điều này đã thúc đẩy sự phát triển của các kỹ thuật mà có thể nhìn thấy hình dạng tùy ý sử dụng các thủ tục thu thập dấu hiệu của HT. Những kỹ thuật này lại cho kết quả tương đương với những cung cấp bởi các đối sánh mẫu lọc, nhưng với lợi thế tính toán của các phương pháp thu thập dấu hiệu. Một cách tiếp cận đầu được cung cấp chỉ khả năng hạn chế cho các hình dạng tùy ý

(Merlin, 1975). Phép ánh xạ đầy đủ được gọi là HT tổng quát (GHT) (Ballard, 1981) và có thể được sử dụng để xác định vị trí các hình dạng tùy ý không biết vị trí, kích thước và định hướng. Các GHT có thể được xác định chính thức bằng cách xem xét tính hai mặt của một đường cong. Một trong những sự thực hiện có thể dựa vào biểu diễn rời cho bởi hàm hình phiến. Hai khía cạnh này được giải thích trong hai phần sau.

2.4.1. Định nghĩa chính thức của GHT

Phân tích chính thức của HT cung cấp tuyến đường cho việc tổng quát cho hình dạng tùy ý. Chúng ta có thể bắt đầu bằng việc tổng quát các xác định trong phương trình 2.41. Bằng cách này, một hình dạng mô hình có thể được xác định bởi một đường cong

$$\upsilon(\theta) = x(\theta)\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + y(\theta)\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2.71}$$

Đối với một hình tròn, ví dụ, ta có $x(\theta) = r\cos(\theta)$ và $y(\theta) = r\sin(\theta)$. Bất kỳ hình dạng có thể được mô tả theo một xác định phức tạp hơn của $x(\theta)$ và $y(\theta)$.

Chúng ta quan tâm trong việc đối sánh các mô hình hình dạng đối với một hình dạng trong hình ảnh. Tuy nhiên, hình dạng trong hình ảnh có một vị trí, định hướng và tỷ lệ khác nhau. Ban đầu các GHT xác định một tham số tỷ lệ trong các hướng x và y, nhưng do tính toán phức tạp và phù hợp thực tế việc sử dụng một tỷ lệ duy nhất đã trở lên phổ biến hơn. Tương tự như phương trình 2.33, chúng ta có thể xác định hình dạng hình ảnh bằng cách xem xét sự dịch chuyển, quay và thay đổi về tỷ lệ. Do đó, hình dạng trong hình ảnh có thể được xác định là

$$\omega(\theta, b, \lambda, \rho) = b + \lambda \mathbf{R}(\rho)\upsilon(\theta) \tag{2.72}$$

Trong đó $b = (x_0, y_0)$ là dịch vector λ là một yếu tố tỷ lệ và $R(\rho)$ là một ma trận quay (như trong phương trình 2.31). Ở đây chúng ta đã bao gồm một cách rõ ràng các tham số của quá trình chuyển đổi như các đối số, nhưng để đơn giản hóa các ký hiệu sẽ được bỏ qua sau đó. Hình dạng của $\omega(\theta, b, \lambda, \rho)$ phụ thuộc vào bốn tham số. Hai tham số xác định vị trí b, cộng với xoay và tỷ lệ. Điều quan trọng là s không xác định một tham số tự do, nhưng chỉ có các dấu vết của đường cong.

Để xác định một ánh xạ của HT chúng ta có thể làm theo các cách tiếp cận được sử dụng để có được phương trình 2.32. Vì vậy, trong các vị trí của hình dạng được cho bởi

$$b = \omega(\theta) - \lambda \mathbf{R}(\rho)\upsilon(\theta) \tag{2.73}$$

Cho một hình $\omega(\theta)$ và một tập hợp các tham số b, λ và ρ, phương trình này xác định vị trí của hình dạng. Tuy nhiên, chúng ta không biết hình dạng $\omega(\theta)$ (vì nó phụ thuộc vào các tham số mà chúng ta đang tìm kiếm), nhưng chúng ta chỉ có một điểm trong đường cong. Nếu chúng ta gọi $\omega_i = (\omega_{xi}, \omega_{yi})$ điểm trong hình ảnh, thì

$$b = \omega_i - \lambda \mathbf{R}(\rho)\upsilon(\theta) \tag{2.74}$$

Xác định một hệ thống với bốn ẩn số và phương trình nhiều như các điểm trong hình ảnh. Để tìm ra giải pháp chúng ta có thể thu thập dấu hiệu bằng cách sử dụng một không gian tích lũy bốn chiều. Đối với mỗi giá trị tiềm năng của *b*, λ và ρ, chúng ta theo dõi một hàm rải điểm bằng cách xem xét tất cả các giá trị của θ. Có nghĩa là, tất cả các điểm trong đường cong υ(θ).

Trong GHT quá trình thu thập được thực hiện bằng cách thêm một hạn chế bổ sung cho các hệ thống cho phép chúng ta kết hợp các điểm trong hình ảnh với các điểm trong hình dạng mô hình. Hạn chế này được dựa trên thông tin hướng dốc và có thể được giải thích như sau. Chúng ta muốn sử dụng phương trình 2.73 để thu thập dấu hiệu. Cho rằng chúng ta cần phải biết hình dạng ω(θ) và mô hình υ(θ), nhưng chúng ta chỉ biết những điểm rời rạc ω_i và cho rằng đây là giống như hình dạng, tức là có ω(θ) = ω_i. Dựa trên giả thiết này, chúng ta xem xét tất cả các điểm tiềm năng trong hình dạng mô hình υ(θ). Tuy nhiên, điều này là không cần thiết vì chúng ta chỉ cần điểm trong mô hình υ(θ) tương ứng với các điểm trong hình dạng ω(θ). Chúng ta không thể biết điểm trong hình dạng υ(θ), nhưng chúng ta có thể tính toán một số thuộc tính từ các mô hình và từ hình ảnh. Sau đó, chúng ta có thể kiểm tra xem các thuộc tính tương tự như tại các điểm trong mô hình và tại một điểm trong hình ảnh. Nếu các thuộc tính thực tương tự thì các điểm có thể tương ứng : nếu các thuộc tính làm chúng ta có thể thu thập dấu hiệu của các tham số của hình dạng. Các GHT coi như có hướng dốc tại điểm. Chúng ta có thể khái quát hóa phương trình 2.45 và 2.46 để xác định hướng dốc tại một điểm trong mô hình tùy ý. Do đó,

$$\phi'(\theta) = \frac{y'(\theta)}{x'(\theta)} \quad \text{and} \quad \hat{\phi}'(\theta) = \tan^{-1}(\phi'(\theta)) \tag{2.75}$$

Do đó phương trình 2.73 là chỉ đúng nếu hướng dốc tại một điểm trong hình ảnh phù hợp với hướng dốc quay tại một điểm trong (xoay) mô hình, đó là

$$\phi_i' = \hat{\phi}'(\theta) - \rho \tag{2.76}$$

trong đó $\hat{\phi}_i'$ là góc ở điểm ω_i. Lưu ý rằng theo phương trình này, hướng dốc là độc lập với tỷ lệ và nó thay đổi trong tỷ lệ tương tự như phép quay. Chúng ta có thể hạn chế phương trình 2.74 chỉ để xem xét những điểm υ(θ) mà

$$\phi_i' - \hat{\phi}'(\theta) + \rho = 0 \tag{2.77}$$

Đó là một hàm rải điểm cho một điểm cạnh ω_i thu được bằng cách chọn một tập hợp các điểm trong υ(θ) như vậy mà hướng cạnh tại điểm quay hình ảnh bởi ρ bằng với hướng dốc tại điểm mô hình. Đối với mỗi điểm ω_i và điểm được lựa chọn trong υ(θ) hàm rải điểm được xác định bởi phép ánh xạ HT trong phương trình 2.74.

2.4.2. Định nghĩa cực

Phương trình 2.74 xác định ánh xạ của HT trong hình thức Đề các. Nghĩa là, nó xác định bình chọn trong không gian tham số như một cặp tọa độ (x, y). Có một định nghĩa thay thế trong hình thức cực. Ưu điểm của hình thức cực là nó rất dễ dàng để thực hiện vì những thay đổi trong vòng quay và tỷ lệ tương ứng với sự bổ sung trong các miêu tả cường độ góc. Tuy nhiên, việc đảm bảo rằng các vector cực có định hướng đúng phát sinh phức tạp hơn.

Phương trình 2.74 có thể được viết trong một hình thức kết hợp quay và tỷ lệ như

$$b = \omega(\theta) - \gamma(\lambda, \rho) \tag{2.78}$$

trong đó $\gamma^T(\lambda, \rho) = [\gamma_x(\lambda, \rho)\ \gamma_y(\lambda, \rho)]$ nơi quay kết hợp và tỷ lệ là

$$\gamma_x(\lambda, \rho) = \lambda(x(\theta)\cos(\rho) - y(\theta)\sin(\rho))$$
$$\gamma_y(\lambda, \rho) = \lambda(x(\theta)\sin(\rho) + y(\theta)\cos(\rho)) \tag{2.79}$$

Sự kết hợp của quay và tỷ lệ xác định một vector $\gamma(\lambda, \rho)$, có góc tiếp tuyến và cường độ được cho bởi

$$\tan(\alpha) = \frac{\gamma_y(\lambda, \rho)}{\gamma_x(\lambda, \rho)} \quad r = \sqrt{\gamma_x^2(\lambda, \rho) + \gamma_y^2(\lambda, \rho)} \tag{2.80}$$

ý tưởng chính ở đây là nếu chúng ta biết được giá trị cho α và r thì chúng ta có thể thu thập dấu hiệu bằng cách xem xét phương trình 2.78 trong hình thức cực. Đó là,

$$b = \omega(\theta) - re^{\alpha} \tag{2.81}$$

vì vậy, chúng ta nên tập trung vào các giá trị tính toán cho α và r. Sau một số thao tác đại số, chúng ta có

$$\alpha = \phi(\theta) + \rho \quad r = \lambda\Gamma(\theta) \tag{2.82}$$

trong đó

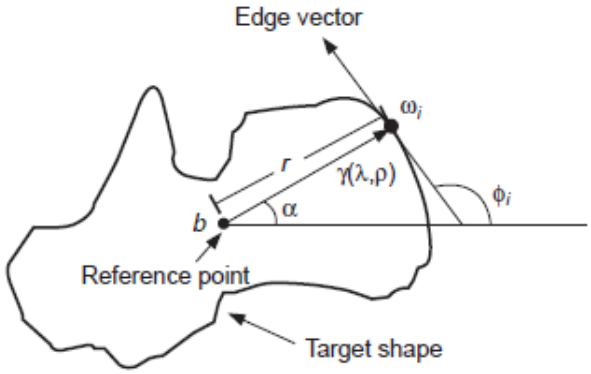
$$\phi(\theta) = \tan^{-1}\left(\frac{y(\theta)}{x(\theta)}\right) \Gamma(\theta) = \sqrt{x^2(\theta) + y^2(\theta)} \tag{2.83}$$

Theo định nghĩa này, chúng ta phải bao gồm các ràng buộc được xác định trong phương trình 2.77. Chúng ta thu thập dấu hiệu khi hướng dốc là như nhau. Các căn bậc hai trong sự xác định của cường độ trong phương trình 2.83 có thể có giá trị tích cực và tiêu cực. Các dấu hiệu phải được lựa chọn trong một cách mà các vector có hướng đúng.

2.4.3. Kỹ thuật biến đổi hough tổng quát

Phương trình 2.74 và 2.81 xác định một hàm ánh xạ HT cho các hình dạng tùy ý. Hình học của các phương trình này được thể hiện trong hình 2.21. Đưa ra một điểm ảnh ω_i chúng ta phải tìm một vector chuyển $\gamma(\lambda, \rho)$. Khi vector được đặt ở ω_i

thì kết thúc của nó là vào thời điểm *b*. Trong thuật ngữ GHT điểm này được gọi là điểm tham chiếu. Vector γ(λ, ρ) có thể dễ dàng thu được như λR(ρ) υ(θ) hay cách khác như re^{α}. Tuy nhiên, để đánh giá các phương trình, chúng ta cần phải biết điểm υ(θ). Đây là bước quan trọng trong quá trình thu thập dấu hiệu. Nhận thấy sự tương đồng khá rõ giữa hình 2.15(a), 2.17(a) và hình 2.18(a). Đây không phải là một trùng hợp ngẫu nhiên, nhưng phương trình 2.60 là một trường hợp đặc biệt của công thức 2.73



(a) Vector chuyển

$\hat{\varphi}_i'$	$\gamma = (r, \alpha)$
0	$(r_0, \alpha_0), (r_1, \alpha_1), (r_2, \alpha_2)$
Δϕ	⋮
2Δϕ	⋮
...	...

(b) Bảng R

Hình 2.18 Hình học của GHT

Quá trình xác định υ(θ) tập trung giải quyết các phương trình 2.76. Theo phương trình này,khi chúng ta biết $\hat{\phi}_i'$, chúng ta cần phải tìm thấy những điểm υ(θ) có hướng dốc là $\hat{\phi}_i' + \rho = 0$. Sau đó,chúng ta phải sử dụng υ(θ) để có được những vector chuyển γ(λ, ρ). Các GHT trước khi tính các giải pháp của vấn đề này và các lưu trữ nó một mảng gọi là bảng R. Các lưu trữ bảng R cho mỗi giá trị của $\hat{\phi}_i'$ vector γ(λ, ρ) cho ρ = 0 và λ = 1. Trong hình thức cực, các vector được lưu trữ như một cặp hướng cường độ và trong hình thức Đề các như một cặp phối hợp.

Phạm vi có thể cho $\hat{\phi}_i'$ là giữa –π/2 và π/2 radian. Phạm vi này được chia thành N khe cách đều hay các ngăn. Các khe này trở thành hàng dữ liệu trong bảng R. Hướng cạnh tại mỗi điểm xác định biên hàng thích hợp trong bảng R. Chiều dài r và hướng α từ điểm tham chiếu được nhập thành một cột mới ở hàng đó với mỗi điểm biên giới trong hình dạng. Theo cách này, các hàng N của bảng R có các thành phần liên quan đến các thông tin chứa các vector rỗng. Chiều dài của mỗi hàng được cho bởi số lượng điểm cạnh có hướng cạnh tương ứng với hàng đó, tổng số các thành phần trong bảng R bằng với số điểm cạnh trên một ngưỡng đã chọn. Cấu trúc của bảng R cho N ngăn hướng cạnh và m mẫu điểm biên được minh họa trong hình 2.18(b).

Định nghĩa Đề các được đưa ra trong phương trình 2.74. Theo công thức này các vector chuyển được cho bởi

$$\gamma(1, 0) = \omega(\theta) - b \qquad (2.84)$$

Ma trận T lưu trữ tọa độ của γ(1, 0). Ma trận này được mở rộng để chứa tất các mục tính.

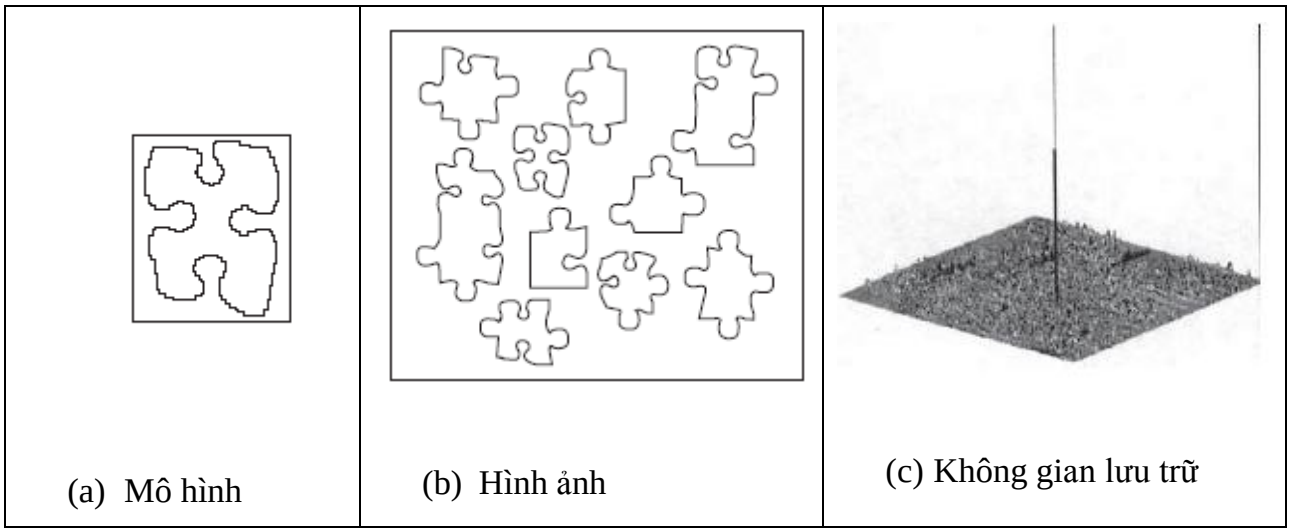
Lưu ý rằng nếu chúng ta muốn thử các giá trị khác để quay và tỷ lệ thì nó là cần thiết để tính toán một bảng $\gamma(\lambda, \rho)$ cho tất cả các giá trị tiềm năng. Tuy nhiên, điều này có thể tránh được bằng cách xem xét rằng $\gamma(\lambda, \rho)$ có thể được tính từ $\gamma(1,0)$. Có nghĩa là, nếu chúng ta muốn tích lũy dấu hiệu cho $\gamma(\lambda,\rho)$ thì chúng ta sử dụng các lập chỉ mục của $\phi_i' + \rho$ và chúng ta xoay và tỷ lệ vector $\gamma(1, 0)$. Đó là,

$$\gamma_x(\lambda, \rho) = \lambda(\gamma_x(1, 0) \cos(\rho) - \gamma_y(1, 0) \sin(\rho))$$
$$\gamma_y(\lambda, \rho) = \lambda\ (\gamma_x(1, 0) \sin(\rho) + \gamma_y(1, 0) \cos(\rho)) \quad (2.85)$$

trong trường hợp của các hình thức cực, các góc và cường độ cần phải được xác định theo phương trình 2.82.

Việc áp dụng các GHT để phát hiện một hình dạng tùy ý với dịch chuyển không rõ ràng được minh họa trong hình 2.19. Chúng ta xây dựng một bảng R từ mẫu thể hiện trong hình 2.2(a). bảng chứa 30 hàng. Lưu trữ trong hình 2.19(c) thu được bằng cách áp dụng các GHT cho hình ảnh trong hình 2.19(b). Khi bảng được thu thập từ một hình dạng với tỷ lệ tương tự và quay như cũ trong hình ảnh, thì các GHT tạo ra một lưu trữ đỉnh rõ ràng tại trung tâm của khối lượng hình dạng.

Mặc dù ví dụ trong hình 2.19 cho thấy GHT là một phương pháp hiệu quả để trích chọn hình dạng, có một số khó khăn vốn có trong công thức của nó (Grimson, 1990), (Aguado, 2000). Vấn đề rõ ràng nhất là bảng không cung cấp một sự biểu diễn chính xác khi đối tượng được thu nhỏ và dịch chuyển. Điều này là do bảng ngầm giả thiết rằng các đường cong được thể hiện ở dạng rời rạc. Do đó, GHT ánh xạ một hình thức rời rạc thành một không gian tham số rời rạc. ngoài ra, việc chuyển đổi tỷ lệ và quay có thể gây ra lỗi rời rạc khác. Điều này là do khi hình ảnh rời rạc được ánh xạ tới hớn hơn, hoặc khi hình ảnh được quay, quỹ tích đó là tập hợp liên tục của các điểm hiếm khi ánh xạ để không gian gián đoạn trong hình ảnh mới. Một vấn đề quan trọng là việc tính toán quá mức yêu cầu của không gian tham số bốn chiều làm cho kỹ thuật này không thực tế. Ngoài ra,GHT rõ ràng là phụ thuộc vào độ chính xác của thông tin định hướng. Bởi những yếu tố này, kết quả được cung cấp bởi GHT có thể trở nên ít đáng tin cậy. Một giải pháp là sử dụng một hình thức phân tích thay vì một bảng (Aguado, 1998). Điều này tránh lỗi rời rạc và làm cho kỹ thuật này đáng tin cậy hơn. Điều này cũng cho phép mở rộng để quan hệ hay các biến đổi khác. Tuy nhiên, kỹ thuật này đòi hỏi phải giải quyết cho các điểm $\upsilon(\theta)$ trong một cách phân tích, tăng tải trọng tính toán. Một giải pháp là để giảm số lượng các điểm bằng cách xem xét điểm đặc trưng được định nghĩa như là các điểm cong cao. Tuy nhiên,điều này vẫn đòi hỏi việc sử dụng một tích lũy bốn chiều. Một cách khác để giảm tải tính toán này là bao gồm các khái niệm về bất biến trong ánh xạ GHT.



(a) Mô hình (b) Hình ảnh (c) Không gian lưu trữ

Hình 2.19 Ví dụ của biến đổi hough tổng quát

2.4.4.Biến đổi Hough tổng quát bất biến

Vấn đề với GHT (và phần mở rộng khác của HT) là rất chung chung. Đó là, HT tập hợp dấu hiệu về một điểm duy nhất trong hình ảnh. Tuy nhiên, một điểm riêng của nó cung cấp rất ít thông tin. Vì vậy, GHT là cần thiết để xem xét một không gian tham số lớn để bao phủ tất cả các hình dạng tiềm năng được xác định bởi một điểm ảnh đã cho. Các GHT cải thiện thu thập dấu hiệu bằng cách xem xét một điểm và hướng dốc của nó. Tuy nhiên, vì độ dốc thay đổi hướng với phép quay, nên việc thu thập dấu hiệu được cải thiện về xử lý tiếng ồn, nhưng ít được thực hiện về tính toán phức tạp.

Để giảm độ phức tạp tính toán của các GHT, chúng ta có thể xem xét thay thế hướng dốc bằng đặc trưng khác. Nghĩa là, bằng một đặc trưng mà không bị ảnh hưởng bởi quay. Mục đích chính của những hạn chế trong phương trình (2.77), là bao gồm hướng dốc để giảm số lượng bình chọn trong lưu trữ bằng cách xác định một điểm $\upsilon(\theta)$. Một khi điểm này được biết đến, chúng ta có được vector chuyển $\gamma(\lambda, \rho)$. Tuy nhiên, đối với mỗi giá trị quay, chúng ta có một điểm khác nhau trong $\upsilon(\theta)$. Bây giờ chúng ta thay thế hạn chế trong phương trình 2.76 bởi một hạn chế của hình thức

$$Q(\omega_i) = Q(\upsilon(\theta)) \tag{2.86}$$

Hàm Q được cho là bất biến và nó tính một đặc trưng tại điểm. Đặc trưng này có thể được, ví dụ, màu sắc của điểm, hoặc bất kỳ thuộc tính khác mà không thay đổi trong mô hình và hình ảnh. Bằng cách xem xét phương trình 2.86, chúng ta đã có phương trình 2.77 được xác định lại như

$$Q(\omega_i) - Q(\upsilon(\theta)) = 0 \tag{2.87}$$

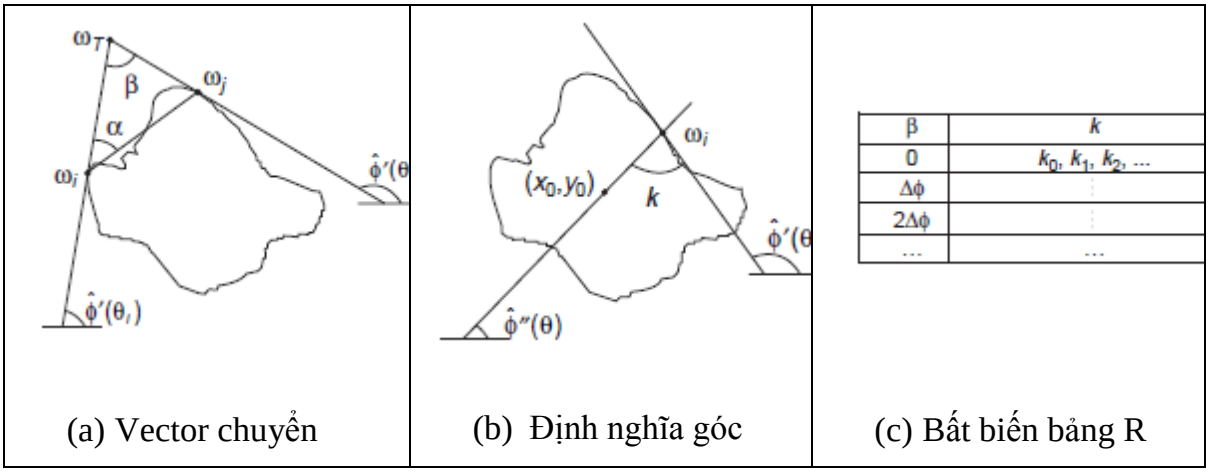
Đó là, thay vì tìm kiếm một điểm có cùng hướng dốc, chúng ta sẽ tìm kiếm các điểm với đặc trưng bất biến tương tự. Ưu điểm là đặc trưng này sẽ không thay đổi với quay hoặc tỷ lệ, vì vậy chúng ta chỉ cần một không gian 2D để xác định vị trí hình dạng. Sự xác định của Q phụ thuộc vào các ứng dụng và các loại hình chuyển

đổi. Các thuộc tính bất biến chung nhất có thể thu được bằng cách xem xét các xác định hình học. Trong trường hợp của quay và tỷ lệ thay đổi (tức là biến đổi tương tự) các thuộc tính bất biến cơ bản được đưa ra bởi các khái niệm về góc. Một góc được xác định bởi ba điểm và giá trị của nó vẫn không thay đổi khi nó được quay và thu nhỏ. Vì vậy, nếu chúng ta liên kết đến mỗi điểm cạnh ω_i một tập hợp của hai điểm khác $\{\omega_j, \omega_T\}$ thì chúng ta có thể tính toán một đặc trưng hình học là bất biến để biến đổi tương tự. Đó là,

$$Q(\omega_i) = \frac{X_j Y_i - X_i Y_j}{X_i X_j + Y_i Y_j} \tag{2.88}$$

trong đó $X_k = \omega_k - \omega_T$, $Y_k = \omega_k - \omega_T$. Phương trình 2.88 xác định về tang của góc ở điểm ω_T. Chúng ta có thể xác định các điểm $[\omega_j, \omega_T]$ theo những cách khác nhau. Một sự sắp xếp hình học thay thế được thể hiện trong hình 2.20(a). Với những điểm ω_i và một góc cố định, sau đó chúng ta xác định ω_j và đường thẳng tham gia các điểm là υ. Điểm thứ ba được xác định bởi giao điểm của các đường tiếp tuyến tại ω_i và ω_j. Tang của các góc β được xác định bởi phương trình 2.88. Điều này có thể được thể hiện trong điều kiện của điểm và hướng dốc của nó như

$$Q(\omega_i) = \frac{\phi_i' - \phi_j'}{1 + \phi_i' \phi_j'} \tag{2.89}$$



(a) Vector chuyển (b) Định nghĩa góc (c) Bất biến bảng R

Hình 2.20 Hình học của GHT bất biến

Chúng ta có thể thay thế các góc dốc trong bảng R của góc β. Hình thức của bảng bất biến mới được thể hiện trong hình 2.20(c). Khi góc β không thay đổi với quay hoặc thay đổi tỷ lệ, thì chúng ta không cần phải thay đổi chỉ số cho mỗi vòng quay tiềm năng và tỷ lệ. Tuy nhiên, những thay đổi vector chuyển theo quay và lỷ lệ (tức là phương trình 2.85). Vì vậy, nếu chúng ta muốn một công thức bất biến, thì chúng ta cũng phải thay đổi sự xác định của vector vị trí.

Để xác định vị trí điểm *b* chúng ta có thể khái quát hóa những ý tưởng được trình bày trong hình 2.15(a) và hình 2.17(a). Hình 2.20(b) cho thấy tổng quát này. Như trong trường hợp của các hình tròn và hình elip, chúng ta có thể xác định vị trí hình dạng bằng cách xem xét một đường thẳng bình chọn đi qua điểm *b*. Đường thẳng này được xác định bởi giá trị của ϕ_i''. Chúng ta sẽ làm hai việc. Đầu tiên,

chúng ta sẽ tìm một xác định bất biến của giá trị này. Thứ hai, chúng ta sẽ khai báo nó trên bảng GHT.

Chúng ta có thể phát triển phương trình 2.73 như

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_{xi} \\ \omega_{yi} \end{bmatrix} + \lambda \begin{bmatrix} \cos(\rho) & \sin(\rho) \\ -\sin(\rho) & \cos(\rho) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(\theta) \\ y(\theta) \end{bmatrix} \tag{2.90}$$

như vậy, phương trình 2.60 tổng quát hóa để

$$\phi_i'' = \frac{\omega_{yi} - y_0}{\omega_{xi} - x_0} = \frac{[-\sin(\rho) \quad \cos(\rho)]y(\theta)}{[\cos(\rho) \quad \sin(\rho)]x(\theta)} \tag{2.91}$$

bởi một số thao tác đại số, ta đã có

$$\phi_i'' = \tan(\xi - \rho) \tag{2.92}$$

trong đó

$$\xi = \frac{y(\theta)}{x(\theta)} \tag{2.93}$$

Để xác định ϕ_i''chúng ta có thể xem xét các góc tiếp tuyến tại điểm ω_i. Bằng cách xem xét đạo hàm của phương trình 2.72 ta có

$$\phi_i' = \frac{[-\sin(\rho) \quad \cos(\rho)]y'(\theta)}{[\cos(\rho) \quad \sin(\rho)]x'(\theta)} \tag{2.94}$$

do đó,

$$\phi_i' = \tan(\phi - \rho) \tag{2.95}$$

trong đó

$$\phi = \frac{y'(\theta)}{x'(\theta)} \tag{2.96}$$

bằng cách xem xét phương trình 2.92 và phương trình 2.95 chúng ta xác định

$$\hat{\phi}_i'' = k + \hat{\phi}_i' \tag{2.97}$$

Điểm quan trọng trong sự xác định này là giá trị của k là bất biến để quay. Vì vậy, nếu chúng ta sử dụng giá trị này kết hợp với tiếp tuyến tại một điểm chúng ta có thể có một đặc tính bất biến. Để thấy rằng k là bất biến, chúng ta giải quyết nó cho phương trình 2.97. Đó là,

$$k = \hat{\phi}_i' - \hat{\phi}_i'' \tag{2.98}$$

do đó,

$$k = \xi - \rho - (\phi - \rho) \tag{2.99}$$

đó là,

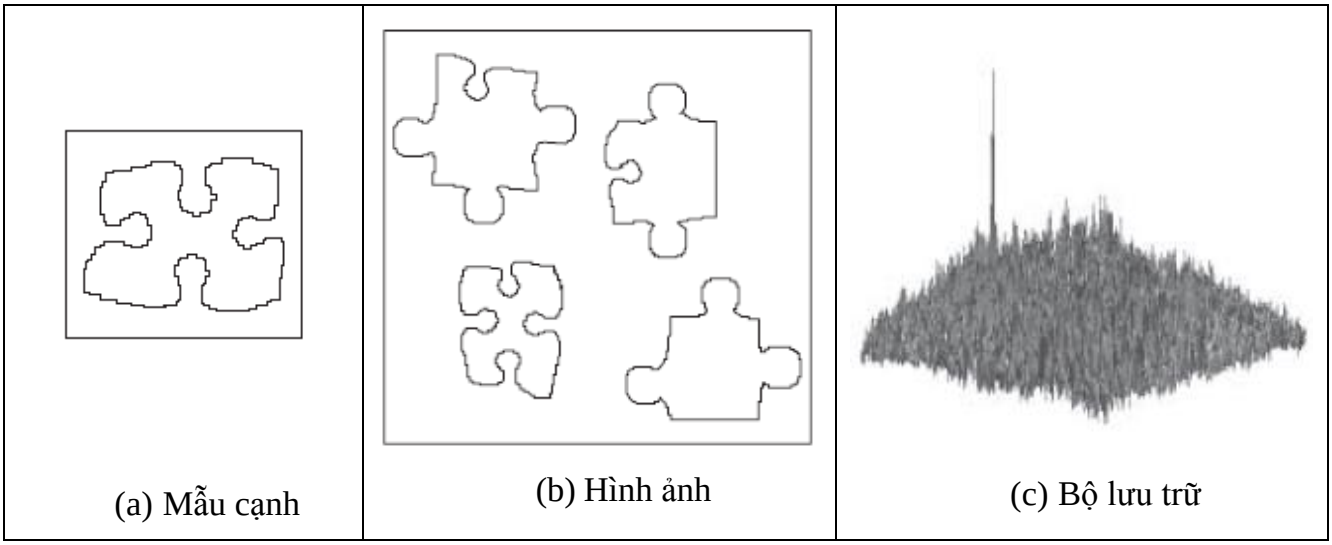
$$k = \xi - \phi \tag{2.100}$$

đó là, độc lập quay. Sự xác định của k có một cách hiểu hình học đơn giản minh họa trong hình 2.20(b).

Để có được một GHT bất biến, nó là cần thiết để biết mỗi điểm ω_i, các điểm tương ứng $\upsilon(\theta)$ và sau đó tính toán giá trị của ϕ_i''. Dấu hiệu có thể được thu thập bằng đường thẳng trong phương trình 2.91. Đó là,

$$y_0 = \phi_i''(x_0 - \omega_{xi}) + \omega_{yi} \tag{2.101}$$

để tính toán ϕ_i''chúng ta có thể có được *k* và sau đó sử dụng phương trình 2.100. Trong dạng bảng tiêu chuẩn giá trị của *k* có thể được ước tính trước và được lưu trữ như hàm của góc β.



(a) Mẫu cạnh (b) Hình ảnh (c) Bộ lưu trữ

Hình 2.21 Áp dụng các GHT bất biến

Hình 2.21 minh họa lưu trữ thu được từ việc thực hiện của GHT bất biến. Hình 2.21(a) cho thấy mẫu được sử dụng để xây dựng bảng R trong ví dụ này. Bảng R được sử dụng để tích lũy dấu hiệu khi tìm kiếm các mảnh ghép trong hình ảnh trong hình 2.21(b). Hình 2.21(c) cho thấy kết quả của quá trình thu thập dấu hiệu. Chúng ta có thể quan sát một đỉnh cao ở vị trí của đối tượng. Tuy nhiên, lưu trữ này có tiếng ồn đáng kể. Tiếng ồn được tạo ra khi quay và lỷ lệ thay đổi giá trị của tính toán độ dốc. Như vậy, đường thẳng bình chọn chỉ là một xấp xỉ. Một vấn đề khác là cặp điểm ω_i và ω_j có thể không được tìm thấy trong một hình ảnh, do đó kỹ thuật này là nhạy cảm hơn với nhiễu và tiếng ồn hơn so với GHT.

2.5. Phần mở rộng khác với HT

Động lực cho việc mở rộng HT là rõ ràng: tiếp tục thực hiện nhưng cải thiện tốc độ. Có nhiều phương pháp khác để giảm tải tính toán của các HT. Những cách tiếp cận nhằm mục đích cải thiện tốc độ và giảm bộ nhớ bằng cách tập trung vào các khu vực nhỏ hơn của không gian lưu trữ. Những cách tiếp cận bao gồm : HT nhanh (Li, 1986) liên tục chia tách các không gian lưu trữ thành phần bằng nhau và tiếp tục nghiên cứu các góc phần tư với hầu hết các dấu hiệu: HT thích ứng (lllingworth, 1987) trong đó sử dụng một kích thước lưu trữ cố định để lặp đi lặp lại tập trung vào tiềm năng cực đại trong không gian lưu trữ; và các HT ngẫu nhiên (Xu, 1990) trong đó sử dụng một tìm kiếm ngẫu nhiên của không gian lưu trữ, và kỹ thuật hình kim tự tháp. Một vấn đề chính với các kỹ thuật mà không tìm kiếm các không gian lưu trữ đầy đủ, nhưng một phiên bản thu gọn để tiết kiệm tốc độ là hình dạng sai có thể được trích chọn (Prince, 1989), một vấn đề được gọi là vị trí hình dạng ảo ảnh. Những cách tiếp cận cũng có thể được sử dụng (với một số biến thể) để cải thiện tốc độ thực hiện trong đối sánh mẫu. Đã có nhiều phương pháp tiếp cận nhằm mục đích cải thiện hiệu suất của HT và GHT.

Chương 3: CHƯƠNG TRÌNH THỬ NGHIỆM

3.1. Bài toán

Với một ảnh đầu vào, bài toán đặt ra là làm thế nào để tìm được các đặc trưng bất biến của ảnh dựa vào biên của hình dạng. Khi tìm đươc biên của đối tượng trong ảnh thì trích chọn được các đặc trưng bất biến của hình dạng như các đường thẳng, hình tròn. Từ đó ta đặt ra giải pháp như sau: sử dụng các phép toán để tìm biên của ảnh (canny, sobel…), sử dụng phép biến đổi hough cho đường thẳng và biến đổi hough cho hình tròn để trích chọn các đặc trưng của đối tượng như trích chọn được các đường thẳng, hình tròn bình chọn tìm thấy trong đối tượng của hình ảnh. Cuối cùng ta sẽ trích chọn đặc trưng của đối tượng đáp ứng được yêu cầu bài toán đặt ra.

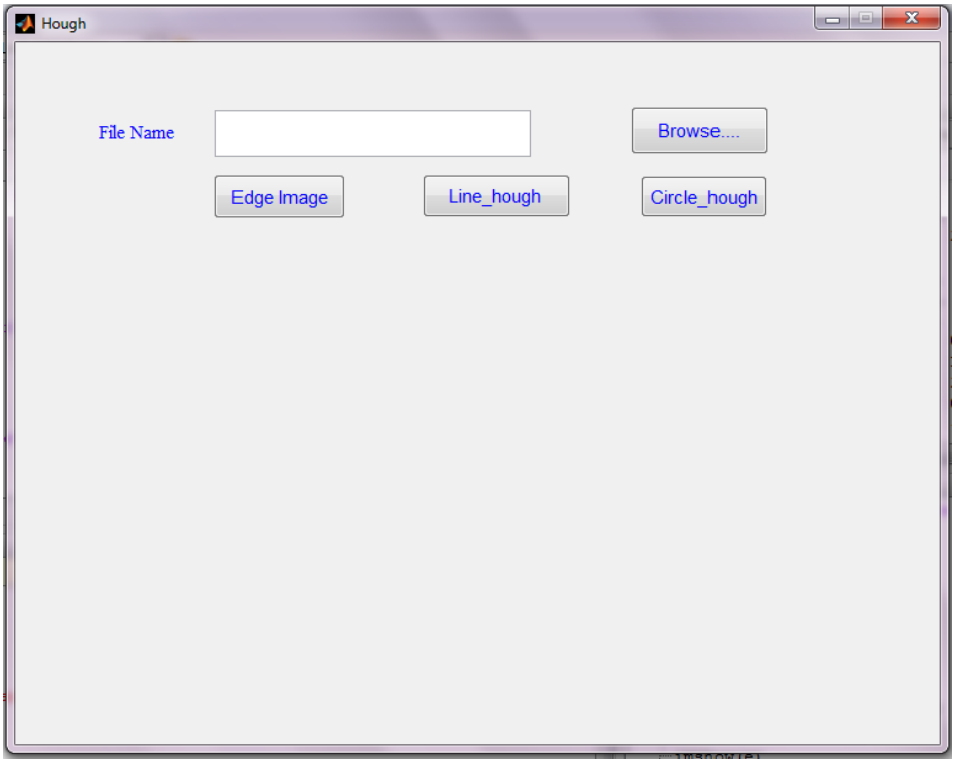
Đầu vào: là một ảnh bất kỳ

Đầu ra: ảnh đã được trích chọn các đặc trưng.

3.2. Phân tích, thiết kế chương trình.

Chương trình được xây dựng bằng matlab 7.11 (bản R2010b), để minh họa các phép toán như: tìm biên của ảnh, phép biến đổi hough cho đường thẳng, phép biến đổi hough cho hình tròn.

Giao diện chính của chương trình:



Hình 3.1 Giao diện chính của chương trình

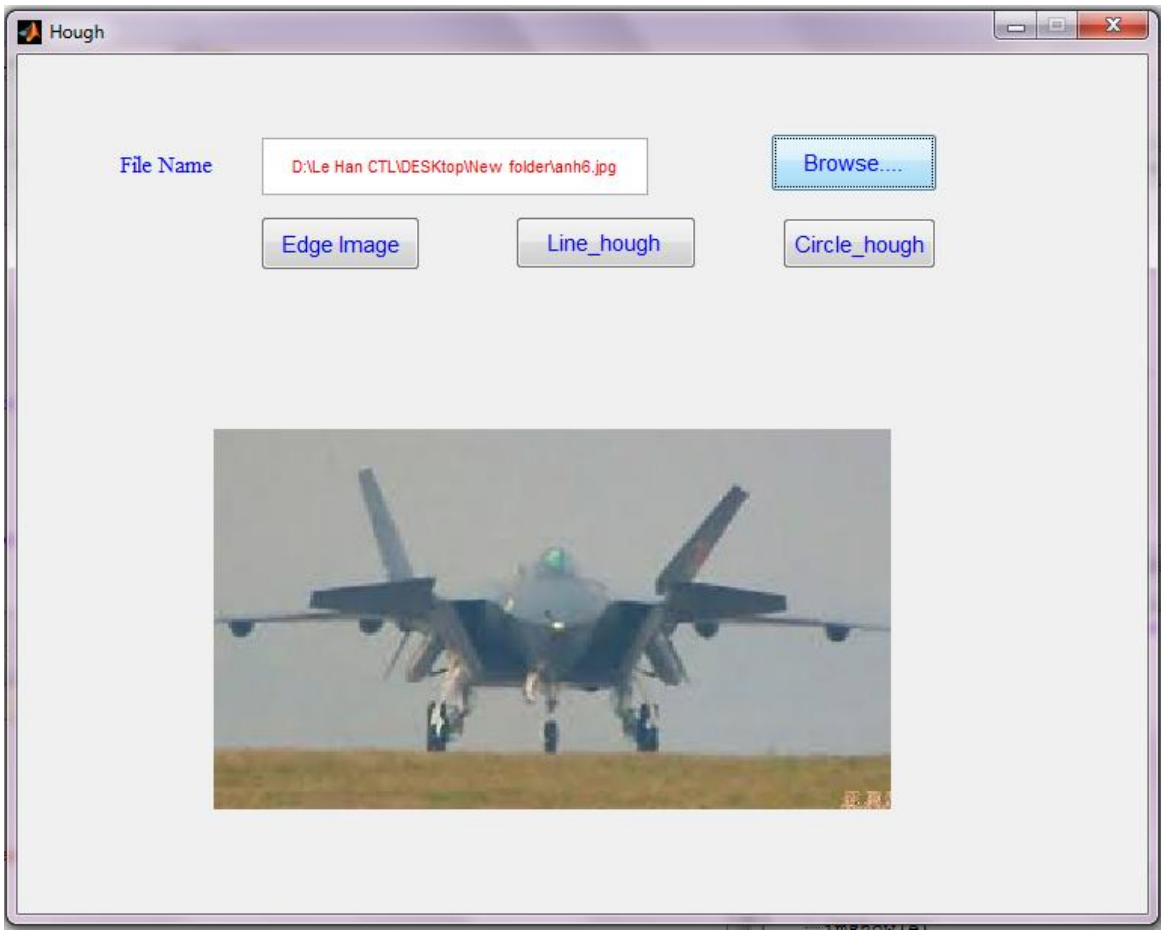
- Nút Browse: lấy tên và hiển thị hình ảnh đầu vào.

- Nút Edge Image: sử dụng phép toán tìm biên của ảnh (canny, sobel…)tìm biên của các đối tượng trong hình ảnh.

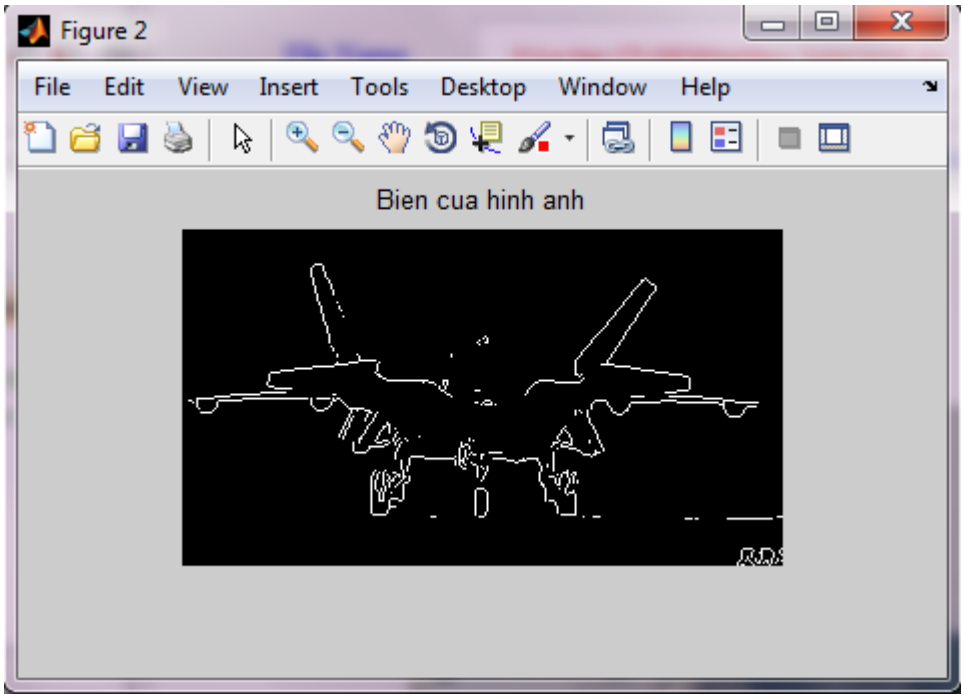
- Nút Line_hough: Trích chọn đường thẳng trên đối tượng trong hình ảnh.

- Nút Circle_hough: Từ hình ảnh có sẵn trong toolbox của matlap, Sử dụng hàm circle_hough để xác định một loạt các bán kính, do đó bán kính không cần được biết chính xác trước. Nhiều vòng tròn có thể được phát hiện bằng cách tìm đỉnh trong mảng tích lũy đầu ra bằng hàm circle_houghpeaks. Thực hiện hai hàm chức năng trên ta sẽ trích chọn được hình tròn trong hình ảnh.

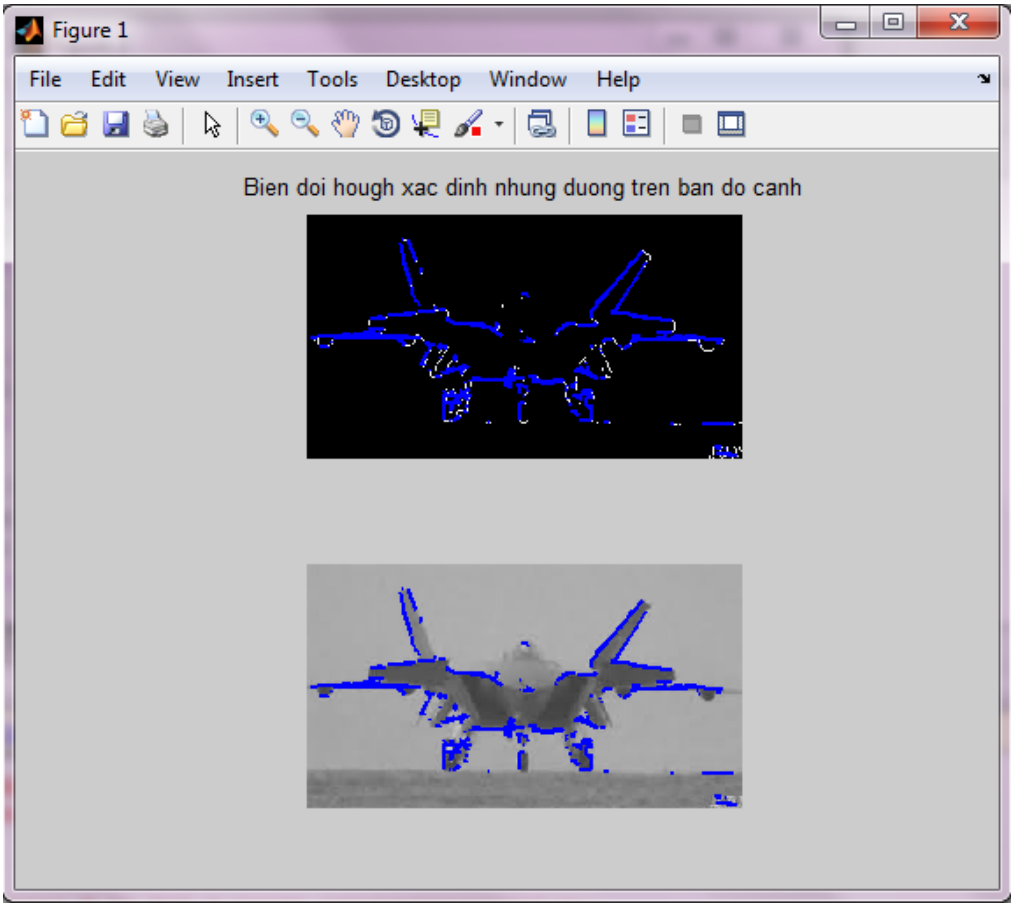
3.3. Một số kết quả chương trình.



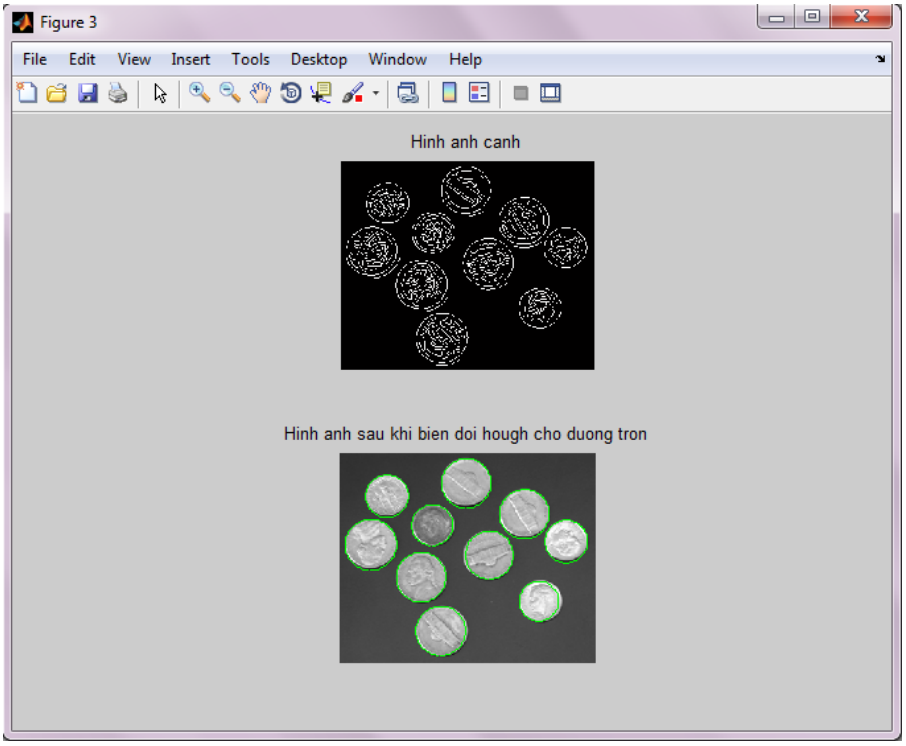
Hình 3.2 Hình ảnh đầu vào



Hình 3.3. Kết quả phép tìm biên



Hình 3.4. Kết quả phép biến đổi hough cho đường thẳng.



Hình 3.5. Kết quả phép biến đổi hough cho hình tròn.

Phần kết luận

Trong quá trình tìm hiểu nghiên cứu đề tài em đã thấy được tầm quan trọng của các đặc trưng trích chọn trong qúa trình nhận đối sánh ảnh. Các đặc trưng này chủ yếu được trích chọn từ biên của đối tượng.Các kết quả đạt được trong quá trình tìm hiểu:

- Trình bày tổng quan về xử lý ảnh và bài toán đối sánh ảnh.
- Tìm hiểu được một số phương pháp trích chọn đặc trưng bất biến của ảnh. Đồng thời qua đó giải thích và minh họa cụ thể các phép toán.
- Về phần chương trình em đã thực hiện được việc tìm biên của ảnh, trích chọn được các đường thẳng và các hình tròn trong hình ảnh.

Trích chọn bằng đối sánh ảnh là một đề tài vẫn đang được quan tâm và phát triển. Nhất là, ở Việt Nam hiện nay, chưa có nhiều nghiên cứu về vấn đề nhận dạng các đối tượng ảnh. Trong quá trình tìm hiểu đề tài do khả năng có hạn nên không tránh khỏi những thiếu sót trong bản báo cáo. Em rất mong được sự góp ý và chia sẻ của các thầy cô cũng như các bạn để bài báo cáo của em có thể hoàn thiện hơn.

Tài liệu tham khảo

Tiếng Việt

[1]. TS. Đỗ Năng Toàn, TS. Phạm Việt Bình (2007) - Giáo Trình Môn Học Xử Lý Ảnh, trường ĐH thái nguyên, khoa CNTT

[2]. PGS. Nguyễn Quang Hoan (2006)- Giáo Trình Xử Lý Ảnh, học viện công nghệ bưu chính viễn thông

[3]. Lương Mạnh Bá, Nguyễn Thanh Thủy (2003)- Nhập Môn Xử Lý Ảnh Số, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật

Website

[1]. http:// iapr.org/members/newsletter/Newsletter08-03/index_files/Page475.htm

[2]. http:// mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/26978-hough-transform-for-circles/content/html/circle_houghdemo.html

[3]. http://doc.edu.vn/tai-lieu/de-tai-dung-bien-doi-hough-de-xac-dinh-canh-7331/