

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1: Tổng quan về xử lý ảnh.....	5
1.1. Giới thiệu về hệ thống xử lý ảnh	5
1.2. Một số định nghĩa.....	5
1.3. Các giai đoạn cơ bản XLA	6
1.3.1 Thu nhận ảnh (Image Acquisition)	6
1.3.2 Tiền xử lý ảnh (Image Processing)	7
1.3.3 Phân đoạn ảnh (Segmentation)	7
1.3.4 Biểu diễn và mô tả ảnh (Image Representation).....	7
1.3.5 Nhận dạng và nội suy ảnh (Image Recognition and Interpretation)	7
1.3.6 Cơ sở tri thức (Knowledge Base).....	8
1.3.7 Mô tả (biểu diễn ảnh)	8
CHƯƠNG 2: Tổng quan về làm mảnh ảnh.....	11
2.1. Một số khái niệm về xương và làm mảnh ảnh	11
2.1.1 Khái niệm Xương.....	11
2.1.2 Các khái niệm liên quan đến làm mảnh ảnh	12
2.2. Phân loại các thuật toán làm mảnh ảnh	18
2.2.1 Lớp các thuật toán làm mảnh tuần tự.....	18
2.2.2 Lớp các thuật toán làm mảnh song song.....	19
2.3. Các tính chất và yêu cầu đối với làm mảnh	20
2.3.1 Yêu cầu về tính hình học.....	20
2.3.2 Yêu cầu về tính Tôpô và tính liên thông.....	20
2.3.3 Yêu cầu về tính đẳng hướng và tính bất biến	21
2.3.4 Yêu cầu về khả năng tái tạo lại mẫu ban đầu.....	21
2.3.5 Yêu cầu về khả năng và số phép tính toán.....	21
CHƯƠNG 3: Phương pháp hình thái học và một số thuật toán làm mảnh ảnh	23

3.1.	Phép toán hình thái học	23
3.1.1	Giới thiệu.....	23
3.1.2	Một số khái niệm và định nghĩa.....	24
3.1.3	Một vài tính chất cơ bản của phép biến đổi hình thái.....	24
3.1.4	Làm mảnh ảnh dưới góc độ lý hình thái học	25
3.2.	Một số thuật toán làm mảnh ảnh cơ bản	26
3.2.1	Thuật toán stentiford	26
3.2.2	Thuật toán Zhang-Suen.....	33
3.2.3	Thuật toán làm mảnh ảnh nhị phân theo phương pháp song song	37
3.2.4	Thuật toán làm mảnh song song cho ảnh ở định dạng BMP	44
CHƯƠNG 4: Cài đặt thử nghiệm thuật toán Stentiford.....		55
4.1.	Lựa chọn công cụ	55
4.2.	Kết quả thử nghiệm	55
4.2.1	Giao diện chương trình	55
4.2.2	Kết quả	56

LỜI CẢM ƠN

Để có thể hoàn thành được đề án tốt nghiệp này, em đã được học hỏi những kiến thức quý báu từ các thầy, cô giáo của Trường Đại Học Dân Lập Hải Phòng trong suốt bốn năm đại học. Em vô cùng biết ơn sự dạy dỗ, chỉ bảo tận tình của các thầy, các cô trong thời gian học tập này.

Em xin bày tỏ lòng biết ơn tới thầy Ngô Trường Giang - Khoa công nghệ thông tin – Trường Đại Học Dân Lập Hải Phòng đã tận tình chỉ bảo và định hướng cho em nghiên cứu đề tài này. Thầy đã cho em những lời khuyên quan trọng trong suốt quá trình hoàn thành đề án. Cuối cùng, em xin cảm ơn gia đình và bạn bè luôn tạo điều kiện thuận lợi, động viên và giúp đỡ em trong suốt thời gian học tập, cũng như quá trình nghiên cứu, hoàn thành đề án này.

Do hạn chế về thời gian thực tập, tài liệu và trình độ bản thân, bài đồ án của em không thể tránh khỏi những thiếu sót, rất mong các thầy cô góp ý và sửa chữa để bài đồ án tốt nghiệp của em được hoàn thiện hơn. Em xin chân thành cảm ơn!

Hải Phòng ... tháng ... năm 2010

Sinh viên

Nguyễn Đức Văn

LỜI MỞ ĐẦU

Xương được coi như hình dạng cơ bản của đối tượng với số ít các điểm ảnh cơ bản và nó là cách biểu diễn đối tượng một cách cô đọng. Nó thường được ứng dụng trong rất nhiều lĩnh vực như đồ họa máy tính, tra cứu ảnh, nhận dạng ký tự. Các thuật toán tìm xương thường xuất phát từ ý tưởng làm mảnh dần đối tượng đến khi chỉ còn lại những đặc điểm cô đọng nhất. Xương là kết quả của việc làm mảnh, nhưng nó phải thỏa mãn các yêu cầu và các đặc tính riêng của các mục đích làm mảnh khác nhau. Đề tài này trình bày một số kỹ thuật tiếp cận làm mảnh ảnh và các phương pháp làm mảnh ảnh để thu được những ảnh đầu ra (Xương) mong muốn thỏa mãn những yêu cầu và đặc tính riêng của người sử dụng.

Đề án bao gồm các chương.

Chương 1. Tổng quan về xử lý ảnh.

Chương 2. Tổng quan về làm mảnh ảnh.

Chương 3. Phương pháp hình thái học và một số thuật toán làm mảnh ảnh.

Chương 4. Cài đặt thử nghiệm thuật toán Stentiford.

CHƯƠNG 1: Tổng quan về xử lý ảnh

1.1. Giới thiệu về hệ thống xử lý ảnh

Xử lý ảnh là một lĩnh vực mang tính khoa học và công nghệ. Nó là một ngành khoa học mới mẻ so với nhiều ngành khoa học khác nhưng tốc độ phát triển của nó rất nhanh, kích thích các trung tâm nghiên cứu, ứng dụng, đặc biệt là máy tính chuyên dụng riêng cho nó. Một số kiến thức cần thiết như Trí tuệ nhân tạo, Mạng nơ ron nhân tạo cũng được đề cập trong quá trình phân tích và nhận dạng ảnh.

Các phương pháp xử lý ảnh bắt đầu từ các ứng dụng chính: nâng cao chất lượng ảnh và phân tích ảnh. Các phương pháp tri thức nhân tạo như mạng nơ ron nhân tạo, các thuật toán xử lý hiện đại và cải tiến, các công cụ nén ảnh ngày càng được áp dụng rộng rãi và thu nhiều kết quả khả quan. Để dễ tưởng tượng, xét các bước cần thiết trong xử lý ảnh. Đầu tiên, ảnh tự nhiên từ thế giới ngoài được thu nhận qua các thiết bị thu (như Camera, máy chụp ảnh). Trước đây, ảnh thu qua Camera là các ảnh tương tự (loại Camera ống kính CCIR). Gần đây, với sự phát triển của công nghệ, ảnh màu hoặc đen trắng được lấy ra từ Camera, sau đó nó được chuyển trực tiếp thành ảnh số tạo thuận lợi cho xử lý tiếp theo. (Máy ảnh số hiện nay là một thí dụ gần gũi). Mặt khác, ảnh cũng có thể tiếp nhận từ vệ tinh; có thể quét từ ảnh chụp bằng máy quét ảnh

1.2. Một số định nghĩa

Điểm ảnh (Pixel) là một phần tử của ảnh số tại tọa độ (x, y) với độ xám hoặc màu nhất định. Kích thước và khoảng cách giữa các điểm ảnh đó được chọn thích hợp sao cho mắt người cảm nhận sự liên tục về không gian và mức xám (hoặc màu) của ảnh số gần như ảnh thật. Mỗi phần tử trong ma trận được gọi là một phần tử ảnh.

Độ phân giải (Resolution) của ảnh là mật độ điểm ảnh được ấn định trên một ảnh số được hiển thị.

Mức xám của điểm ảnh là cường độ sáng của nó được gán bằng giá trị số tại điểm đó.

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.

Ảnh màu: trong khuôn khổ lý thuyết ba màu (Red, Blue, Green) để tạo nên thế giới màu, người ta thường dùng 3 byte để mô tả mức màu, khi đó các giá trị màu: $28 * 3 = 224 \approx 16,7$ triệu màu.

Ảnh số là tập hợp các điểm ảnh với mức xám phù hợp dùng để mô tả ảnh gần với ảnh thật.

1.3. Các giai đoạn cơ bản XLA

1.3.1 Thu nhận ảnh (Image Acquisition)

Ảnh có thể nhận qua camera màu hoặc đen trắng. Thường ảnh nhận qua camera là ảnh tương tự (loại camera ống chuẩn CCIR với tần số 1/25, mỗi ảnh 25 dòng), cũng có loại camera đã số hoá (như loại CCD – Charge Coupled Device) là loại photodiode tạo cường độ sáng tại mỗi điểm ảnh.

Camera thường dùng là loại quét dòng, ảnh tạo ra có dạng hai chiều. Chất lượng một ảnh thu nhận được phụ thuộc vào thiết bị thu, vào môi trường (ánh sáng, phong cảnh)

1.3.2 Tiền xử lý ảnh (Image Processing)

Sau bộ thu nhận, ảnh có thể nhiễu độ tương phản thấp nên cần đưa vào bộ tiền xử lý để nâng cao chất lượng. Chức năng chính của bộ tiền xử lý là lọc nhiễu, nâng độ tương phản để làm ảnh rõ hơn, nét hơn.

1.3.3 Phân đoạn ảnh (Segmentation)

Phân vùng ảnh là tách một ảnh đầu vào thành các vùng thành phần để biểu diễn phân tích, nhận dạng ảnh. Ví dụ: để nhận dạng chữ (hoặc mã vạch) trên phong bì thư cho mục đích phân loại bưu phẩm, cần chia các câu, chữ về địa chỉ hoặc tên người thành các từ, các chữ, các số (hoặc các vạch) riêng biệt để nhận dạng. Đây là phần phức tạp khó khăn nhất trong xử lý ảnh và cũng dễ gây lỗi, làm mất độ chính xác của ảnh. Kết quả nhận dạng ảnh phụ thuộc rất nhiều vào công đoạn này.

1.3.4 Biểu diễn và mô tả ảnh (Image Representation)

Đầu ra ảnh sau phân đoạn chứa các điểm ảnh của vùng ảnh (ảnh đã phân đoạn) cộng với mã liên kết với các vùng lân cận. Việc biến đổi các số liệu này thành dạng thích hợp là cần thiết cho xử lý tiếp theo bằng máy tính. Việc chọn các tính chất để thể hiện ảnh gọi là trích chọn đặc trưng (Feature Selection) gắn với việc tách các đặc tính của ảnh dưới dạng các thông tin định lượng hoặc làm cơ sở để phân biệt lớp đối tượng này với đối tượng khác trong phạm vi ảnh nhận được. Ví dụ: trong nhận dạng ký tự trên phong bì thư, chúng ta miêu tả các đặc trưng của từng ký tự giúp phân biệt ký tự này với ký tự khác.

1.3.5 Nhận dạng và nội suy ảnh (Image Recognition and Interpretation)

Nhận dạng ảnh là quá trình xác định ảnh. Quá trình này thường thu được bằng cách so sánh với mẫu chuẩn đã được học (hoặc lưu) từ trước. Nội suy là phán đoán theo ý nghĩa trên cơ sở nhận dạng. Ví dụ: một loạt chữ số và nét gạch

ngang trên phong bì thư có thể được nội suy thành mã điện thoại. Có nhiều cách phân loại ảnh khác nhau về ảnh. Theo lý thuyết về nhận dạng, các mô hình toán học về ảnh được phân theo hai loại nhận dạng ảnh cơ bản:

- Nhận dạng theo tham số.
- Nhận dạng theo cấu trúc.

Một số đối tượng nhận dạng khá phổ biến hiện nay đang được áp dụng trong khoa học và công nghệ là: nhận dạng ký tự (chữ in, chữ viết tay, chữ ký điện tử), nhận dạng văn bản (Text), nhận dạng vân tay, nhận dạng mã vạch, nhận dạng mặt người...

1.3.6 Cơ sở tri thức (Knowledge Base)

Như đã nói ở trên, ảnh là một đối tượng khá phức tạp về đường nét, độ sáng tối, dung lượng điểm ảnh, môi trường để thu ảnh phong phú kéo theo nhiều. Trong nhiều khâu xử lý và phân tích ảnh ngoài việc đơn giản hóa các phương pháp toán học đảm bảo tiện lợi cho xử lý, người ta mong muốn bắt chước quy trình tiếp nhận và xử lý ảnh theo cách của con người. Trong các bước xử lý đó, nhiều khâu hiện nay đã xử lý theo các phương pháp trí tuệ con người. Vì vậy, ở đây các cơ sở tri thức được phát huy. Trong tài liệu, chương 6 về nhận dạng ảnh có nêu một vài ví dụ về cách sử dụng các cơ sở tri thức đó.

1.3.7 Mô tả (biểu diễn ảnh)

Ảnh sau khi số hoá sẽ được lưu vào bộ nhớ, hoặc chuyển sang các khâu tiếp theo để phân tích. Nếu lưu trữ ảnh trực tiếp từ các ảnh thô, đòi hỏi dung lượng bộ nhớ cực lớn và không hiệu quả theo quan điểm ứng dụng và công nghệ. Thông thường, các ảnh thô đó được đặc tả (biểu diễn) lại (hay đơn giản là mã hoá) theo các đặc điểm của ảnh được gọi là các đặc trưng ảnh (Image Features) như: biên ảnh (Boundary), vùng ảnh (Region). Một số phương pháp biểu diễn thường dùng:

- Biểu diễn bằng mã chạy (Run-Length Code)

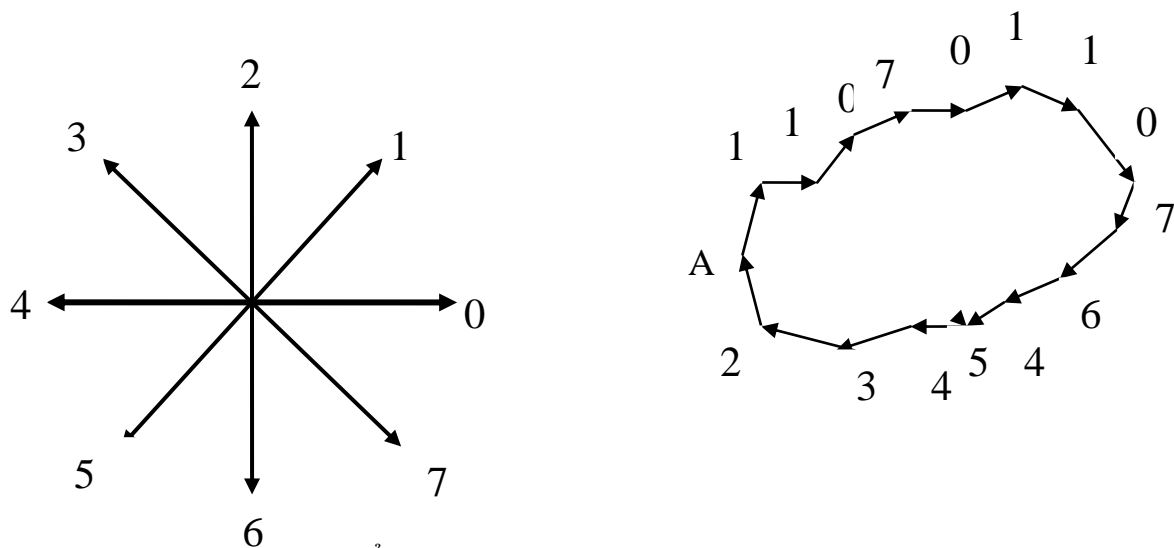
Phương pháp này hay dùng để biểu diễn cho vùng ảnh hay ảnh nhị phân. Một vùng ảnh R có thể biểu diễn đơn giản nhờ một ma trận nhị phân:

$$U(m,n) = \begin{cases} 1 & \text{khi } m,n \in R \\ 0 & \text{khi } m,n \notin R \end{cases}$$

Với các biểu diễn trên, một vùng ảnh hay ảnh nhị phân được xem như chuỗi 0 hay 1 đan xen. Các chuỗi này được gọi là mạch. Theo phương pháp này, mỗi mạch sẽ được biểu diễn bởi địa chỉ bắt đầu của mạch và chiều dài mạch theo dạng {<hàng,cột>, chiều dài}.

- Biểu diễn bằng mã xích (Chain-Code)

Mã xích thường được dùng để biểu diễn biên của ảnh. Thay vì lưu trữ toàn bộ ảnh, người ta lưu trữ dãy các điểm ảnh như A, B...M. Theo phương pháp này, 8 hướng của vectơ nối 2 điểm biên liên tục được mã hóa. Khi đó ảnh được biểu diễn qua điểm ảnh bắt đầu A cùng với chuỗi các từ mã. Điều này được minh họa trong hình dưới đây:



Hình 1.1 Hướng các điểm biên và mã tương ứng: A11070110764545432

- Biểu diễn bằng mã tứ phân (Quad-Tree Code)

Theo phương pháp mã tứ phân, một vùng ảnh coi như bao kín một hình chữ nhật. Vùng này được chia làm 4 vùng con (Quadrant). Nếu một vùng con gồm toàn điểm đen (1) hay toàn điểm trắng (0) thì không cần chia tiếp. Trong trường hợp ngược lại, vùng con gồm cả điểm đen và trắng gọi là vùng không đồng nhất, ta tiếp tục chia thành 4 vùng con tiếp và kiểm tra tính đồng nhất của các vùng con đó. Quá trình chia dừng lại khi mỗi vùng con chỉ chứa thuần nhất điểm đen hoặc điểm trắng. Quá trình đó tạo thành một cây chia theo bốn phần gọi là cây tứ phân. Như vậy, cây biểu diễn ảnh gồm một chuỗi các ký hiệu b (black), w (white) và g (grey) kèm theo ký hiệu mã hóa 4 vùng con. Biểu diễn theo phương pháp này ưu việt hơn so với các phương pháp trên, nhất là so với mã loạt dài. Tuy nhiên, để tính toán số đo các hình như chu vi, mô men là tương đối khó khăn.

CHƯƠNG 2: Tổng quan về làm mảnh ảnh

2.1. Một số khái niệm về xương và làm mảnh ảnh

2.1.1 Khái niệm Xương

Mọi người làm việc trong lĩnh vực thị giác máy tính (*Computer vision*) đều biết làm mảnh (*thinning*) là gì?. Trong những năm gần đây, xuất hiện các thuật ngữ “Làm mảnh” và “Tìm xương”, trong đồ án này, về một số mặt nào đó, em coi chúng đồng nghĩa với nhau.

Làm mảnh là việc bạn phải làm gì để xác định xương (*Skeleton*) của một đối tượng, thường là của một đối tượng hai cấp xám (*bilevel*). Bất cứ ai cũng có thể đưa ra câu hỏi: “Một xương là gì?”. Nhiệm vụ của những người nghiên cứu về làm mảnh phải trả lời câu hỏi đó. Bây giờ chúng ta có thể mạnh dạn đưa vào phạm vi của ý tưởng bởi vì như với cấu trúc (*texture*), không có một định nghĩa chung nào cho khái niệm một xương là gì?. Và tệ hơn nữa, không giống với cấu trúc, chúng ta không thể nhận biết được một xương khi chúng ta nhìn thấy nó. Đây là một điều đáng tiếc bởi vì sự phát sinh của một xương số (*digital skeleton*) thường là một trong các bước xử lý đầu tiên thực hiện bởi một hệ thống thị giác máy khi thử trích ra các đặc tính từ một đối tượng trong một ảnh. Một xương được xem như dùng để mô tả hình dạng của đối tượng theo một số ít các điểm ảnh có liên quan, tất cả các điểm ảnh đó (trong một vài khả năng) thuộc về cùng một cấu trúc và do đó nó rất cần thiết.

Thuật ngữ “xương” được sử dụng để chỉ kết quả của việc làm mảnh ảnh mà không cần quan tâm đến hình dạng chuẩn của ảnh ban đầu hoặc các phương thức sử dụng để làm mảnh.

Trong các dòng ảnh, xương truyền đạt tất cả các thông tin xác định được trong ảnh nguyên bản ban đầu, các dòng ảnh đó lưu giữ các giá trị của xương

như: Vị trí, phương hướng và độ dài của các đoạn thẳng của xương, là biểu diễn của chúng mà ảnh được bao gồm. Điều này đơn giản hóa nhiệm vụ biểu diễn bằng đặc trưng các bộ phận của dòng ảnh. Do đó, làm mảnh ảnh có thể được định nghĩa như là hoạt động của việc nhận dạng các điểm ảnh của một đối tượng mà các điểm ảnh đó là các điểm cốt yếu cho việc mô tả hình dạng của đối tượng: Các điểm ảnh đó là các điểm xương và các điểm xương đó tạo thành một tập hợp các điểm xương.

Không tồn tại một định nghĩa chung nào về một xương số thực sự được chấp nhận của nhiều người (*Davies, Haralick*) ngoại trừ việc thay đổi trong từng ứng dụng cụ thể. Hàng trăm bài báo dựa trên chủ đề của việc làm mảnh được in ấn; phần lớn chúng quan tâm đến việc thực hiện một sự thay đổi dựa trên một phương pháp làm mảnh đang tồn tại, trong đó các hướng mới lại được thực hiện cho việc thực hiện thuật toán. Nhiều thuật toán làm mảnh gần đây được thiết kế với một “mắt đồng hồ”. Tốc độ của các thuật toán làm mảnh được nâng cao rất nhiều; thông thường trong khi cho phép thay đổi đơn phương các nguyên lý cơ bản.

2.1.2 Các khái niệm liên quan đến làm mảnh ảnh

Trong đề án này một số tiếp cận về các kỹ thuật làm mảnh ảnh cơ bản sẽ được khảo sát, nghiên cứu và chúng ta sẽ luôn trở lại kết quả nguyên bản của định nghĩa ngoại trừ việc tìm kiếm một cách giải quyết mới. Tuy nhiên, có 3 điều mà có thể cần được quy định trước và đó là những điều cần lưu ý khi xem xét các vấn đề làm mảnh:

Không phải tất cả các đối tượng đều có thể và phải được làm mảnh, việc làm mảnh là hữu dụng (có ích) cho các đối tượng ăn khớp của các dòng, nghĩa là chúng chỉ thẳng hoặc cong và việc làm mảnh là không hữu dụng cho các đối tượng có một hình dạng mà hình dạng này khép kín một vùng quan tâm. Ví dụ,

một hình tròn có thể được làm mảnh vì nó được mô tả bằng một đường cong khép kín nhưng một hình đĩa không thể làm mảnh một cách có ý nghĩa.

Những công việc giống như một xương ở một trạng thái không thể làm việc trong mọi trạng thái. Làm mảnh thường là một bước chuẩn bị một ảnh cho các bước xử lý tiếp theo (tiền xử lý) trong xử lý ảnh. Tất nhiên, các bước tiếp theo sau thường làm việc với các đặc trưng (thuộc tính) cần thiết của xương đã được xác định.

Làm mảnh là hoạt động của việc nhận dạng xương và không được định nghĩa bằng thuật toán đã dùng. Đặc biệt, việc làm mảnh không phải luôn luôn làm công việc như xử lý lặp lại việc lột bỏ dần đi lớp điểm ảnh bên ngoài của đối tượng.

2.1.2.1 Điểm láng giềng và các thành phần liên thông

Khi xem xét một điểm ảnh P được xóa đi nếu nó là một điểm ảnh đen và hình vẽ dưới đây cho biết thứ tự như các điểm ảnh lân cận của điểm P khi tính toán.

X4	X3	X2
X5	P	X1
X6	X7	X8

Sơ đồ 2.1: Các điểm láng giềng của điểm ảnh p.

Vì ảnh là một ma trận các điểm ảnh: $I_{m \times n}$ (m - là số hàng, n - là số cột).

Gọi p tương ứng với $I(i,j)$ là một điểm ảnh.

Khi đó, các điểm 4_láng giềng hay kề 4 của điểm p là:

$$N_4 = \{ (i-1, j), (i+1, j), (i, j-1), (i, j+1) \}$$

Trong hình vẽ tương ứng với các điểm

$$\{ X_1, X_3, X_5, X_7 \}$$

Và các điểm 8_láng giềng hay kề 8 của điểm p sẽ là:

$$N_8 = \{ N_4, (i-1, j-1), (i+1, j-1), (i-1, j+1), (i+1, j+1) \}$$

Trong hình vẽ tương ứng với các tập các điểm ảnh:

$$N(p) = \{ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8 \}$$

Ta sử dụng các giá trị $x_i (i = 1, 8)$ để chỉ các điểm ảnh và x_i được gọi là các điểm đen hoặc trắng nếu các giá trị tương ứng của chúng là 0 hoặc 1.

Số các điểm ảnh đen trong $N(p)$ được kí hiệu là $b(p)$. Một thứ tự sắp xếp của các điểm ảnh $y_1, y_2, y_3, \dots, y_8$ được gọi là 8_đường đi (hoặc 4_đường đi) nếu y_{i+1} là một trong 8_láng giềng của $y_i (i=1, n-1)$.

Một tập con Q của điểm ảnh p được gọi là 8_liên thông (hoặc 4_liên thông) nếu mọi cặp điểm (x, y) trong Q đều tồn tại 8_chuyển (hoặc 4_chuyển) từ x đến y tương ứng với các điểm ảnh của Q . Trong trường hợp này Q được gọi là một 8_thành phần (hoặc 4_thành phần) của p . Thứ tự liên kết của p là số các thành phần của phần bù của nó: $\lceil p$ nếu số thành phần này là 1 thì ta nói p là đơn liên thông, ngược lại ta nói p là đa liên thông.

Một điểm ảnh p được gọi là 8_xóa được (hoặc 4_xóa được) nếu việc xóa bỏ nó khỏi ảnh không làm ảnh hưởng đến các liên kết của p .

Các điểm ảnh được xem xét, kiểm tra các điều kiện được xóa bỏ trong các thuật toán làm mảnh là các điểm biên của đối tượng. Có một số đề nghị cho rằng việc thỏa mãn tính đối ngẫu của p và $\lceil p$ với hai kiểu liên kết khác nhau sẽ khử mất tính nghịch đảo của p và $\lceil p$, chúng ta sẽ cùng trở thành các thành phần liên thông hoặc các thành phần không liên thông. Để thu được xương có độ dày một điểm ảnh, ta chấp nhận 8_liên thông đối với p và 4_liên thông đối với $\lceil p$. Quy định này bảo đảm an toàn tính liên thông bằng cách chỉ xóa đi các điểm ảnh của p là 4_láng giềng của $\lceil p$. Vì vậy các điểm biên thường được định nghĩa với ít nhất một điểm ảnh trắng trong 4_láng giềng.

2.1.2.2 Điểm trong, điểm biên, điểm xương và điều kiện điểm cuối

Gọi p là một điểm ảnh của đối tượng, khi đó ta có các định nghĩa sau:

Điểm p được gọi là điểm trong nếu với $\forall q$ là 8_láng giềng của p ta có vector của q và p là như nhau. Hay điểm trong là các điểm đen mà không phải là điểm biên của đối tượng.

Điểm p được gọi là điểm biên nếu $\exists q$ là 8_láng giềng p sao cho vector của q khác vector của p .

Khoảng cách giữa hai điểm p và q được xác định như sau:

$$d(p, q) = \text{Sqrt}((x(p) - x(q))^2 + (y(p) - y(q))^2).$$

Hoặc:

$$d(p, q) = \text{Max}(\text{abs}(x(p) - x(q)), \text{abs}(y(p) - y(q))).$$

$$\text{SKI}(p) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } \exists \text{ hai điểm } q_1, q_2 \in i \text{ sao cho: } d(p, q_1) = d(p, q_2). \\ 0 & \text{nếu ngược lại.} \end{cases}$$

Chúng ta cũng tìm hiểu trong trường hợp nào p là điểm cuối (*endpoint*), chúng ta đưa ra điều kiện điểm cuối sau:

$$b(p) = 1$$

Điều kiện này có nhiều dạng khác nhau như: điểm p có thể được giữ lại khi có 2 hoặc 3 các điểm ảnh đen phối hợp trên một bên của $N(p)$, hoặc điều kiện này có thể áp dụng sau 2 vòng lặp đầu tiên, hoặc rất có thể nó sẽ bị bỏ qua hoàn toàn để tránh các nhánh giả.

Phần lớn sự khác nhau giữa các thuật toán làm mảnh là ở chỗ chúng ta có đảm bảo tính liên thông hay không. Tính chất này được định nghĩa thông qua các

khái niệm số giao, thành phần liên thông và số điểm ảnh đơn liên thông dưới đây.

2.1.2.3 Số giao của điểm ảnh

Có hai định nghĩa đối với số giao điểm của một điểm ảnh được trình bày như sau:

Rutovitz là một người đầu tiên đưa ra độ đo hữu dụng này, ông xem xét tính liên thông là số lần biến đổi từ một điểm trắng thành một điểm đen và ngược lại khi các điểm ảnh này của $N(p)$ được đặt theo thứ tự ngược chiều kim đồng hồ.

Do đó số giao điểm của điểm p được định nghĩa như sau:

$$XR(p) = \sum |X_{i-1} - X_i|.$$

Trong đó $x_9 = x_1$ và nó bằng hai lần số các 4_ thành phần đen trong $N(p)$. Việc xóa bỏ điểm ảnh p sẽ không ảnh hưởng đến 4_liên thông nếu điều kiện sau thoả mãn:

$$XR(p) = 2$$

Bởi các điểm ảnh đen trong $N(p)$ là 4_liên thông trong trường hợp này. Tuy nhiên do 4_Thành phần có thể phân hoạch thành 8_liên thông, các xương thu được bằng cách sử dụng số giao này có thể chứa các điểm ảnh 8_xoá được và các xương đó đôi khi cũng được nói là 8_liên thông chưa đầy đủ. (Y. S. Chen). Để tránh sự khó hiểu ta thừa nhận điều này như một giả thuyết và sẽ tìm hiểu sau.

Hilditch định nghĩa số giao $XH(p)$ là số lần nhảy từ điểm ảnh trắng sang điểm ảnh đen khi các điểm ảnh này đang trong một thứ tự, cắt góc giữa kề 4_láng giềng.

Do đó ta có:

$$XH(p) = \sum b_i.$$

Trong đó:

$$b_i = \begin{cases} 1 & \text{nếu } X_{2i-1} = 0 \text{ và } (X_{2i} = 1 \text{ hoặc } X_{2i+1}). \\ 0 & \text{nếu trái lại.} \end{cases}$$

Và XH bằng số 8_ thành phần trong N(p) khi p có 4_ thành phần đều là đen, trong trường hợp này XH = 0.

Như vậy, có thể thấy rằng, đối với cả hai định nghĩa của số giao thì nếu một điểm ảnh có cả 8_láng giềng đều là đen thì sẽ có số giao bằng 0 và điểm này sẽ bị cô lập.

Nếu XH = 1 thì việc xóa bỏ điểm ảnh p không ảnh hưởng đến tính 8_liên thông của mẫu.

Một vấn đề liên quan có thể tính được số giao XH(p) là số 8_liên thông được định nghĩa như sau:

$$N_{8c} = \sum (X_{2i-1} - (\neg X_{2i-1} - \neg X_{2i} * \neg X_{2i+1})).$$

Với $\neg X$ là phủ định của X.

Mặt khác, với số 4_liên thông ta có:

$$N_{4c} = \sum (X_{2i-1} - (\neg X_{2i-1} - \neg X_{2i} * \neg X_{2i+1})).$$

2.1.2.4 Điểm đơn, điểm bội

Bậc của điểm ảnh được định nghĩa là số các thành phần liên thông của p trừ đi số lỗ hổng (hole) của chính nó.

Đối với bất kỳ điểm ảnh nào, hiệu quả của nó trên bậc G có thể được xác định một cách hoàn chỉnh theo N(p).

Nếu việc xóa bỏ p không làm thay đổi G thì p được gọi là điểm đơn. Có 256 hình trạng của $N(p)$, một điểm p là điểm đơn nếu nó có thể lưu trong một bảng để kiểm tra.

Các điểm ảnh với số liên thông $N_{8c}(p)$ lớn hơn 1 thuộc vào loại điểm ảnh bội. Chúng bao gồm các điểm cuối của các nhánh, các nét vẽ có độ dày 2 điểm ảnh, các điểm ảnh phát sinh ra xương dựa trên tiêu chuẩn liên thông. Do đó, các điểm ảnh này được giữ lại trong quá trình làm mảnh ảnh.

2.2. Phân loại các thuật toán làm mảnh ảnh

Trong quá trình phát triển của Xử lý ảnh có rất nhiều thuật toán làm mảnh ảnh đã xuất hiện. Ý tưởng của hầu hết các thuật toán này là sử dụng các phép lặp để tìm cách lột bỏ dần các lớp điểm biên của đối tượng khi các điểm ảnh thuộc lớp này thỏa mãn một số điều kiện xóa nào đó, thuật toán thực hiện được cho đến khi thu được xương của đối tượng. Việc xóa bỏ hay giữ lại các điểm ảnh p (điểm đen thuộc đối tượng) dựa trên vùng lân cận của p . Như vậy, lớp các thuật toán làm mảnh lặp có thể được phân thành lớp các thuật toán làm mảnh tuần tự và lớp các thuật toán làm mảnh song song.

2.2.1 Lớp các thuật toán làm mảnh tuần tự

Đối với một thuật toán làm mảnh tuần tự, các điểm ảnh được xét để xóa đi theo một trật tự nhất định trong mỗi vòng lặp con, và việc xóa bỏ điểm ảnh p trong vòng lặp thứ n phụ thuộc vào kết quả đã thực hiện trong các vòng lặp trước đó, nói cách khác, giá trị xác định của điểm ảnh p dùng để kiểm tra điều kiện xóa trong vòng lặp thứ n được tính toán qua các giá trị ở các vòng lặp thứ $n-1, n-2, \dots$

Các thuật toán làm mảnh tuần tự thông thường được cài đặt trên các máy một bộ vi xử lý theo tính chất thuật toán xử lý của chúng.

2.2.2 Lớp các thuật toán làm mảnh song song

Khi áp dụng các tính toán và máy tính song song vào xử lý ảnh, đã phát sinh một số thuật toán làm mảnh lặp song song nhằm nâng cao tốc độ thực hiện của thuật toán dựa trên nguyên tắc xử lý song song.

Đối với các thuật toán làm mảnh song song, việc xóa đi các điểm ảnh trong vòng lặp thứ n chỉ phụ thuộc vào các giá trị tính toán ở vòng lặp thứ $n-1$ mà không phụ thuộc vào các vòng lặp trước đó, do vậy, các điểm ảnh đều có thể xem xét, kiểm tra một cách độc lập trên mỗi vòng lặp trong thuật toán làm mảnh lặp song song.

Cần chú ý rằng, không phải các thuật toán làm mảnh ảnh được phân loại thành lớp các thuật toán tuần tự và lớp các thuật toán song song mang tính chất bắt buộc về thuật toán điều đó có nghĩa là: Việc phân loại này chỉ mang ý nghĩa làm rõ tính chất, đặc điểm của từng thuật toán cũng như khả năng nâng cao tốc độ xử lý - một yêu cầu quan trọng của các thuật toán làm mảnh.

Ngoài các thuật toán làm mảnh dựa trên cơ chế lặp, còn tồn tại một số thuật toán làm mảnh không dựa trên cơ chế lặp. Việc làm mảnh dựa trên thuật toán này không thực hiện kiểm tra các điểm ảnh đơn lẻ mà trong một chu trình chúng tạo ra một trục trung vị của đối tượng bằng cách tính toán các khoảng cách từ các điểm ảnh trung tâm đến các biên của đối tượng, sử dụng các hàm trung vị (MAF),... và xấp xỉ trục trung vị này như là một xương của đối tượng đó.

Việc xấp xỉ trục trung vị của một đối tượng như là một xương sẽ được nghiên cứu trong chương II phụ thuộc rất nhiều vào phương thức tính toán cũng như các ảnh ban đầu, do đó, việc nghiên cứu các thuật toán làm mảnh không lặp dựa trên trục trung vị là tương đối phức tạp.

Trong khuôn khổ đề án này, tôi cũng đã tập trung nghiên cứu các thuật toán làm mảnh không lặp xác định các trục trung vị bằng cách dò theo đường hoặc từ việc mã hóa độ dài loạt (*Run length code*).

2.3. Các tính chất và yêu cầu đối với làm mảnh

Một thuật toán làm mảnh được gọi là hữu dụng và được nhiều người chấp nhận nếu nó thỏa mãn một số yêu cầu, tính chất của việc làm mảnh ảnh. Các tính chất này bao gồm việc duy trì các tính chất hình học, các thuộc tính Topo, tính đẳng hướng, tính bất biến, khả năng tái tạo ảnh ban đầu và tốc độ xử lý. Ngoài ra phải đảm bảo yêu cầu về hiệu quả, số phép toán,...

Ta xem xét một số yêu cầu cơ bản khi làm mảnh ảnh sau:

2.3.1 Yêu cầu về tính hình học

Đảm bảo tính hình học là yêu cầu quan trọng trong làm mảnh ảnh và gặp nhiều khó khăn nhất. Khó khăn ở chỗ làm thế nào để đạt được tính đơn giản của thuật toán mà vẫn đảm bảo được tính hình học của ảnh, nó cho phép giữ lại một vùng nhỏ các láng giềng nhưng các láng giềng này lại không thể đại diện cho toàn bộ ảnh, các thông tin có cấu trúc loại này lại cần để phân biệt giữa điểm cuối giả và các điểm cuối thật.

Để tránh sự xói mòn quá mức và việc tạo ra các điểm cuối giả tạo ở cùng một thời điểm khi áp dụng các thuật toán làm mảnh, chúng ta phải có những cách khắc phục khác nhau nhằm loại trừ điều kiện điểm cuối, tạo ra những điều kiện tổng quát và thích hợp hơn, hoặc chỉ áp dụng điều kiện đó trên các giai đoạn tiền làm mảnh.

2.3.2 Yêu cầu về tính Tôpô và tính liên thông

Việc duy trì tính Tôpô và tính liên thông khi làm mảnh cũng đã được giải quyết bằng những cách khác nhau.

Trong các thuật toán làm mảnh tuần tự ta kiểm tra một vùng ảnh 3x3 láng giềng dưới dạng số giao của điểm ảnh.

Còn trong các thuật toán lặp song song, để giải quyết vấn đề này, ta chia mỗi chu trình ra thành nhiều vòng lặp con hoặc bằng cách giữ một vùng láng giềng rộng hơn trong một vòng lặp con.

2.3.3 Yêu cầu về tính đẳng hướng và tính bất biến

Đa số các thuật toán làm mảnh lặp đều đảm bảo tính đẳng hướng hoặc tính bất biến trong một phép quay nào đó. Trong các thuật toán làm mảnh lặp tuần tự, kết quả thu được dựa trên thứ tự của các điểm ảnh được kiểm tra, còn trên các thuật toán song song xóa đi một trong hai kiểu điểm biên trên mỗi vòng lặp con thì xương thu được phụ thuộc vào thứ tự của các vòng lặp con này. Trong khi đó thì việc thay đổi trục trung vị không bất biến dưới một phép quay bởi vì thuật toán không phải luôn luôn là đầy đủ.

2.3.4 Yêu cầu về khả năng tái tạo lại mẫu ban đầu

Khả năng tái tạo, khôi phục lại mẫu ban đầu từ một xương sau khi đã làm mảnh ảnh là một thước đo khách quan về độ chính xác của thuật toán đối với mỗi mẫu xương.

Yêu cầu này phù hợp và để kiểm tra đối với các thuật toán dựa trên trục trung vị để xấp xỉ xương của đối tượng. Có thể sử dụng tính chất của hàm trục trung vị MAF để khôi phục lại các thông tin về ảnh nguyên bản ban đầu bằng cách lấy nghịch đảo hàm đó.

2.3.5 Yêu cầu về khả năng và số phép tính toán

Trong các thuật toán làm mảnh không lặp, các phương thức làm mảnh không phụ thuộc vào điểm ảnh có hiệu quả trong việc giảm số các phép tính toán cần thiết hay không, chúng giữ lại đặc trưng chi tiết của đối tượng tốt hơn các

phương pháp làm mảnh khác. Trong các thuật toán làm mảnh bằng cách dò biên, số phép tính toán phụ thuộc vào kích thước của ảnh cần xử lý vì thuật toán phải duyệt tất cả các điểm ảnh để kiểm tra điều kiện xoá,... Nói chung số lượng các phép tính toán phụ thuộc vào từng thuật toán cụ thể.

Tóm lại, một trong những vấn đề cần quan tâm của các thuật toán làm mảnh bây giờ là tốc độ xử lý, các thuật toán quan tâm chủ yếu đến tốc độ, đặc biệt là trong các thuật toán làm mảnh lặp song song, các cấu trúc xử lý ảnh song song đang được nghiên cứu, phát triển và ứng dụng rộng rãi. Đó là một bước cải tiến lớn trong kỹ thuật làm mảnh.

CHƯƠNG 3: Phương pháp hình thái học và một số thuật toán làm mảnh ảnh

3.1. Phép toán hình thái học

3.1.1 Giới thiệu

Có nhiều phương pháp trích chọn các đặc điểm của đối tượng được biết tới như phương pháp sử dụng bộ lọc sóng ngắn, sử dụng các mô men bất biến, sử dụng các hệ số Fourier, sử dụng các đặc trưng của biên như tính trơn và các đặc điểm đặc biệt, sử dụng các đặc trưng Tôpô dựa trên xương của đường nét...

Phần lớn các thuật toán làm mảnh dựa trên một số vòng lặp lột bỏ dần đi các lớp điểm ảnh bên ngoài của đối tượng, trong mỗi lần lặp, tất cả các điểm ảnh của đối tượng sẽ được kiểm tra nếu như chúng thỏa mãn điều kiện xóa nào đó tùy thuộc vào từng thuật toán cụ thể mà một số điểm ảnh (thông thường là các điểm biên) thỏa mãn điều kiện xóa sẽ bị xóa bỏ khỏi đối tượng. Quá trình này lặp lại cho đến khi không còn điểm nào được xóa và khi đó đối tượng sẽ bị bóc dần đến khi thu được một đường duy nhất có độ dày một điểm ảnh. Đó chính là xương của đối tượng.

Nhưng trong thực tế chẳng hạn khi sử dụng các phép toán hình thái học nhằm lấp đầy lỗ hổng, làm trơn biên và nối các đường đứt nét lại với nhau... Đôi khi ta chỉ cần bóc một số lớp nhất định để làm mảnh đối tượng đến một mức độ nào đó mà không cần bóc đến khi đối tượng chỉ còn lại một lớp điểm ảnh và bản thân mỗi phần trong cùng một ảnh lại cần làm mảnh với một số lớp khác nhau. Nói chung việc làm mảnh phụ thuộc vào mục đích và hình dạng cơ bản của đối tượng.

3.1.2 Một số khái niệm và định nghĩa

“Hình thái” (*Morphology*) là một thuật ngữ nghiên cứu về cấu trúc hay hình học Tôpô của đối tượng trong ảnh mà trong trường hợp này đối tượng chính là ảnh cần được làm mảnh.

Các phép biến đổi “hình thái” có rất nhiều ứng dụng mà một trong những ứng dụng quan trọng nhất của nó là làm mảnh (*Thinning*)

Phần lớn các phép toán hình thái được định nghĩa dựa trên hai phép toán cơ bản là phép dẫn (*Dilation*) và phép co (*Erosion*) ảnh. Các phép toán này được định nghĩa như sau:

Giả thiết ta có đối tượng X và các phần tử cấu trúc b trong không gian Euclide hai chiều. Khi đó:

Định nghĩa 1: Phép dẫn của đối tượng X theo cấu trúc B là tập hợp của tất cả các điểm x sao cho Bx tiến tới X .

$$X \oplus B := \{ x : Bx \cap X \neq \emptyset \}$$

Định nghĩa 2 : Phép co của đối tượng X theo cấu trúc B là tập hợp của tất cả các điểm x sao cho Bx nằm trong X .

$$X \ominus B := \{ x : Bx \subset X \}$$

3.1.3 Một vài tính chất cơ bản của phép biến đổi hình thái

Tính chất bất biến.

$$((X \oplus B) \oplus B) \oplus B = X \oplus B$$

$$((X \ominus B) \oplus B) \ominus B = X \ominus B$$

Tính chất phân bố của phép toán hình thái đối với tập cấu trúc.

$$X \oplus (B \cup B') = (X \oplus B) \cup (X \oplus B')$$

Tính chất phân bố của phép co đối với phép giao hai tập hợp.

$$(X \cap Z) \ominus B = (X \ominus B) \cap (Z \ominus B)$$

Tính chất kết hợp của phép co, dẫn.

$$(X \ominus B) \ominus B' = X \ominus (B \oplus B')$$

$$(X \oplus B) \oplus B' = X \oplus (B \oplus B')$$

Tính chất gia tăng.

$$X \subset X' \Rightarrow X \ominus B \subset X' \ominus B \text{ với } \forall B$$

$$X \oplus B \subset X' \oplus B \text{ với } \forall B$$

$$B \subset B' \Rightarrow X \ominus B \subset X \ominus B' \text{ với } \forall X$$

Tính chất đối ngẫu.

$$X \oplus B = (X \ominus B')^c$$

3.1.4 Làm mảnh ảnh dưới góc độ lý hình thái học

Ta đưa ra một số định nghĩa áp dụng các phép toán hình thái để làm mảnh ảnh sau:

Định nghĩa 3: Trong xử lý hình thái, phép toán làm mảnh được định nghĩa như sau:

$$X \circ B := X \setminus (X \otimes B)$$

Trong đó : B là phần tử cấu trúc dùng trong làm mảnh

\otimes là toán tử trùng- trượt.

Trùng: là phần giao giữa B và X là không rỗng.

$$2) X \otimes B := (X \ominus B_{ob} \setminus (X \otimes B_{bk}))$$

Trong đó: B_{ob} là tập các điểm cầu cấu trúc B thuộc vào đối tượng.

B_{bk} là tập hợp các điểm biên của cấu trúc B thuộc biên của đối tượng.

Để thu được xương kết quả tương đối chính xác, việc làm mảnh bằng phương pháp này cần phải được thực hiện một cách đối xứng. Do đó người ta thường định nghĩa dãy các phần tử cấu trúc như sau:

$$\{ B \} := \{ B^i, 1 < i < n \}$$

trong đó B^i là B^{i-1} khi quay đi một góc và được sử dụng lần lượt theo thứ tự:

$$X \circ \{ B \} := (\dots ((X \circ B_1) \circ B_2) \dots) \circ B_n \}$$

Định nghĩa 4: Tập X được gọi là mảnh đối với cấu trúc B nếu :

$$X \circ \{ B \} = X$$

Thuật toán làm mảnh tổng quát như sau :

Bước 1 : Thu nhận ma trận ảnh X .

Bước 2 : $X \leftarrow X \circ \{ B \}$.

Bước 3 : Nếu $X = X \circ \{ B \}$ thì dừng còn không thì quay lại bước 2.

Mệnh đề 2.1 thuật toán làm mảnh dừng và cho kết quả là mảnh đối với cấu trúc B .

Chứng minh : Ta có $X \circ \{ B \} \subseteq X$ nên sau mỗi bước làm mảnh số điểm trong của tập X giảm dần. Do số phần tử của X khác 0 nên số lần thực hiện bước 2 của thuật toán không vượt quá số điểm ảnh của X . Do đó thuật toán là dừng. (Số phép toán hữu hạn).

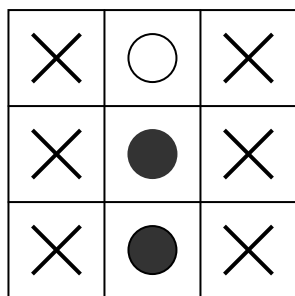
3.2. Một số thuật toán làm mảnh ảnh cơ bản

Có một tập hợp các quy tắc định nghĩa cho việc loại bỏ các điểm ảnh và thông thường một vài sự sắp xếp các phương thức đối chiếu mẫu được dùng để thực hiện các quy tắc đó thường thì các quy tắc đó được thiết kế đến mức dễ diễn đạt khi kết thúc: Khi không có sự thay đổi nào xảy ra sau 2 lần duyệt ảnh.

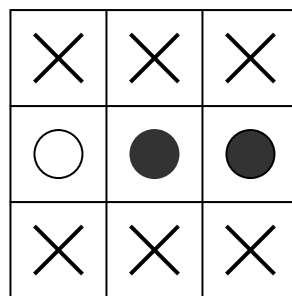
Ta xem xét và nghiên cứu một số thuật toán làm mảnh cơ bản sau:

3.2.1 Thuật toán stentiford

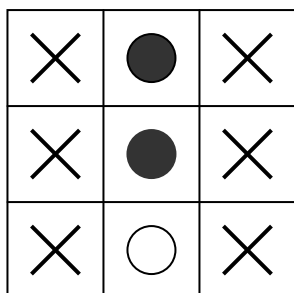
Thuật toán đầu tiên là thuật toán Stentiford được đề xuất năm 1983 là điển hình của phương thức đối chiếu mẫu đó. Nó sử dụng các mẫu 3x3 điểm ảnh trong đó một sự đối chiếu của mẫu trên ảnh là phương tiện để xóa (làm trắng) điểm ảnh trung tâm của các cửa sổ khi đối chiếu mẫu lên ảnh.



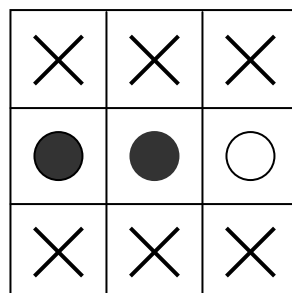
(a)



(b)



(c)



(d)

Hình 3. 1 Các mẫu cho việc nhận dạng các điểm ảnh mà chúng có thể được xóa trong thuật toán làm mảnh Stentiford

a) Mẫu M1 b) Mẫu M2 c) Mẫu M3 d) Mẫu M4.

(*) Thuật toán Stentiford được tóm tắt như sau:

Bước 1: Tìm một vị trí điểm ảnh (i,j) , vị trí mà các điểm ảnh trong ảnh I đối chiếu chúng trong mẫu M1(hình 3. 1a).

Bước 2: Nếu điểm ảnh trung tâm không phải là điểm cuối (*endpoint*) và có giá trị liên kết là 1 thì đánh dấu điểm này cho lần xóa sau đó.

Bước 3 : Lặp lại bước 1 và 2 cho tất cả các vị trí điểm ảnh sử dụng mẫu đối chiếu M1.

Bước 4 : Lặp lại bước 1, 2, 3 lần lượt cho các mẫu còn lại M2, M3, M4.

Bước 5 : Nếu bất kỳ điểm ảnh nào được đánh dấu cho thao tác xóa bỏ thì xóa bỏ theo thao tác tạo cho chúng thành màu trắng.

Bước 6 : Nếu bất kỳ điểm ảnh nào được xóa ở bước 5 thì lặp lại toàn bộ quá trình xử lý từ bước 1 còn không thì thuật toán dừng.

Các điểm ảnh đen trắng rõ ràng trong các mẫu phải phù hợp với các điểm ảnh của một màu tương tự trong ảnh, các vị trí biểu thị bằng các dấu X là nơi chúng ta không quan tâm đến điểm ảnh ở đó màu gì.

Ảnh phải được quét cho các mẫu theo một thứ tự riêng biệt đối với từng mẫu.

Chức năng của mẫu M1 là tìm được các điểm ảnh có khả năng được xóa dọc theo cạnh trên cùng của đối tượng và chúng ta tìm kiếm cho sự đối chiếu từ trái sang phải, sau đó từ trên xuống dưới.

Mẫu M2 dùng đối chiếu một điểm ảnh trên biên trái của một đối tượng mẫu này xóa các điểm ảnh từ dưới lên trên ảnh, từ trái sang phải.

Mẫu M3 xác định các điểm ảnh dọc theo cạnh dưới và xóa chúng theo thứ tự phải sang trái, dưới lên trên.

Mẫu M4 xác định các điểm ảnh trên biên phải của đối tượng đối và xóa chúng theo cách từ trên xuống dưới, từ phải sang trái.

Phương hướng và thứ tự rõ ràng này áp dụng cho các mẫu đảm bảo rằng các điểm ảnh sẽ bị xóa theo cách đối xứng ngoại trừ đường chéo theo hướng quan trọng nào. Chính từ khả năng các điểm ảnh bị xóa một cách đối xứng mà xương kết quả thu được từ thuật toán này là tương đối chính xác theo định nghĩa và tính chất của các phép toán hình thái học.

Mặc dù có hai vấn đề được giải quyết mà cả hai kết quả của hai vấn đề này rút ra từ bước 2. Đó là một điểm ảnh là một điểm cuối (endpoint) nếu nó chỉ được liên kết với một điểm ảnh khác nghĩa là nếu nó là một điểm ảnh đen thì chỉ có một điểm ảnh đen ngoài 8_láng giềng của nó. Nếu các điểm cuối bị xóa thì

bất kỳ các đường thẳng và đường cong mở nào cũng bị xóa theo hoàn toàn, điều này phần nào giống như việc mở một khoá nút.

Khái niệm giá trị kết nối (connectivity number) là một chút thách thức cho những người nghiên cứu về làm mảnh và sử dụng phương pháp hình thái học. Bởi vì chúng ta đang sử dụng một phần rất nhỏ của một mảnh. Vai trò của các đoạn ảnh đó trong toàn bộ bức ảnh không được rõ ràng. Đôi khi một điểm ảnh đơn kết nối hai phần lớn hơn của đối tượng và đó là trực giác tất nhiên mà như vậy điểm ảnh không thể được xóa, nếu không điều kiện liên thông sẽ bị vi phạm. Để làm như vậy ta phải tạo hai đối tượng mới từ hai đối tượng ban đầu, trong đó chỉ có một đối tượng nguyên bản.

Một giá trị kết nối là số lượng đối tượng của điểm ảnh có thể kết nối. Như vậy đẳng thức Yokoi 1973 là :

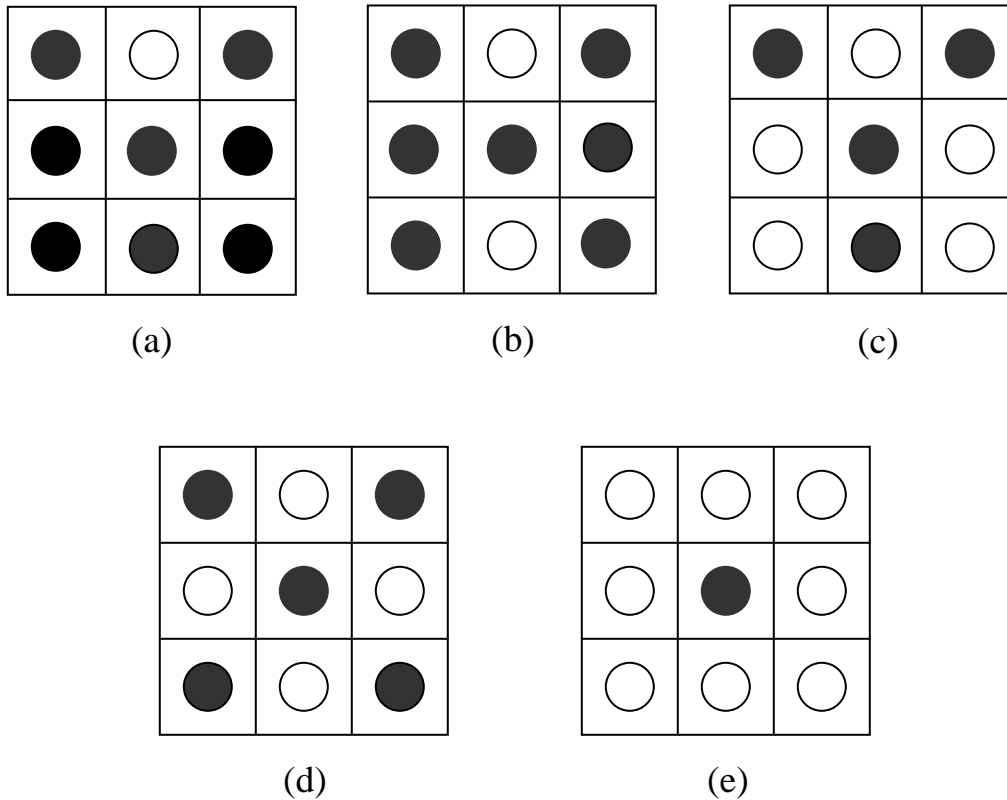
$$C_n = \sum_{i=1}^n N_k - (N_k * N_{k+1} * N_{k+2}) \quad (3.1)$$

Trong đó :

N_k là giá trị màu của một trong các 8_láng giềng của điểm ảnh được liên kết và $S = \{ 1, 3, 5, 7 \}$.

N_1 là giá trị màu của điểm ảnh bên phải của điểm ảnh trung tâm và chúng được số hóa theo thứ tự là chiều ngược chiều kim đồng hồ xung quanh điểm ảnh trung tâm.

Giá trị của N_k là 1 nếu điểm ảnh là điểm trắng (điểm ảnh nền) và giá trị của N_k là 0 nếu điểm ảnh là điểm đen (điểm ảnh thuộc đối tượng). Điểm ảnh trung tâm là N_0 và $N_k = N_{k-8}$ nếu $k > 8$.



Hình 3. 2 Một minh hoạ của giá trị kết nối

- Điểm ảnh trung tâm không kết nối với bất kỳ vùng ảnh nào, và có thể được xóa bỏ. Giá trị kết nối = 1.
- Nếu điểm ảnh trung tâm đã được xóa bỏ thì các nửa trái và phải sẽ (có thể) trở thành bị ngắt. Giá trị kết nối = 2.
- Giá trị kết nối = 3.
- Giá trị kết nối = 4 là giá trị cực đại.
- Giá trị kết nối = 0.

Một phương thức khác mà giá trị kết nối có thể được tính toán bằng cách xem xét các điểm láng giềng theo thứ tự: $N_1, N_2, \dots, N_s, N_1$. Số các thay đổi màu (đen trắng) đếm số vùng mà điểm ảnh trung tâm kết nối.

Để thực hiện hoàn chỉnh việc làm mảnh đối tượng đòi hỏi 13 vòng lặp (việc đếm vòng lặp cuối cùng mà không có thao tác nào ngoại trừ những hiển thị cho chúng ta kết thúc).

Một vòng lặp thực hiện 4 lần duyệt ảnh mà trong trường hợp này ta phải duyệt qua 60x60 điểm ảnh hay 3600 điểm ảnh. Như vậy, 187000 điểm ảnh đã được kiểm tra để làm mảnh ảnh đơn giản này. Điều đó trở nên tồi tệ hơn: Mỗi quá trình áp dụng mẫu xem xét kiểm tra 3 điểm ảnh và mỗi lần một mẫu đối chiếu tìm thấy, 18 điểm ảnh khác được xem xét kiểm tra (giới hạn trên là 10108800 điểm ảnh nhưng chỉ có một phần trong chúng được kiểm tra trong thực hành). Cuối cùng sẽ có thêm một quá trình duyệt mỗi vòng lặp để xóa các điểm ảnh đã đánh dấu.

Như vậy, số phép toán trong thuật toán Stentiford là tương đối lớn đồng nghĩa với độ phức tạp của thuật toán là cao. Tuy nhiên cho dù thuật toán Stentiford là một cách làm tốn kém để làm mảnh một ảnh nhỏ nhưng là phương pháp điển hình hoàn chỉnh của các thuật toán đánh dấu và xóa mẫu cơ bản.

Do đó, thuật toán Stentiford thường áp dụng cho việc làm mảnh các ảnh nhị phân nhỏ và đơn giản về cấu trúc. Đối với các loại ảnh này thuật toán tương đối hiệu quả và cho xương kết quả khá chính xác.

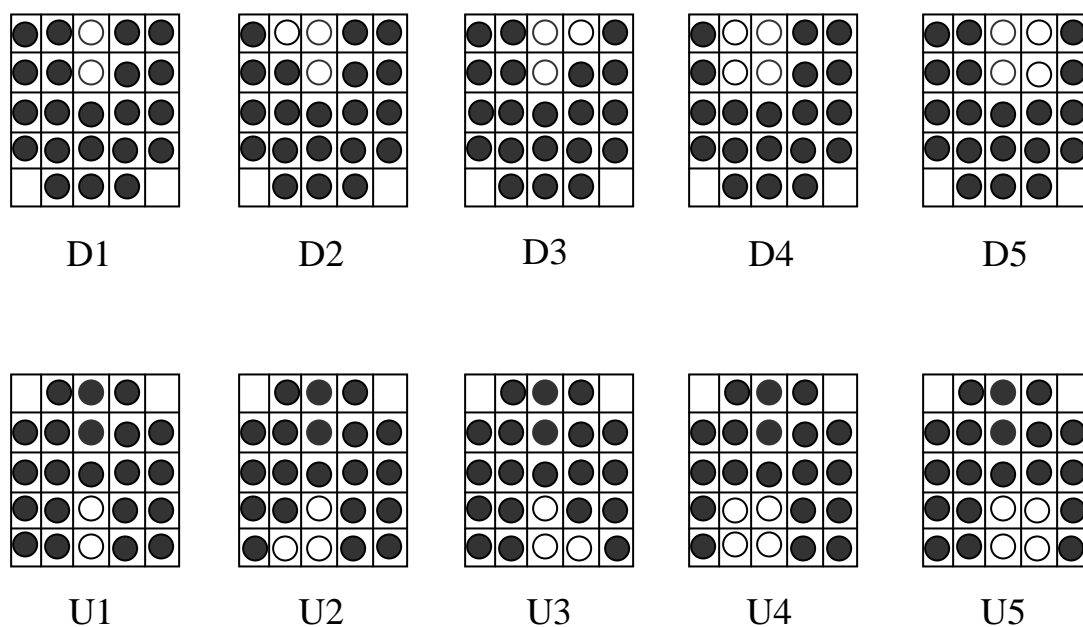
Có một số vấn đề mang tính chất chuẩn cùng với thuật toán làm mảnh này mà chúng được trình bày dưới đây như là các thao tác trong xương.

Chúng là chuẩn bởi vì chúng có khuynh hướng xuất hiện trong rất nhiều thuật toán kiểu này, chúng ta khi nghiên cứu trong lĩnh vực này cần nhận thức được để đoán nhận chúng một cách đúng đắn.

Thuật toán đầu tiên được gọi là necking mà trong đó một điểm hẹp (narrow point) ở giao điểm của hai đường thẳng được kéo dài ra thành một đoạn thẳng nhỏ. Các phần cuối (tails) có thể được tạo ở nơi không tồn tại do việc làm mảnh quá mức nơi hai đường gặp nhau ở một góc nhọn. Cuối cùng, có lẽ hầu hết

các trường hợp, đó là sự khởi tạo của các đoạn thẳng phụ ngoài để chấp nối một đoạn xương thật sự. Phương thức này được gọi là 1 phép chiếu giả mạo, các hairs, hay đường gấp khúc).

Để khắc phục những bất ổn, Stentiford đề nghị một giai đoạn tiền xử lý để tối thiểu hóa các chế tác làm mảnh đó. Vì các đường gấp khúc thường xuyên được tạo ra bởi những bất quy tắc nhỏ theo đường biên ngoài của đối tượng, một bước làm trơn (smoothing) được thực hiện trước khi làm mảnh để xóa bỏ chúng. Điều cơ bản là một quá trình duyệt ảnh tái tạo tất cả các điểm ảnh, việc xóa bỏ các điểm ảnh đó có 2 hoặc ít hơn các điểm láng giềng đen và có một giá trị kết nối nhỏ hơn



Hình 3. 3 Các mẫu đã sử dụng cho bước tiền xử lý các phân giác góc nhọn.

Để xử lý necking, Stentiford đưa ra một thủ tục được gọi là thủ tục phân giác góc nhọn (acute angle emphasis), mà trong đó các điểm ảnh gần khớp nối giữa hai dòng được tạo thành màu trắng nếu chúng “plug up” một góc nhọn.

Điều này được thực hiện bằng cách dùng mẫu như đã thấy trong (hình 3.3). Một sự đối chiếu tới mẫu bất kỳ đánh dấu điểm ảnh trung tâm cho thao tác xóa và các nguyên lý lặp lại khác của một số ít các phân giác góc nhọn quan trọng chỉ dùng ba mẫu đầu tiên của mỗi kiểu. Nếu bất kỳ điểm ảnh nào đã được xóa bỏ, một lần duyệt cuối cùng chỉ dùng các mẫu đầu tiên của mỗi kiểu được thực hiện.

Như vậy ý tưởng cơ bản trong đề nghị của Stentiford là thực hiện bước làm trơn (Smoothing) là thao tác đầu tiên nhằm thu được một ảnh tương đối đơn giản và thuận tiện cho thao tác tiếp theo là tất cả các quá trình duyệt qua ảnh của các phân giác góc nhọn. Cuối cùng mới là các bước làm mảnh ảnh.

Việc làm mảnh ảnh theo thuật toán này tuy phải thực hiện qua nhiều công đoạn nhưng thuật toán sáng sủa hơn và đảm bảo cho xương kết quả là khá chính xác.

Có một hạn chế trong phương pháp làm mảnh này là hầu hết các xương kết quả thu được khi dùng phương pháp này vẫn bị rạn nứt đối với một số loại ảnh. Cách dùng 3 giai đoạn của các phân giác góc nhọn sẽ không hiệu quả đối với các ký tự rất dày, và các mẫu không đối chiếu tất cả các vị trí mà có thể tạo nên necking và tailing. Cũng như vậy, bước làm trơn sẽ không bắt gặp các quy tắc để khắc phục mà các bất quy tắc này có thể tạo nên các đường gấp khúc ảnh hưởng đến xương kết quả.

Mặc dù vậy, việc hoàn chỉnh thuật toán sẽ không được như mong đợi và phương pháp Stentiford vẫn tương đối tốt, đặc biệt là bước tiền xử lý cho việc nhận dạng các ký tự.

3.2.2 Thuật toán Zhang-Suen

Một thuật toán làm mảnh đường như là công cụ cho mọi người, đó là thuật toán *Zhang_Suen* (*zhang* 1984). Thuật toán này được sử dụng như một nền tảng

cơ sở cho việc so sánh các thuật toán làm mảnh trong nhiều năm, bởi tính ưu việt của thuật toán *Zhang-Suen* là một thuật toán nhanh, đơn giản khi thực hiện.

Thuật toán *Zhang-Suen* là một phương pháp song song thuộc lớp các thuật toán làm mảnh song song, có nghĩa là giá trị mới cho bất kỳ điểm ảnh nào có thể được tính toán chỉ dùng các giá trị đã biết từ trong vòng lặp ngay trước đó mà không cần quan tâm đến các giá trị ở các vòng lặp trước nữa.

Do tính chất đó của thuật toán, nếu máy tính xử lý song song có một CPU xử lý cho mỗi điểm ảnh đã được cung cấp trước, nó có thể xác định toàn bộ quá trình lặp tiếp theo một cách đồng thời. Vì hầu hết chúng ta không có một máy tính có kích thước lớn như vậy và do tính chất song song của thuật toán không phải là bắt buộc, do đó chúng ta chỉ xem xét phiên bản của một chương trình mà nó chỉ dùng 1 CPU.

Thuật toán bị bẻ gãy trong hai vòng lặp con, ví dụ thay vì 4 vòng lặp con của thuật toán Stentiford. Trong một vòng lặp con một điểm ảnh $I(i,j)$ được xóa (hay đánh dấu cho thao tác xóa bỏ), nếu 4 điều kiện sau được thỏa mãn:

- Giá trị liên kết của nó là 1.
 - Nó có 2 điểm láng giềng đen nhỏ nhất và không lớn hơn 6.
 - Một trong các điểm đen nhỏ nhất: $I(i, j+1)$, $I(i-1, j)$ và $I(i, j-1)$ là điểm nền (điểm ảnh màu trắng).
 - Một trong các điểm nhỏ nhất $I(i-1, j)$, $I(i+1, j)$ và $I(i, j-1)$ là điểm ảnh nền.
- Ở cuối vòng lặp con này tất cả các điểm đã đánh dấu được xóa bỏ.

Vòng lặp con tiếp theo sau làm tương tự ngoại trừ bước 3 và 4.

- Một trong các điểm đen nhỏ nhất: $I(i, j+1)$, $I(i-1, j)$ và $I(i, j-1)$ là điểm nền (điểm ảnh màu trắng).
- Một trong các điểm nhỏ nhất $I(i-1, j)$, $I(i+1, j)$ và $I(i, j-1)$ là điểm ảnh nền.

Quay trở lại, bất kỳ điểm ảnh nào đã đánh dấu lại tiếp tục được xóa bỏ. Nếu ở cuối vòng lặp con không có điểm nào được xóa thì xương hoàn toàn được xác định và chương trình kết thúc.

Từ các kết quả thu được ta có một số nhận xét và đánh giá sau:

- Xương dạng hình chữ T đặc biệt tốt.
- Xương dạng hình chữ V không biểu thị dấu hiệu nào của phần đuôi.
- Xương hình dạng chữ X vẫn còn thấy necking và xương dạng số 8 cũng vẫn còn thể hiện các đường gấp khúc.

Như vậy, thuật toán *Zhang_Suen* vẫn còn một số hạn chế khi xử lý các đối tượng dạng đặc biệt như dạng số 8, dạng chữ X,..., các xương kết quả vẫn còn các *necking*. Chúng ta cần nghiên cứu đưa ra các cải tiến cho thuật toán này nhằm khắc phục các hạn chế đó.

Một cải tiến của thuật toán đã được đề xuất bởi Holt (1987) mà nó nhanh hơn và không liên quan đến vòng lặp con.

Đầu tiên 2 vòng lặp con được viết như một biểu thức logic mà nó sử dụng 3x3 điểm láng giềng về các điểm ảnh quan tâm.

Vòng lặp con ở trên có thể được viết như sau:

$$V(c) \wedge (\sim \text{edge}(c) \vee (V(e) \wedge V(s) \wedge (V(n) \vee V(w)))) \quad (3. 1)$$

Đó là điều kiện dưới cho các điểm trung tâm C tồn tại trong vòng lặp con đầu tiên. Hàm V cho giá trị của điểm ảnh (1 = đúng, đối với điểm ảnh thuộc đối tượng, 0 = sai, đối với các điểm ảnh nền), và hàm cạnh là đúng nếu điểm trung tâm C nằm trên biên của đối tượng, sự tương xứng này có giữa 2 và 6 láng giềng và giá trị kết nối là 1. Các ký tự E, S, N và W tương ứng với các điểm ảnh theo một hướng từ điểm ảnh trung tâm C: E nghĩa là hướng đông (tương ứng với điểm ảnh $I(i, j+1)$), S nghĩa là hướng Nam (tương ứng với điểm ảnh $I(i+1, j)$),...

Vòng lặp con thứ 2 được viết như sau:

$$V(c) \wedge (\sim \text{edge}(c) \vee (V(w) \wedge V(n) \wedge (V(s) \vee V(e)))) \quad (3. 2)$$

Holt đã kết hợp 2 biểu thức 3. 1 và 3. 2 với một điều kiện kết nối bảo toàn cần thiết cho việc thực hiện tính toán song song và đưa ra các biểu thức dưới đây cho các điểm ảnh còn lại như sau:

$$V(C) \wedge (\sim \text{edge}(C) \vee (\text{edge}(E) \wedge V(N) \wedge V(S)) \vee (\text{edge}(S) \wedge V(W) \wedge V(E))) \vee (\text{edge}(E) \wedge \text{edge}(SE) \wedge \text{edge}(S)) \quad (3. 3)$$

Biểu thức này không phải là một sự thuyết phục khi nó được đưa ra các hàm đơn giản là các giá trị điểm ảnh và về công bằng mà nói hàm cạnh phức tạp gần như hàm kết nối dùng trong thuật toán *Stentiford*. Kết quả thu được từ thuật toán này là tốt nhất nhưng nó không xác định cho thuật toán *Zhang_Suen* chuẩn. Tuy nhiên vẫn có thể được dùng đến.

Đôi lúc, khi quá trình làm mảnh hoàn thành vẫn có các điểm ảnh mà chúng có thể bị xóa bỏ. Chủ yếu là ở giữa các điểm ảnh có dạng hình bậc thang (*staircase*), một phần nửa các điểm ảnh trong hình bậc thang đó có thể được xóa bỏ, ngoại trừ sự giả mạo hình dạng của các đối tượng toàn diện. Về cơ bản điểm ảnh trung tâm của một trong các cửa sổ dưới đây có thể được xóa bỏ:

0 1 X	X 1 0	0 X X	X X 0
1 1 X	X 1 1	X 1 1	1 1 X
X X 0	0 X X	X 1 0	0 1 X

Hình 3.4 các trường hợp điểm trung tâm được xóa

Để tránh tạo ra một lỗ hổng mới, đơn giản chúng ta bổ xung thêm một điều kiện mà một trong các giá trị $x = 0$.

Đối với các cửa sổ có đường chéo hướng Bắc (2 cửa sổ đầu tiên) biểu thức cho sự tồn tại 1 điểm ảnh trong *staircase-removal* là:

$$V(C) \wedge \sim \text{edge}(N) \wedge ((V(E) \wedge \sim V(NE) \wedge \sim V(SW) \wedge (\sim V(W) \vee \sim V(S)) \vee V(W)) \wedge \sim (V(NW) \wedge \sim V(SE) \wedge (\sim V(E) \vee \sim V(S)))))) \quad (3.4)$$

Quá trình duyệt ảnh có đường chéo hướng Nam tương tự như vậy, nhưng với chuyên đổi Bắc và Nam. Không có ảnh nào trong các ảnh ví dụ từ trước tới giờ có số lượng hình dạng bậc thang đáng quan tâm. Phiên bản của xương đã làm mảnh dùng *staircase_removal* dường như trơn và đối xứng hơn các xương khác.

Các vấn đề cơ bản vẫn còn hiện diện trong thực tế phương pháp này không xử lý các *tails* tốt như phương pháp Zhang-Suen chuẩn và xương dạng chữ T cũng không tốt bằng.

Nếu tốc độ là vấn đề đơn giản, vấn đề gì là quan trọng thì việc cải tiến thuật toán Holt của Zhang_Seun là thuật toán tốt hơn các thuật toán đã thấy từ trước tới nay vì thuật toán này có tốc độ xử lý cao, xương kết quả tốt.

3.2.3 Thuật toán làm mảnh ảnh nhị phân theo phương pháp song song

Ta sử dụng một cái mặt nạ 3x3 cho việc loại bỏ những điểm ảnh trong vùng song song. Và ta cần giữ lại những điểm ảnh mà khi một ảnh sau khi xử lý qua thuật toán cho ra một ảnh mới (gọi là xương) mà xương này vẫn có khả năng tái tạo lại ảnh ban đầu (tính liên kết).

Loại bỏ được việc sử dụng bộ nhớ lưu trữ cho cấu trúc lưu trữ thông tin điểm ảnh, ta sử dụng 1 ma trận đại diện cho những điểm ảnh. Trong mỗi phần tử của ma trận là 0(White) hoặc 1(black) là mỗi điểm ảnh đen hoặc trắng được gọi là 1 điểm ảnh (pixel).

Các bước làm mảnh ảnh phải đảm 2 yếu tố:

- Loại bỏ những điểm ảnh không cần thiết
- Biên đổi những điểm ảnh có kích thước lớn.

Giá trị của từng điểm ảnh tại n lặp đi lặp lại phụ thuộc vào giá trị của dòng điểm ảnh và những điểm ảnh lân cận cũng được lặp đi lặp lại của nó.

Chúng ta sử dụng những điểm ảnh khác không (0) là đối tượng (xương của ảnh) còn những điểm ảnh có giá trị 0 là nền của ảnh.

Tránh những nghịch lý kết nối. ta phải định nghĩa tối tượng là 8 kết nối và nền là 4 kết nối, mặt nạ 3x3 được chỉ ra như hình 3.5.

P1	P2	P3
P8	Pi	P4
P5	P6	P7

Hình 3.5. Ma trận 3x3

Trong hình trên

P1, p3, p5, p7 là nền(background)

P2, p4, p6, p8 là xương (object)

Thuật toán làm mảnh ảnh này là việc lặp đi lặp lại của sự chia những điểm ảnh làm 2.

Thuật toán này có 1 điểm bất lợi. Khi lặp đi lặp lại thì có thể không còn những kết nối thậm chí là tạo ra 1 đường thẳng chứa những điểm ảnh đối tượng p(2, 4, 6,8) là rỗng không thể xác định được khung xương của ảnh. Cơ bản của vấn đề là xem xét và tính toán yêu cầu đặt ra. Chúng ta đưa ra ý tưởng cho thuật toán làm mảnh ảnh sử dụng 2 lần lặp đi lặp lại có giá trị thỏa mãn 3 điều kiện sau:

- Rút gọn số lần và thời gian (giảm độ phức tạp)của 1 lần lặp đi lặp lại
- Đưa ra được 8 kết nối (xương hoàn hảo) sau khi đã làm mảnh ảnh
- Tránh việc làm mòn quá mức

Thuật toán này được rút ra và hoàn thiện từ 2 thuật toán: thuật toán ZS và LW.

Thuật toán ZS ko hỗ trợ cho 2 điểm ảnh dày và có vấn đề trong tính liên tục của các điểm ảnh.

Thuật toán LW cũng có vấn đề trong việc phá vỡ điểm ảnh và tính liên tục của ảnh.

Tuy nhiên giải thuật được đề xướng có thể giải quyết vấn đề của tính không liên tục. Trong những ảnh và sử lý tốt 1 điểm dày với 8 kết nối láng giềng thậm chí cho hai điểm ảnh dày và tránh sự làm mòn quá mức. những thủ tục của 2 thuật toán này:

Thuật toán ZS

Giải thuật làm mảnh ảnh song song ZS được thực hiện bởi những bước lặp khôn ngoan

1. $2 \leq N(P_i) \leq 6$

2. $S(P_i) = 1$

3. $P_2 * P_4 * P_6 = 0$

4. $P_4 * P_6 * P_8 = 0$

Qui định 3. và 4. trong bước đầu tiên được thay thế với những điều kiện sau đây.

3. $P_2 * P_4 * P_8 = 0$

4. $P_2 * P_6 * P_8 = 0$

Thuật toán LW

Để giải quyết vấn đề (của) những hàng xiên với chiều rộng điểm được xóa bỏ, Dim ly và the Wang thay thế bước đầu tiên qui định 1) Trong giải thuật ZS với điều kiện

1. $3 \leq N(P_i) \leq 6.$

Những ký hiệu cơ bản.

Thuật toán làm mảnh ảnh 1 điểm ảnh P được khảo sát cho 2 việc:

Xóa những điểm ảnh khác 0. Những điểm lân cận sẽ đc gán nhãn $x_i=1 \dots 8$.
trong matrix 3×3 .

Định nghĩa 1: Những điểm $p_1 \dots p_8$ là 8 điểm lân cận của P_i và nó đc ký hiệu bởi tập hợp $N(P)$.

Định nghĩa 2: Những điểm P_1, P_3, P_5, P_7 là những điểm lân cận của P

Định nghĩa 3: Một chuỗi các điểm $Z_1 \dots Z_n$ được gọi là 8 or 4 phần nếu Z_{n+1} là 1 trong 8 or 4 điểm lân cận của Z_i với $i=1 \dots n-1$

Định nghĩa 4: Một tập con C của 1 ảnh là 8 or 4 kết nối nếu như mọi cặp của điểm (x,y) trong C tồn tại 8 or 4 phần đang được thực hiện trong C chạy từ x tới y

Định nghĩa 5: Một số được chuyển từ 1 điểm ảnh 0 tới 1 điểm ảnh khác 0 và ngược lại. Khi những điểm ảnh $N(P)$ được chéo nhau VD như trong đồng hồ cổ)

Công thức:

$$S(P) = \sum_{i=1}^8 |x_{i+1} - x_i|, \text{ khi } x_9 = x_1.$$

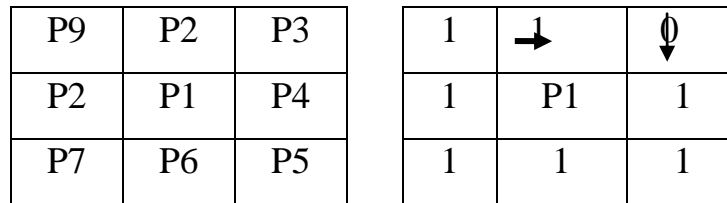
Định nghĩa 6: Điểm khác không P có tối thiểu một láng giềng có chữ số không (màu trắng) trong 4 điểm - láng giềng được gọi là một mép - điểm.

Định nghĩa 7: Điểm khác không P Mà có nhiều nhất một láng giềng khác không. Trong 8 điểm - láng giềng được gọi là một kết thúc - điểm.

Định nghĩa 8: Điểm khác không P, việc xóa tạo lên 1 sự khác biệt so với mẫu nguyên bản, được gọi là một điểm chỗ cắt.

Thực chất, giải thuật làm mảnh ảnh được đề ra là việc thực hiện những vòng lặp thông qua 1 mẫu, để xóa những điểm ảnh khác không không cần thiết. Nếu không có điểm bị xóa ở cuối quá trình lặp, việc làm mảnh sẽ bị dừng lại.

Những điểm ảnh lân cận có giá trị được ký hiện bởi (P2, P3..., P9) được chỉ ra ở Hình 3.6.



Hình 3.6. Hiện thị các điểm ảnh có giá trị

Giả sử S (P1) là chữ số của mẫu mà nó chuyển từ một sang 0 hay 0 tới 1 trong tập hợp của (P2, P3, P8, P9, P2) của lân cận P1 thì điểm P1 sẽ bị xóa trong ảnh. Để giữ những tiêu chuẩn, một số quy tắc cần phải được phát biểu. Trong sự lặp đi lặp lại, tập hợp của những điểm khác không P thỏa mãn những điều kiện sau đây:

- i. $S (P_i) = 1$; ii. $2 \leq N (P_i) \leq 6$;
- iii. $P_2 * P_4 * P_6 = 0$, iv. $P_4 * P_6 * P_8 = 0$,

Xóa đường song song từ bất kỳ ảnh nhị phân nào.

Chứng minh

Điều kiện thực hiện vòng lặp ii) Phải tồn tại từ 2 ->6 những được chọn trong vùng lân cận của điểm P thì P sẽ được xóa.

Điều kiện i. thực hiện khi nó được chuyển từ 0 -> 1. trong những lân cận của điểm ảnh đó. Điều này tương ứng có một số khác không trong những điểm x1,..., x8 trong khi còn lại bảy điểm có thể là tất cả chữ số không (0) hay bốn trong số họ là khác không.

Cơ bản của vấn đề này: tập hợp N(P) nằm giữa khoản từ 2 ->6 mà những điểm khác không trong 4 kết nối đó, thí dụ: tất cả những cặp có thể xảy ra của những điểm này được kết nối bởi 4 láng giềng, tất cả những điểm có thể xảy ra ở 4 kết nối đó. như vậy P ko có điểm gãy nào. Từ toàn bộ những điểm khác không của tập hợp P thỏa mãn những điều kiện i. và ii. thì điểm được xóa trong thuật

toán song song. Với những điều này thì hai chiều rộng của điểm ảnh hoàn toàn biến mất. Khó khăn này không thể được giải quyết khi sử dụng những điều kiện i. và ii. Để khắc phục điều này thì điều kiện iii. và iv. được kiểm tra và nếu được tìm thấy thì điểm trung tâm được cất giữ, hay tất cả các điểm khác không P thỏa mãn những điều kiện iii. và iv. thì bị xóa trong thuật toán song song này. Minh họa sự lặp đi lặp lại cho thấy:

Trong sự lặp đi lặp lại ii, tập hợp những điểm khác không P thỏa mãn những điều kiện sau đây:

v. $S(P_i) = 1$, vi. $3 \leq N(P_i) \leq 6$,

vii. $P_2 * P_4 * P_6 = 0$, viii. $P_4 * P_6 * P_8 = 0$,

Xóa bất kỳ ảnh nhị phân nào trong thuật toán song song

Theo sự lặp đi lặp lại:

Vi. qui định ở đó tồn tại từ ba tới sáu điểm khác không trong khu lân cận của P xóa bỏ đi.

V. có nghĩa rằng có một chữ số 0 tới 1 (0-1 hay tương đương 1-0) trong vùng lân cận của P. Ta đi xét tập hợp $N(P)$ nằm giữa khoản từ 2 ->6 mà những điểm khác không trong 4 kết nối đó, thí dụ, tất cả những cặp có thể xảy ra của những điểm này được nối gần 4- những đường dẫn, tất cả những điểm có thể xảy ra ở 4 kết nối đó. Như vậy P ko có điểm gãy nào. Điều kiện để xóa điểm ảnh là toàn bộ những điểm đen của tập hợp P thỏa mãn V. vấn đề là P tạo ra 1 vùng nhớ để lưu trữ những điểm mà không thỏa mãn điều kiện V. này

X	1	X
X	Pi	1
X	1	X

Hình 3.7. a

X	X	X
1	Pi	1
X	1	X

hình 3.7. b

Kết quả

Trong mục này, ta đi so sánh kết quả của thuật toán:

Zhang Suen, Dimly Wang trong các khía cạnh:

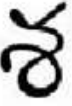








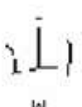
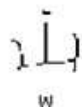
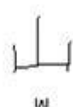




- a. Sự kết nối của 8 láng giềng.
- b. Sự làm mòn.
- c. Khả năng phá vỡ liên kết

Những sự so sánh liên quan đến thời gian được thực hiện giải thuật của ZS và LW và so sánh dưới độ phức tạp tính toán tới giải thuật.

Hình 3.8. a Những ảnh nguyên bản thì được chọn đối với sự thử độ liên kết của 8 láng giềng và sự làm mòn của thuật toán. Hình 3.8. b Những kết quả được thu được bởi giải thuật ZS.

Những kết quả được thu được bởi giải thuật ZS đang có 8 kết nối và có sự làm mòn quá mức. Hình 3.8. c những kết quả được thu được bởi giải thuật LW đang có những sự biến dạng trong ảnh tạo dáng và cũng không phải có 8- kết nối và việc có sự làm mòn quá mức.

Những kết quả làm mảnh được cho thấy trong Hình 3.8. d đang tồn tại bởi giải thuật được đề xướng hoàn hảo 8 kết nối và không phải có một quá mức sự làm mòn trong những ảnh mỏng.

Input image pattern	Result of ZS algorithm	Result of LW algorithm	Result of proposed alg.
			
			
			
			

Hình 3.8. a

hình 3.8. b

hình 3.8. c

hình 3.8. d

Trong phần này chúng ta giới thiệu một giải thuật làm mảnh ảnh nhị phân và làm mảnh ảnh song song thực hiện làm mảnh một điểm dày giữ gìn những điểm cuối. Điều này giải thuật cũng bảo đảm kết nối 8 láng giềng. ZS và giải thuật LW có thể giảm bớt những điểm cuối.

Tuy nhiên, giải thuật được đề xướng cho thấy ảnh được thực hiện cho kết quả tốt hơn nhiều và sản phẩm so với những giải thuật trước đây. Giải thuật được đề xướng là giải thuật song song và phương pháp làm mỏng có thể rút một nét đậm điểm.

3.2.4 Thuật toán làm mảnh song song cho ảnh ở định dạng BMP

Việc nhận dạng ký tự quang học (OCR) là quá trình của việc chuyển đổi những ảnh được quét bởi 1 máy in hoặc văn bản viết tay và định dạng nó trong

một máy tính. Nhận dạng ký hiệu viết tay nhận được nhiều sự chú ý và đang được nhiều nhà nghiên cứu nghiên cứu. Những giải thuật vectơ thường được sử dụng trong nhiều vụ nhận dạng những hàng gồm nhiều điểm và được chuyển qua quá trình làm mỏng giảm bớt bề dày một điểm hay đôi khi tới vài điểm. Người ta tiến hành làm mảnh theo phương pháp song song. Nhưng những giải thuật làm mỏng song song nào phát sinh một bộ xương toàn điểm nói chung có khó khăn trong việc giữ gìn những kết nối một ảnh hay phát sinh những nhánh giả mạo.

Việc làm mảnh là một thao tác hình thái học mà nó đi loại bỏ những điểm ko cần thiết được lựa chọn từ những ảnh nhị phân. Và đặc biệt hữu ích cho việc tìm xương.

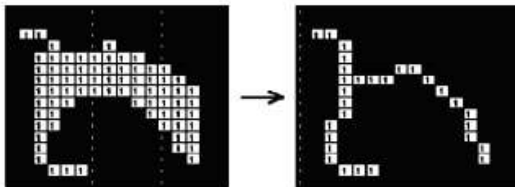


Hình 3.9.

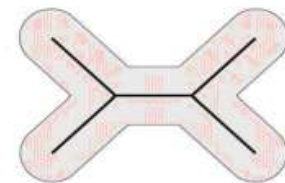
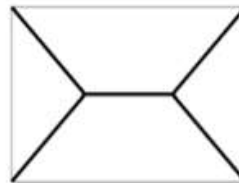
0	0	0
	1	
1	1	1

	0	0
1	1	0
	1	

hình 3.10.



Hình 3.11.



hình 3.12.

Mục đích của việc làm thưa

Trong thực tế có những nhu cầu cho việc làm thưa của những ảnh vì những lý do sau đây

- Để giảm bớt số lượng của dữ liệu được yêu cầu để xử lý.
- Để giảm bớt thời gian được yêu cầu để xử lý.
- Để trích chọn những đặc tính, những điểm nối và kết nối, những thành phần của ảnh.

d. Những giải thuật vector được dùng trong việc nhận dạng những nhiệm vụ đó cũng yêu cầu ảnh đc làm mảnh..

e. Sự phân tích hình dạng trên mẫu tương tự sẽ dễ dàng hơn.

Những ứng dụng

Ở đây một giải thuật làm mỏng song song được đề xướng. Một số ứng dụng quan trọng khác của sự làm thưa được đề cập ở dưới :

- a. Những đặc tính được viết tay và in ấn
- b. Nhận dạng dấu vân tay
- c. Những nhiễm sắc thể & những cấu trúc tế bào sinh học
- d. Những sơ đồ mạch
- e. Trong kỹ thuật nội họa.

Một số định nghĩa

Một ảnh được nhập vào là những điểm được đại diện bởi màu đen và màu trắng. Những điểm đen và những điểm trắng được biểu thị như 1 và 0. Một số định nghĩa hữu ích giúp đỡ trong việc hiểu giải thuật làm mỏng được cho ở dưới:

Định nghĩa 1: Một điểm P Có 4 láng giềng được biểu thị như X3, X5, X7 và X9. Ngoài bốn láng giềng điểm P có bốn đường chéo lân cận được biểu thị như X2, X4, X6 và X8

Định nghĩa 2: Sự kết nối được xác định bởi: nếu điểm P có 8 kết nối thì nó có giá trị là 1. nếu điểm P có 4 kết nối thì nó có giá trị là 0.

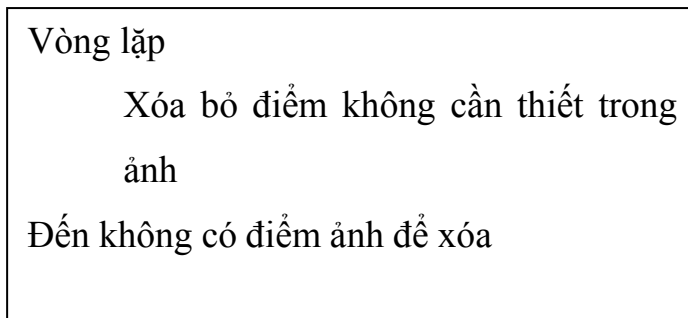
Định nghĩa 3: Một điểm P bị xóa nếu P ko có kết nối với 8 láng giềng.

X4	X3	X2
X5	P	X9
X6	X7	X8

Hình 3.13. Bốn láng giềng và đường chéo đc gọi là tập hợp 8 láng giềng của điểm P

Giải thuật làm mảnh

Cấu trúc chung giải thuật làm mảnh được cho trong hình. Hình 3.14 này đại diện cho chỉ một bước lặp đi lặp lại. Một giải thuật làm mảnh có thể gồm có nhiều sự lặp đi lặp lại phụ thuộc vào tính logic của nó. Sự xóa hay sự duy trì một điểm (đen) 'P' phụ thuộc vào những điểm trong khu lân cận chứa 'P'.



Hình 3.14. sơ đồ thuật toán

Theo cách chúng tôi khảo sát những điểm ảnh thì những giải thuật làm mảnh có thể được phân loại như 'Tuần tự' và 'Đường song song'.

Trong thuật toán tuần tự, những điểm được khảo sát cho sự xóa trong một chuỗi cố định, trong mỗi sự lặp đi lặp lại và việc xóa một điểm P trong vòng lặp lại phụ thuộc vào tất cả những thao tác thực hiện cho đến lúc này, thí dụ trên những kết quả của (n-1) vòng lặp; cũng như trên những điểm đã được xử lý trong (n) vòng lặp.

Trong giải thuật song song, sự xóa những điểm trong vòng lặp chỉ phụ thuộc vào kết quả của vòng lặp đi lặp sau cùng; bởi vậy, tất cả những điểm có thể được khảo sát độc lập trong mỗi vòng lặp của giải thuật song song. Ở đây hai giải thuật song song được bàn luận có thể được ứng dụng vào những chữ số.

A. Một Giải thuật Song song làm mảnh những mẫu Số

Một ảnh được số hóa nhị phân được định nghĩa bởi một cửa sổ 3x3 nơi mỗi điểm được thể hiện là 1 hay 0. Ảnh là những điểm có đánh giá 1. Sự biến đổi trong vòng lặp được ứng dụng vào những điểm trong cửa sổ bởi nó phù hợp

với những tập hợp những điểm lán giềng (hình 3.15). Để giữ gìn kết nối của ảnh, Mỗi vòng lặp được chia cắt làm 2 phần trong vòng lặp đầu tiên, điểm p1 ở đường viền bị xóa từ mẫu số nếu nó thỏa mãn những điều kiện sau đây:

a. $2 \leq B(p1) \leq 6$

b. $A(p1) = 1$

c. $P2 * P4 * P6 = 0$

d. $P4 * P6 * P8 = 0$

Điểm (P1) là 1 mẫu được liên hệ đến các điểm P2, P3, P4, ... P8, P9 là tám lán giềng của P1 (Hình 3.13 ở trên), Và B(P1) là số liên kết của P1, Điều đó $B(P1) = P2 + P3 + \dots + P9$.

P9 (i-1,j-1)	P2 (i-1,j)	P3 (i-1,j+1)
P8 (i,j-1)	P1 (i-1,j)	P3 (i-1,j+1)
P7 (i+1,j-1)	P6 (i+1,j)	P5 (i+1,j+1)

Hình 3.15 giá trị của các điểm ảnh lân cận

Nếu bất kỳ điều kiện nào không thỏa mãn thì P1 không bị xóa. Trong vòng lặp, điều kiện (c) và (d) được thay đổi như đi sau:

c'. $p2 * p4 * p8 = 0$

d'. $p2 * p6 * p8 = 0$

Những điều kiện khác vẫn giữ nguyên. Bởi điều kiện (c) Và (d) của vòng lặp đầu tiên nó sẽ loại bỏ những điểm không thuộc điều kiện tốt nhất cho ảnh. Điều kiện (a), những điểm kết thúc được giữ gìn. Điều kiện (b), Ngăn ngừa sự xóa của những điểm đó. Vòng lặp tiếp tục cho đến không có nhiều điểm hơn có thể được loại bỏ.

B. Giải thuật xử lý nhận dạng ký tự được viết tay.

Giải thuật này giảm bớt đặc tính được viết bởi bàn tay vào chánh sự phân chia của ký tự. Mỗi phần tử gán giá trị '1' nếu nó được phủ, và giá trị '0' ngược lại. Giải thuật này bao gồm hai việc sửa lại. Trong sự lặp đi lặp lại mức dưới đầu tiên ký tự được quét theo phương nằm ngang bởi 1 cửa sổ 3x4 điểm (hình 3.16. a). Bất kỳ hai điểm nào mà xét theo phương nằm ngang kề bên nhau được cô lập từ những điểm khác, được phát hiện. Áp dụng sự thử sau đây liệu có phải một trong 1 điểm P1,P4 bị thừa:

P₁ bị xóa nếu một trong số những điều kiện sau đây đúng:

1. SP₁ và p₆= 1:

2. SP₂ và p₂= 1:

3. [(P₂ và P₃) Hay (P₃ và P₂ và P₉)] Và [(P₅ và P₆) Hay (P₅ và P₆ và P₇)]

Trong khi: SP₁= P₃ hay P₂ hay P₉.

SP₂= P₆ hay P₅ hay P₇.

Nếu p₁ không thừa thì p₄ phải bị xóa nếu điều kiện sau đây không đúng

(P₃ và P₁₀) Hay (P₅ và P₁₂)

Trong vòng lặp ở mức dưới thứ hai là hệ quả được quét thẳng đứng bởi cửa sổ 4x3 điểm được đưa vào. (3.16. b). Bất kỳ hai điểm thẳng đứng kề bên nhau và thẳng đứng được cô lập từ những điểm khác được phát hiện ra. Với p₁ và p₆ đại diện cho những điểm này, áp dụng những sự thử sau đây để định vị điểm thừa.

P9	P2	P3	P10
P8	P1	P4	P11
P7	P6	P5	P12

Hình 3.16. a

P9	P2	P3
P8	P1	P4
P7	P6	P5
P12	P11	P10

Hình 3.16. b

P1 bị xóa nếu một trong số những điều kiện sau đây đúng:

1. SP_{11} và $p_4 = 1$:
2. SP_{22} và $p_8 = 1$:
3. $[(P_8 \text{ và } P_7) \text{ Hay } (P_7 \text{ và } P_8 \text{ và } P_9)]$ và $[(\text{Và } P_4 \text{ và } P_5) \text{ Hay } (P_5 \text{ và } P_4 \text{ và } P_3)]$

Trong khi: $SP_{11} = P_9$ hay P_8 Hay P_7 ,

$SP_{22} = P_3$ hay P_4 Hay P_5 ,

Nếu p_1 không thừa thì p_6 phải bị xóa nếu điều kiện sau đây không đúng:

$(P_7 \text{ và } P_{12})$ Hay $(P_5 \text{ và } P_{10})$

Những tham số trong giải thuật

Vì sự tăng nhanh của những giải thuật làm mảnh, sự lựa chọn của giải thuật cho một ứng dụng có tốc độ nhanh trở nên khó khăn, một trong những nghiên cứu phải giáp mặt với câu hỏi sử dụng giải thuật nào. Lý do, nếu là những giải thuật được đề xướng ước lượng sự thực hiện của hai sự làm thừa và để khảo sát những hiệu ứng, dựa vào dữ liệu thực. Những giải thuật được lựa chọn cho ý nghĩa của họ và sự trình bày khác nhau những phương pháp làm việc trong làm mỏng song song. Sự thực hiện của những giải thuật mỏng này có thể được tiếp tục đánh giá ước lượng bởi những tham số sau đây:

- a. Sự quy tụ của ảnh.
- b. Kết nối.
- c. Những nhánh giả mạo
- d. Thời gian xử lý.

Những giải thuật khác nhau tiến hành song song sự làm thưa cho những kết quả khác nhau trong những thuật ngữ của việc bảo trì kết nối và sự quy tụ tới một chiều rộng điểm. Hai giải thuật làm mỏng song song bàn luận khi tiếp tục xin cơ sở dữ liệu mẫu chữ số cung cấp những kết quả như hình 3.17. Hai giải thuật mỏng song song được thực hiện cho kết quả.



Hình 3.17. a: chữ số nguyên bản b: kết quả giải thuật 1 c: kết quả giải thuật 2

Bởi vì những điểm không hội tụ để hình thành một bộ xương rộng điểm đơn vị. Bởi vậy, một giải pháp tiến hành làm mỏng song song cho những chữ số la mã được bàn luận:

Một giải thuật làm mảnh song song thay thế

Giải thuật thay thế được đề xướng mô tả quá trình của việc làm mỏng chữ la mã được viết bởi bàn tay. Giải thuật được đề xướng được thiết kế giữ kết nối và sự quy tụ của mẫu được làm mỏng tới chiều rộng điểm đơn vị. Giải thuật gồm nhiều vòng lặp loại bỏ ranh giới đang làm mỏng những giải thuật. Những giải thuật có những vòng lặp loại bỏ ranh giới xóa những điểm Trên ranh giới của một mẫu nhiều lần cho đến chỉ chiều rộng điểm đơn vị được làm mỏng thì dừng lại. (hình 3.18.)

Để ngăn ngừa tuần tự loại trừ một toàn bộ nhánh trong một lặp đi lặp lại, giải thuật thông thường đánh dấu tất cả những điểm sẽ được xóa và tất cả những

điểm rõ, rồi loại bỏ ở cuối vòng lặp. Điều này nói chung bảo đảm rằng chỉ một lớp những điểm được loại bỏ trong mỗi chu trình.

X4	X3	X2
X5	P	X1
X6	X7	X8

Hình 3.18. 8 láng giềng của p

Phương pháp để rút bộ xương của một bức tranh gồm có loại bỏ tất cả đường viền chỉ của đường vẽ ngoại trừ những điểm thuộc về bộ xương.

Để giữ gìn kết nối, Mỗi vòng lặp được chia làm hai. Những vòng lặp mức dưới và những điểm được đánh dấu cho việc xóa ở dưới sau đây bốn điều kiện:

a. Ít nhất một láng giềng đen gần ' P ' thì không đánh dấu. Thí dụ ' P ' được cô lập hay một điểm cuối.

b. $X_h(p) = 1$ bắt đầu của vòng lặp.

c. Nếu X_3 (thì) rõ ràng, đặt $X_3 = 0$ không thay đổi $X_h(p)$.

d. Nếu X_5 (thì) rõ ràng, đặt $X_5 = 0$ không thay đổi $X_h(p)$.

Những điều kiện ở trên được đề cập chi tiết hóa trong lưu đồ giải thuật dưới.

a. Liên kết của một điểm ' P ' ký hiệu $B(P)$ là khác không, điều đó $B(P) = P_2 + P_3 + \dots + P_9$. điều kiện kiểm tra ' P ' một được cô lập hay một kết thúc chỉ và ngăn ngừa quá mức sự làm mòn của những tập con.

b. Số đường chéo cũng được gọi là số kết nối hay số Hilditch $X_h(p)$ được tính toán như mô tả ở dưới.

4

$$X_h(P) = \sum C_i$$

$$i = 1$$

Trong khi:

$C_i = 1$; nếu $X_{2i-1} = 0$ và ($X_{2i} = 1$ hay $X_{2i+1} = 1$)

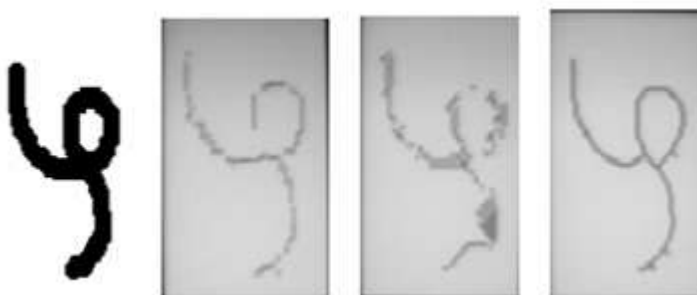
$C_i = 0$; khác

c. Hai điều kiện tiếp theo việc phản chiếu nếu X_3 hay X_5 được đánh dấu rồi đặt làm nền làm. Những điều kiện này được dùng để giữ gìn những hàng rộng hai điểm.

Kết quả

Một cơ sở dữ liệu đang gồm có số La mã và những chữ số gurmukhi được viết bởi bàn tay từ những người sử dụng khác nhau thường làm cho những giải thuật làm mỏng song song trực quan hơn.

Hai giải thuật làm mảnh song song được bàn luận khi áp dụng trên cơ sở dữ liệu mẫu chữ số việc qui định những kết quả phản chiếu kết nối. Những kết quả không phải hội tụ tới những bộ xương rộng điểm đơn vị. Những kết quả này được đưa trong hình 3.17. Nhưng sau khi áp dụng giải pháp được đề xướng song song làm mỏng giải thuật, những kết quả được đưa vào hình 3.19. Những sự khác nhau trong những đầu ra rất rõ ràng và trực quan hơn.



Hình 3.19: a: ảnh ban đầu b: giải thuật 1 c: giải thuật 2 d: giải thuật thay thế

Những kết quả đưa trong hình 3.19 chỉ ra giải pháp được đề xướng tiến hành song song sự làm thưa giải thuật cung cấp tốt hơn hơn kết nối và quy tụ điểm tới chiều rộng điểm đơn vị. Giải thuật đã được thực hiện cho định dạng BMP của những mẫu chữ số. Trong tương lai, giải thuật có thể được khái quát hóa cho những ảnh thông thường sẵn có. Xa hơn nữa có thể được thực hiện để

loại trừ những nhánh giả mạo và đi tới cải thiện sự phức tạp thời gian của giải thuật được đề xướng.

CHƯƠNG 4: Cài đặt thử nghiệm thuật toán Stentiford

4.1. Lựa chọn công cụ

Ngôn ngữ Visual C++ là một trong những ngôn ngữ ứng dụng đồ họa mạnh mẽ, rất thích hợp trong các ứng dụng về xử lý ảnh. Từ đó em đã xây dựng chương trình này bằng ngôn ngữ Visual C++.

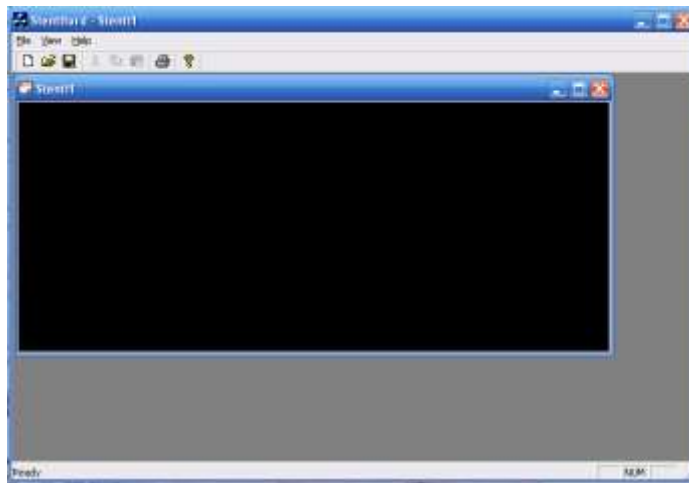
Ngoài ra Visual C++ là công cụ có thể cài đặt và chạy trên cấu hình máy không cao.

Cấu hình máy chạy tốt nhất:

- Bộ vi xử lý Pentium hoặc Pentium Pro trở lên.
- Window 2000 trở lên.
- Bộ nhớ động RAM 256 MB.

4.2. Kết quả thử nghiệm

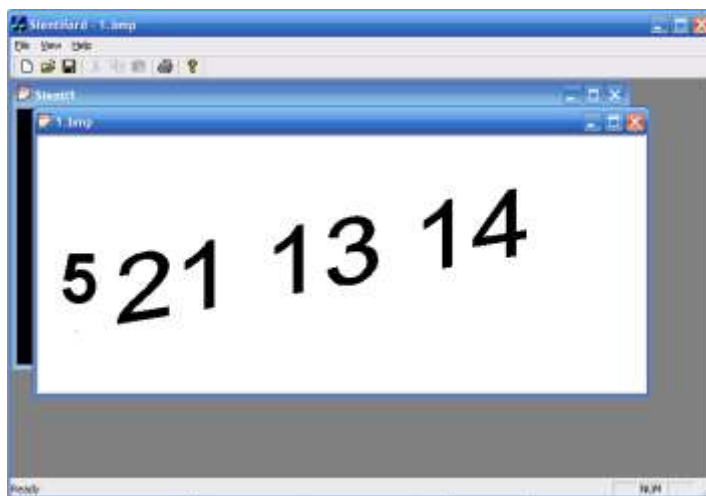
4.2.1 Giao diện chương trình



Hình 4.3. giao diện chương trình

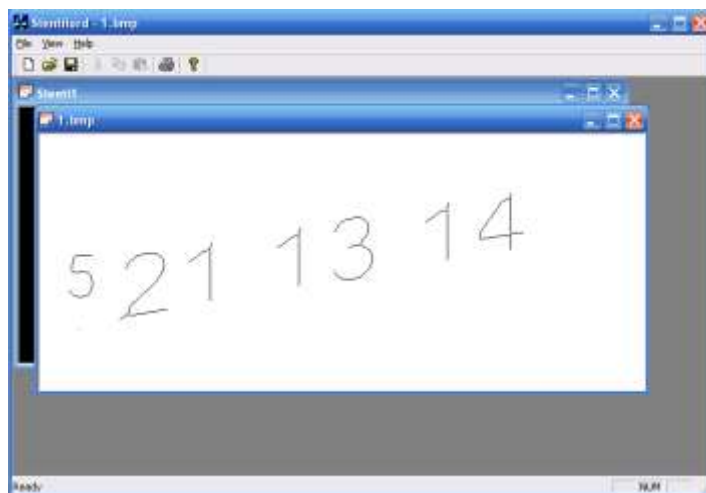
4.2.2 Kết quả

Ảnh ban đầu:



Hình 4.4 ảnh được đưa vào xử lý

Ảnh kết quả:



Hình 3.5. Ảnh sau khi xử lý

KẾT LUẬN

Để hoàn thành đề tài đồ án tốt nghiệp “Một số phương pháp tiếp cận làm mảnh ảnh” em đã tìm hiểu về tổng quan về xử lý ảnh số, tổng quan về làm mảnh ảnh, bài báo “A Parallel Thinning Algorithm for Numeral Pattern Images in BMP Format” của tác giả Gulshan Goyal, Dr. Maitreyee Dutta, Er. Akshay Girdhar và bài báo New Parallel Binary Image Thinning Algorithm của tác giả A. Jagna và V. Kamakshiprasad, từ đó em đã thu được một số thông tin như sau:

Mục đích và tác dụng của xử lý ảnh.

Một số hướng tiếp cận làm mảnh ảnh.

Một số thuật toán làm mảnh ảnh.

Mục đích và ứng dụng trong làm mảnh ảnh.

Từ đó em xây dựng chương trình mô phỏng làm mảnh ảnh stentiford bằng ngôn ngữ Visual C++.

Tuy nhiên trong quá trình tìm hiểu bài báo do chưa có nhiều thời gian nên em chưa tìm hiểu hết được các mục tác giả đưa ra trong phần tài liệu tham khảo. Trong thời gian tới đây em sẽ cố gắng đọc các tài liệu đó để hiểu thêm về các thuật toán liên quan về làm mảnh ảnh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Thanh Bình, Võ Nguyễn Quốc Bảo. “Xử lý âm thanh, hình ảnh”. *Chương trình đào tạo từ xa PTIT, 2007.*
- [2]. Nguyễn Văn Ngọc. “Giáo trình Xử lý ảnh”. *Giáo trình xử lý ảnh ĐHQGHN, 2001.*
- [3]. Đỗ Năng Toàn, Phạm Việt Bình. “Giáo trình môn học xử lý ảnh”. *ĐH Thái Nguyên, 2007.*
- [4]. R. Gonzalez and R. E. Woods. “Digital Image Processing”. *Prentice Hall, 2002.*
- [5]. A. K. Jain. “Fundamentals of Digital Image Processing”. *Prentice-Hall, 1986.*
- [6]. A. Dutta and S. K. Parui. “A robust parallel thinning algorithm for binary images”. *Pattern recognition, Vol, 27, No. 9, pp, 1181-1192, 1994*
- [7]. W. H. Abdulla, A.O.N. Saleh and A.H.Morad, “A preprocessing algorithm for hand-written character recognition”. *pattern recognition letters 7, 1998*
- [8]. M. Ahmad and R. Ward,” An Expert system for General Symbol Recognition”, *Pattern Recognition, vol. 33, no. 12, pp. 1975-1988, 2000.*