

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HCM
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN**

LÊ TRỌNG NGỌC

**TIẾP CẬN TÍNH TOÁN THÔNG MINH CHO
VIỆC TRÍCH XUẤT GAN VÀ U GAN TỪ
ẢNH MR Ổ BỤNG BA CHIỀU**

Ngành: khoa học máy tính

Mã số ngành: 62480101

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KHOA HỌC MÁY TÍNH

Tp. Hồ Chí Minh năm 2019

Công trình được hoàn thành tại trường Đại học Khoa học Tự nhiên –
Đại học quốc gia TP HCM

Người hướng dẫn khoa học

1. HDC: PGS.TS. Huỳnh Trung Hiếu
2. HDP: PGS.TS. Phạm Thế Bảo

Phản biện 1: TS. Lê Thành Sách

Phản biện 2: TS. Ngô Quốc Việt

Phản biện 3: TS. Hà Việt Uyên Synh

Phản biện độc lập 1: TS. Ngô Quốc Việt

Phản biện độc lập 2: TS. Hà Việt Uyên Synh

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp cơ sở đào
tạo hợp tại trường Đại học Khoa học Tự nhiên

Vào hồi giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

1. Thư viện Tổng hợp Quốc gia Tp.HCM
2. Thư viện trường Đại học Khoa học tự nhiên - HCM

MỞ ĐẦU

Theo thông tin của tổ chức y tế thế giới (WHO) thì ung thư là nguyên nhân tử vong lớn thứ hai trên thế giới. Theo báo cáo của WHO năm 2014, Việt nam có thêm 16.815 ca ung thư gan ở nam giới (chiếm số lượng cao nhất trong các loại ung thư) và 5.182 ca ung thư gan ở nữ giới (đứng thứ ba sau ung thư vú và ung thư phổi). Từ đó cho thấy việc điều trị ung thư nói chung và ung thư gan nói riêng trở nên cấp thiết

Tất cả các phác đồ điều trị đều cho thấy việc trích xuất gan và u gan (tức là xác định thể tích và vị trí của gan và u gan) là cần thiết. Công việc này được các bác sỹ thực hiện một cách thủ công trên từng lát cắt (slice) của ảnh chụp cắt lớp vi tính (CT, Computed Tomography) hoặc ảnh cộng hưởng từ (MR, Magnetic Resonance). Công việc này mất nhiều thời gian và độ chính xác phụ thuộc vào kinh nghiệm, kiến thức của người thực hiện.

Với việc ngày càng giảm giá thành, không chịu tác hại của tia X như ảnh CT và ưu thế chẩn đoán của ảnh MR trong nhiều trường hợp thì ảnh MR là một lựa chọn ngày càng phổ biến trong chẩn đoán và điều trị bên cạnh ảnh CT. Tuy nhiên với sự phân bố mức xám phức tạp của ảnh MR thì việc phát triển các phương pháp trích xuất gan và u gan từ ảnh này còn nhiều hạn chế, áp dụng các phương pháp trích xuất gan và u gan từ ảnh CT vào ảnh MR phần lớn không thành công. Hiện nay chưa nhiều công trình có ý nghĩa về trích xuất gan và u gan từ ảnh MR ổ bụng được công bố.

Từ những trình bày trên hình thành bài toán nghiên cứu của luận án là đề xuất thuật toán trích xuất gan và u gan từ ảnh MR ổ bụng ba chiều.

Hiệu quả của thuật toán trích xuất gan và u gan được đánh giá qua thời gian thực thi, mức độ hỗ trợ của máy tính (tự động hay bán tự động) và độ chính xác của kết quả trích xuất.

Để đánh giá độ chính xác của kết quả trích xuất gan và u gan, ta phải so sánh với mô hình thật của gan và u gan. Tuy nhiên thực tế ta không có được mô hình thật này. Vì thế để phục vụ nghiên cứu thì mô hình thật của gan và u gan thường được xác định trên ảnh thông qua chuyên gia kinh nghiệm.

Với mỗi lát cắt của ảnh MR ổ bụng ba chiều, chuyên gia sẽ vẽ thủ công biên gan và biên u gan. Từ đó xác định mô hình của gan và u gan, mô hình này được xem như là tiêu chuẩn vàng thay thế mô hình thật.

Kết quả trích xuất sử dụng thuật toán sẽ được so sánh với tiêu chuẩn vàng để đánh giá hiệu quả của thuật toán. Các độ đo thể hiện sự phù hợp của kết quả trích xuất gan bằng thuật toán so với tiêu chuẩn vàng là các độ đo thể tích như độ chính xác (Accuracy), hệ số Dice và tỷ lệ thể tích trích xuất lỗi. Đối với kết quả trích xuất u gan còn sử dụng thêm các độ đo khoảng cách giữa bề mặt u gan trích xuất bằng thuật toán và tiêu chuẩn vàng như *ASSD* (average symmetric surface distance), độ đo *RMSSD* (root mean square symmetric surface distance) và *MSSD* (mean symmetric surface distance)

Các độ đo này được sử dụng phổ biến từ các hội nghị MICCAI 2007¹, MICCAI 2008² và được dùng rộng rãi trong các nghiên cứu về phân đoạn ảnh y khoa. Các độ đo được trình bày và thảo luận chi tiết trong phụ lục .

Dữ liệu thực nghiệm được thu thập từ trung tâm y khoa MEDIC (Việt nam), trung tâm y khoa đại học Chicago (Hoa kỳ), TCIA (The Cancer Imaging Archive)³. Biên gan và u gan được các chuyên gia của các trung tâm này xác định.

¹ <http://sliver07.org/miccai.php>

² <https://web.archive.org/web/20131216120403/http://its08.bigr.nl/>

³ <http://www.cancerimagingarchive.net/>

CHƯƠNG 1 - TỔNG QUAN

Nguyên lý cơ bản của tạo ảnh MR dựa vào hiện tượng cộng hưởng từ hạt nhân. Trong các máy chụp ảnh MR hiện nay dùng hạt nhân nguyên tử hydro trong nước. Vì thế phân bố mức xám trong ảnh MR ổ bụng phụ thuộc vào phân bố các phần nước. Khi xuất hiện u gan, phân bố nước trong gan nói riêng và vùng bụng nói chung sẽ thay đổi dẫn đến phân bố mức xám của ảnh MR cũng thay đổi. Vì thế các phương pháp trích xuất gan từ ảnh MR ổ bụng trong trường hợp không bị ung thư gan sẽ khó áp dụng trực tiếp đối với trường hợp bị ung thư gan.

Nhiều công bố trích xuất gan từ ảnh CT ổ bụng dựa vào các giả định: nhu mô gan gần như đồng nhất, việc nâng cao độ tương phản làm cho gan sáng hơn các nội tạng xung quanh. Hai giả định này không đúng trong ảnh MR, vì thế các phương pháp trích xuất gan từ ảnh CT khó áp dụng trực tiếp đối với ảnh MR.

U gan trong ảnh MR ổ bụng ba chiều có mức xám biến thiên phức tạp và trùng với nhiều vùng ngoài u (bao gồm trong gan và ngoài gan). U gan không có cấu trúc hình học nhất định và biên của cũng không rõ ràng, vì thế các thuật toán xử lý ảnh cơ bản và dựa trên thông tin hình học ít được sử dụng.

Các công bố gần đây về trích xuất khối u gan ác tính chủ yếu vẫn tập trung vào dữ liệu ảnh CT và cải tiến các phương pháp ở MICCAI 2008. Hiện vẫn chưa tìm thấy công bố có ý nghĩa nào sử dụng dữ liệu ảnh MR.

CHƯƠNG 2 - MÔ HÌNH TOÁN HỌC CHO BÀI TOÁN TRÍCH XUẤT GAN TỪ ẢNH MR Ổ BỤNG BA CHIỀU

2.1. Mô hình toán học cho bài toán trích xuất gan

Trước hết ảnh được biểu diễn thông qua hàm số được định nghĩa như công thức (2.1)

$$I : \Omega \subset \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}, \quad (2.1)$$

trong đó I là hàm có đạo hàm mọi cấp và $I(x, y, z)$ là giá trị mức xám tại điểm ảnh tọa độ (x, y, z) . Luận án sử dụng ảnh I tương đương với hàm I .

Do I là hàm số liên tục và có đạo hàm mọi cấp nên có thể định nghĩa các toán tử gradient, div, laplace.

Tiếp đến biên của gan được biểu diễn như một mặt đồng mức. Không mất tính tổng quát ta dùng hàm đồng mức cho giá trị không (0), lúc này biên được viết như phương trình (2.2)

$$\Gamma = \{(x, y, z) \mid \phi(x, y, z) = 0\}, \quad (2.2)$$

trong đó ϕ là hàm đồng mức cho giá trị không. Trong toàn bộ luận án sử dụng hàm đồng mức là hàm khoảng cách có dấu.

Với việc biểu diễn biên gan dùng tập đồng mức, các thông tin hình học (pháp vector, độ cong) của biên gan có thể xác định thông qua hàm đồng mức ϕ như công thức (2.3)

$$\mathbf{n} = \frac{\nabla \phi}{\|\nabla \phi\|}, \quad \kappa = \operatorname{div} \left(\frac{\nabla \phi}{\|\nabla \phi\|} \right). \quad (2.3)$$

Kỹ thuật biến phân đưa bài toán tìm biên gan về bài toán tối ưu như (2.4).

$$\phi^* = \arg \min_{\phi} E(\phi). \quad (2.4)$$

Nếu xây dựng phiếm hàm năng lượng $E(\phi)$ phù hợp, theo phương pháp giảm gradient ta có thể xác định được biên gan từ biên khởi tạo ϕ_0 ban đầu thông qua phương trình (2.5).

$$\begin{cases} \phi(x, y, z, t = 0) = \phi_0, \\ \frac{\partial \phi}{\partial t} = -\frac{dE(\phi)}{d\phi}. \end{cases} \quad (2.5)$$

Bài toán trích xuất gan tương đương với bài toán xác định biên gan, thể tích gan sẽ được xác định thông qua số điểm ảnh trong gan nhân với kích thước tương ứng của mỗi điểm ảnh. Từ đó ta có thuật toán tổng quát trích xuất gan như thuật toán 2.1

Thuật toán 2. 1- thuật toán tổng quát trích xuất gan

Đầu vào: Ảnh MR ổ bụng 3 chiều

Đầu ra: Biên gan và thể tích gan

1. Tiền xử lý: giảm nhiễu và xác định ảnh cạnh tiềm năng
 2. Xác định biên đồng mức xấp xỉ ϕ_0
 3. Xác định biên gan dùng công thức (2.7)
 4. Xác định thể tích gan
-

2.2. Thuật toán trích xuất gan

Trên cơ sở thuật toán 2.1, luận án triển khai một thuật toán trích xuất gan bán tự động sử dụng thuật toán Fast Marching để xác định biên gan xấp xỉ như thuật toán 2.3, sau đó tinh chỉnh biên gan xấp xỉ này sử dụng thuật toán GAC đã được cải tiến.

Trước hết bước khử nhiễu được thực hiện như thuật toán 2.2

Thuật toán 2. 2- Thuật toán tiền xử lý

Đầu vào: Ảnh MR ổ bụng 3 chiều

Tham số: ngưỡng λ , số lần lặp, bước thời gian, phương sai σ .

Đầu ra: Ảnh đã giảm nhiễu I_D và ảnh độ lớn gradient I_M

1. Xác định ảnh đã giảm nhiễu I_D dùng công thức

$$\frac{\partial I}{\partial t} = \text{div} \left(\frac{1}{1 + \frac{\nabla I^2}{\lambda^2}} \nabla I \right).$$

2. Xác định ảnh độ lớn gradient I_M dùng công thức

$$I_M = \sqrt{\left(\frac{\partial I_G}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial I_G}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial I_G}{\partial z} \right)^2},$$

$$I_G = I_D * \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{x^2+y^2+z^2}{2\sigma^2}},$$

Thuật toán Fast Marching xác định biên gan xấp xỉ từ một số điểm ban đầu trong gan, loang ra theo phương trình Eikonal

$$F \|\nabla T\| = 1 \quad (2.6)$$

Ta viết lại phương trình Eikonal như (2.7)

$$\left[\begin{array}{l} \max(D_{ijk}^{-x}T, -D_{ijk}^{+x}T, 0)^2 \\ + \max(D_{ijk}^{-y}T, -D_{ijk}^{+y}T, 0)^2 \\ + \max(D_{ijk}^{-z}T, -D_{ijk}^{+z}T, 0)^2 \end{array} \right]^{1/2} = e^{I_{\text{sig}}}. \quad (2.7)$$

trong đó

$$\begin{aligned}
 D_{ijk}^{-x}T &= \frac{T_{ijk} - T_{i-1jk}}{x_i - x_{i-1}}; D_{ijk}^{-y}T = \frac{T_{ijk} - T_{ij-1k}}{y_i - y_{i-1}}; D_{ijk}^{-z}T = \frac{T_{ijk} - T_{ijk-1}}{z_i - z_{i-1}} \\
 D_{ijk}^{+x}T &= \frac{T_{i+1jk} - T_{ijk}}{x_{i+1} - x_i}; D_{ijk}^{+y}T = \frac{T_{ij+1k} - T_{ijk}}{y_{i+1} - y_i}; D_{ijk}^{+z}T = \frac{T_{ijk+1} - T_{ijk}}{z_{i+1} - z_i}; \\
 T_{ijk} &= T(x_i, y_j, z_k); I_{Sig} = \frac{1}{e^{\frac{I_M - \beta}{\alpha}}}.
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

Thuật toán 2.3 Xác định biên gan xấp xỉ dùng Fast Marching

Đầu vào: Ảnh độ lớn gradient (I_M) của ảnh MR ổ bụng ba chiều, tập các điểm khởi tạo trong gan

Đầu ra: Biên gan xấp xỉ ϕ

Tham số: Ngưỡng thời gian T_{stop} , α và β

1. Tạo ảnh cạnh tiềm năng

1.1. Xác định ảnh cạnh tiềm năng dùng công thức (2.13)

2. Khởi tạo

2.1. Các điểm khởi tạo trong gan sẽ có $I_{fm}(x, y, z) = 0$ và đưa vào tập *Accepted*.

2.2. Các điểm láng giềng của các điểm trong tập *Accepted* mà không thuộc tập *Accepted* được đưa vào tập *NB*. Các điểm này được cập nhật thời gian đến theo công thức (2.14). Trong công thức này I_{fm} thay cho T .

2.3. Các điểm còn lại đưa vào tập *Far* và thiết lập thời gian đến

$$I_{fm}(x, y, z) = +\infty .$$

3. Lan truyền

3.1. Tìm điểm p trong NB có $I_{fm}(p)$ nhỏ nhất.

3.2. $Accepted = Accepted \cup \{p\}$.

3.3. $NB = NB / \{p\}$.

3.4. $\forall q \in N(p), q \notin Accepted$. Cập nhật thời gian đến điểm q theo công thức (2.14).

3.5. $\forall q \in N(p), q \notin Accepted \cup NB : NB = NB \cup \{q\}$.

Cho đến $T(q) = T_{stop}$.

4. Xác định biên gan xấp xỉ

$$\forall q \in I_{fm},$$

$$\text{Nếu } I_{fm}(q) = T_{stop} : \phi(q) = 0$$

$$\text{Nếu } I_{fm}(q) < T_{stop} : \phi(q) = 1$$

$$\text{Nếu } I_{fm}(q) > T_{stop} : \phi(q) = -1$$

Ở đây tập $N(x_i, y_j, z_k)$ các điểm láng giềng của điểm (x_i, y_j, z_k) được định nghĩa như công thức (2.9).

$$N(x_i, y_j, z_k) = \left\{ \begin{array}{l} (x_{i-1}, y_j, z_k), (x_{i+1}, y_j, z_k), \\ (x_i, y_{j-1}, z_k), (x_i, y_{j+1}, z_k), \\ (x_i, y_j, z_{k-1}), (x_i, y_j, z_{k+1}) \end{array} \right\}. \quad (2.9)$$

Tập *Accepted* chứa các điểm lưới đã được xác định thời gian đến, tập NB chứa các điểm láng giềng của các điểm trong *Accepted* mà không thuộc *Accepted*. Tập *Far* chứa các điểm còn lại của lưới.

Sau khi xác định biên gan xấp xỉ, biên này sẽ được tinh chỉnh sử dụng thuật toán GAC cải tiến.

$$\begin{cases} \phi(x, y, z; t = 0) = \phi_0, \\ \frac{\phi_{t+\Delta t} - \phi_t}{\Delta t} = \alpha \operatorname{div}(g(I) \|\nabla \phi\|) + \beta \operatorname{div}(\|\Delta I\| \|\nabla \phi\|). \end{cases} \quad (2.10)$$

Thuật toán 2. 4 Thuật toán trích xuất gan

Đầu vào: Ảnh MR ổ bụng ba chiều (I), tập các điểm gieo ban đầu

Đầu ra: biên gan

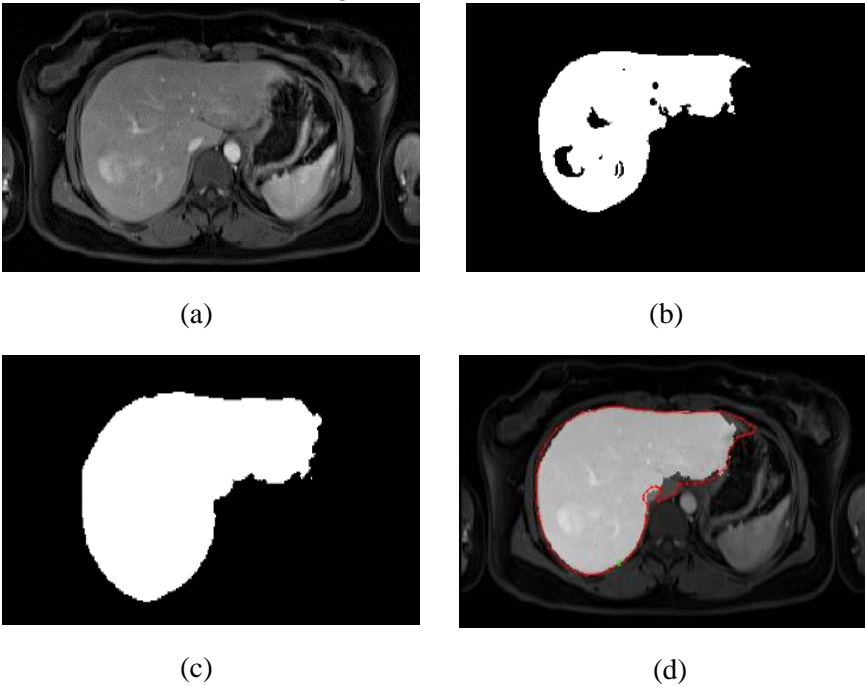
1. Tiền xử lý
 - 1.1. Tạo ảnh khử nhiễu và ảnh độ lớn gradient dùng thuật toán 2.2
2. Tạo biên gan xấp xỉ
 - 2.1. Tạo biên gan xấp xỉ dùng thuật toán 2.3
3. Tinh chỉnh biên gan
 - 3.1. Xác định ảnh laplace
 - 3.2. Tinh chỉnh biên gan sử dụng phương trình (2.10)
4. Xác định thể tích gan

2.3. Kết quả thực nghiệm

Thuật toán 2.4 được thực nghiệm trên tập dữ liệu gồm 12 ảnh MR ổ bụng ba chiều được thu thập tại trung tâm y khoa Medic.

Thời gian trích xuất trung bình là 1.04 ± 0.4 phút (CPU: intel G630, 1.7 GHz) trong khi trích xuất thủ công là 24.7 ± 2.3 phút ($p < 0.001$).

So với tiêu chuẩn vàng kết quả trích xuất của thuật toán 2.5 có độ chính xác trung bình $99.6\% \pm 0.14\%$, hệ số *Dice* trung bình $94.3\% \pm 1.5\%$. Phần thể tích trích xuất lỗi E trung bình là $3.6\% \pm 2.5\%$.



Hình 2.1 Các kết quả trung gian của thuật toán 2.5

Thuật toán 2.4 được công bố trong công trình [CT1]. Hạn chế của thuật toán 2.4 là kết quả phụ thuộc vào việc chọn các điểm ban đầu trong gan. Để khắc phục hạn chế này, trong chương tiếp theo sử dụng thông tin thống kê và thông tin giải phẫu của gan để ước lượng vùng gan xấp xỉ một cách tự động. Từ đó phát triển thuật toán trích xuất gan tự động.

CHƯƠNG 3 - THUẬT TOÁN TRÍCH XUẤT GAN TỰ ĐỘNG DÙNG ĐẶC TRƯNG THỐNG KÊ CỦA GAN

3.1. Trích xuất vùng gan xấp xỉ

Giả sử ta đã xác định được giá trị mức xám nhỏ nhất và giá trị lớn nhất của gan tương ứng là l và u . Do mức xám của gan trong ảnh MR không đồng nhất, và có nhiều vùng ngoài gan (bao gồm nội tạng khác) có mức xám tương đồng với một phần trong gan. Vì thế ảnh nhị phân được xác định từ cặp ngưỡng l và u sẽ chứa vùng gan có liên kết với các phần khác ngoài gan. Trích xuất phần gan từ ảnh nhị phân này như thuật toán 3.1

Thuật toán 3.1 Trích xuất vùng gan xấp xỉ

Đầu vào: ảnh gan tiềm năng

Đầu ra: ảnh nhị phân chứa vùng gan xấp xỉ

1. Loại bỏ các liên kết yếu sử dụng phép toán hình thái mở ảnh
 2. Trích xuất thành phần liên thông có kích thước lớn nhất
 3. Lấp các lỗ hổng và làm mịn biên gan xấp xỉ sử dụng phép toán hình thái đóng ảnh
-
-

Ảnh tiềm năng đầu vào cho thuật toán 3.1 được xác định sử dụng thuật toán 3.2.

Thuật toán 3.2 Ước lượng miền mức xám gan và tạo ảnh gan tiềm năng

Đầu vào: ảnh độ lớn gradient và ảnh đã giảm nhiễu I_M, I_D

Tham số: m , ngưỡng th và độ sâu level, ngưỡng θ

Đầu ra: ảnh gan tiềm năng

1. Phân đoạn ảnh I_M dùng biến đổi watershed với ngưỡng th và độ sâu level
2. Sắp xếp theo thứ tự giảm dần về thể tích $G = \{G_1, G_2, \dots, G_M\}$
3. Khởi tạo $max_ratio = 0$ và $liver = 0$
4. Mỗi $G_i, i = 1..5$

- Tính C_i^x dùng công thức
$$C_i^x = \frac{\sum_{p \in G_i} xI(p)}{\sum_{p \in G_i} I(p)}.$$

- Tính r_i dùng công thức
$$r_i = \frac{vol(G_i)}{64 \prod_{j=1}^3 \lambda_j^i},$$

Nếu $r_i > max_ratio$ và $C_i^x \leq X_i / 2$,

$$max_ratio = r_i \text{ và } liver = i$$

5. Tính giá trị trung bình lpk và phương sai σ của G_{liver} trong I_D
6. Ước lượng cặp giá trị (l, u) theo công thức

$$l = lpk - m\sigma,$$

$$u = lpk + m\sigma,$$

7. Xác định ảnh gan tiềm năng theo các công thức

$$I_e(p) = I_u(p)u(I_M(p) - \theta).$$

Với

$$u(x) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } x > 0, \\ 0 & \text{nếu ngược lại.} \end{cases} \quad g(p) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } p \in G_{liver}, \\ 0 & \text{nếu ngược lại,} \end{cases}$$

$$I_u(p) = u(I_h(p)) + g(p),$$

3.2. Thuật toán trích xuất gan tự động

Như vậy ta có thể sử dụng thuật toán 3.2 và thuật toán 3.1 để trích xuất tự động vùng gan xấp xỉ. Từ đó có thể hiệu chỉnh thuật toán 2.5 trong chương hai thành thuật toán 3.3 để trích xuất tự động vùng gan.

Thuật toán 3.3 Thuật toán trích xuất gan tự động

Đầu vào: Ảnh MR ổ bụng ba chiều (I)

Đầu ra: biên gan, thể tích gan

1. Tiền xử lý

1.1. Tạo ảnh khử nhiễu và ảnh độ lớn gradient dùng thuật toán 2.2

2. Tạo biên gan xấp xỉ

2.1. Tạo ảnh gan tiềm năng dùng thuật toán 3.2

2.2. Xác định vùng gan xấp xỉ sử dụng thuật toán 3.1

3. Tinh chỉnh biên gan

3.1. Tinh chỉnh biên gan sử dụng phương trình

$$\begin{cases} \phi(x, y, z; t = 0) = \phi_0 \\ \frac{\partial \phi}{\partial t} = (\alpha + \beta\kappa)g(I) \|\nabla \phi\| + \gamma \nabla g(I) \cdot \nabla \phi \end{cases}$$

4. Xác định thể tích gan

3.3. Kết quả thực nghiệm

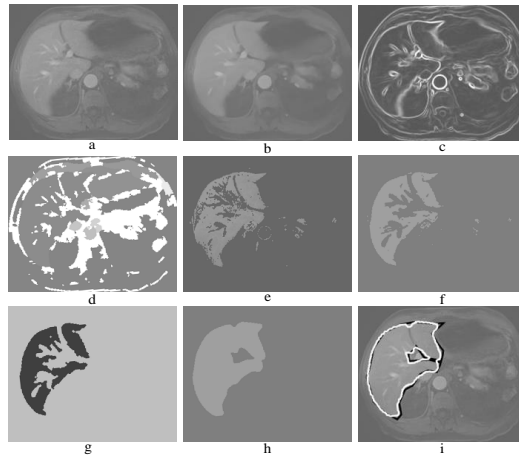
Thuật toán 3.3 được thực nghiệm trên tập dữ liệu gồm 27 ảnh MR ổ bụng ba chiều, trong đó 16 ảnh được trung tâm y khoa của đại học Chicago

(Hoa kỳ) thu thập từ 16 bệnh nhân và 11 ảnh của 11 bệnh nhân được thu thập bởi trung tâm y khoa MEDIC (Việt nam).

Thời gian trích xuất trung bình một ảnh của thuật toán 3.3 sử dụng máy tính PC (Intel, Xeon, 2.66GHz) là 8.4 phút. Nếu phải xác định biên gan thủ công chuyên gia sẽ mất trung bình 24.7 phút cho một ảnh. Sự khác biệt này có ý nghĩa thống kê ($p < 0.001$).

So với tiêu chuẩn vàng kết quả trích xuất của thuật toán 3.3 có độ chính xác trung bình $99.0\% \pm 2.5\%$, hệ số Dice trung bình $91.1\% \pm 1.9\%$. Phần thể tích trích xuất lỗi trung bình là $E=8.3\%$.

Các kết quả trích xuất trung gan của thuật toán 3.3 được minh họa ở hình vẽ 3.6, ở đây biên màu đen là tiêu chuẩn vàng và biên màu trắng được xác định bởi thuật toán 3.3.



Hình 3.1 Kết quả các bước trung gian của thuật toán 3.3.

Thuật toán này được thực nghiệm trên tập dữ liệu thu thập từ hai nguồn khác nhau (trung tâm y khoa MEDIC và trung tâm y khoa đại học Chicago) để đánh giá hiệu quả thuật toán. Thuật toán 3.3 cũng được công bố trong bài báo khoa học [CT2].

CHƯƠNG 4 - CÁC THUẬT TOÁN TRÍCH XUẤT GAN VÀ U GAN

SỬ DỤNG MÁY HỌC CỰC TRỊ

4.1. Máy học cực trị và ứng dụng

Máy học cực trị là một thuật toán huấn luyện không lặp cho mạng neural truyền thẳng một lớp ẩn. Thuật toán này có thời gian huấn luyện nhanh và hiệu quả trong nhiều trường hợp.

Thuật toán 4.1 Thuật toán huấn luyện không lặp

Đầu vào:

- dữ liệu huấn luyện $D = \{(x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jd}, t_{j1}, t_{j2}, \dots, t_{jc}) \mid j = 1..M\}$.
- Số nút ẩn N , hàm kích hoạt φ

Đầu ra:

- Tập trọng số đầu vào $w_{1i}, w_{2i}, \dots, w_{di}, i = 1..N$
 - Tập trọng số đầu ra $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ic}, i = 1..N$
 - Độ lệch $b_i, i = 1..N$
-

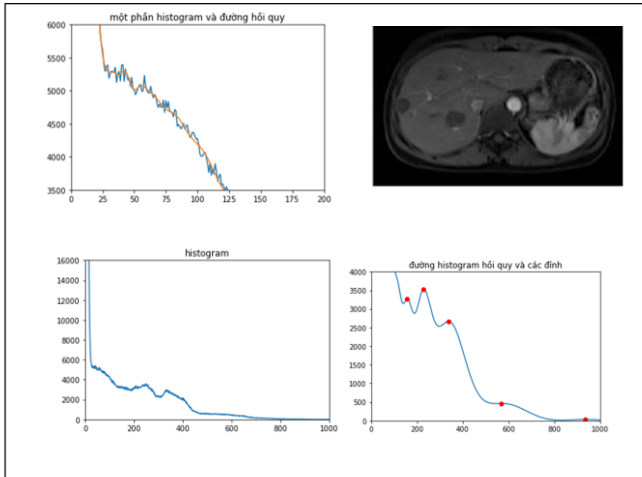
1. Khởi tạo ngẫu nhiên bộ trọng số đầu vào và độ lệch.
2. Tính ma trận $\mathbf{H} = [h_{ji}]_{M \times N}$, ở đây h_{ji} được tính theo công thức

$$h_{ji} = \varphi \left(\sum_{k=1}^d x_{jk} w_{ki} + b_i \right).$$

3. Tính bộ trọng số đầu ra theo công thức $\mathbf{A} = \mathbf{H}^t \mathbf{T}$.
-
-

Đường tron xấp xỉ histogram được xác định thông qua dùng mạng neural truyền thẳng một lớp ẩn được minh họa như hình vẽ 4.1

$$f(x) = \sum_{k=1}^N a_k \varphi(w_k x + b_k). \quad (4.1)$$



Hình 4.1 Kết quả đường histogram hồi quy

Ta ước lượng miền mức xám của gan xung quang đỉnh kế cuối và tạo ảnh gan tiềm năng như thuật toán 4.2

Thuật toán 4.2 tạo ảnh gan tiềm năng

Đầu vào : ảnh độ lớn gradient I_M

Tham số: $\sigma_r, \sigma_l, \lambda$

Đầu ra: ảnh gan tiềm năng

1. Xác định đường tron xấp xỉ histogram dùng thuật toán 4.1
2. Xác định đỉnh thứ hai từ phải sang lpk
3. Xác định miền mức xám sử dụng công thức

$$l = lpk - \sigma_l, \quad \text{Từ đó xác định ảnh ngưỡng } I_{th}$$

$$u = lpk + \sigma_u.$$

4. Xác định ảnh gan tiềm năng sử dụng công thức

$$I_T(\mathbf{p}) = I_{th}(\mathbf{p})u(I_M(\mathbf{p}) - \lambda),$$

4.2. Thuật toán trích xuất gan tự động

4.2.1. Kết quả thực nghiệm

Thuật toán 4.3 Thuật toán trích xuất gan tự động

Đầu vào: Ảnh MR ổ bụng ba chiều (I)

Đầu ra: biên gan, thể tích gan

1. Tiền xử lý
 - 1.1. Tạo ảnh khử nhiễu và ảnh độ lớn gradient dùng thuật toán 2.2
 2. Tạo biên gan xấp xỉ
 - 2.1. Tạo ảnh gan tiềm năng dùng thuật toán 4.2
 - 2.2. Xác định vùng gan xấp xỉ sử dụng thuật toán 3.1
 3. Tinh chỉnh biên gan
 - 3.1. Tinh chỉnh biên gan sử dụng GAC
 4. Xác định thể tích gan
-
-

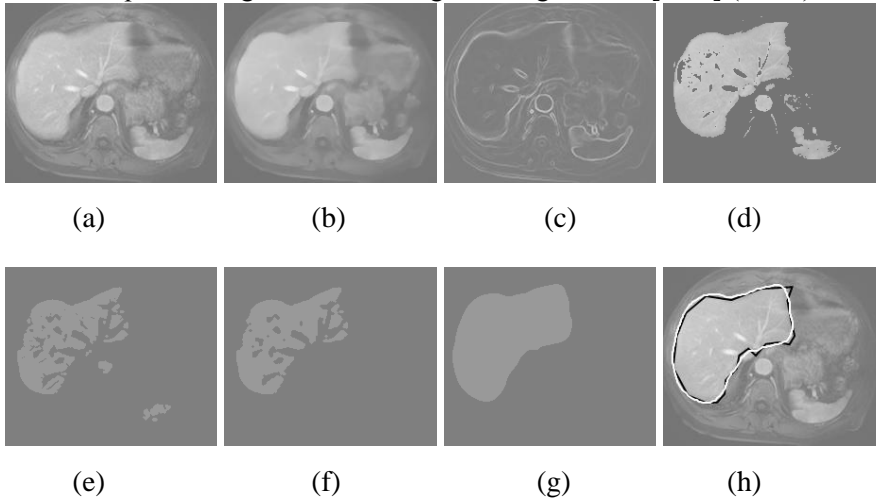
4.2.2. Kết quả thực nghiệm

Tập dữ liệu thực nghiệm gồm 10 ảnh MR ổ bụng ba chiều được thu thập tại trung tâm y khoa Medic. Các biên gan được các bác sỹ và chuyên gia chẩn đoán hình ảnh MEDIC vẽ bằng tay một cách rất cẩn thận trên mỗi lát cắt ảnh để xây dựng tiêu chuẩn vàng.

Thời gian trích xuất trung bình là 1.02 ± 0.8 phút (CPU: Intel ,core i7, 2.8 GHz) trong khi trích xuất thủ công là 24.7 ± 3.7 phút ($p < 0.001$).

So với tiêu chuẩn vàng, kết quả trích xuất bằng thuật toán 4.3 có độ chính xác trung bình $99.0\% \pm 0.4\%$, hệ số *Dice* trung bình $91.0\% \pm 2.8\%$. Phần thể tích trích xuất lỗi *E* trung bình là 8.7%.

Hình vẽ 4.6 minh họa các kết quả trích xuất trung gian của thuật toán 4.3. ở đây biên màu trắng xác định vùng gan trích xuất tự động bởi thuật toán 4.3 và biên màu đen xác định vùng gan tiêu chuẩn vàng. Thuật toán 4.3 và kết quả thực nghiệm được công bố trong bài báo [CT4] (SCIE).



Hình 4.2 Kết quả trích xuất của thuật toán 4.3

4.3. Thuật toán trích xuất u gan

4.3.1. Thuật toán trích xuất u gan

Trước hết một vùng ROI chứa u gan được xác định để giảm nhiễu thông tin và giảm chi phí tính toán, ảnh chỉ chứa vùng ROI này là I_R . Thuật toán 2.3 được hiệu chỉnh để phân vùng ảnh I_R , vùng trong u được gán nhãn bằng 1, vùng ngoài u được gán nhãn bằng 2, vùng còn lại được gán nhãn bằng 0

Mỗi điểm ảnh (x,y,z) trong I_R được biểu diễn bằng một vector đặc trưng được xác định theo công thức (4.2)

$$\mathbf{p}_{xyz} = \left\{ -1 + \frac{2(I_R(x-i, y-j, z-k) - I_{\min})}{I_{\max} - I_{\min}} \mid i, j, k \in L_w \right\}, \quad (4.2)$$

trong đó I_{\min}, I_{\max} là giá trị mức xám nhỏ nhất và lớn nhất trong ảnh I_R . Cửa sổ L_w chứa điểm ảnh (x,y,z) .

Tập dữ liệu huấn luyện được xây dựng từ các điểm được gán nhãn giá trị 1 hoặc 2 như (4.3)

$$S = \{(\mathbf{p}_i, \mathbf{t}_i), i = 1, 2, \dots, n\} \quad (4.3)$$

ở đây n là số điểm đã được gán nhãn giá trị 1 hoặc 2, ứng với mỗi điểm này \mathbf{p}_i được xác định theo công thức (4.2) và \mathbf{t}_i được xác định theo công thức (4.4)

$$\mathbf{t}_{xyz} = \begin{cases} (0 \ 1)^T & \text{nếu } I_S(x, y, z) = 1, \\ (1 \ 0)^T & \text{nếu } I_S(x, y, z) = 2. \end{cases} \quad (4.4)$$

Các điểm ảnh được gán nhãn 0 sẽ được gán nhãn lại giá trị 1 hoặc 2. Tập các điểm ảnh được gán nhãn bằng 1 liên thông với vùng gán nhãn bằng 1 ban đầu tạo thành vùng u gan tiềm năng. Phần u gan được trích xuất và tinh chỉnh dùng thuật toán 3.1.

Thuật toán 4.5 Thuật toán trích u xuất gan

Đầu vào: Ảnh MR ổ bụng ba chiều (I)

Đầu ra: biên gan, thể tích gan

1. Tiền xử lý

1.1. Tạo ảnh ROI: I_R

-
-
- 1.2. Tạo ảnh khử nhiễu và ảnh độ lớn gradient dùng thuật toán 2.2
 2. Tạo vùng u gan xấp xỉ
 - 2.1. Phân vùng ảnh I_R . Các điểm ảnh trong u được gán nhãn bằng 1, các điểm ảnh ngoài u được gán nhãn bằng 2, các điểm ảnh chưa xác định gán nhãn bằng 0.
 - 2.2. Xây dựng tập huấn luyện dùng công thức (4.2) – (4.4)
 - 2.3. Gán nhãn các điểm ảnh chưa xác định
 - 2.4. Xác định vùng gan xấp xỉ bằng cách kết hợp các điểm ảnh được gán nhãn bằng 1
 3. Tinh chỉnh biên u gan
 - 3.1. Xác định vùng gan xấp xỉ sử dụng thuật toán 3.1
 4. Xác định thể tích u gan
-
-

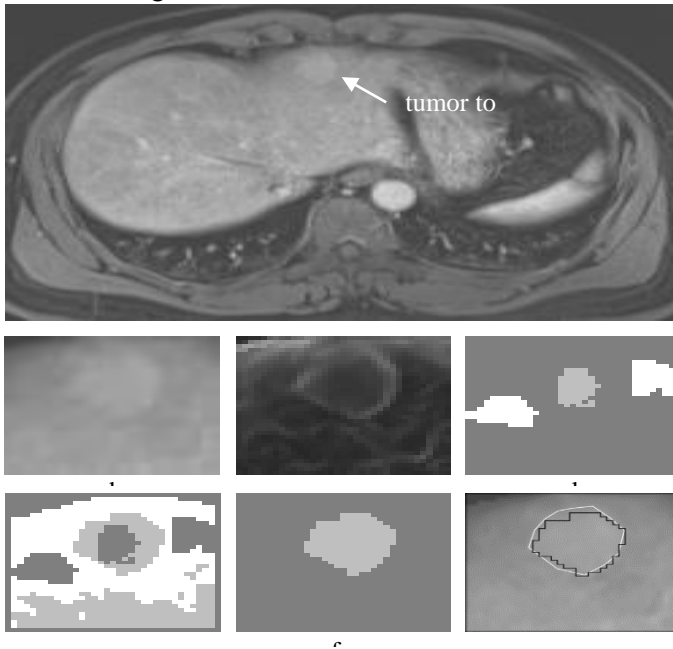
4.3.2. Kết quả thực nghiệm

Tập dữ liệu thực nghiệm gồm các ảnh MR được thu thập từ trung tâm y khoa MEDIC (Việt nam) và lấy từ TCIA (The Cancer Imaging Archive)⁴. Từ trung tâm y khoa MEDIC ta có 10 ảnh MR ổ bụng của 10 bệnh nhân ung thư được thu thập bằng máy chụp ảnh MR 1.5T (Avanto, Siemens), trong đó có 15 u gan. Từ TCIA ta có 6 ảnh MR ổ bụng của 6 bệnh nhân, trong đó có 10 u gan. Các biên của u gan được chuyên gia vẽ cẩn thận trên từng lát cắt ảnh để xác định tiêu chuẩn vàng.

So với tiêu chuẩn vàng, thể tích trích xuất lỗi trung bình của thuật toán 4.5 tính trên toàn tập dữ liệu thực nghiệm là $E = 15.74\%$ và $VO = 27.43\%$. Khoảng cách trung bình giữa mặt biên u gan được trích xuất bởi thuật toán

⁴ <http://www.cancerimagingarchive.net/>

so với mặt biên tiêu chuẩn vàng là $ASD = 0.58 \text{ mm}$ và $MSSD = 1.20 \text{ mm}$. Khoảng cách xa nhất giữa hai mặt biên là $6.29 \pm 5.73 \text{ mm}$.



Hình 4.3 Minh họa các kết quả trung gian của thuật toán 4.5

Các kết quả trung gian của thuật toán 4.4 được minh họa ở hình vẽ 4.8. Kết quả sau bước tinh chỉnh như hình 4.8(g), với biên màu đen xác định u gan. Biên màu trắng xác định tiêu chuẩn vàng, được sử dụng để so sánh và đánh giá kết quả trích xuất của thuật toán.

Đối với toàn tập dữ liệu thực nghiệm, thể tích u trung bình được trích xuất bởi thuật toán là 13.88 ± 33.21 và của tiêu chuẩn vàng là 15.36 ± 36.77 .

Thuật toán 4.5 và kết quả thực nghiệm được công bố trong bài báo khoa học [CT3].

CHƯƠNG 5 - KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

5.1. Kết luận

Luận án đạt được một số ý nghĩa có khoa học như sau

Mô hình toán học trích xuất nội tạng sử dụng kỹ thuật biến phân và tập đồng mức.

Thuật toán trích xuất gan bán tự động [CT1, CT6].

Thuật toán trích xuất gan tự động từ ảnh MR ổ bụng ba chiều thông qua xác định tự động miền mức xám của sử dụng biến đổi watershed và đặc trưng thống kê của gan. [CT2]

Thuật toán trích xuất gan tự động từ ảnh MR ổ bụng ba chiều thông qua tích hợp học nhanh vào thuật toán sử máy học cực trị [CT4, CT5].

Thuật toán trích xuất u gan bán tự động từ ảnh MR ổ bụng ba chiều thông qua tích hợp học nhanh vào thuật toán sử máy học cực trị [CT3].

5.2. Hướng phát triển của luận án

Bài toán trích xuất gan và u gan từ ảnh MR ổ bụng ba chiều còn nhiều thách thức. Trong các nghiên cứu tiếp theo, tác giả tập trung và các nội dung sau

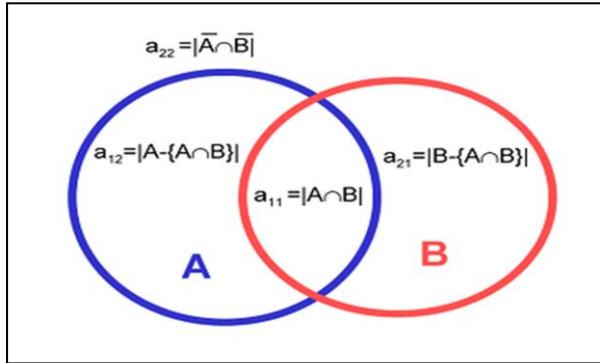
Phối hợp với các trung tâm y khoa có uy tín thu thập dữ liệu và xác định tiêu chuẩn vàng để làm phong phú thêm tập dữ liệu thực nghiệm phục vụ cho nghiên cứu của tác giả cũng như cộng đồng

Phối hợp với các chuyên gia nhằm tích hợp tri thức chuyên ngành vào mô hình trích xuất gan và u gan mà luận án đã đề xuất

Hoàn thiện sản phẩm ứng dụng phục vụ cho cộng đồng

PHỤ LỤC - CÁC ĐỘ ĐO

Gọi A là tập hợp các điểm ảnh của phần gan (hoặc u gan) trích xuất bằng thuật toán và B là tập hợp các điểm ảnh của tiêu chuẩn vàng. Sự phù hợp giữa hai tập hợp A và B được minh họa như hình vẽ .



Các độ đo độ trích xuất đúng

$$Acc = \frac{a_{11} + a_{22}}{a_{11} + a_{12} + a_{21} + a_{22}}. \quad (A.1)$$

$$Dice = \frac{2a_{11}}{2a_{11} + a_{12} + a_{21}}. \quad (A.2)$$

Các độ đo tỷ lệ trích xuất lỗi (A.3)

$$E = \frac{|a_{12} - a_{21}|}{a_{11} + a_{21}}.$$

$$VO = \frac{a_{12} + a_{21}}{a_{11} + a_{12} + a_{21}}. \quad (A.4)$$

$$Sensitivity = \frac{a_{11}}{a_{11} + a_{21}}. \quad (A.5)$$

$$Specificity = \frac{a_{22}}{a_{12} + a_{22}}. \quad (A.6)$$

Các độ đo khoảng cách trung bình giữa 2 bề mặt

$$ASSD = \frac{\sum_{x \in SB} d(x, SA) + \sum_{x \in SA} d(x, SB)}{|SA| + |SB|}, \quad (A.7)$$

$$RMSSD = \sqrt{\frac{\sum_{x \in SB} d^2(x, SA) + \sum_{x \in SA} d^2(x, SB)}{|SA| + |SB|}} \quad (A.8)$$

trong đó $d(x, S)$ là khoảng cách từ điểm x đến mặt S (SA hoặc SB) được định nghĩa như công thức (A.13)

$$d(x, S) = \min_{y \in S} \|x - y\|. \quad (A.9)$$

Độ đo khoảng cách xa nhất giữa hai bề mặt

$$MSSD = \max \{d_H(SA, SB), d_H(SB, SA)\}, \quad (A.10)$$

ở đây

$$d_H(SA, SB) = \max_{x \in SA} d(x, SB), \quad (A.11)$$

$$d_H(SB, SA) = \max_{x \in SB} d(x, SA). \quad (A.12)$$

DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ

- [CT1]. **Lê Trọng Ngọc**, Hồ Đắc Quán, Phạm Thế Bảo, Huỳnh Trung Hiếu, "Cải tiến thuật toán geodesic active contour, ứng dụng vào việc xác định kích thước gan từ ảnh cộng hưởng từ ba chiều," hội thảo quốc gia lần thứ XX: những vấn đề chọn lọc của Công nghệ thông tin và truyền thông, 2017.
- [CT2]. H. T. Huynh, **N. Le-Trong**, P. T. Bao, A. Oto, and K. Suzuki, "Fully automated MR liver volumetry using watershed segmentation coupled with active contouring," International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, vol. 12, pp. 235-243, February 01 2017. (SCIE)
- [CT3]. **T.-N. Le**, P. T. Bao, and H. T. Huynh, "Liver Tumor Segmentation from MR Images Using 3D Fast Marching Algorithm and Single Hidden Layer Feedforward Neural Network," BioMed Research International, vol. 2016, pp. 1-8, 2016. (SCIE)
- [CT4]. **L. T. Ngoc**, K. D. Huynh, P. T. Bao and T. H. Hieu, "Liver intensity determination in the 3D abdominal MR image using neural network," *journal of science and technology*, vol. 54, no. 3A, pp. 98-105, 2016.
- [CT5]. **T.-N. Le**, P. T. Bao, and H. T. Huynh, "Fully automatic scheme for measuring liver volume in 3D MR images," Bio-medical materials and engineering, vol. 26, pp. S1361-S1369, 2015. (SCIE)
- [CT6]. **L. T. Ngoc**, P. T. Bao and H. T. Hieu, "Liver segmentation on 3D MR images using the fast marching method and canny-edge level set," in ISITC 2014, 2014.

