

BỘ CÔNG THƯƠNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN



BÁO CÁO KHÓA LUẬN TỐT NGHIỆP

ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN WATERSHED TRONG PHÂN ĐOẠN ẢNH MRI 3D

Chuyên ngành đào tạo: KHOA HỌC MÁY TÍNH

Giảng viên hướng dẫn: ThS. VÕ QUANG HOÀNG KHANG

Lớp: DHKHMT12A

Họ và tên sinh viên 1: NGUYỄN THÀNH LUÂN

Mã số sinh viên 1: 16026801

Họ và tên sinh viên 2: TRẦN NGUYỄN TUẤN LỘC

Mã số sinh viên 2: 16038271

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 6 năm 2020

INDUSTRIAL UNIVERSITY OF HO CHI MINH CITY
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY



NGUYEN THANH LUAN
TRAN NGUYEN TUAN LOC

WATERSHED ALGORITHM
FOR 3D MRI SEGMENTATION

Major: Computer Science

Supervisor: MSc. Vo Quang Hoang Khang

HO CHI MINH CITY, 2020

WATERSHED ALGORITHM FOR 3D MRI SEGMENTATION

ABSTRACT

Reason for writing:

The objective of the project is to study the theory of watershed algorithm in 3D MRI segment. Based on theoretical research, the application of watershed algorithm to analyse problems in medical diagnostic images for quick and effective results.

Problem:

The theory of image segmentation and watershed algorithm.

Solve segmentation problems with watershed algorithm in MRI images.

Methods:

Method of document research: theoretical research and application of watershed algorithm in 3D MRI image segment.

Experimental method: Deeply studying and applying watershed algorithm from data preparation step, pre-processing data, image segmentation and displaying results.

Results:

The location and shape of liver are determined. But it does not exactly like the origin image.

With this proposed method, the process to detect and segment the liver is fast and automatic. But in some case, it needs to check the confused parts again.

Conclusion:

As the result, the proposed processing method can extract the region of liver, which can allow develop an automated system for determination of the live more exactly. Furthermore, the method can be improved for more demanding tasks, such as brain tumors, heart or kidney segmentation with the 3D CT scanner and MRI images.

LỜI CẢM ƠN

Trong suốt quá trình thực hiện đề tài Đồ án tốt nghiệp: “ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN WATERSHED TRONG PHÂN ĐOẠN ẢNH MRI 3D” ngoài sự cố gắng của mỗi cá nhân, chúng em đã nhận được sự giúp đỡ tận tình từ phía nhà trường, thầy cô.

Đầu tiên em xin gửi lời cảm ơn sâu sắc tới ThS. Võ Quang Hoàng Khang, đã hướng dẫn, chỉ bảo tận tình để chúng em hoàn thành tốt báo cáo đồ án tốt nghiệp này.

Em xin gửi lời cảm ơn đến các thầy cô ở trường Đại Học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh. Đặc biệt là các thầy cô trong bộ môn Khoa học máy tính đã chỉ dẫn cho chúng em trên hành trình đi tìm tri thức, hướng dẫn, dạy bảo chúng em tận tình trong suốt quá trình học tập tại trường.

Trong quá trình thực hiện đề tài, mặc dù chúng em đã có nhiều cố gắng nhưng do hạn chế về thời gian cũng như kinh nghiệm nên chắc chắn còn mắc phải nhiều thiếu sót, rất mong nhận được sự đóng góp ý kiến của các thầy cô và các bạn để đề tài này được hoàn chỉnh hơn.

Em xin chân thành cảm ơn!

Thành phố Hồ Chí Minh, ngày 28 tháng 4 năm 2020

Sinh viên

Nguyễn Thành Luân

Trần Nguyễn Tuấn Lộc

[illegible]

This image shows a full page of white paper designed for handwriting practice. It features approximately 20 evenly spaced horizontal dotted lines running from left to right across the entire width of the page. There are no margins, text, or other markings present.

This image shows a full page of a handwriting practice worksheet. It consists of approximately 20 horizontal rows. Each row is defined by two parallel dotted lines, creating a series of uniform gaps for letter height. The entire page is otherwise blank, with no margins, text, or other markings.

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU VỀ ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU.....	1
1.1 Đối tượng và nội dung nghiên cứu	1
1.1.1 Lý do chọn đề tài.....	1
1.1.2 Đối tượng nghiên cứu	1
1.1.3 Nội dung nghiên cứu.....	1
1.2 Giới thiệu ảnh MRI 3D	1
1.2.1 Cấu tạo ảnh 3D.....	1
1.2.2 Đặc điểm của ảnh MRI 3D.....	2
1.3 Mô hình hóa các bước trích xuất GAN	5
CHƯƠNG 2. MỘT SỐ THUẬT TOÁN TIỀN XỬ LÝ ẢNH	6
2.1 Phương pháp làm mịn ảnh	6
2.2 Phương pháp biến đổi gradient.....	7
CHƯƠNG 3. THUẬT TOÁN BIẾN ĐỔI WATERSHED	10
3.1 Giới thiệu	10
3.2 Mô tả thuật toán watershed.....	10
3.3 Thuật toán Watershed.....	12
3.4 Biến đổi watershed theo phương pháp cổ điển	14
3.6 Marker-controlled watershed transform	16
3.5 Vùng cực đại và vùng cực tiểu.....	15
3.6.1 Phương pháp kiểm soát đánh dấu.....	16
3.6.2 Điểm đánh dấu bên trong và bên ngoài	17
3.6.3 Phân vùng từ các điểm đánh dấu	18

CHƯƠNG 4. MỘT SỐ THUẬT TOÁN HẬU XỬ LÝ ẢNH	21
4.1 Phép toán hình thái học (Morphological operation)	21
4.1.1 Phần tử cấu trúc.....	21
4.1.2 Phép toán giãn (Dilation)	22
4.1.3 Phép toán co (Erosion)	23
4.2 Loại bỏ các cấu trúc ánh sáng kết nối với viền hình ảnh.....	24
4.3 Hiển thị kết quả đối tượng phân đoạn.....	25
CHƯƠNG 5. THỰC NGHIỆM, PHÂN TÍCH, ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ.....	27
5.1 Thực nghiệm, phân tích	27
5.2 Đánh giá kết quả	37
5.2.1 So sánh	38
5.2.2 Ưu điểm của thuật toán Watershed	39
TÀI LIỆU THAM KHẢO	40

MỤC LỤC HÌNH ẢNH

Hình 3. 1. Mô hình biến đổi watershed.....	10
Hình 3. 2. Mô tả phân tách đối tượng	11
Hình 3. 3. Mô tả quá trình biến đổi watershed dựa trên pixel	11
Hình 3. 4. Mô phỏng quá trình thực hiện thuật toán biến đổi Watershed (1)	12
Hình 3. 5. Mô phỏng quá trình thực hiện thuật toán biến đổi Watershed (2)	13
Hình 3. 6. Mô phỏng quá trình thực hiện thuật toán biến đổi Watershed (3)	14
Hình 3. 7. Mô tả quá trình biến đổi watershed có đánh dấu (2).....	15
Hình 3. 8. Vùng cực đại và cực tiểu.....	15
Hình 3. 9. Watershed từ các điểm đánh dấu	20

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

Bảng 1. 1. Các thuộc tính của module bệnh nhân.....	3
---	---

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU VỀ ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU

1.1 Đối tượng và nội dung nghiên cứu

1.1.1 Lý do chọn đề tài

Hiện nay có nhiều nhóm thuật toán phân đoạn như các thuật toán dựa trên biểu đồ histogram, các thuật toán dựa trên cạnh biên, các thuật toán dựa trên vùng – khu vực, etc. Thuật toán biến đổi watershed là một cách tiếp cận phân đoạn dựa trên vùng – khu vực. Trong số các thuật toán hiện có, Thuật toán biến đổi watershed đã được chứng minh là một công cụ rất hữu ích và mạnh mẽ để phân đoạn hình ảnh vì độ phức tạp tính toán vừa phải và khả năng xác định các đường viền kín của ảnh. Thuật toán biến đổi watershed đã được sử dụng trong một số ứng dụng như y sinh, xử lý ảnh y tế, thị giác máy tính, etc.

1.1.2 Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu chính của khóa luận là ảnh MRI 3D, chủ yếu là ứng dụng thuật toán watershed và một số thuật toán tiền xử lý ảnh để phân đoạn ảnh kết quả ảnh MRI 3D của bệnh nhân. Mỗi ảnh MRI 3D gồm 64 lát cắt.

1.1.3 Nội dung nghiên cứu

Phân tích, làm sáng tỏ và dự đoán vị trí, hình thái, sự biến đổi, bất thường về một số phương diện quan trọng trong mỗi ảnh MRI 3D sau khi ứng dụng thuật toán watershed theo các mẫu dữ liệu ảnh khác nhau.

1.2 Giới thiệu ảnh MRI 3D

1.2.1 Cấu tạo ảnh 3D

Trong máy tính, 3D mô tả một hình ảnh cung cấp nhận thức về chiều sâu. Khi hình ảnh 3 chiều được thực hiện tương tác để người dùng cảm thấy có liên quan đến hình ảnh đó, trải nghiệm này được gọi là thực tế ảo, thường cần một trình xem hỗ trợ đặc biệt cho các ứng dụng để xem và tương tác với hình ảnh 3 chiều. Trải nghiệm thực tế ảo cũng có thể yêu cầu thiết bị bổ sung.

Tạo hình ảnh 3 chiều có thể được xem như là một quá trình ba giai đoạn: tessellation, geometry and rendering. Trong giai đoạn đầu tiên, các mô hình được

Ứng dụng thuật toán Watershed trong phân đoạn ảnh MRI 3D

tạo ra từ các đối tượng riêng lẻ bằng cách sử dụng các điểm được liên kết được tạo thành một số đa giác riêng lẻ. Trong giai đoạn tiếp theo, các đa giác được biến đổi theo nhiều cách khác nhau và hiệu ứng ánh sáng được áp dụng. Trong giai đoạn thứ ba của mô hình 3D, các hình ảnh đã được chuyển đổi được hiển thị thành các đối tượng với chi tiết rất tốt.

1.2.2 Đặc điểm của ảnh MRI 3D

DICOM là tiêu chuẩn để xử lý, lưu trữ, in ấn và thu/nhận hình ảnh trong y tế.

Định dạng dữ liệu DICOM khác so với các định dạng khác là các nhóm thông tin được tích hợp vào bên trong tập tin DICOM. Do đó, nếu một tập tin X-quang phổi theo định dạng DICOM sẽ chứa các thông tin như tên bệnh nhân, mã ID bệnh nhân, vì vậy hình ảnh sẽ không bao giờ bị thất lạc thông tin.

Một đối tượng dữ liệu DICOM sẽ bao gồm các thuộc tính như họ và tên, mã ID, v.v. và cũng bao gồm các thuộc tính đặc biệt chứa dữ liệu Pixel của hình ảnh.

Định dạng dữ liệu DICOM là một tập hợp đa khung, có nhiều thông tin tốt hơn về 3D và thời gian, có nhiều thông số khác trong các trường chung (trước đây là 2, hiện tại là 94) và có thể lưu trữ dữ liệu thô.

Tên thuộc tính	Thẻ	Loại	Miêu tả thuộc tính
Tên bệnh nhân	(0010, 0010)	2	Tên đầy đủ của bệnh nhân
ID bệnh nhân	(0010, 0020)	2	Số nhận dạng bệnh viện chính hoặc mã bệnh nhân
Tổ chức phát hành ID bệnh nhân	(0010, 0021)	3	Mã định danh của Cơ quan phân công đã cấp ID bệnh nhân.
Giới tính bệnh nhân	(0010, 0030)	2	Giới tính của bệnh nhân Giá trị liệt kê: M = Nam F = Nữ O = Khác

Ứng dụng thuật toán Watershed trong phân đoạn ảnh MRI 3D

Ngày sinh bệnh nhân	(0010, 0040)	2	Ngày sinh của bệnh nhân
Trình tự tham chiếu bệnh nhân	(0008, 1120)	3	Một chuỗi cung cấp tài liệu tham khảo cho cặp SOP lớp / trường hợp bệnh nhân. Chỉ một mục duy nhất sẽ được cho phép trong trình tự này.
UID tham chiếu lớp SOP	(0008, 1150)	1C	Xác định duy nhất lớp SOP được tham chiếu. Cần thiết nếu trình tự tham chiếu bệnh nhân (0008,1120) được gửi.
UID tham chiếu trường hợp SOP	(0008, 1155)	1C	Xác định duy nhất trường hợp SOP được tham chiếu. Cần thiết nếu trình tự tham chiếu bệnh nhân (0008,1120) được gửi.
Giờ sinh của bệnh nhân	(0010, 0032)	3	Giờ sinh của bệnh nhân
ID những bệnh nhân khác	(0010, 1000)	3	Số nhận dạng hoặc mã khác được sử dụng để xác định bệnh nhân.
Tên những bệnh nhân khác	(0010, 1001)	3	Tên khác được sử dụng để xác định bệnh nhân.
Nhóm dân tộc	(0010, 2160)	3	Dân tộc hoặc chủng tộc của bệnh nhân.
Nhận xét của bệnh nhân	(0010, 4000)	3	Thông tin người dung định nghĩa thêm về bệnh nhân

Bảng 1. 1. Các thuộc tính của module bệnh nhân

DICOM cung cấp các trường công khai liên quan đến hình ảnh 2D với không gian bệnh nhân 3D.

Đặc trưng tổ chức:

Ứng dụng thuật toán Watershed trong phân đoạn ảnh MRI 3D

- Dữ liệu pixel đa khung
- Phân phối và nhóm chức năng mỗi khung
 - Mỗi nhóm chức năng chứa các thuộc tính có khả năng khác nhau dưới dạng một nhóm
 - Gọn nhẹ và làm rõ những gì không thay đổi
- Chiều:
 - Gợi ý tiên nghiệm giống như là các khung được tổ chức như thế nào
 - Chỉ định thứ tự dự định truyền tải, chẳng hạn như không gian, sau đó là thời gian
- Ngăn xếp
 - Nhóm các lát liên quan đến không gian, có thể được lặp lại

- Vị trí thời gian

Tổ chức dữ liệu:

- Mục tiêu là giảm bớt công việc mà ứng dụng đang nhận phải làm để tìm ra cách thức

Cách thức dữ liệu được tổ chức

- Tại sao nó được tổ chức theo cách đó
- Không ngăn chặn việc sử dụng dữ liệu theo những cách không lường trước được

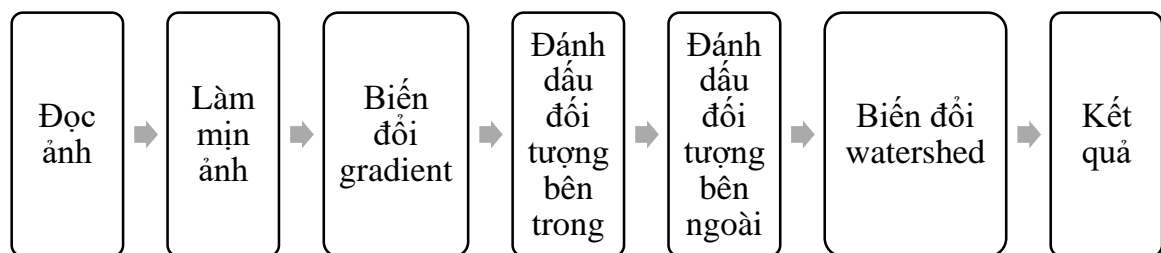
- Hai cấp độ

- Được chia sẻ chi tiết và thuộc tính mỗi khung
- Các chiều tổng thể, ngăn xếp và vị trí thời gian

Các đặc trưng về chiều:

- Mô tả chiều tách biệt với chỉ số của chúng
 - Chiều được mô tả một lần
 - Chỉ số trong chiều được mã hóa trên mỗi khung
- Có thể là nhiều bộ chiều trong một đối tượng
- Ứng dụng đang nhận chỉ cần tuân theo các giá trị chỉ mục
 - Không cần phải chọn hoặc sắp xếp theo giá trị thuộc tính
 - Kích thước có thể là toàn bộ các nhóm chức năng
 - Kích thước có thể là thuộc tính riêng tư hoặc nhóm chức năng

1.3 Mô hình hóa các bước trích xuất GAN



CHƯƠNG 2. MỘT SỐ THUẬT TOÁN TIỀN XỬ LÝ ẢNH

Tập dữ liệu bao gồm 5 ảnh MRI chụp gan của 5 bệnh nhân, mỗi ảnh bao gồm 64 lát cắt được sử dụng để phân tích trong khóa luận này.

Trong giai đoạn này, chất lượng ảnh được nâng cao và nhiễu được loại bỏ khỏi ảnh. Phải chuyển đổi ảnh màu RGB thành ảnh đa mức xám bằng cách loại bỏ thông tin màu sắc và độ bão hòa trong khi vẫn giữ được độ chói bằng công thức sau

$$\text{Gray-level} = 0.2989 \cdot R + 0.5870 \cdot G + 0.1140 \cdot B$$

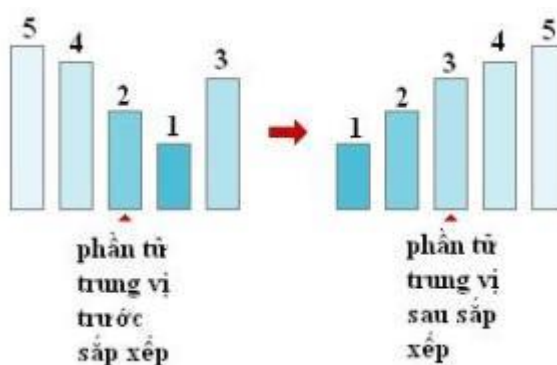
Gray-level là mức xám sau khi chuyển từ ảnh màu RGB.

2.1 Phương pháp làm mịn ảnh

Lọc Trung vị là một kỹ thuật lọc phi tuyến (non-linear), nó khá hiệu quả đối với hai loại nhiễu: nhiễu đốm (speckle noise) và nhiễu muối tiêu (salt-pepper noise). Kỹ thuật này là một bước rất phổ biến trong xử lý ảnh.

Ý tưởng chính của thuật toán lọc Trung vị như sau: ta sử dụng một cửa sổ lọc (ma trận 3×3) quét qua lần lượt từng điểm ảnh của ảnh đầu vào input. Tại vị trí mỗi điểm ảnh lấy giá trị của các điểm ảnh tương ứng trong vùng 3×3 của ảnh gốc “lấp” vào ma trận lọc. Sau đó sắp xếp các điểm ảnh trong cửa sổ này theo thứ tự (tăng dần hoặc giảm dần tùy ý). Cuối cùng, gán điểm ảnh nằm chính giữa (Trung vị) của dãy giá trị điểm ảnh đã được sắp xếp ở trên cho giá trị điểm ảnh đang xét của ảnh đầu ra output.

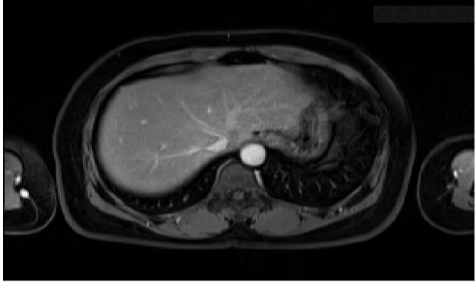
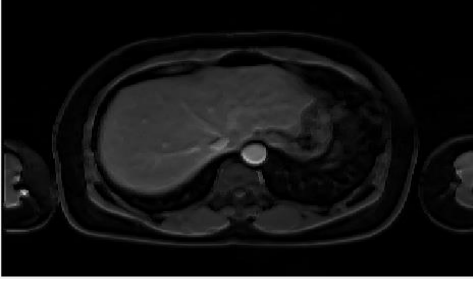
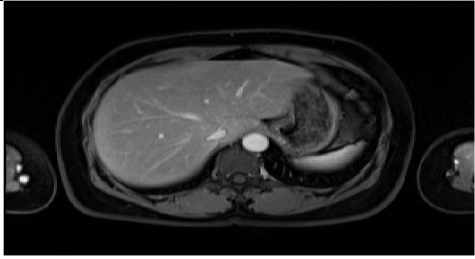
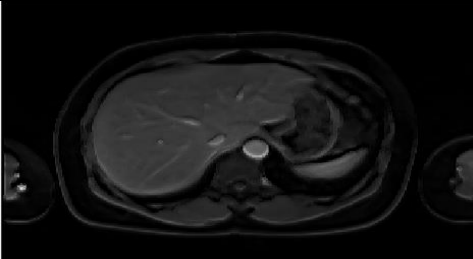
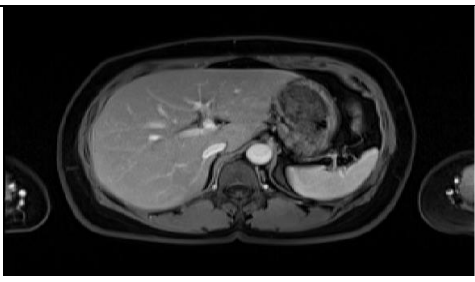
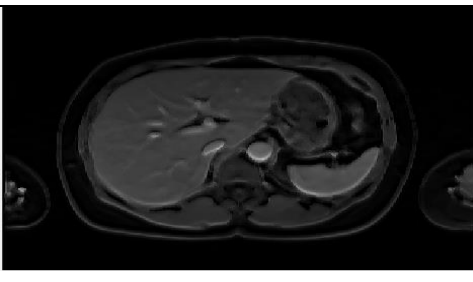
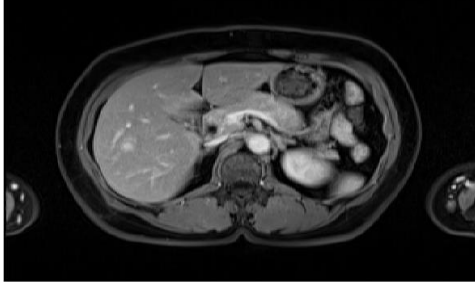
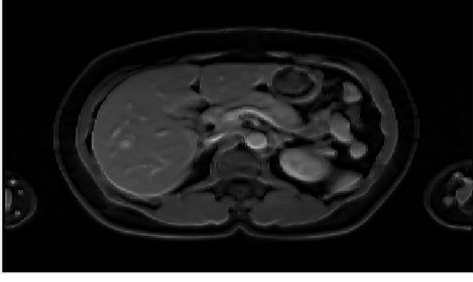
Sẽ dễ hình dung hơn bằng mô tả trong hình dưới đây:



Sơ lược một cách ngắn gọn các bước của giải thuật:

Ứng dụng thuật toán Watershed trong phân đoạn ảnh MRI 3D

- Quét cửa sổ lọc lên các thành phần của ảnh gốc; điền các giá trị được quét vào cửa sổ lọc.
- Lấy các thành phần trong cửa sổ lọc để xử lý.
- Sắp xếp theo thứ tự các thành phần trong cửa sổ lọc.
- Lưu lại thành phần trung vị, gán cho ảnh output.

Slice	Ảnh xám	Ảnh làm mịn
19		
22		
28		
35		

2.2 Phương pháp biến đổi gradient

Lọc Sobel là kết quả của việc sử dụng hai ma trận hạt nhân 3x3 được kết hợp với hình ảnh gốc để tính sấp xỉ các đạo hàm, trong đó một ma trận thay đổi theo

Ứng dụng thuật toán Watershed trong phân đoạn ảnh MRI 3D

chiều ngang và một cho chiều dọc. Kết quả là các biên ngang và dọc được làm nổi lên.

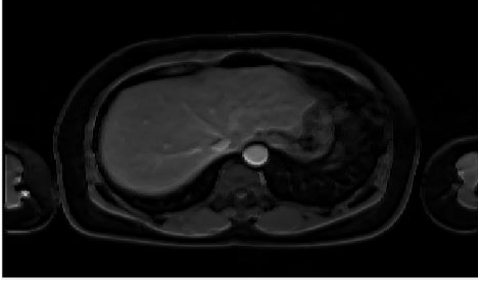
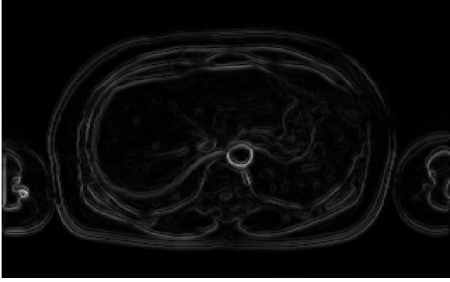
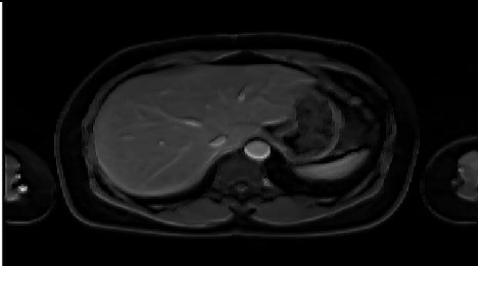
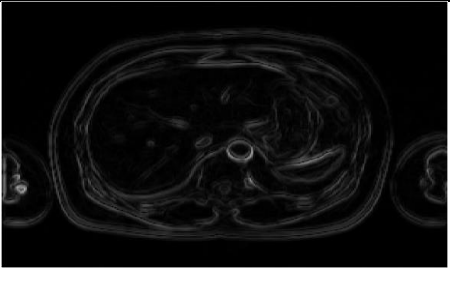
Giả sử rằng hình ảnh gốc được gọi là ảnh A, G_x và G_y là hai hạt nhân 3×3 được sử dụng để phát hiện các biên ngang và dọc tương ứng, các ma trận nhân Sobel được mô tả như sau

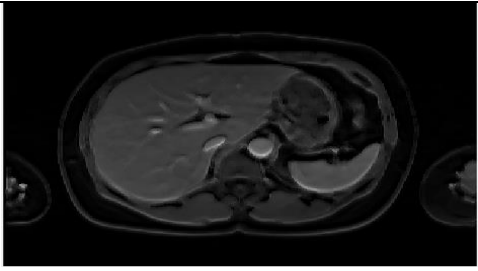
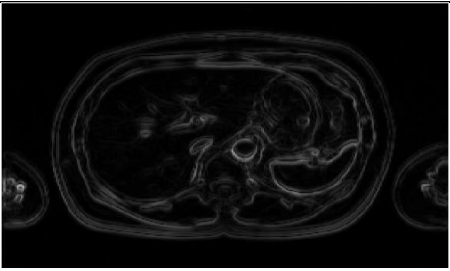
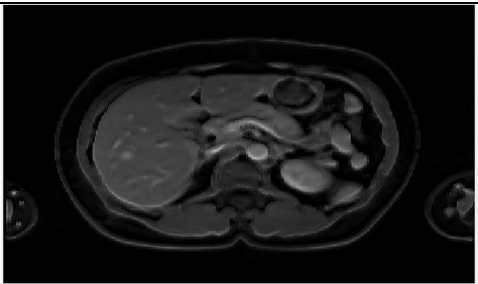
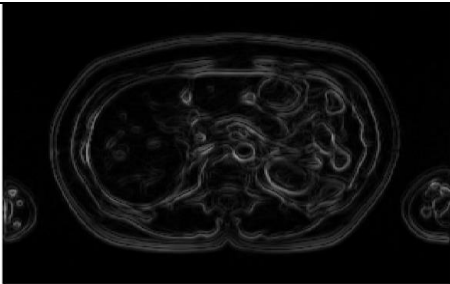
$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}, \quad G_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

trong đó toán tử $*$ thể hiện tích chập xử lý tín hiệu hai chiều.

Tọa độ x là sự tăng dần từ hướng từ trái sang phải và tọa độ y là sự tăng dần từ hướng từ trên xuống. Tại mỗi điểm trong ảnh, các kết quả gradient xấp xỉ được kết hợp để thu được cường độ gradient như sau

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

Slice	Ảnh làm mịn	Ảnh gradient
19		
22		

28		
35		

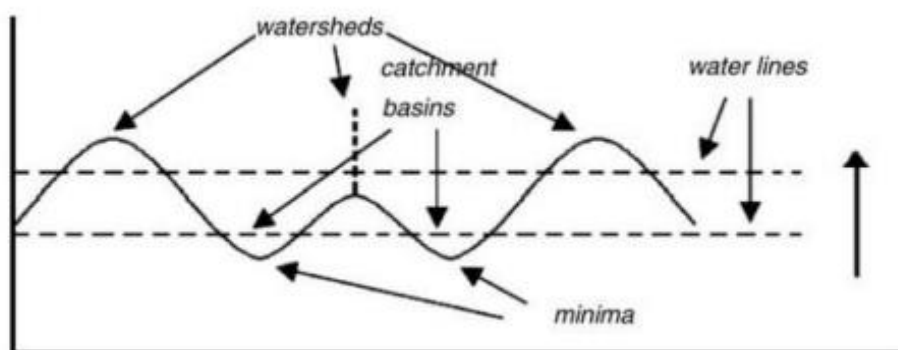
CHƯƠNG 3. THUẬT TOÁN BIẾN ĐỔI WATERSHED

3.1 Giới thiệu

Watershed được hiểu theo một cách đơn giản thì watershed là một vùng đất cao thông qua đó nước có thể đổ vào sông hoặc rạch.

Các định nghĩa trong watershed:

- Vùng chứa nước (catchment basin)
 - Mỗi catchment basin được kết hợp với giá trị M nhỏ nhất
 - M là tập hợp các pixel liên thông
- Đập ngăn nước(dams)/ ridge lines / watershed lines
 - Tập hợp các pixel làm nhiệm vụ ngăn cách các catchment basin



Hình 3. 1. Mô hình biến đổi watershed

Thuật toán Watershed được phát triển theo 2 hướng:

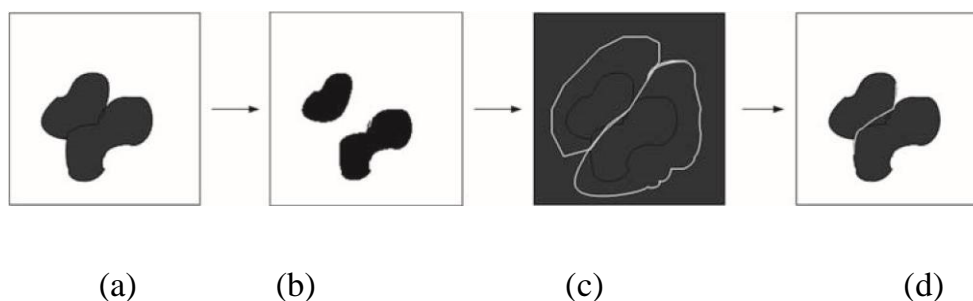
Watershed transform: phương pháp biến đổi watershed cổ điển

Marker-controlled watershed là một cải tiến của watershed transform biến đổi lưu vực bằng cách làm ngập bề mặt từ một bộ đánh dấu được xác định từ trước đó.

3.2 Mô tả thuật toán watershed

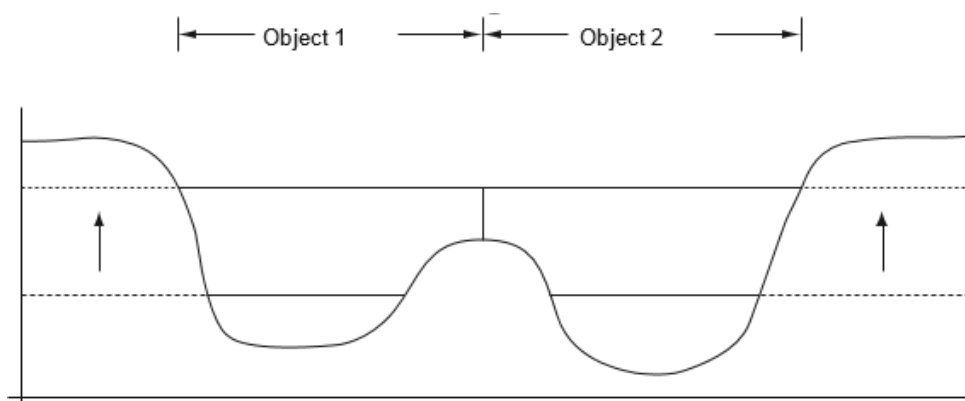
Thuật toán Watershed có lẽ kỹ thuật xử lý hình thái được biết nhiều nhất trong phân đoạn ảnh. Trong ví dụ này, chúng tôi giả sử các đối tượng có mức xám thấp, trên nền có mức cao. Hình 3,2 cho thấy các mức xám dọc theo một đường

quét cắt qua hai vật thể nằm sát nhau. Hình ảnh ban đầu được đặt ở mức xám thấp, một phân đoạn hình ảnh thành số lượng đối tượng thích hợp



Hình 3. 2. Mô tả phân tách đối tượng

a) Ảnh phân đoạn nhị phân, (b) Sau khi erosion và inversion, (c) Khung xương ngoài, (d) Các đối tượng được tách do áp dụng phép toán AND giữa ảnh (a) và (c)



Hình 3. 3. Mô tả quá trình biến đổi watershed dựa trên pixel

Theo ảnh thì ngưỡng được tăng dần, tăng đồng thời tại một thời điểm. Đối tượng sẽ được mở rộng khi ngưỡng tăng. Khi hai lưu vực chạm nhau thì chúng sẽ không được hợp nhất vì vập điểm tiếp xúc đầu tiên sẽ trở thành biên. Quá trình này kết thúc khi ngưỡng xám đạt đến mức xám của nền.

Thay vì chỉ đơn giản là đập ảnh ở mức xám tối ưu, cách tiếp cận đầu nguồn bắt đầu với một ngưỡng đủ thấp để cô lập đối tượng đúng cách, ngưỡng sẽ tăng dần đến mức optimum, điều này có thể giải quyết vấn đề được tạo ra bởi các đối tượng hoặc chạm hoặc quá gần nhau để làm.

Phân đoạn cuối cùng sẽ đúng nếu và chỉ khi phân đoạn ở ngưỡng ban đầu có lập chính xác các đối tượng ngay từ đầu tốt. Nếu ngưỡng ban đầu quá thấp, các đối tượng sẽ bị quá sáng và các đối tượng có độ tương phản thấp sẽ bị bỏ qua lúc đầu và sau đó được hợp nhất với các đối tượng lân cận khi ngưỡng tăng. Nếu ngưỡng ban đầu quá cao, các đối tượng sẽ được hợp nhất từ đầu.

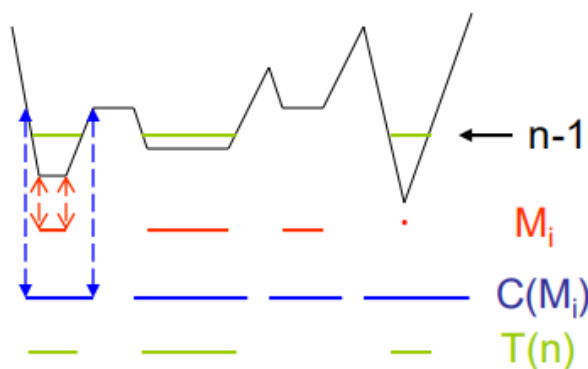
3.3 Thuật toán Watershed

Có nhiều phương pháp mô tả thuật toán biến đổi watershed. Một cái dựa trên mô phỏng và dựa trên các đường chi phí ngắn nhất.

Biến đổi lưu vực cổ điển thu được khi các điểm đánh dấu là các cực tiểu khu vực của hình ảnh.

Mô tả biến đổi Watershed dựa trên mô hình mô phỏng

- M_1, M_2, \dots, M_R : các cực tiểu địa phương của ảnh (gradient) $g(x,y)$
- $C(M_i)$: tập các điểm thuộc về catchment basin kết hợp với cực tiểu M_i
- $T[n]$: tập các điểm (s,t) sao cho $g(s,t) < n$. $g(s,t)$ là cường độ.



Hình 3. 4. Mô phỏng quá trình thực hiện thuật toán biến đổi Watershed (1)

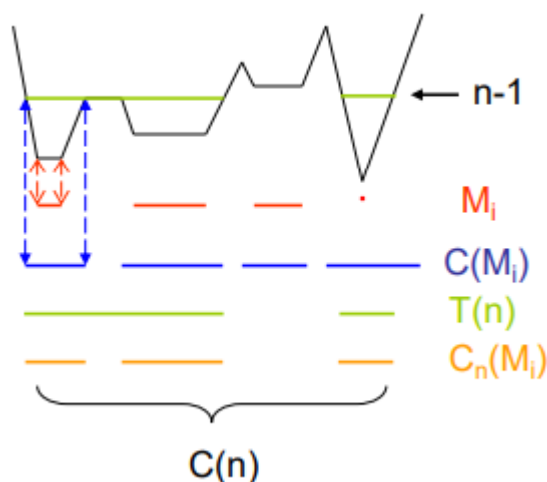
- $C_{n\text{catchment}}(M_i)$: tập các pixel thuộc basin kết hợp với cực tiểu M_i tại mức n .

$$C_n(M_i) = C(M_i) \cap T[n]$$

- $C[n]$: hợp của các catchment basin tại mức n .

$$C[n] = \bigcup_{i=1}^R C_n(M_i) \text{ and } C[\max + 1] = \bigcup_{i=1}^R C(M_i)$$

- Tại mức n , giả sử $C[n-1]$ đã được xây dựng. Mục tiêu là xây dựng $C[n]$ từ $C[n-1]$



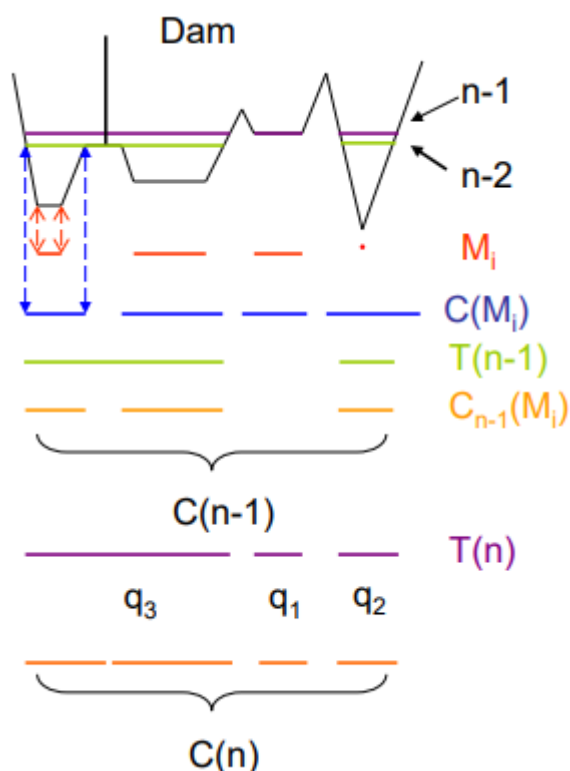
Hình 3. 5. Mô phỏng quá trình thực hiện thuật toán biến đổi Watershed (2)

Khởi tạo: $C[\min+1] = T[\min+1]$

Với mỗi $q \in T[n]$, có 3 khả năng xảy ra:

1. $q \cap C[n-1]$ rỗng (q_1)
 - Phát hiện cực tiểu mới
 - q được đưa vào $C[n-1]$ để tạo thành $C[n]$
2. $q \cap C[n-1]$ chứa một thành phần kết nối của $C[n-1]$ (q_2)
 - q được đưa vào $C[n-1]$ để tạo thành $C[n]$
3. $q \cap C[n-1]$ chứa nhiều hơn một thành phần kết nối của $C[n-1]$ (q_3)
 - Dam được xây dựng để ngăn chặn sự hòa nhập giữa các catchment basin. (watershed line)

Lặp lại cho đến khi $n=\max+1$



Hình 3. 6. Mô phỏng quá trình thực hiện thuật toán biến đổi Watershed (3)

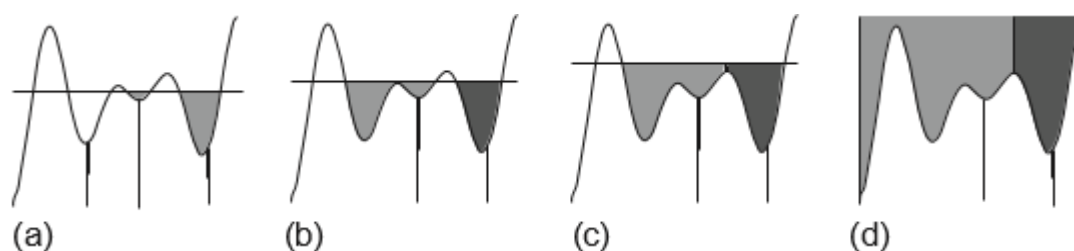
3.4 Biến đổi watershed theo phương pháp cổ điển

Một cách phổ biến để mô tả biến đổi Watershed là dựa trên sự mô phỏng quá trình lũ lụt. Đầu vào là một ảnh xám như một bề mặt của địa hình. Mục đích nhằm để xây dựng watershed lines trên bề mặt.

Cách hoạt động của Watershed: giả sử chúng ta có các vùng cực tiểu (region minima) như hình (a). Địa hình bị ngập từ từ bên dưới bằng cách cho phép nước dâng lên từ mỗi vùng tối thiểu theo tỷ lệ đồng nhất (đồng thời dâng nước lên) trên toàn ảnh. Cuối cùng, nước sẽ dâng lên một mức mà những vùng bị ngập lụt từ các lưu vực riêng biệt sẽ được hòa với nhau, lúc đó một đập sẽ được xây dựng để ngăn chặn việc này. Các khu vực phân đoạn cuối cùng phát sinh từ các cực tiểu (region minima) khác nhau được gọi là lưu vực.

Hình mô tả quá trình ngập với 4 vùng cực tiểu tạo ra 4 lưu vực. Ảnh hiển thị các bước (a) ảnh đầu vào, (b) lỗ thủng ở cực tiểu và ban đầu lũ lụt, (c) đập được tạo

ra khi nước từ các cực tiểu khác nhau sắp hợp nhất và (d) lũ lụt cuối cùng, mang lại ba dòng lưu vực và bốn lưu vực lưu vực

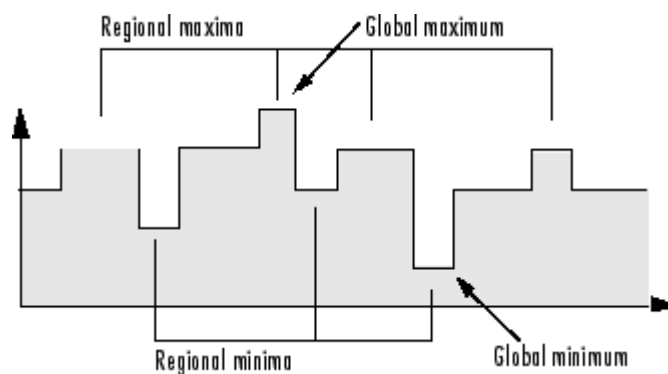


Hình 3. 7. Mô tả quá trình biến đổi watershed có đánh dấu (2)

Đối với phân đoạn hình ảnh, thuật toán watershed áp dụng thường, nhưng không phải lúc nào cũng được áp dụng cho hình ảnh gradient. Do các hình ảnh số hóa thực tế thể hiện nhiều cực tiểu khu vực trong độ dốc của chúng, điều này thường dẫn đến số lượng lưu vực lưu vực quá mức, kết quả được gọi là sự phân đoạn quá mức.

3.5 Vùng cực đại và vùng cực tiểu

Một bức ảnh có nhiều vùng cực đại và vùng cực tiểu nhưng chỉ 1 vùng global minimum và 1 vùng global maximum.



Hình 3. 8. Vùng cực đại và cực tiểu

Regional maxima: tập hợp các pixel có cường độ không đổi mà từ đó không thể đạt đến cường độ cao hơn mà cũng không giảm dần, một thành phần được tập hợp bởi một giá trị cường độ t thì xung quanh các pixel đều có giá trị cường độ nhỏ hơn t .

$$R \text{ MAX}_e(f) = f - H \text{ MAX}_{1,E}(f)$$

Ngược lại thì mức tối thiểu của vùng là vùng kết nối vùng phẳng ở cuối một lưu vực. Vùng cực đại và cực tiểu của lưu vực được gọi là cực trị của ảnh

$$R \text{ MIN}_E(f) = H \text{ MIN}_{1,E}(f) - f$$

Trong ví dụ này có 2 region maxima, vùng có pixel 13 và 18, và pixel 11

```
A = [10  10  10  10  10  10  10  10  10  10;
      10  13  13  13  10  10  11  10  11  10;
      10  13  13  13  10  10  10  11  10  10;
      10  13  13  13  10  10  11  10  11  10;
      10  10  10  10  10  10  10  10  10  10;
      10  11  10  10  10  18  18  18  10  10;
      10  10  10  11  10  18  18  18  10  10;
      10  10  11  10  10  18  18  18  10  10;
      10  11  10  11  10  10  10  10  10  10;
      10  10  10  10  10  10  11  10  10  10];
```

$$B = \text{imregionalmax}(A)$$

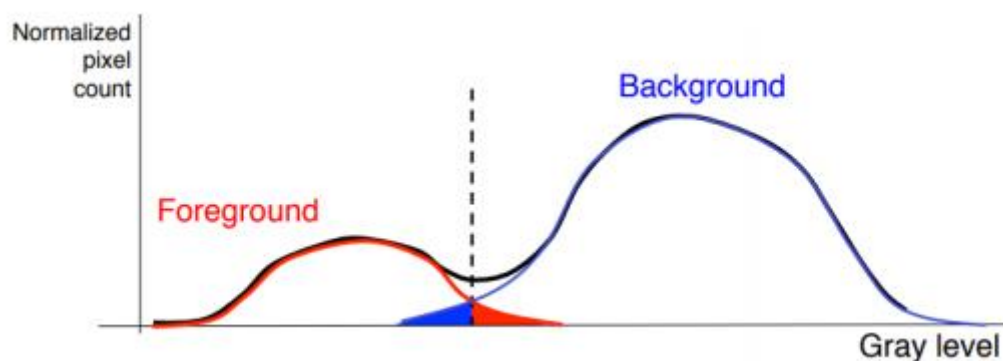
Hàm `imregionalmax` đầu vào là một ảnh và đầu ra là ảnh nhị phân. Vùng cực tiểu được đặt là 1, còn lại các pixel khác là 0

```
B =
0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
0  1  1  1  0  0  1  0  1  0
0  1  1  1  0  0  0  1  0  0
0  1  1  1  0  0  1  0  1  0
0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
0  1  0  0  0  1  1  1  0  0
0  0  0  1  0  1  1  1  0  0
0  0  1  0  0  1  1  1  0  0
0  1  0  1  0  0  0  0  0  0
0  0  0  0  0  0  1  0  0  0
```

3.6 Marker-controlled watershed transform

3.6.1 Phương pháp kiểm soát đánh dấu

Một cách đơn giản để phân vùng đối tượng là dùng giá trị ngưỡng của ảnh. Đối tượng bên ngoài thường có cường độ cao hơn so với đối tượng bên trong.



Nhưng đôi khi ảnh có nhiều nhiễu, nhiều vùng bất thường rất khó khăn cho việc phân vùng từ giá trị ngưỡng của ảnh. Áp dụng trực tiếp biến đổi watershed thành một gradient hình ảnh có thể dẫn đến phân đoạn quá mức do nhiễu. Phân ngưỡng quá mức có nghĩa là có rất nhiều vùng sẽ bị phân chia.

Một cách tiếp cận để kiểm soát quá trình phân vùng quá mức dựa trên khái niệm về đánh dấu điểm. Điểm đánh dấu được dùng để điều chỉnh cường độ của ảnh. Điểm đánh dấu bao gồm 2 phần: đối tượng bên trong và đối tượng bên ngoài (đối tượng cho biên).

Phân đoạn đánh dấu kiểm soát là một phương pháp mạnh mẽ và linh hoạt để phân tách các đối tượng có đường viền gần nhau, đường viền được thể hiện bằng các đập phân cách (ridge lines)

3.6.2 Điểm đánh dấu bên trong và bên ngoài

Đối tượng bên ngoài:

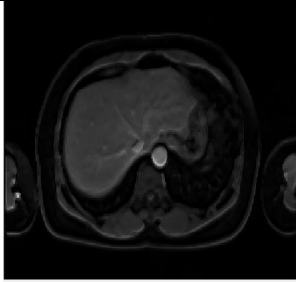

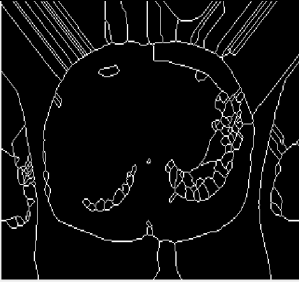
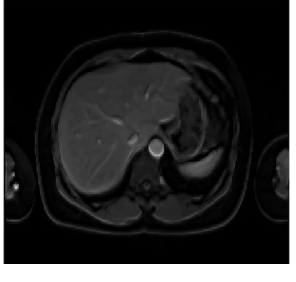

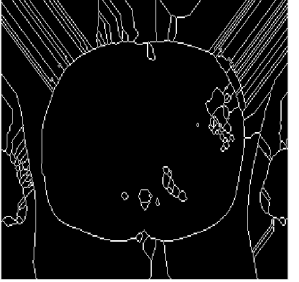
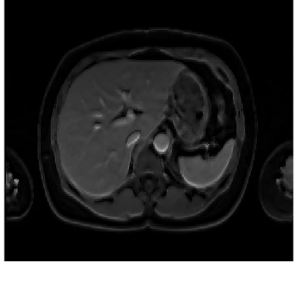

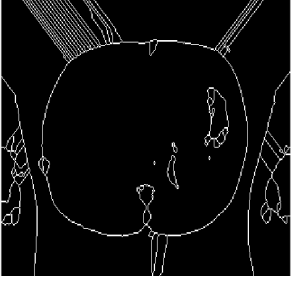
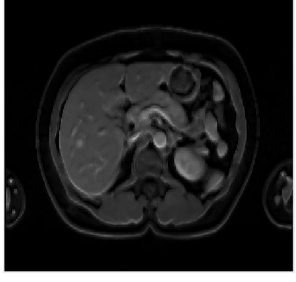

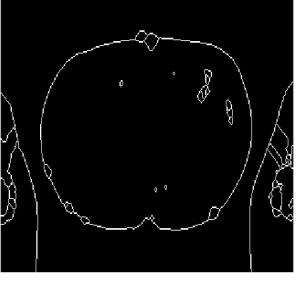
- Các điểm dọc theo đường phân vùng theo các điểm cao nhất

Đối tượng bên trong:

- Được bao quanh các pixel có cường độ cao hơn
- Những điểm xung quanh kết nối với nhau tạo thành một thành phần
- Tất cả các điểm trong thành phần có cùng cường độ

Một vấn đề phân đoạn dựa trên lưu vực điển hình là phân đoạn các đối tượng giống như tế bào trong một hình ảnh thang độ xám. Cách tiếp cận chung thường được sử dụng để giải quyết các vấn đề này theo 3 bước: (1) tiền xử lý bằng bộ lọc làm mịn, (2) trích xuất các dấu đối tượng (đánh dấu bên trong) và đánh dấu nền

(đánh dấu bên ngoài) và (3) thu được các dòng đầu nguồn của hình thái độ dốc từ đánh dấu. Thông thường phần quan trọng nhất là trích xuất các dấu đối tượng, vì một đối tượng không được đánh dấu đúng sẽ bị bỏ sót trong phân đoạn cuối cùng.

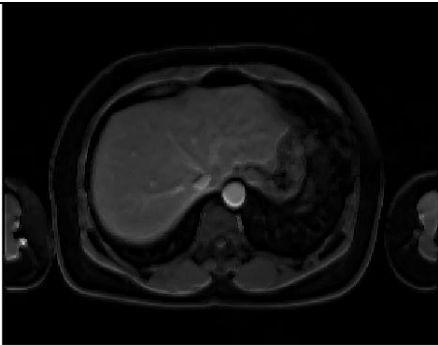

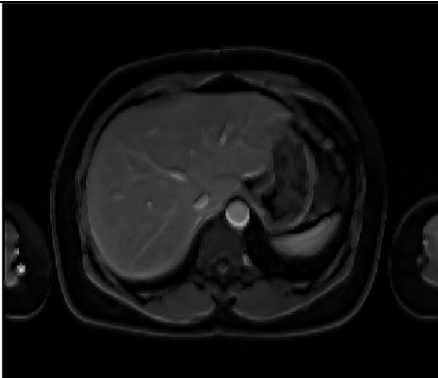

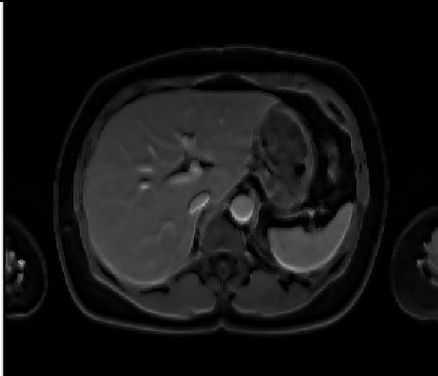

Slice	Ảnh đã làm mịn	Đối tượng bên trong	Đối tượng bên ngoài
19			
22			
28			
35			

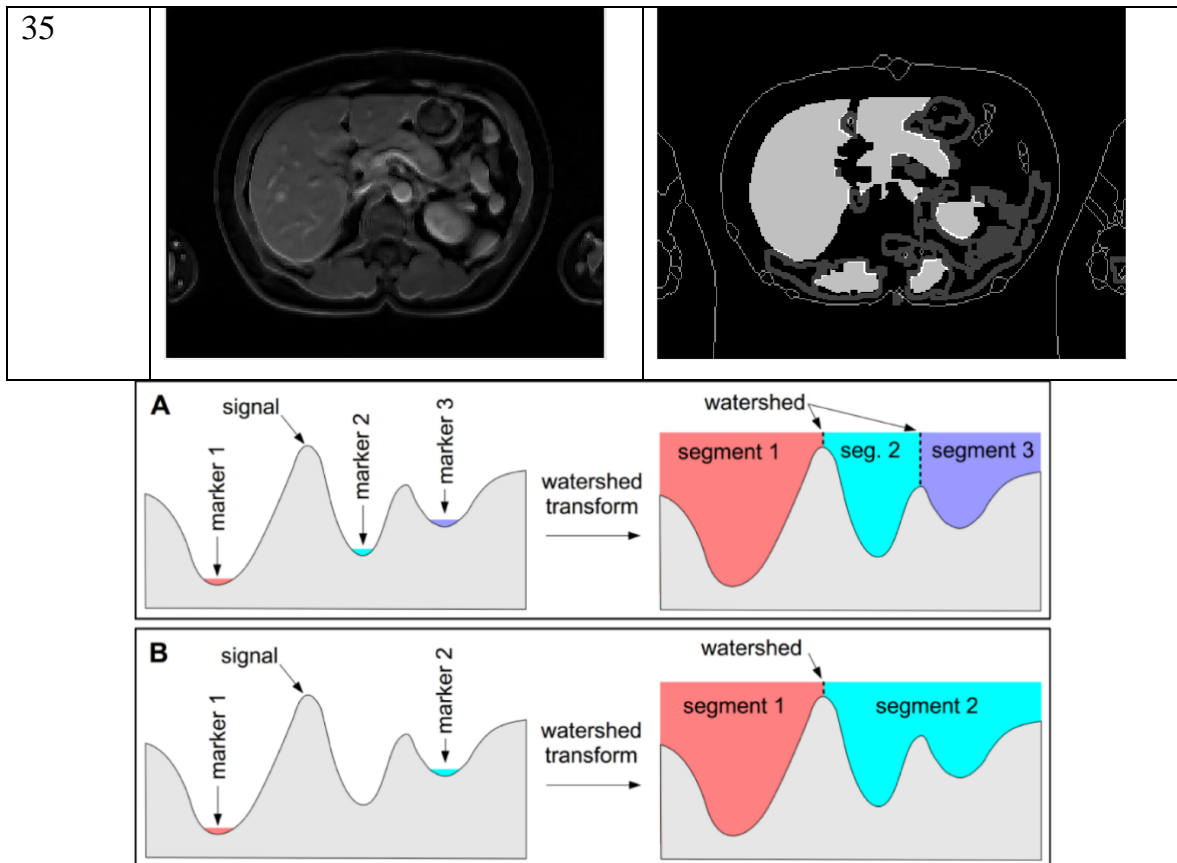
3.6.3 Phân vùng từ các điểm đánh dấu

Phân vùng từ các điểm đánh dấu là một kỹ thuật rất hiệu quả để sự phân đoạn quá mức. Lưu vực từ các điểm đánh dấu cũng có thể được mô tả như là một quá trình mô phỏng lũ lụt. Trong trường hợp này, các lưu vực được đánh dấu bởi các điểm. Mỗi điểm đánh dấu liên kết với một màu. Lưu vực sẽ ngập từ bên dưới,

Ứng dụng thuật toán Watershed trong phân đoạn ảnh MRI 3D

nếu một lưu vực không được đánh dấu nước sẽ dâng lên đến khi nào gặp một lưu vực khác cũng có nước nhưng màu sắc khác thì một con đập(dams/ridge line) sẽ được xây dựng.

Slice	Ảnh đã làm mịn	Phân vùng đánh dấu labels
19		
22		
28		



Hình 3. 9. Watershed từ các điểm đánh dấu

Như hình A có 3 điểm đánh dấu thì vùng nước đó sẽ được chia thành 3 lưu vực riêng biệt. Hình B có 2 điểm đánh dấu thì sẽ chia thành 2 lưu vực.

CHƯƠNG 4. MỘT SỐ THUẬT TOÁN HẬU XỬ LÝ ẢNH

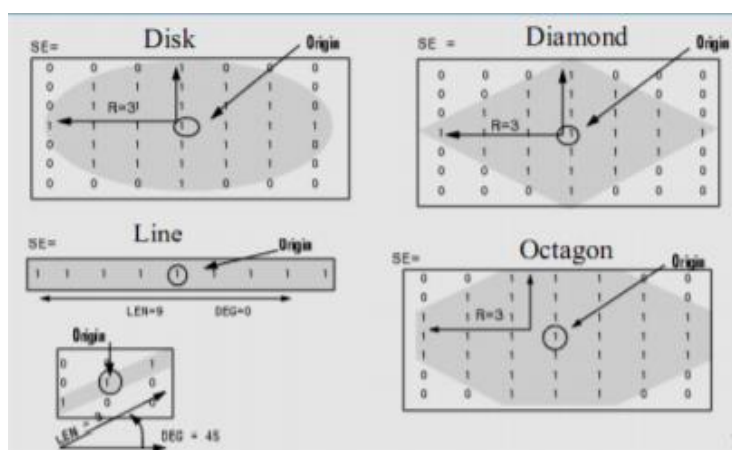
4.1 Phép toán hình thái học (Morphological operation)

4.1.1 Phần tử cấu trúc

Đối với ảnh nhị phân, phần tử cấu trúc là một ảnh có kích thước nhỏ gồm có hai giá trị 0 và 1, các giá trị bằng 0 được bỏ qua trong quá trình tính toán, gọi $H(i, j)$ là phần tử cấu trúc của ảnh nhị phân và được thể hiện như sau :

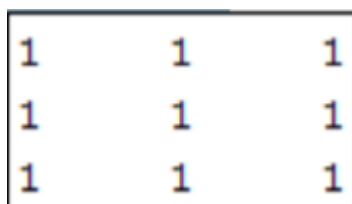
$$H(i, j) \in \{0, 1\}$$

Một số hình dáng của phần tử cấu trúc thường được sử dụng trên ảnh nhị phân: dạng đường theo chiều ngang và dọc, hình vuông, hình ellipse, ...



Đối với ảnh xám, phần tử cấu trúc là không phẳng, tức là các phần tử cấu trúc sử dụng các giá trị 0 và 1 để xác định phạm vi của phần tử cấu trúc trong mặt phẳng x và mặt phẳng y và thêm giá trị độ cao để xác định chiều thứ ba. Cấu trúc phần tử không phẳng gồm có hai phần:

Phần thứ nhất: Một mảng hai chiều gồm có các giá trị 0 và 1, trong đó giá trị bằng 1 xác định hàng xóm của phần tử cấu trúc.



Phần thứ hai: Một mảng hai chiều có kích thước bằng với kích thước của mảng hai chiều ở phần thứ nhất nhưng chứa các giá trị thực của phần tử cấu trúc.

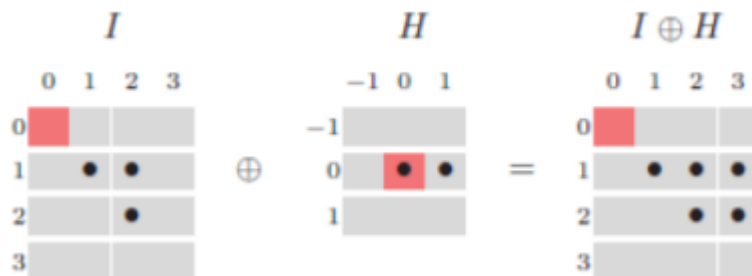
0	1.4996	0
1.4996	2.9992	1.4996
0	1.4996	0

4.1.2 Phép toán giãn (Dilation)

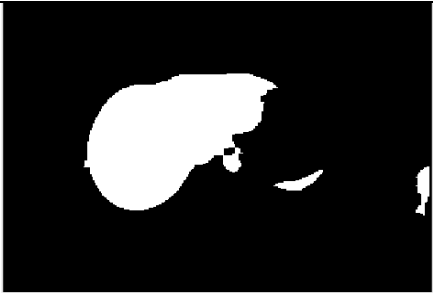





Gọi A là ảnh gốc, B là một phần tử cấu trúc. Phép giãn nhị phân của ảnh A với phần tử cấu trúc B được kí hiệu $A \oplus B$ và chúng ta có thể biểu diễn phép toán co ảnh dưới dạng phép toán tổ hợp như sau:

$$A \oplus B = \{z | (\hat{B} \cap A) \subseteq A\}$$

Phép giãn ảnh nhị phân của tập A bởi phần tử cấu trúc B là tập hợp của các điểm z (z là tâm của phần tử cấu trúc B trên tập A) sao cho phản xạ của Bz giao với tập A tại ít nhất một điểm.



Slice	Ảnh đối tượng bên trong	Ảnh đối tượng sau khi giãn
19		

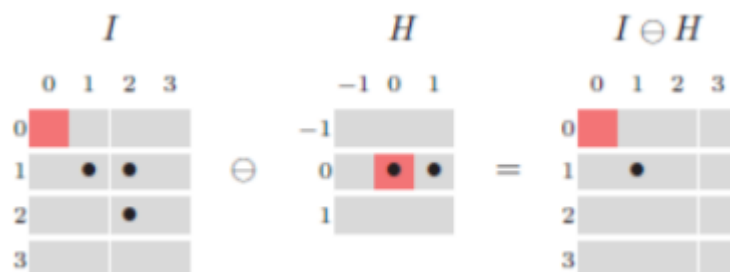
22		
28		
35		

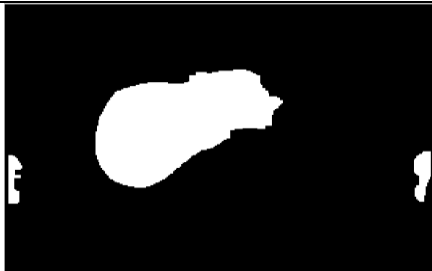
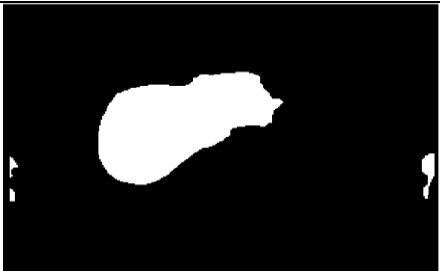

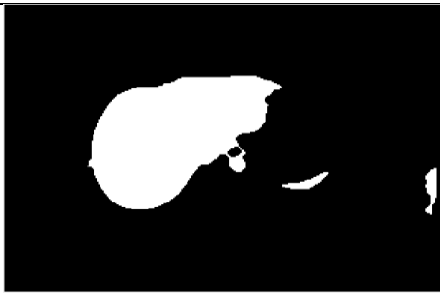




4.1.3 Phép toán co (Erosion)

Xét tập hợp A và tập hợp B (Phần tử cấu trúc), phép co ảnh nhị phân của tập hợp A bởi phần tử cấu trúc B được kí hiệu $A \ominus B$ và viết dưới dạng công thức như sau:

$$A \ominus B = \{z | (B)_z \subseteq A\}$$


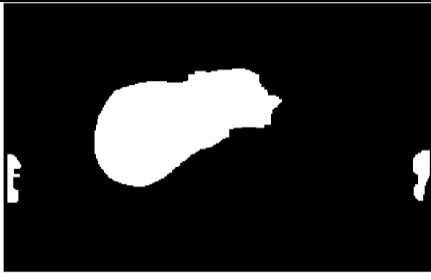

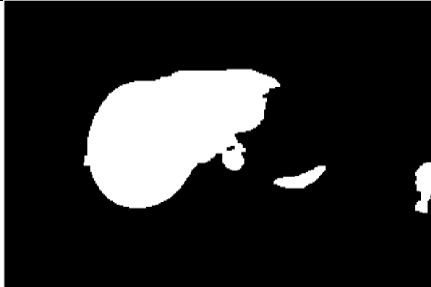




Phép co ảnh nhị phân của tập hợp A bởi phần tử cấu trúc B là tập hợp các điểm z (z nằm ở tâm điểm của phần tử cấu trúc B) sao cho B_z là tập con của A.



Slice	Ảnh đối tượng loại bỏ viền	Ảnh đối tượng sau khi co
19		
22		
28		
35		

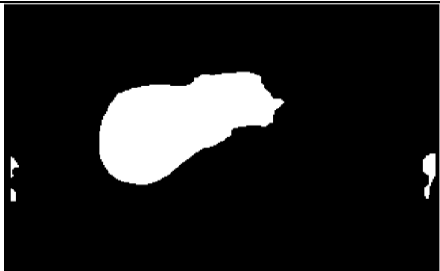
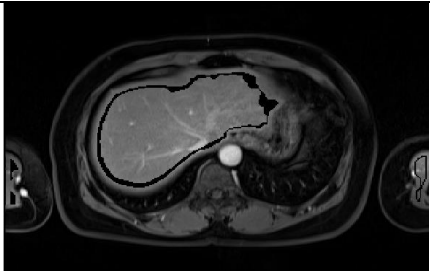
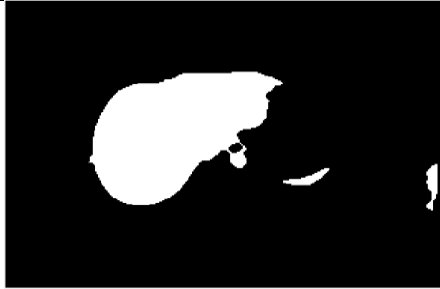
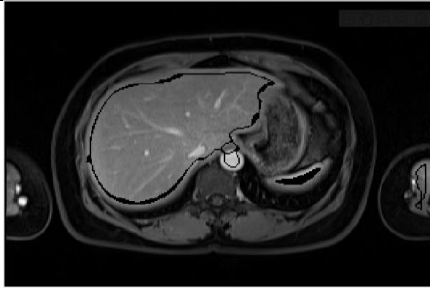

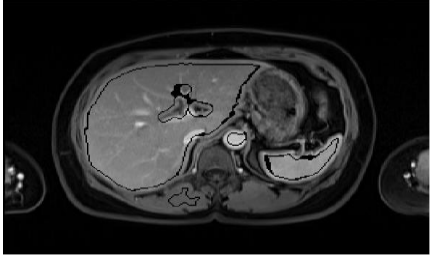


4.2 Loại bỏ các cấu trúc ánh sáng kết nối với viền hình ảnh

Mục đích là triệt tiêu các cấu trúc trong ảnh sáng hơn môi trường xung quanh, được kết nối với viền hình ảnh và xóa đường viền hình ảnh.

Slice	Ảnh đối tượng sau khi giản	Ảnh đối tượng loại bỏ viền
19		
22		
28		
35		

4.3 Hiển thị kết quả đối tượng phân đoạn

Mục đích là trả về kết quả đối tượng đã được phân đoạn bằng cách chồng chập ảnh sau khi tìm bao đóng đối tượng lên ảnh gốc.

Slice	Ảnh đối tượng sau khi co	Ảnh kết quả
19		
22		
28		
35		

CHƯƠNG 5. THỰC NGHIỆM, PHÂN TÍCH, ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

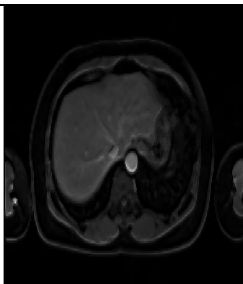
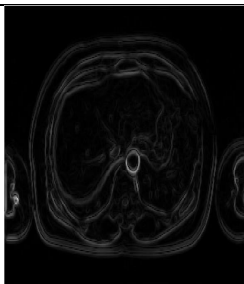

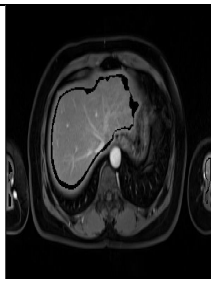
5.1 Thực nghiệm, phân tích

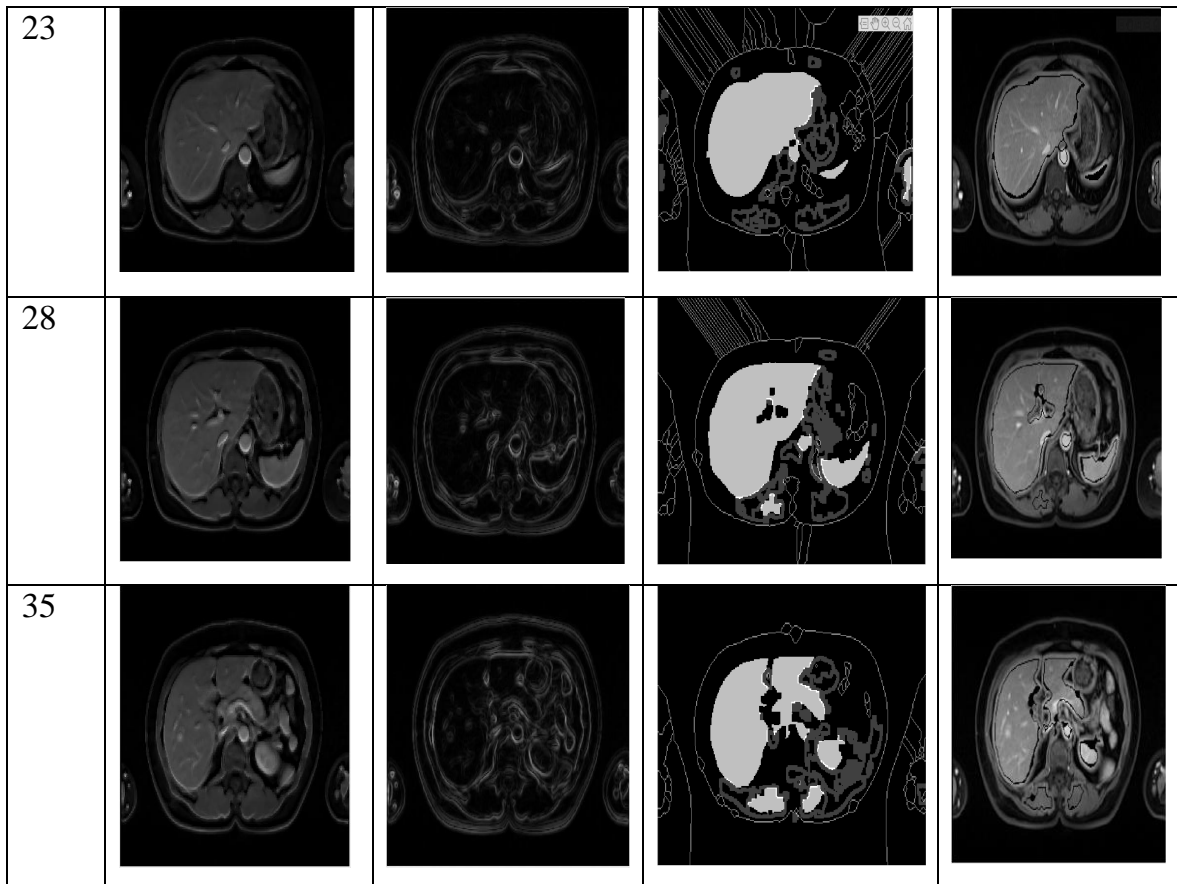
Ảnh MRI 3D được xử lý thông qua các thuật toán đề xuất trong phần mềm Matlab. Các kỹ thuật xử lý hình ảnh khác nhau như hoạt động hình thái, phân đoạn, biến đổi watershed, biến đổi marker-controlled watershed đã được sử dụng để tách đối tượng gan thành các vùng khác nhau. Kết quả của các kỹ thuật và thuật toán xử lý ảnh này có thể được nhìn thấy trong bốn hình ảnh MRI sau

Các bước phân đoạn ảnh bằng chương trình Matlab

1. Đọc ảnh gốc và chuyển về ảnh xám
2. Làm mịn ảnh
3. Dùng cường độ ảnh để phân đoạn ảnh
4. Đánh dấu foreground Objects
5. Tính toán Background Objects
6. Tính toán biến đổi watershed từ chức năng phân đoạn ảnh
7. Hiển thị kết quả phân đoạn

Nhưng ở đây chỉ minh họa ba bước: 2, 3, 6, 7 trong bảng dưới đây

Slice	Ảnh đã làm mịn	Ảnh gradient	Kết quả Watershed	Ảnh kết quả
19				



Phân tích chi tiết các bước

Bước 1: Đọc ảnh gốc và đổi ảnh xám

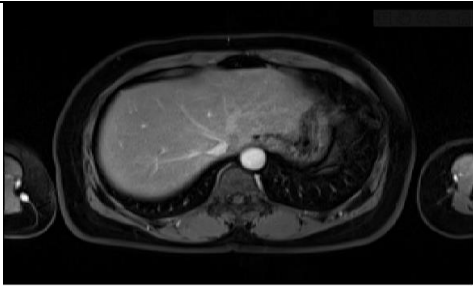
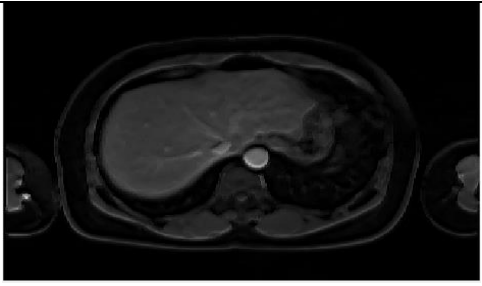
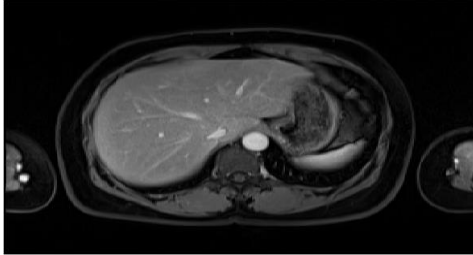
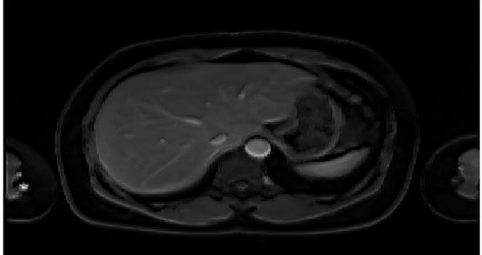
```
folder = 'MRI0005/phase2';  
files = dir(fullfile(pwd,folder, '*.dcm'));  
array3d = zeros(230, 320, length(files));  
disp(length(files));  
for x = 1 : length(files)  
    slice = dicomread(fullfile(pwd, folder, files(x).name));  
    array3d(:, :, x) = mat2gray(slice);  
end
```

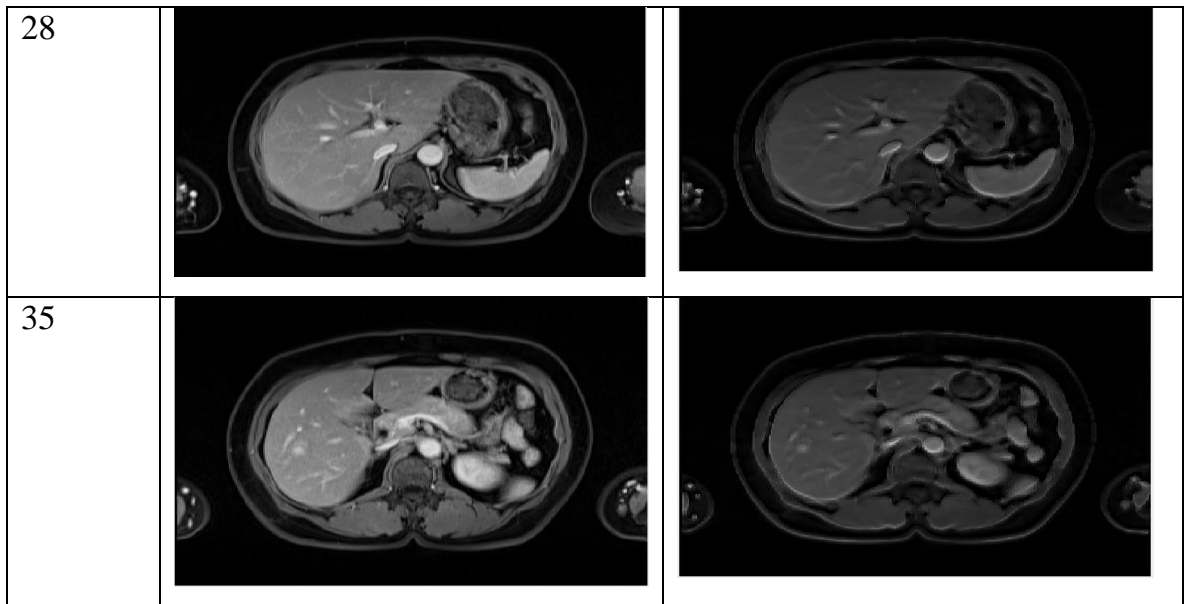
Bước 2: Làm mịn ảnh

```
arraySmt = zeros(230, 320, length(files));
```

Ứng dụng thuật toán Watershed trong phân đoạn ảnh MRI 3D

```
for i = 1 : length(files)
    Gmag = medfilt2(array3d(:,:,i), [5 5]);
    arraySmt(:,:, i) = Gmag;
end
arrayGmag = zeros(230, 320, length(files));
eGmag = zeros(230, 320, length(files));
for i = 1 : length(files)
    Gmag1 = arraySmt(:,:,i) - imfilter(arraySmt(:,:,i),fspecial('log',[3 3],0.5),
'replicate');
    eGmag(:,:, i) = Gmag1;
    sb = imfilter(arraySmt, fspecial('sobel'), 'replicate');
    sbSmt = imfilter(sb, ones(3)/9);
    gsSmt = imadd(eGmag, sbSmt);
    addSmt = imadd(arraySmt,gsSmt);
    descBr = 2 .* addSmt.^1;
    arrayGmag = descBr;
end
```

Slice	Ảnh xám	Ảnh làm mịn
19		
22		



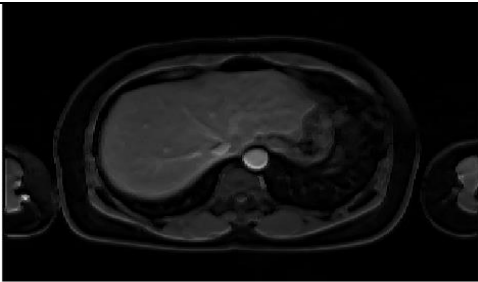
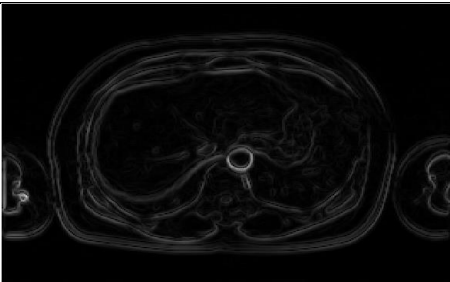
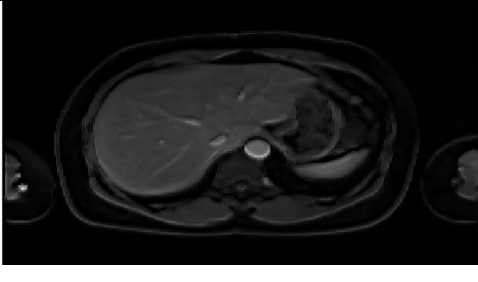
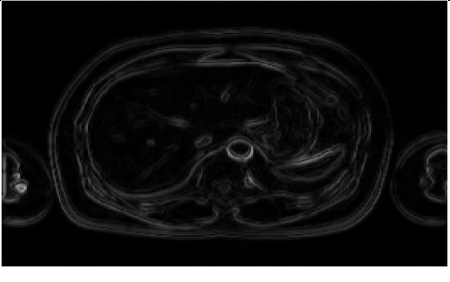

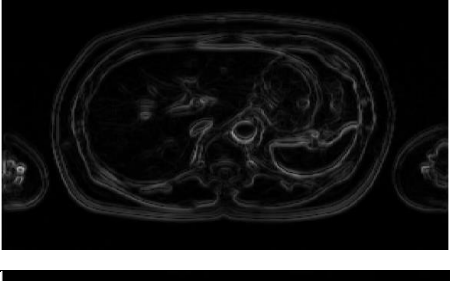
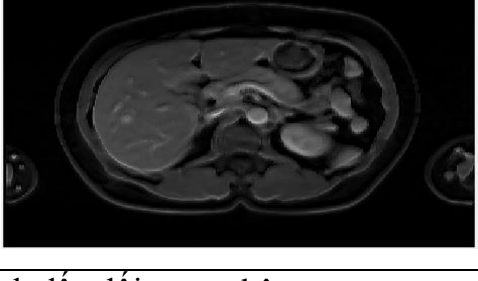
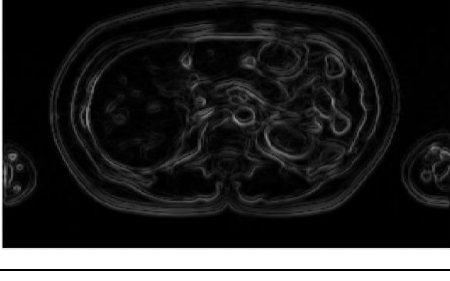
Bước 3: Cường độ ảnh và tính toán số học đơn giản

```
arrayGra = zeros(230, 320, length(files));  
arraygra = zeros(230, 320, length(files));  
for i = 1 : length(files)  
    Gmag2 = imgradient(arrayGmag(:,:,i));  
    arraygra(:,:,i) = Gmag2;  
    gmag2 = 2 .* arraygra .^ 0.9;  
    arrayGra = gmag2;  
end
```

Cường độ ảnh được dùng để tránh việc phân tách quá mức, chuyển đổi hình thái chỉ áp dụng cho ảnh xám

$$\text{Gradient} = \text{maximum} - \text{minimum}$$

Ứng dụng thuật toán Watershed trong phân đoạn ảnh MRI 3D

Slice	Ảnh làm mịn	Ảnh gradient
19		
22		
28		
35		

Bước 3: Đánh dấu đối tượng bên trong

```
se = strel('disk', 43);
```

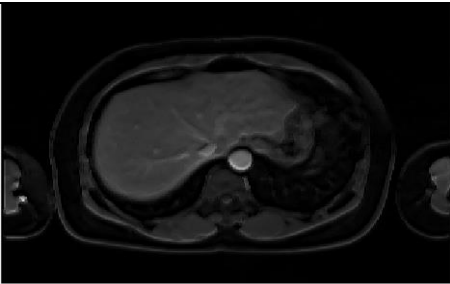
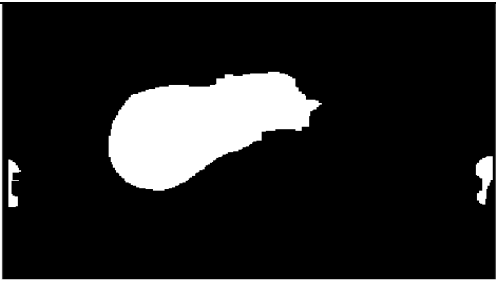
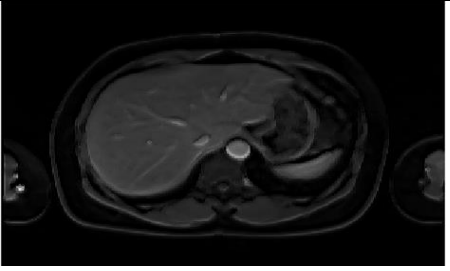
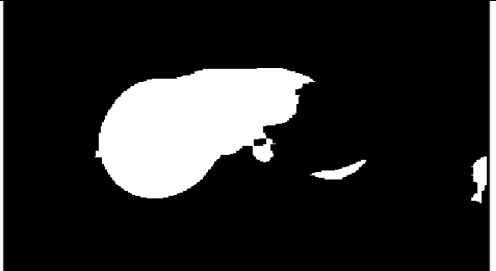
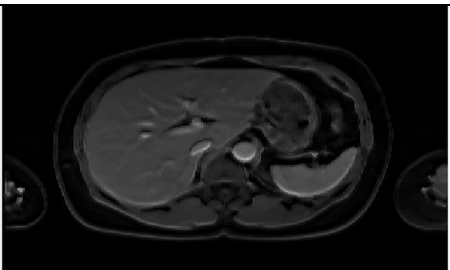

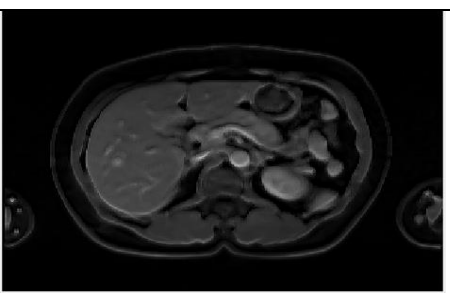

```
Io = imopen(array3d, se);
```

```
Ie = imerode(array3d, se);
```

```
Iobr = imreconstruct(Ie, array3d);
```

```
Ioc = imclose(Io, se);
```

```
Iobrd = imdilate(Iobr, se);  
Iobrcbr = imreconstruct(imcomplement(Iobrd), imcomplement(Iobr));  
Iobrcbr = imcomplement(Iobrcbr);  
  
for i = 1 : length(files)  
    temp = wiener2(Iobrcbr(:, :, i), [3 3]);  
    Iobrcbr(:, :, i) = temp;  
end  
  
fgm = imregionalmax(Iobrcbr);  
  
se2 = strel(ones(3));  
fgm2 = imclose(fgm, se2);  
fgm3 = imerode(fgm2, se2);  
fgm4 = bwareaopen(fgm3, 150, 4); % remove all pixel 0  
I3 = array3d;  
fgm = imregionalmax(fgm4);  
I3(fgm4) = 255;
```

Slice	Ảnh đã làm mịn	Đối tượng bên trong
19		
22		
28		
35		

Kết quả bước 3: xác định được đối tượng bên trong

Bước 4: Xác định đối tượng bên ngoài

sum1 = 0;

for i = 1 : length(files)

 sum1 = sum1 + graythresh(Iobrcbr(:, :, i));

end

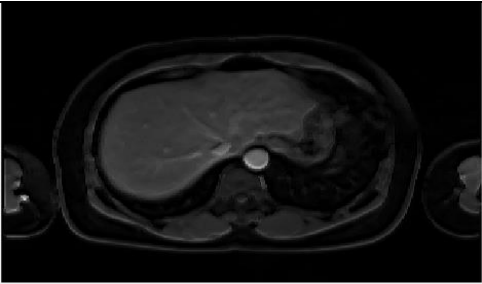
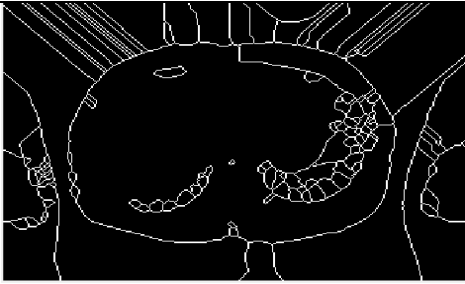
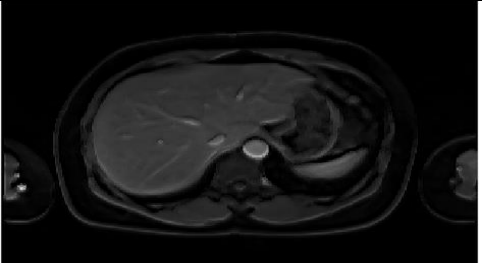
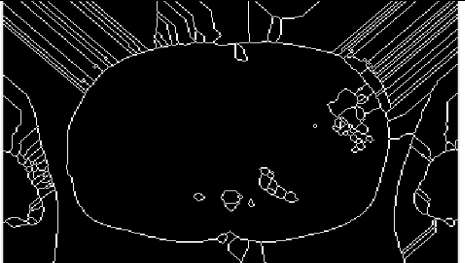
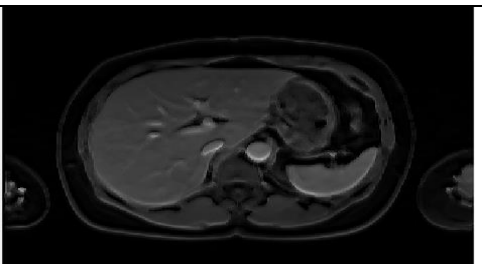

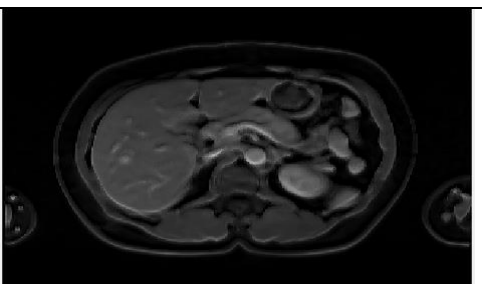
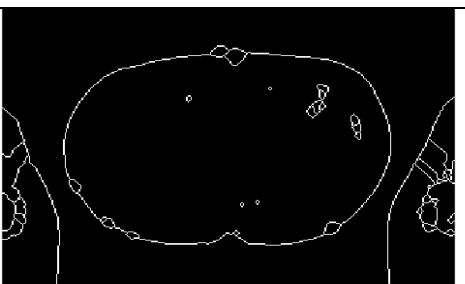
Ứng dụng thuật toán Watershed trong phân đoạn ảnh MRI 3D

```
avgGrayThresh = sum1/length(files);
bw = imbinarize(I3, avgGrayThresh);
```

```
D = bwdist(bw);
```

```
DL = watershed(D, 4);
```

```
bgm = DL == 0;
```

Slice	Ảnh đã làm mịn	Đối tượng bên ngoài
19		
22		
28		
35		

Bước 5: Tính toán watershed transform

```
gmag2 = imimposemin(arrayGmag, bgm | fgm4);
```

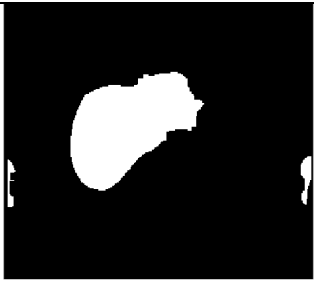
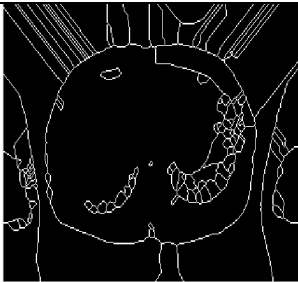
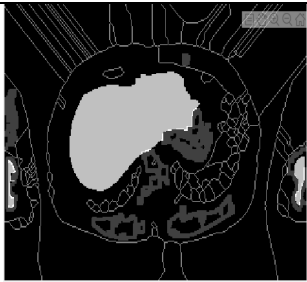
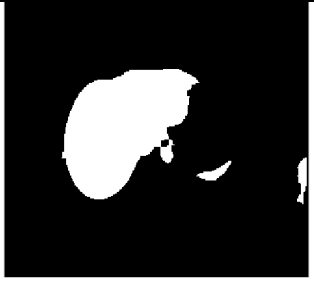
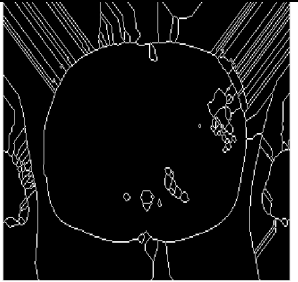
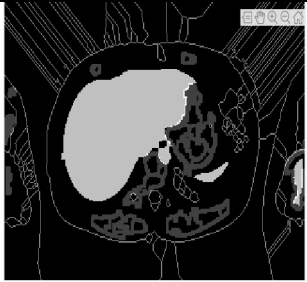

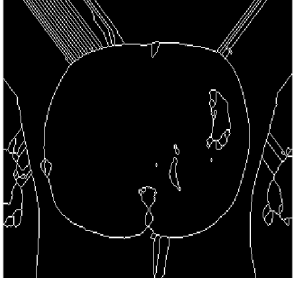

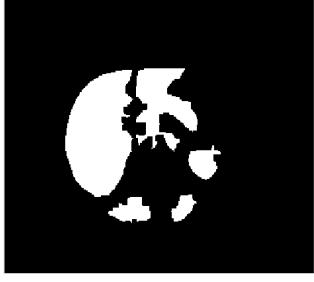
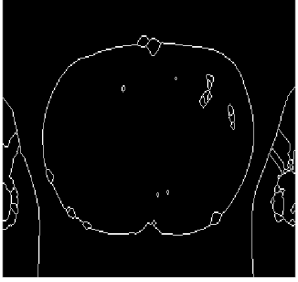
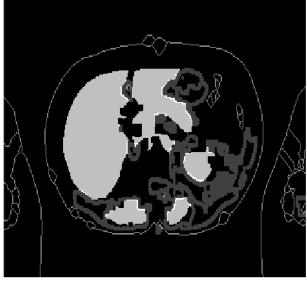
L2 = watershed(gmag2);

Bước 6: Hiển thị kết quả quá trình thực nghiệm

f2 = arrayGmag;

f2(imdilate(L2 == 0, ones(3, 3)) | bgm | fgm4) = 255;

labels = imdilate(L2 == 0, ones(3, 3)) + 2*bgm + 3*fgm4;

Slice	Đối tượng bên trong	Đối tượng bên ngoài	Phân vùng đánh dấu labels
19			
22			
28			
35			

Bước 7: Hiển thị kết quả

Ứng dụng thuật toán Watershed trong phân đoạn ảnh MRI 3D

```
se90 = strel('line', 3, 90);
se0 = strel('line', 3, 10);

BWsdil = imdilate(fgm4, [se90 se0]);
figure(1), imshow3D(fgm4);
figure(2), imshow3D(BWsdil);

Bwdfill = imfill(BWsdil, 'holes');

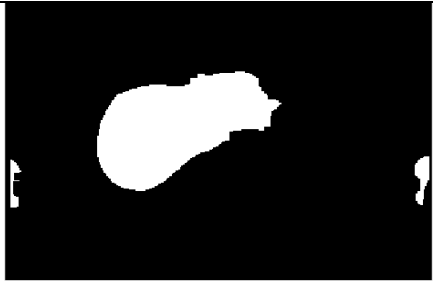
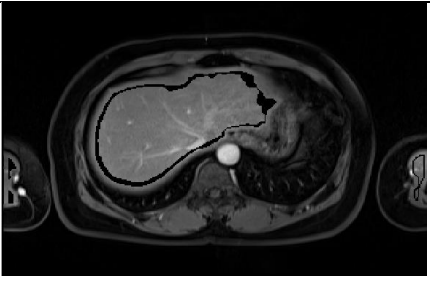
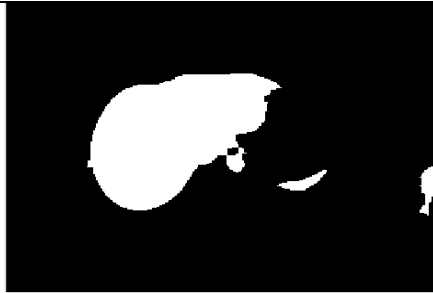
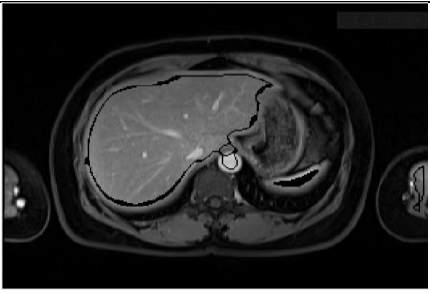

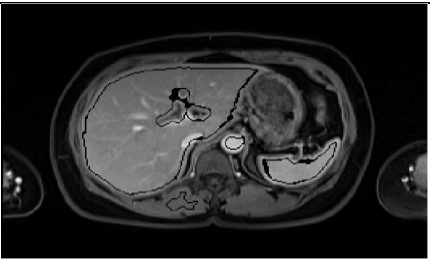
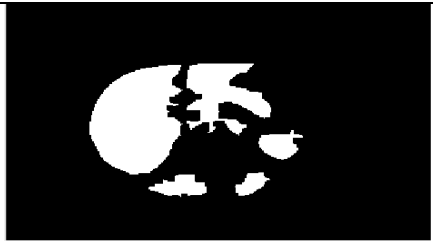
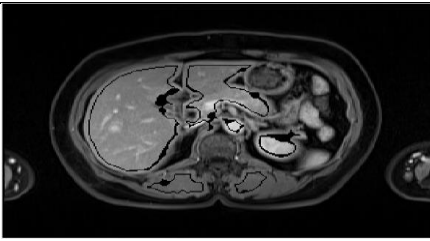
Bwnobord = imclearborder(Bwdfill, 8);
figure(3), imshow3D(Bwnobord);

seD = strel('diamond', 1);
Bwfinal = imerode(Bwnobord, seD);
Bwfinal = imerode(Bwfinal, seD);

figure(4), imshow3D(Bwfinal), title('Final image');

Bwoutline = bwperim(Bwfinal);
Segout = array3d;
Segout(Bwoutline) = 0;
figure(5), imshow3D(Segout), title('Final image');
```

Slice	Ảnh đối tượng bên trong	Ảnh kết quả
-------	-------------------------	-------------

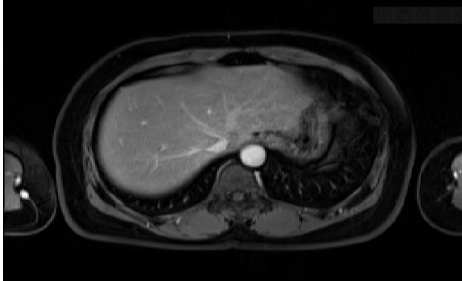

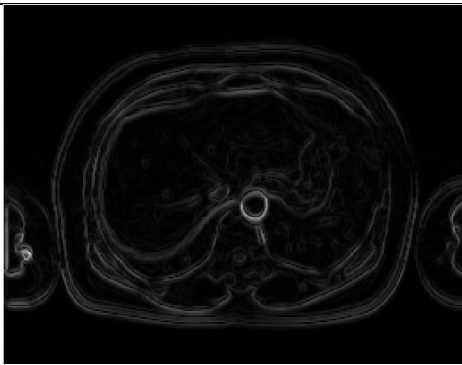
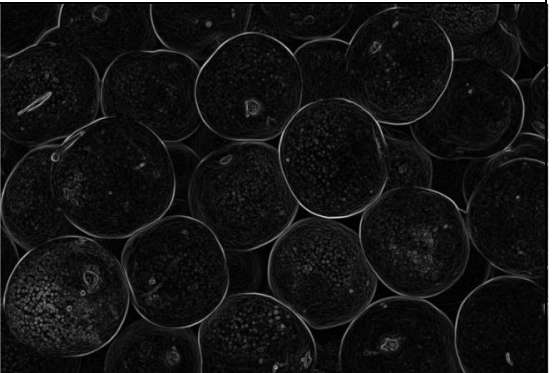
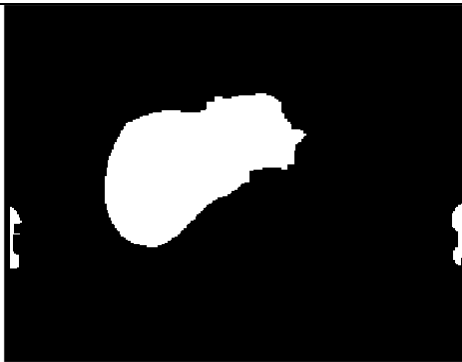
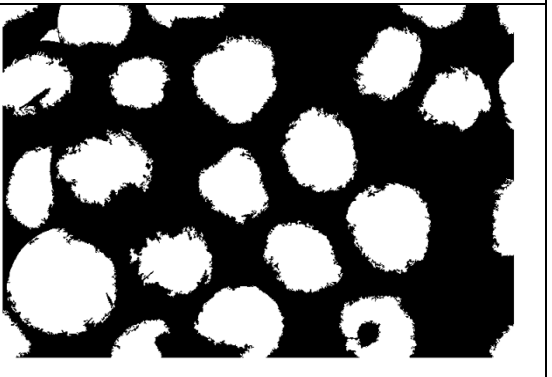
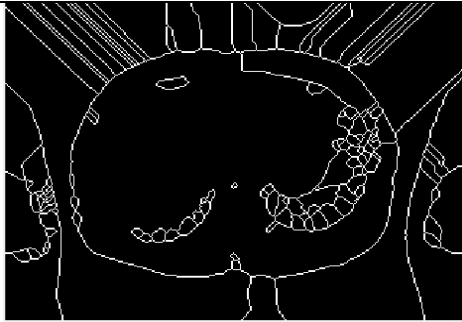
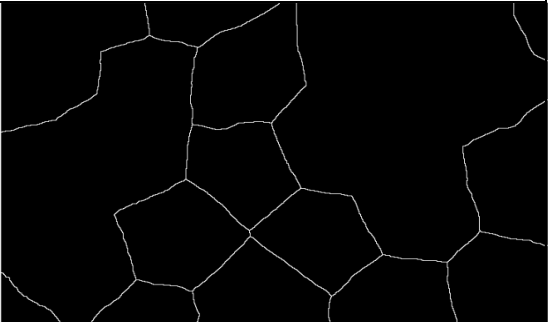
19		
22		
28		
35		


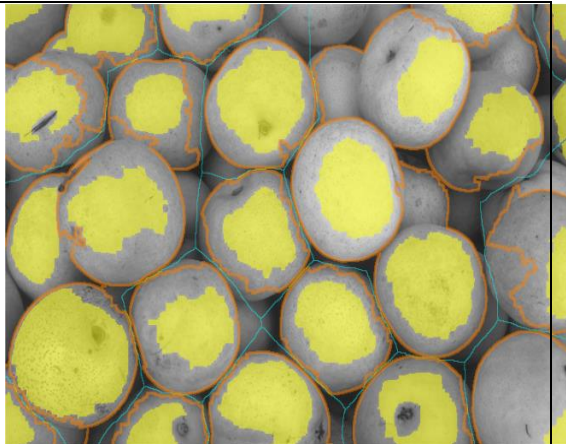
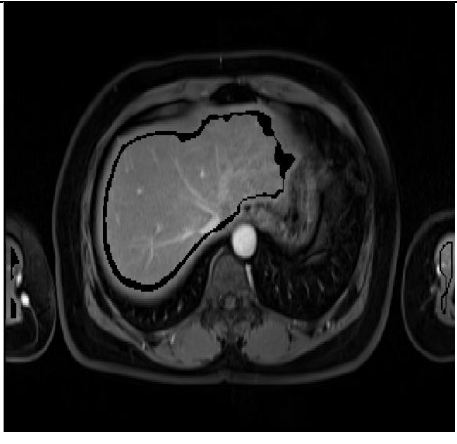
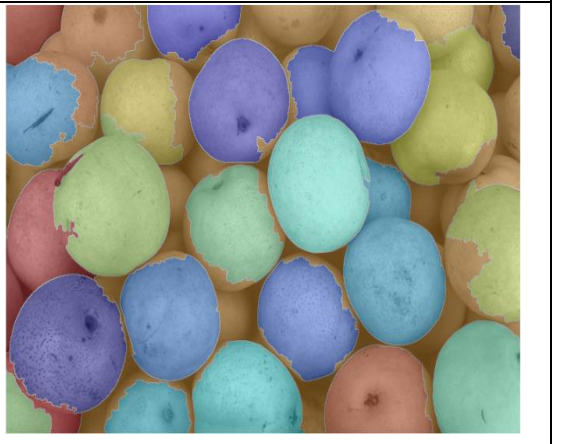
5.2 Đánh giá kết quả

Việc phân tách đối tượng trong một bức ảnh là một trong những điều khó khăn trong xử lý ảnh. Biến đổi watershed thường được áp dụng cho vấn đề trên. Vận dụng biến đổi watershed để tìm lưu vực và ridge lines trong một hình ảnh bằng cách coi nó như một bề mặt nơi các pixel mức sáng cao và các pixel mức thấp. Sự phân tách đối tượng có hiệu quả khi phát hiện hoặc đánh dấu được đâu là đối tượng bên trong (foreground objects) và bên ngoài (background objects).

Áp dụng đánh dấu kiểm soát đối tượng nhằm kiểm soát phân tách đối tượng làm cho kết quả khả thi so với áp dụng kỹ thuật biến đổi watershed cổ điển.

5.2.1 So sánh

Bước	Thực nghiệm	Bài báo ^[2]
Đọc ảnh gốc		
Ảnh gradient		
Đánh dấu đối tượng bên trong		
Đánh dấu đối tượng bên ngoài		

<p>Hiện thị đánh dấu đối tượng bên trong và bên ngoài</p>		
<p>Hiện thị ảnh đã phân vùng</p>		

Nhận xét: Kết quả thực hiện đã tách được đối tượng Gan trong ổ bụng người nhưng do quá trình tiền xử lý chưa ổn nên ảnh hưởng đến quá trình phân đoạn.

5.2.2 Ưu điểm của thuật toán Watershed

Có kết quả ổn định, ranh giới giữa lưu vực được phát hiện nối tiếp ít bị đứt đoạn.

Cung cấp các đường viền (contours) kín.

Yêu cầu thời gian tính toán thấp.

Phương pháp nhanh chóng, đơn giản và trực quan

Có thể tạo ra sự phân chia hoàn toàn của hình ảnh trong các khu vực riêng biệt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

[1] Bộ lọc Trung vị (Median filter) (05/02/2013),

<https://globlib4u.wordpress.com/2013/02/05/bo-loc-trung-vi-median-filter/>

Tiếng Anh

[2] Marker-Controlled Watershed Segmentation,

<https://www.mathworks.com/help/images/marker-controlled-watershed-segmentation.html>

[3] MATLAB Help Center, <https://www.mathworks.com/help/index.html/>

[4] Qiang Wu, Fatima Merchant, Kenneth R. Castleman (2008),

”*Microscope Image Processing*”, Elsevier Inc., USA.

[5] David Atkinson, “*DICOM (for MRI images)*”, National Electrical Manufacturers Association, USA.

[6] “*Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)*”, National Electrical Manufacturers Association, USA.