



HỆ THỐNG LÀM NHÃN CHO ẢNH CHỤP CẮT LỚP VI TÍNH VỚI SỰ TRỢ GIÚP CỦA TRÍ TUỆ NHÂN TẠO

Luận văn tốt nghiệp (CO4313)

TP. Hồ Chí Minh. Ngày 27 tháng 10 năm 2020

GVHD: TS. Lê Thành Sách
TS. Nguyễn Hồ Mẫn Rạng

GVPB: TS. Trần Tuấn Anh

SVTH: Cao Thanh Tùng 1613989
Nguyễn Thanh Tuấn 1613907
Phan Ngọc Thịnh 1613361

Khoa Khoa học - Kỹ thuật Máy tính
Đại học Bách Khoa - Đại học quốc gia TP.HCM

Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thanh Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

Mục lục



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

1 Mục lục

① Tổng quan

② Kiến thức nền tảng

③ Phương án đề xuất

④ Thí nghiệm và kết quả

⑤ Hệ thống làm nhãn Data Annotation Tool

⑥ Tổng kết

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Tổng quan

Mục lục

2 Tổng quan

Giới thiệu về tài

Mục tiêu và phạm vi

Thách thức

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

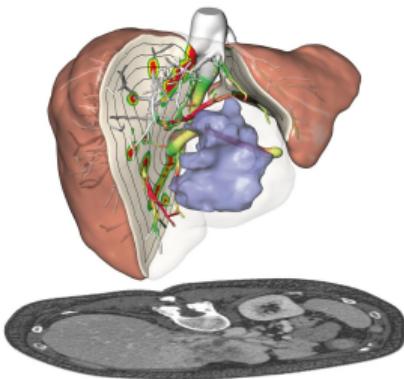
Tổng kết

Tổng quan

Giới thiệu đề tài

Động lực thực hiện

- ❶ Tỉ lệ tử vong do ung thư gan tại Việt Nam cao.
- ❷ Ứng dụng trí tuệ nhân tạo vào lĩnh vực y học trở nên phổ biến.



Hình 1.1: Cơ quan gan trong cơ thể người.



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thanh Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

3 Giới thiệu đề tài

Mục tiêu và phạm vi
Thách thức

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

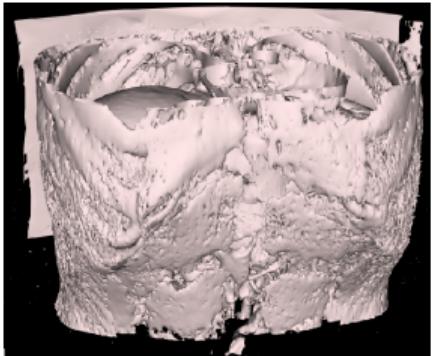
Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

Tổng quan

Mục tiêu và phạm vi đề tài



(a) Trực quan ảnh CT ban đầu dưới dạng 3D. (b) Kết quả sau khi phân đoạn gan và mạch máu.

Mục tiêu và phạm vi đề tài

- ① Phân đoạn gan.
- ② Phân đoạn mạch máu của gan.
- ③ Kế thừa và phát triển hệ thống làm nhãn ảnh y khoa.



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Giới thiệu đề tài

4 Mục tiêu và phạm vi
Thách thức

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

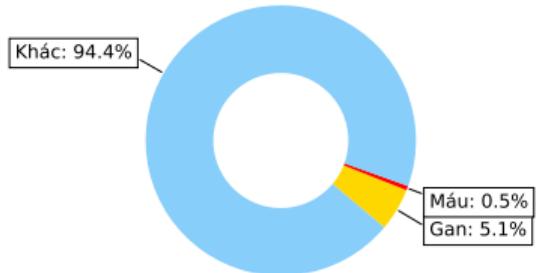
Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

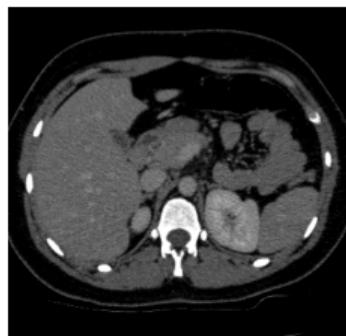
Tổng kết

Tổng quan

Những thách thức



(a) Tỉ lệ gan, mạch máu trong ảnh CT.



(b) Một lát cắt ảnh CT.

Những thách thức của đề tài

- ① Hạn chế về số lượng dữ liệu.
- ② Mất cân bằng dữ liệu.
- ③ Độ tương phản thấp.
- ④ Chi phí tính toán cao.



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Giới thiệu đề tài

Mục tiêu và phạm vi

5 Thách thức

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

6 Kiến thức nền tảng

Mô hình mạng U-Net

Mô hình mạng U^2 Net

Mô hình mạng CNN3D

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

Kiến thức nền tảng

Mô hình mạng U-Net



Hệ thống làm nhãn cho ảnh chụp cắt lớp vi tính (CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

7

Mô hình mạng U-Net

Mô hình mạng U^2 Net

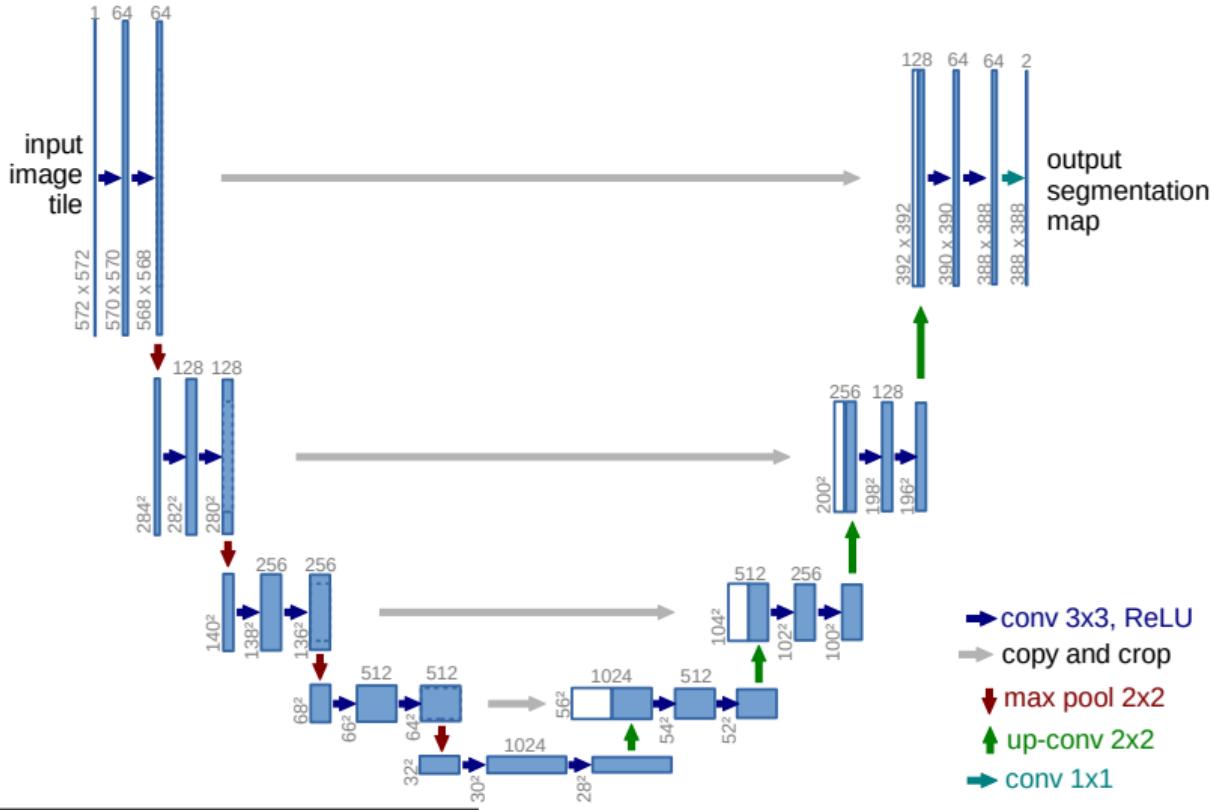
Mô hình mạng CNN3D

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết



Nguồn: O. Ronneberger, P. Fischer, and T. Brox, "U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation," in International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention, Springer, 2015, pp. 234–241.

Mô hình mạng U^2 Net



Hệ thống làm nhãn cho ảnh chụp cắt lớp vi tính (CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Mô hình mạng U-Net

8 Mô hình mạng U^2 Net

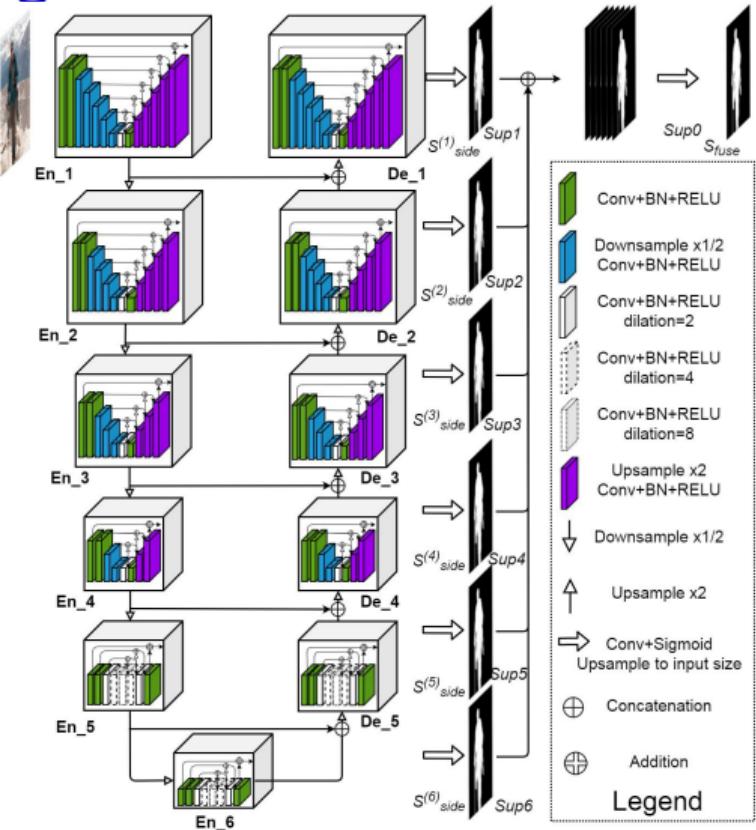
Mô hình mạng CNN3D

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết



Mô hình CNN3D với giám sát sâu



Hệ thống làm nhãn cho ảnh chụp cắt lớp vi tính (CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Mô hình mạng U-Net

Mô hình mạng U^2 Net

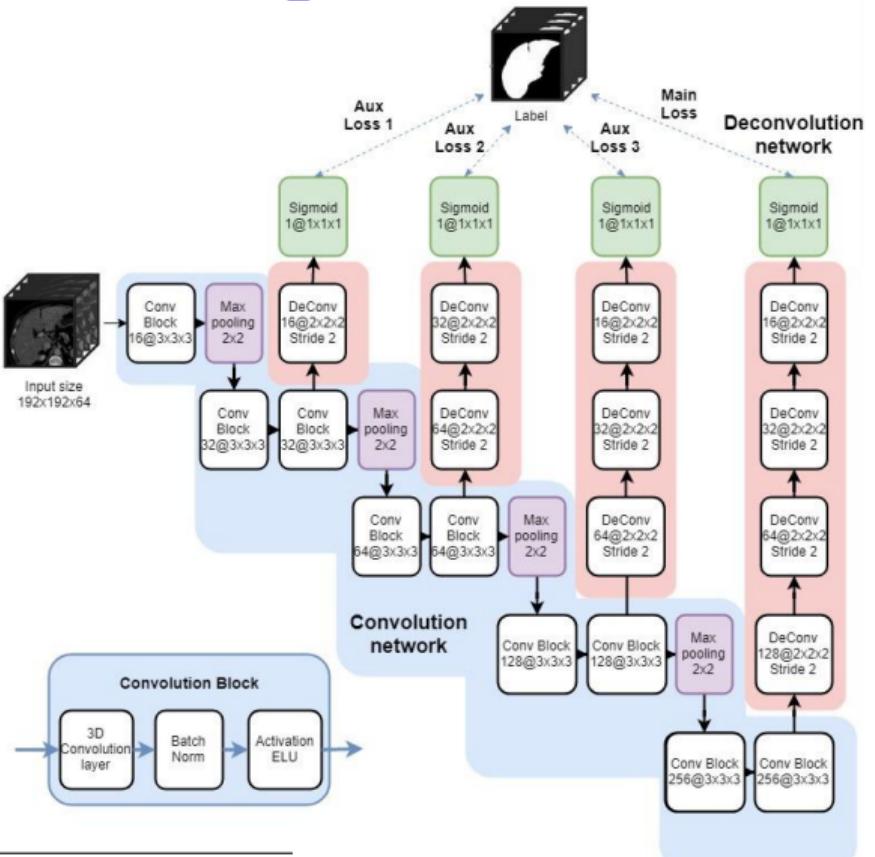
9 Mô hình mạng CNN3D

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết





Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

10 Phương án đề xuất

Kiến trúc mô hình

Các khái tính toán

Hàm mục tiêu

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

Phương án đề xuất

Kiến trúc mô hình tổng quát



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

11 Kiến trúc mô hình

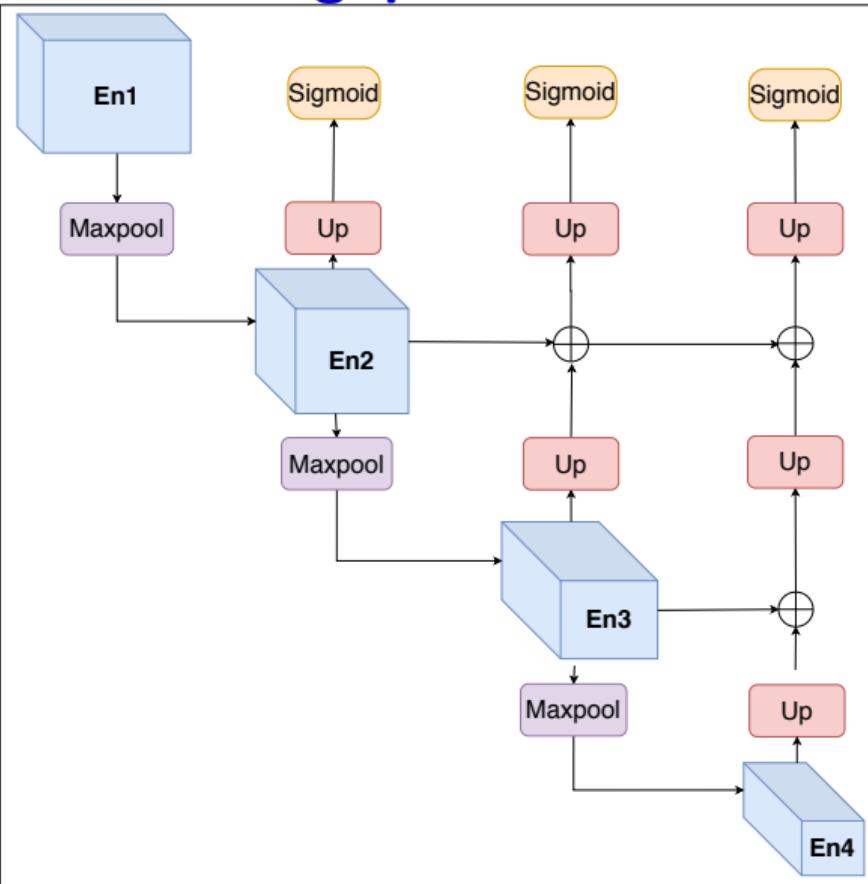
Các khái niệm toán

Hàm mục tiêu

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết



Các khối tính toán



Hệ thống làm nhãn cho ảnh chụp cắt lớp vi tính (CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Kiến trúc mô hình

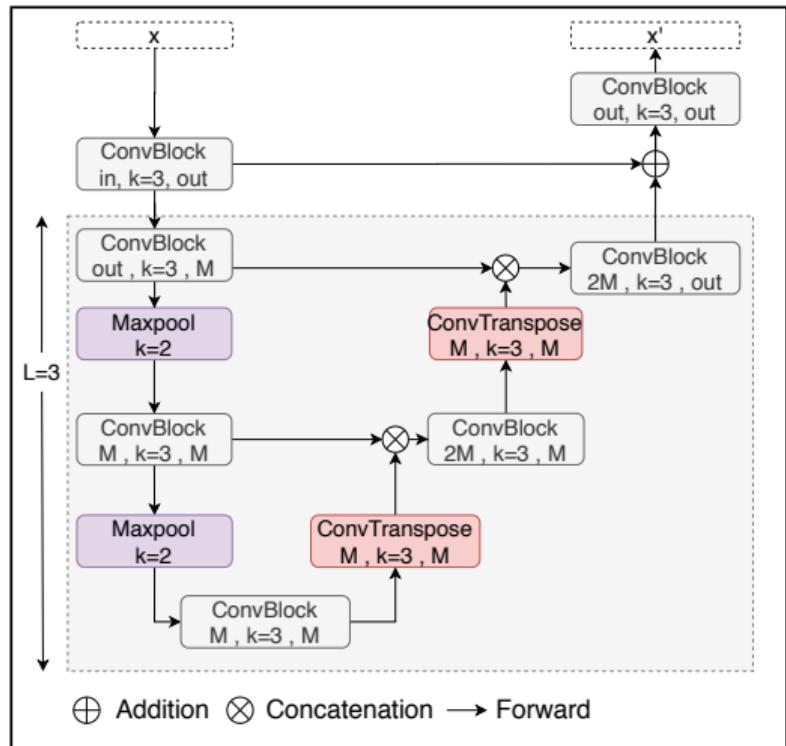
12 Các khối tính toán

Hàm mục tiêu

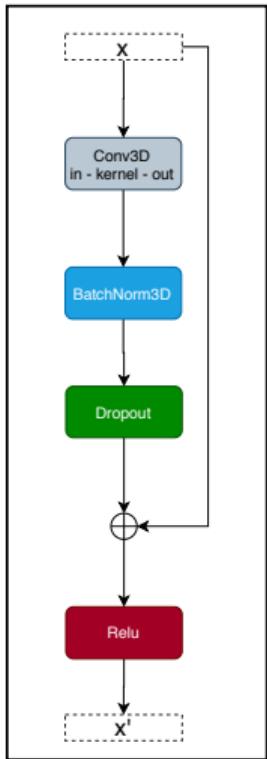
Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết



(a) Residual U-Block RSU-L(In, M, Out)



(b) ConvBlock(In, M, Out)

Kiến trúc mô hình chi tiết



Hệ thống làm nhãn cho ảnh chụp cắt lớp vi tính (CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Kiến trúc mô hình

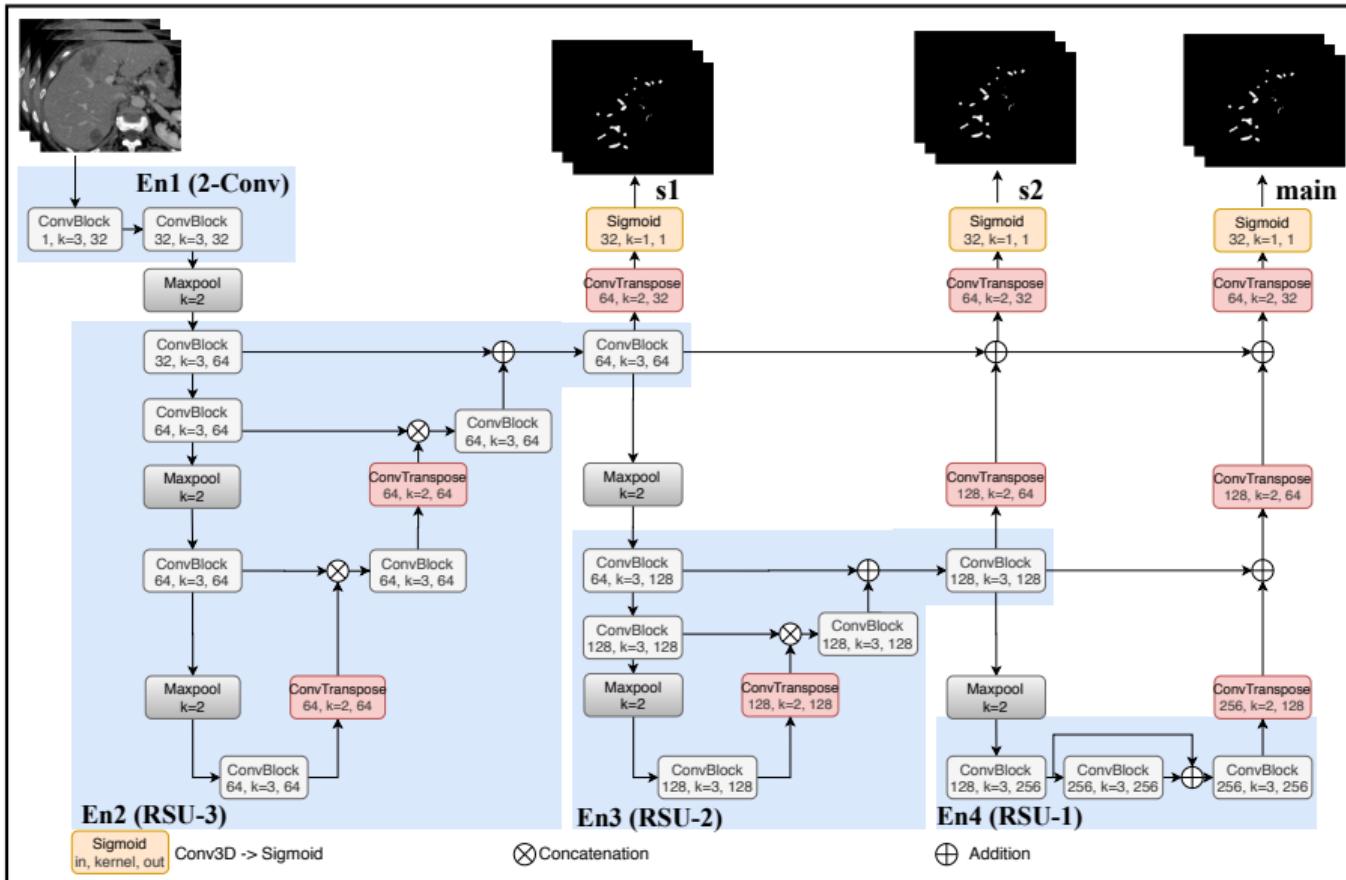
13 Các khái niệm toán

Hàm mục tiêu

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết



Hàm mục tiêu



Hệ thống làm nhãn cho ảnh chụp cắt lớp vi tính (CT) với sự trợ giúp của Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Kiến trúc mô hình

Các khái tính toán

14

Hàm mục tiêu

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

$$Loss = \mu_1 Loss_{s1} + \mu_2 Loss_{s2} + \mu_3 Loss_{main} \quad (3.1)$$

$$BCELoss(q, p) = -\log(q) \quad (3.2)$$

$$FocalLoss(q, p) = -\alpha(1 - q)^\gamma \log(q) \quad (3.3)$$

$$\alpha = \begin{cases} \alpha & \text{if } p = 1 \\ 1 - \alpha & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{and} \quad q = \begin{cases} q & \text{if } p = 1 \\ 1 - q & \text{otherwise} \end{cases}$$

*Các tham số $\mu_1 = 1$, $\mu_2 = 2$, $\mu_3 = 4$ đại diện cho mức độ quan trọng của việc giám sát đặc trưng của các tầng.



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Thí nghiệm và kết quả

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

15 Thí nghiệm và kết quả

Tập dữ liệu

Phương pháp đánh giá

Thí nghiệm

Dánh giá kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

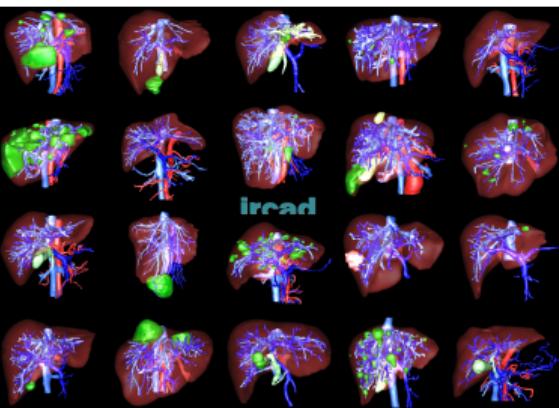
Tập dữ liệu

Thông tin



Các tập dữ liệu

- ① Segmentation of the Liver 2007 (SLIVER07).
- ② Liver Tumor Segmentation Challenge (LITS2017).
- ③ 3D Image Reconstruction for Comparison of Algorithm Database (3DIRCADb).



Hình 4.1: Ảnh trực quan tập dữ liệu 3D-IRCADb-01.

Nguồn: <https://www.ircad.fr/research/3d-ircadb-01/>

Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

16 Tập dữ liệu

Phương pháp đánh giá

Thí nghiệm

Dánh giá kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết



Tập dữ liệu

Tiền xử lý - Các bước tiền xử lý dữ liệu

- ❶ Lấy mẫu dữ liệu đưa về cùng kích thước thực mỗi voxel: $1\text{mm(W)} \times 1\text{mm(H)} \times 1\text{mm(D)}$.
- ❷ Áp dụng ngưỡng lên dữ liệu.
- ❸ Chuẩn hóa dữ liệu về khoảng giá trị $[0, 1]$.
- ❹ Trích xuất thành phần gan (đối với bài toán mạch máu).
- ❺ Chia dữ liệu thành các khối 3D có kích thước nhỏ hơn.
- ❻ Tăng cường dữ liệu: xoay, biến dạng đàn hồi.

Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

17 Tập dữ liệu

Phương pháp đánh giá

Thí nghiệm

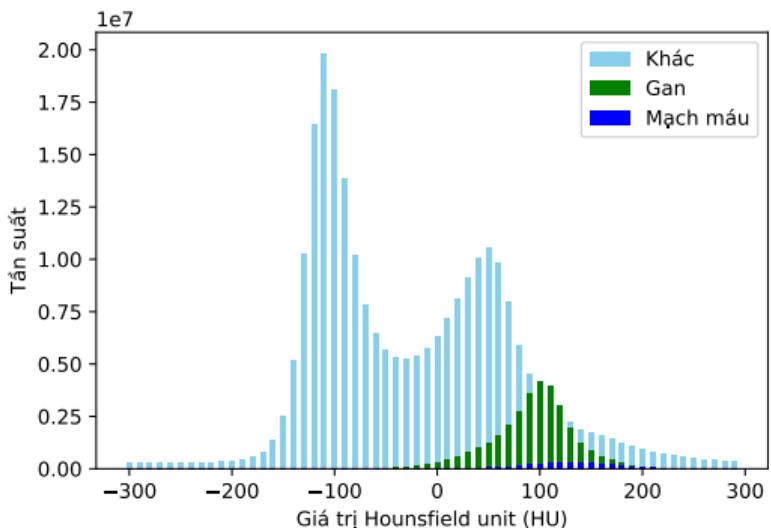
Dánh giá kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

Tập dữ liệu

Tiền xử lý - Áp dụng ngưỡng và chuẩn hóa dữ liệu



Hình 4.2: Phân phối giá trị Hounsfield Unit của gan, mạch máu và các bộ phận khác của tập dữ liệu 3Dircadb.

- ② Áp dụng ngưỡng [min, max] lên dữ liệu.

$$P_{1x} = \begin{cases} \min & \text{if } P_{1x} < \min \\ \max & \text{if } P_{1x} > \max \\ P_{1x} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.1)$$

- ③ Chuẩn hóa về khoảng giá trị $[0, 1]$.

$$P_{2x} = \frac{P_{1x} - \min}{\max - \min} \quad (4.2)$$

Hệ thống làm nhãn cho ảnh chụp cắt lớp vi tính (CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

18 Tập dữ liệu

Phương pháp đánh giá

Thí nghiệm

Dánh giá kết quả

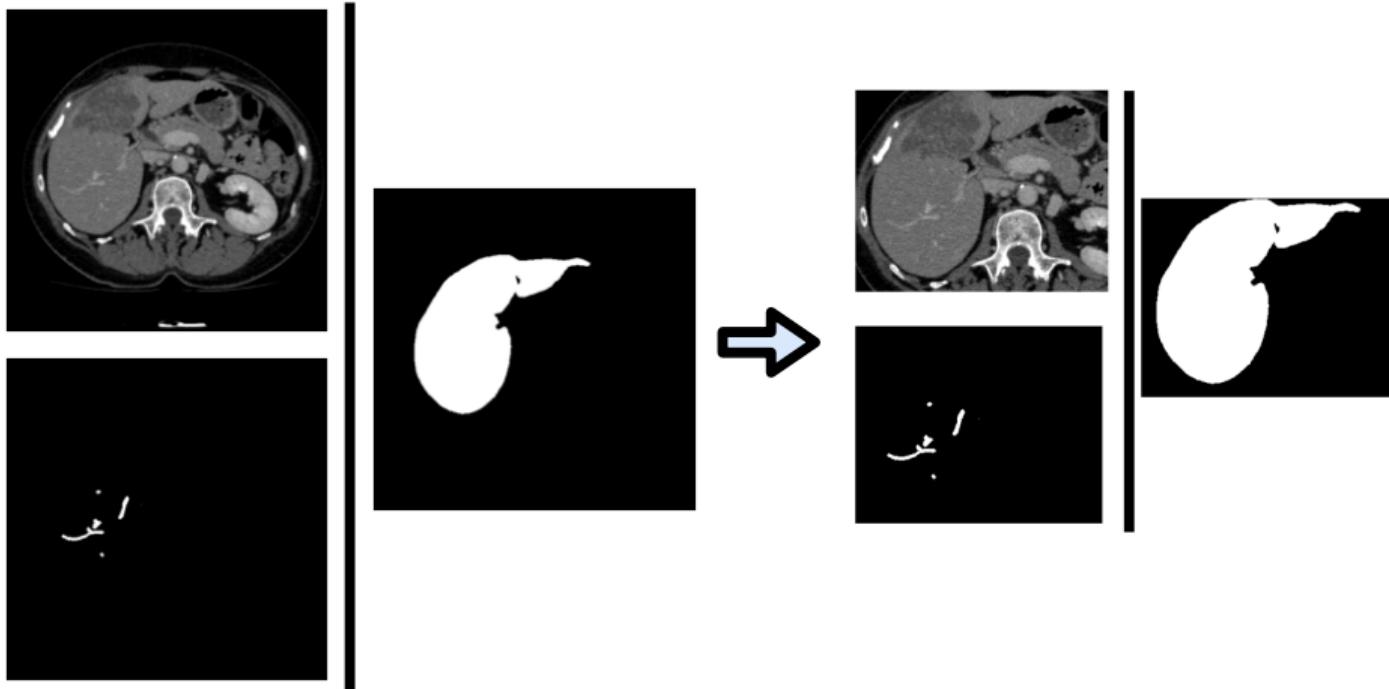
Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

*Ngưỡng phù hợp sau khi phân tích các tập dữ liệu trong khoảng [-100, 400]

Tập dữ liệu

Tiền xử lý - Trích xuất phần gan



Hình 4.3: Trích xuất thành phần gan trong khôi ảnh CT.



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

19 Tập dữ liệu

Phương pháp đánh giá

Thí nghiệm

Dánh giá kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

Tập dữ liệu

Tiền xử lý - Trực quan hóa quy trình tiền xử lý



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thanh Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

20 Tập dữ liệu

Phương pháp đánh giá

Thí nghiệm

Dánh giá kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết



Hình 4.4: Trực quan hóa quy trình tiền xử lý.

Tập dữ liệu

Hậu xử lý

Hậu xử lý dữ liệu

Giải thuật đánh nhãn vùng liên thông.



(a)



(b)

Hình 4.5: Loại bỏ các thành phần liên thông nhỏ. (a) trước xử lý. (b) sau xử lý.



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

21 Tập dữ liệu

Phương pháp đánh giá

Thí nghiệm

Dánh giá kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết



Phương pháp đánh giá

Dộ đo

$$\text{Dice} = \frac{2\text{TP}}{2\text{TP} + \text{FN} + \text{FP}} \quad (4.3)$$

$$\text{Recall} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}} \quad (4.4)$$

$$\text{Precision} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FP}} \quad (4.5)$$

$$\text{VOE} = 1 - \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN} + \text{FP}} \quad (4.6)$$

$$\text{VD} = \frac{\text{FP} - \text{FN}}{\text{TP} + \text{FN}} \quad (4.7)$$

Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Tập dữ liệu

22 Phương pháp đánh giá

Thí nghiệm

Dánh giá kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

Thí nghiệm mô hình đề xuất U2net3d*

Thí nghiệm trên gan



Hệ thống làm nhãn cho ảnh chụp cắt lớp vi tính (CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Tập dữ liệu

Phương pháp đánh giá

23 Thí nghiệm

Dánh giá kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

STT	En1	Thông số mô hình				Tập kiểm thử	
		En2	En3	En4	En5	Dice	Recall
1	2-Conv	RSU-3	RSU-2	RSU-1		96.15	96.48
	I:1	I:32	I:64	I:128			
	M:32	M:64	M:128	M:256			
	O:32	O:64	O:128	O:256			
2	2-Conv	RSU-4	RSU-3	RSU-2		94.85	96.22
	I:1	I:32	I:64	I:128			
	M:32	M:64	M:128	M:256			
	O:32	O:64	O:128	O:256			
3	2-Conv	RSU-4	RSU-3	RSU-2		95.83	96.56
	I:1	I:24	I:48	I:96			
	M:24	M:48	M:96	M:192			
	O:24	O:48	O:96	O:192			

Bảng 4.1: Thí nghiệm các siêu tham số mô hình U2net3d*.

Thí nghiệm mô hình đề xuất U2net3d*

Thí nghiệm trên gan



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Tập dữ liệu

Phương pháp đánh giá

24 Thí nghiệm

Dánh giá kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

STT	Thông số mô hình					Tập kiểm thử	
	En1	En2	En3	En4	En5	Dice	Recall
4	2-Conv	RSU-4	RSU-3	RSU-2	RSU-1	95.28	95.82
	I:1	I:16	I:32	I:64	I:128		
	M:16	M:32	M:64	M:128	M:256		
5	O:16	O:32	O:64	O:128	O:256		
	2-Conv	RSU-5	RSU-4	RSU-3	RSU-2	93.94	94.35
	I:1	I:12	I:24	I:48	I:96		
	M:12	M:24	M:48	M:96	M:192		
	O:12	O:24	O:48	O:96	O:192		

Bảng 4.2: Thí nghiệm các siêu tham số mô hình U2net3d*.

Thí nghiệm mô hình đề xuất U2net3d*

Thí nghiệm trên mạch máu



Hệ thống làm nhãn cho ảnh chụp cắt lớp vi tính (CT) với sự trợ giúp của Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Tập dữ liệu

Phương pháp đánh giá

25 Thí nghiệm

Dánh giá kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

STT	Thông số mô hình				Tập kiểm thử	
	En1	En2	En3	En4	Dice	Recall
1	RSU-4 I:1 M:32 O:32	RSU-3 I:32 M:32 O:64	RSU-2 I:64 M:32 O:128	RSU-1 I:128 M:32 O:256	58.50	75.12
2	RSU-4 I:1 M:32 O:32	RSU-3 I:32 M:64 O:64	RSU-2 I:64 M:128 O:128	RSU-1 I:128 M:256 O:256	61.14	68.86
3	RSU-4 I:1 M:64 O:32	RSU-3 I:32 M:64 O:64	RSU-2 I:64 M:64 O:128	RSU-1 I:128 M:64 O:256	61.73	70.78

Bảng 4.3: Thí nghiệm các siêu tham số mô hình U2net3d*.

Thí nghiệm mô hình đề xuất U2net3d*

Thí nghiệm trên mạch máu



STT	Thông số mô hình				Tập kiểm thử	
	En1	En2	En3	En4	Dice	Recall
4	RSU-2	RSU-2	RSU-2	RSU-2	60.84	67.84
	I:1	I:32	I:64	I:128		
	M:32	M:64	M:128	M:256		
	O:32	O:64	O:128	O:256		
5	2-Conv	RSU-3	RSU-2	RSU-1	63.08	70.31
	I:1	I:32	I:64	I:128		
	M:32	M:64	M:128	M:256		
	O:32	O:64	O:128	O:256		
6	2-Conv	RSU-3	RSU-2	RSU-1	62.12	64.36
	I:1	I:64	I:128	I:256		
	M:64	M:128	M:256	M:512		
	O:64	O:128	O:256	O:512		

Bảng 4.4: Thí nghiệm các siêu tham số mô hình U2net3d*.

Hệ thống làm nhãn cho ảnh chụp cắt lớp vi tính (CT) với sự trợ giúp của Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Tập dữ liệu

Phương pháp đánh giá

26 Thí nghiệm

Dánh giá kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

Dánh giá kết quả

So sánh với các công trình trước



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Tập dữ liệu

Phương pháp đánh giá

Thí nghiệm

27 Dánh giá kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

STT	Mô hình	Tập kiểm tra		
		Dice	Recall	Precision
1	Unet2D[1]	41.17	60.05	31.32
2	Unet3D[2]	56.29	44.27	73.97
3	CNN3D[3]	54.26	54.98	59.16
4	U2net3D*	60.75	66.87	59.73

Bảng 4.5: Kết quả phân đoạn mạch máu của các mô hình (%).

[1] O. Ronneberger, P. Fischer, and T. Brox, "U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation," MICCAI (2015)

[2] L.H.Trong, N.V.Hung. "Phát hiện và xây dựng hệ thống mạch máu của gan từ ảnh chụp CT", LVTN (2019)

[3] Qi Dou, H.Chen. "3D Deeply Supervised Network for Automatic Liver Segmentation from CT Volumes", CoRR (2016)

Dánh giá kết quả

Dánh giá kết quả tập kiểm tra



Hệ thống làm nhãn cho ảnh chụp cắt lớp vi tính (CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thanh Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Tập dữ liệu

Phương pháp đánh giá

Thí nghiệm

28 Dánh giá kết quả

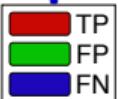
Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

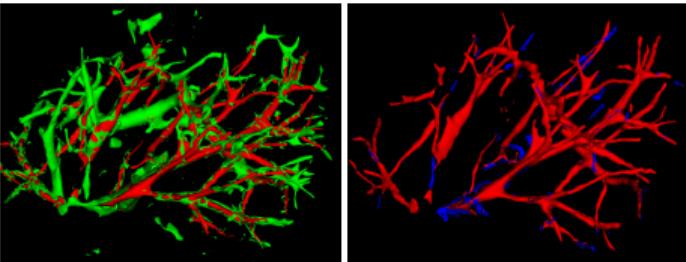
STT	Bệnh nhân	Tập kiểm tra		
		Dice	Recall	Precision
1	Bệnh nhân số 1	50.73	82.85	36.55
2	Bệnh nhân số 6	62.52	65.66	59.76
3	Bệnh nhân số 11	68.79	64.09	74.23

Bảng 4.6: Kết quả phân đoạn mạch máu chi tiết các bệnh nhân trong tập kiểm tra(%).

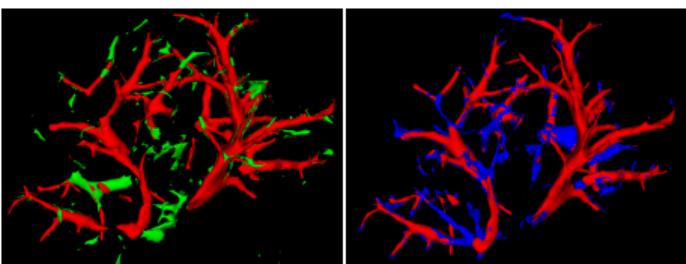
Đánh giá kết quả



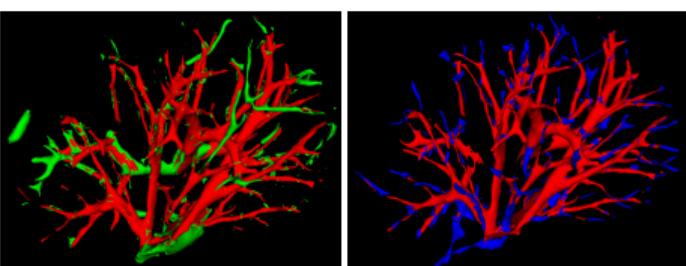
Bệnh nhân 1



Bệnh nhân 6



Bệnh nhân 11



Giá trị dự đoán (TP + FP)

Giá trị nhãn (TP + FN)



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Tập dữ liệu

Phương pháp đánh giá

Thí nghiệm

29 Dánh giá kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

Dánh giá kết quả

So sánh với các công trình trước



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Tập dữ liệu

Phương pháp đánh giá

Thí nghiệm

30 Dánh giá kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

[1] L.H.Trong, N.V.Hung. "Phát hiện và xây dựng hệ thống mạch máu của gan từ ảnh chụp CT", LVTN (2019)

[2] Qi Dou, H.Chen. "3D Deeply Supervised Network for Automatic Liver Segmentation from CT Volumes", CoRR (2016)

[3] N.Q.Ha, T.Q.Phap, M.D.Tu. "Xây dựng mô hình gan từ ảnh chụp CT", LVTN (2019)

Đánh giá kết quả

Kết quả trực quan



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Tập dữ liệu

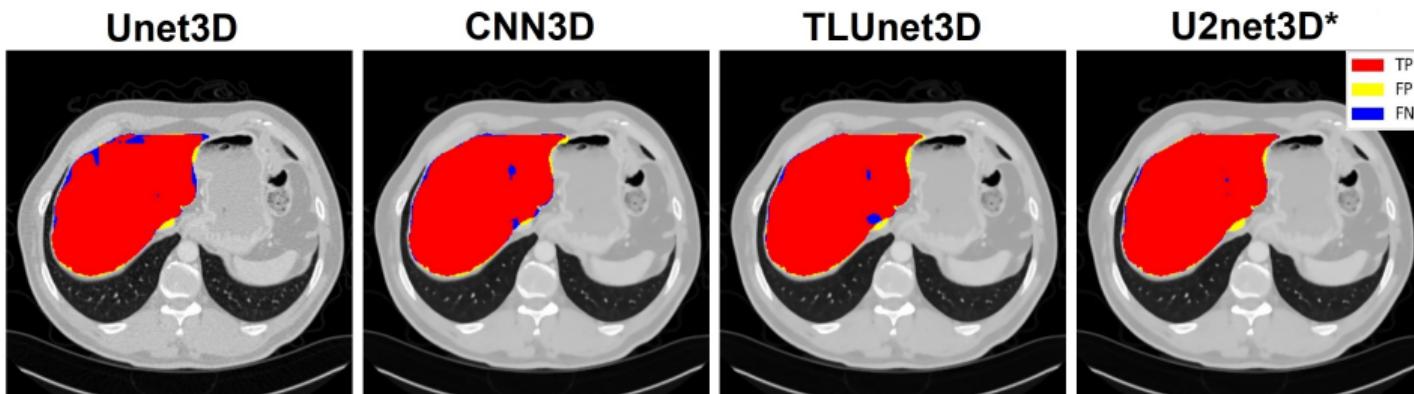
Phương pháp đánh giá

Thí nghiệm

31 Dánh giá kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết



Hình 4.6: Kết quả dự đoán một mẫu dữ liệu trên tập Sliver07.



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

32 Hệ thống làm nhãn Data Annotation Tool

Mục tiêu hệ thống làm nhãn
DAT

Kiến trúc hệ thống

Giao diện ứng dụng

Làm nhãn với giải thuật
tăng trưởng vùng

Tích hợp dự đoán AI

Phản thừa kế và phản bổ
sung

Tổng kết



Mục tiêu hệ thống làm nhãn DAT

Dòng lực

- ① Bài toán phân đoạn ảnh y khoa dùng mạng học sâu cần lượng lớn dữ liệu.
- ② Việc gán nhãn dữ liệu ảnh y khoa cần một công cụ hỗ trợ hợp lý.

Mục tiêu

- ① Cung cấp hệ thống DAT đáp ứng nhu cầu làm nhãn ảnh y khoa phục vụ việc huấn luyện mạng học sâu.

Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thanh Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

33 Mục tiêu hệ thống làm nhãn
DAT

Kiến trúc hệ thống

Giao diện ứng dụng

Làm nhãn với giải thuật
tăng trưởng vùng

Tích hợp dự đoán AI

Phản thừa kế và phản bổ
sung

Tổng kết

Kiến trúc hệ thống

Data Annotation Tool



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Mục tiêu hệ thống làm nhãn
DAT

34 Kiến trúc hệ thống

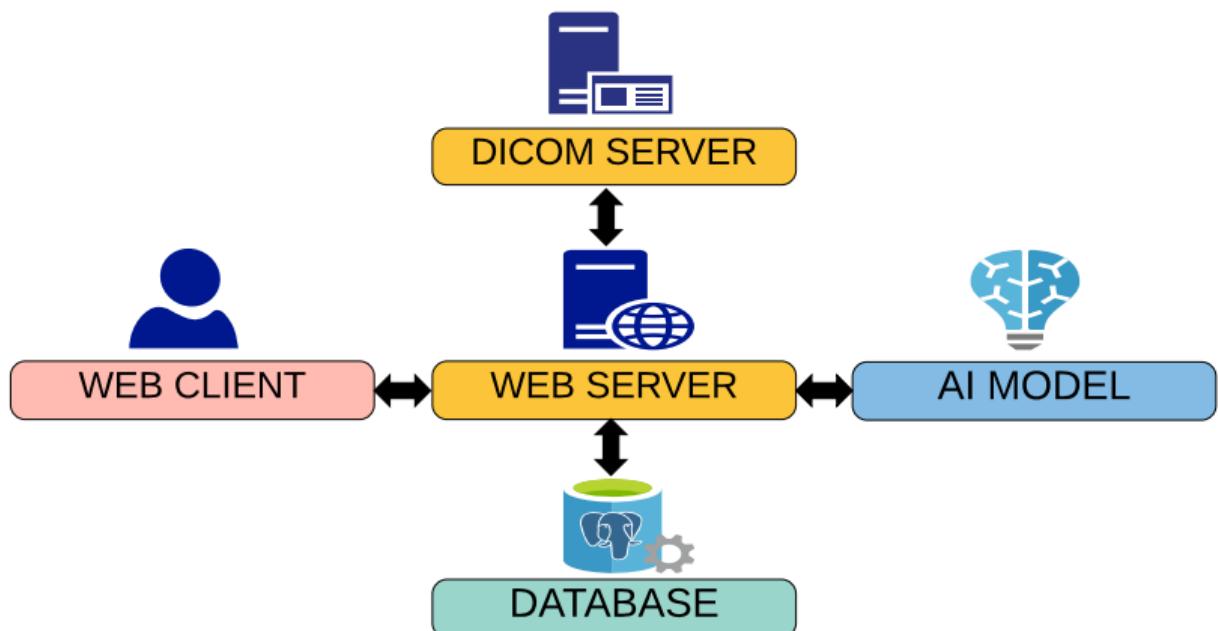
Giao diện ứng dụng

Làm nhãn với giải thuật
tăng trưởng vùng

Tích hợp dự đoán AI

Phản thừa kế và phản bổ
sung

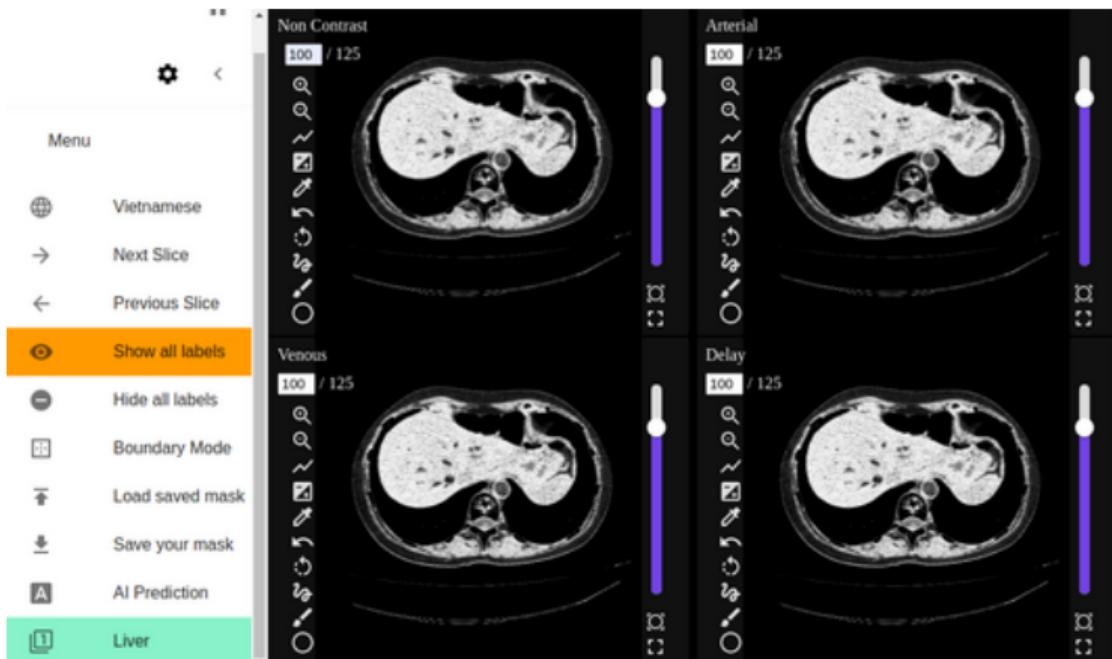
Tổng kết



Hình 5.1: Tổng quan hệ thống DAT

Giao diện ứng dụng

Data Annotation Tool



Hình 5.2: Giao diện làm nhãn

Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Mục tiêu hệ thống làm nhãn
DAT

Kiến trúc hệ thống

35 Giao diện ứng dụng

Làm nhãn với giải thuật
tăng trưởng vùng

Tích hợp dự đoán AI

Phản thừa kế và phản bổ
sung

Tổng kết

Giải thuật tăng trưởng vùng

Giới thiệu giải thuật



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Mục tiêu hệ thống làm nhãn
DAT

Kiến trúc hệ thống

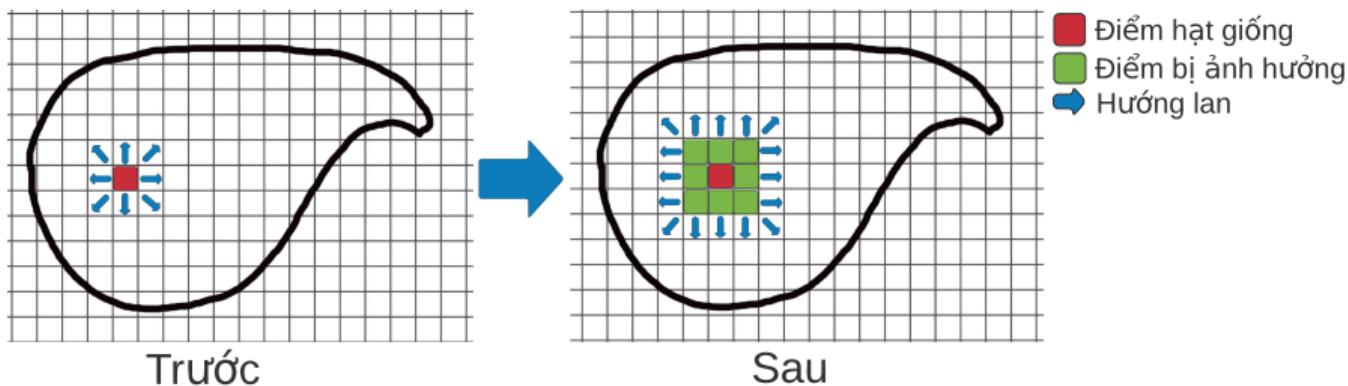
Giao diện ứng dụng

36 Làm nhãn với giải thuật
tăng trưởng vùng

Tích hợp dự đoán AI

Phản thừa kế và phản bổ
sung

Tổng kết



Hình 5.3: Minh họa giải thuật tăng trưởng vùng



Giải thuật tăng trưởng vùng

Ứng dụng giải thuật vào công cụ làm nhãn

Ứng dụng vào thao tác làm nhãn

- ① Lấy ngưỡng giá trị Hounsfield.
- ② Chọn điểm hạt giống.
- ③ Tăng trưởng vùng theo mức xám.

Tiêu chí phát triển và điều kiện dừng

- ① Độ chênh lệch mức xám không vượt quá alpha thì pixel được thêm vào vùng lan.
- ② Độ chêch lệnh mức xám vượt quá alpha hoặc vị trí pixel ra ngoài hình ảnh thì dừng lại.

Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thanh Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Mục tiêu hệ thống làm nhãn
DAT

Kiến trúc hệ thống

Giao diện ứng dụng

Làm nhãn với giải thuật
tăng trưởng vùng

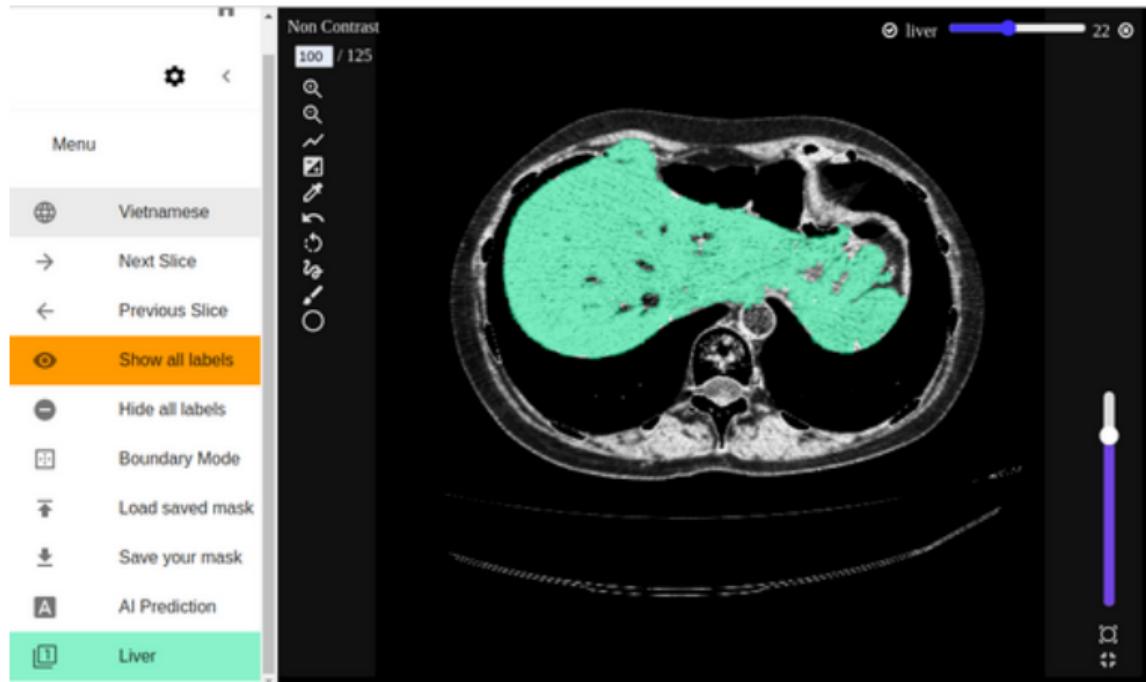
Tích hợp dự đoán AI

Phản thừa kế và phản bổ
sung

Tổng kết

Làm nhãn với giải thuật tăng trưởng vùng

Làm nhãn bán tự động



Hình 5.4: Tăng trưởng vùng theo mức xám trên ảnh DICOM

Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Mục tiêu hệ thống làm nhãn
DAT

Kiến trúc hệ thống

Giao diện ứng dụng

38
Làm nhãn với giải thuật
tăng trưởng vùng

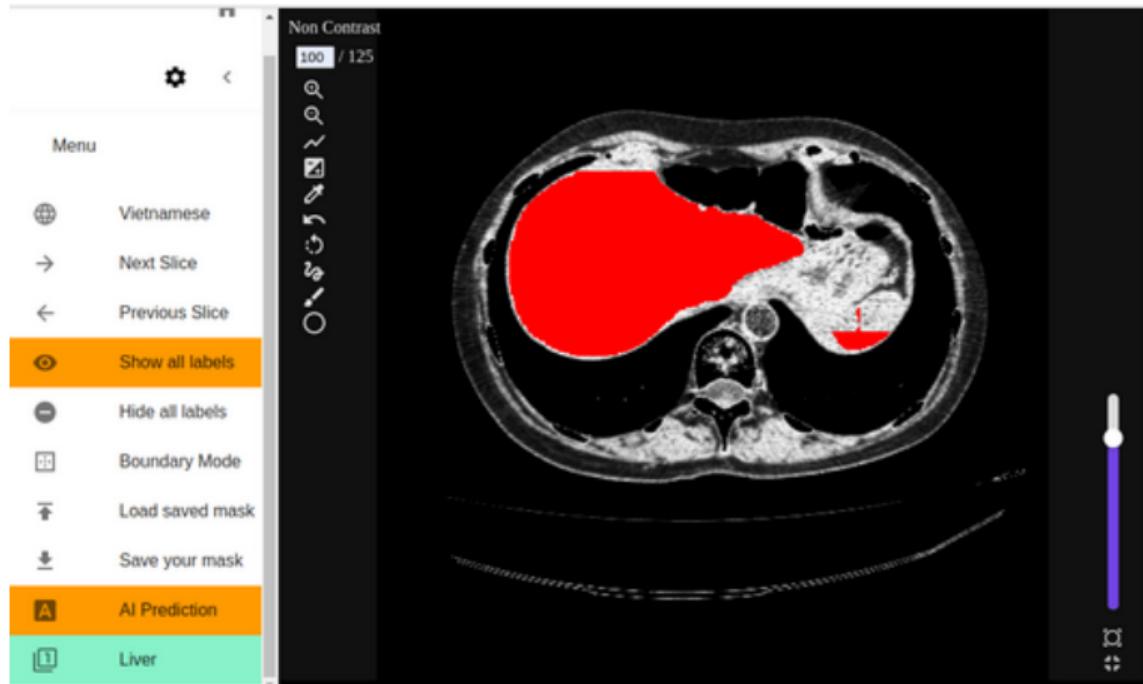
Tích hợp dự đoán AI

Phản thừa kế và phản bổ
sung

Tổng kết

Tích hợp dự đoán AI

Lãm nhãn bán tự động



Hình 5.5: Dự đoán AI hỗ trợ làm nhãn ảnh DICOM

Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Mục tiêu hệ thống làm nhãn
DAT

Kiến trúc hệ thống

Giao diện ứng dụng

Làm nhãn với giải thuật
tăng trưởng vùng

39 Tích hợp dự đoán AI

Phản thừa kế và phản bổ
sung

Tổng kết



Phần thừa kế và phần bổ sung

Tính năng thừa kế

- ① Lấy ngưỡng giá trị Hounsfield.
- ② Vẽ bằng bút.
- ③ Xóa bằng bút.
- ④ Chọn vùng ROI (region of interest).

Tính năng cải thiện và bổ sung

- ① Cải thiện giải thuật tăng trưởng vùng theo mức xám.
- ② Tích hợp dự đoán AI.
- ③ Vẽ nhãn tự do theo đường biên.
- ④ Đồng bộ nhãn giữa 4 thì.

Hệ thống làm nhãn cho ảnh chụp cắt lớp vi tính (CT) với sự trợ giúp của Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Mục tiêu hệ thống làm nhãn
DAT

Kiến trúc hệ thống

Giao diện ứng dụng

Làm nhãn với giải thuật
tăng trưởng vùng

Tích hợp dự đoán AI

Phần thừa kế và phần bổ
sung

Tổng kết



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Tổng kết

[Mục lục](#)

[Tổng quan](#)

[Kiến thức nền tảng](#)

[Phương án đề xuất](#)

[Thí nghiệm và kết quả](#)

[Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool](#)

41 **Tổng kết**

[Kết quả đạt được](#)

[Hướng phát triển](#)



Tổng kết

Kết quả đạt được

Kết quả đạt được

- ① Mô hình phân đoạn mạch máu đề xuất đã cải thiện với hệ số Dice (**60.75%**) so với các mô hình trước đó.
- ② Xây dựng thành công mô hình phân đoạn gan với độ chính xác tương đối tốt.
- ③ Kế thừa và phát triển hệ thống làm nhãn ảnh y khoa.

Hệ thống làm nhãn cho ảnh chụp cắt lớp vi tính (CT) với sự trợ giúp của Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

42 Kết quả đạt được
Hướng phát triển

Tổng kết

Kết quả đạt được

Kết quả đạt được

- ① Mô hình phân đoạn mạch máu đề xuất đã cải thiện với hệ số Dice (**60.75%**) so với các mô hình trước đó.
- ② Xây dựng thành công mô hình phân đoạn gan với độ chính xác tương đối tốt.
- ③ Kế thừa và phát triển hệ thống làm nhãn ảnh y khoa.

Các đóng góp

- ① Việc áp dụng ý tưởng của mô hình trong lĩnh vực phát hiện đối tượng nổi bật nhất trong bài toán ảnh y khoa đạt được sự cải thiện.
- ② Phát triển thêm các tính năng hệ thống làm nhãn.

Hệ thống làm nhãn cho ảnh chụp cắt lớp vi tính (CT) với sự trợ giúp của Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thanh Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

42 Kết quả đạt được
Hướng phát triển

Tổng kết

Hướng phát triển

Hướng phát triển

- ① Tích hợp phân đoạn đồng thời vừa gan vừa mạch máu cho toàn bộ ảnh CT.
- ② Phân đoạn nhiều cơ quan nội tạng khác nhau.
- ③ Trực quan hóa dữ liệu dưới dạng mô hình 3D.
- ④ Thêm tính năng tách riêng và thao tác độc lập trên từng phần nhăn.
- ⑤ Cải thiện phần tải và hiển thị ảnh DICOM.



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thanh Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mục lục

Tổng quan

Kiến thức nền tảng

Phương án đề xuất

Thí nghiệm và kết quả

Hệ thống làm nhãn
Data Annotation Tool

Tổng kết

Kết quả đạt được

43

Hướng phát triển



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thanh Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Cảm ơn thầy cô và các bạn đã lắng nghe!

Thí nghiệm mô hình Unet3D

Thí nghiệm trên gan



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

STT	Thí nghiệm	Kích thước dữ liệu	Độ sâu mô hình	Tăng cường dữ liệu	Tập kiểm thử	
					Dice	Recall
1	Kích thước dữ liệu	64^3	3	Không	71.69	88.66
2		96^3			83.49	89.93
3		128^3			80.12	85.81
4		160^3			80.94	87.81
5	Độ sâu mô hình	96^3	4	Có	88.17	90.49
6			5		88.09	94.20
7	Tăng cường dữ liệu		4	Có	90.67	91.52

Kết quả thí nghiệm mô hình Unet3D trên gan.

Thí nghiệm mô hình CNN3D

Thí nghiệm trên gan



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Thí nghiệm	Tập kiểm tra			
	Dice (%)	Recall (%)	VOE (%)	VD (%)
CNN 3D	94.61	94.40	10.11	-0.47
CNN 3D + hậu xử lý	95.17	94.42	9.11	-1.64

Kết quả thí nghiệm mô hình CNN3D trên gan.

Thí nghiệm mô hình U2net3D*

Thí nghiệm trên gan



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Thí nghiệm	Tập kiểm tra			
	Dice (%)	Recall (%)	VOE (%)	VD (%)
U2net3D*	95.28	95.29	8.92	-0.04
U2net3D* + hậu xử lý	95.83	95.29	7.9	-1.21

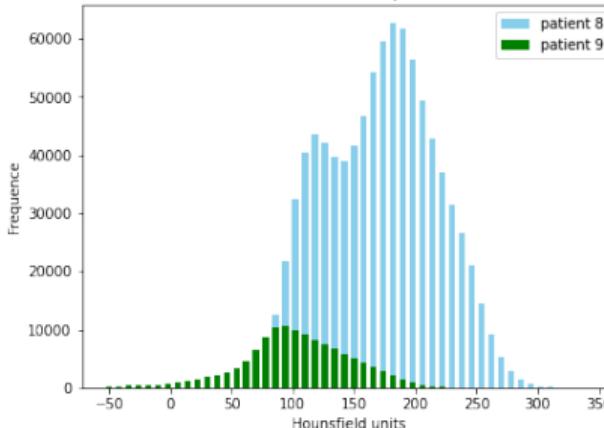
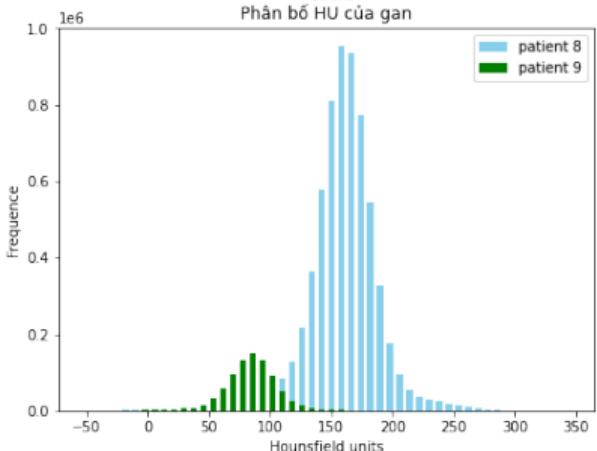
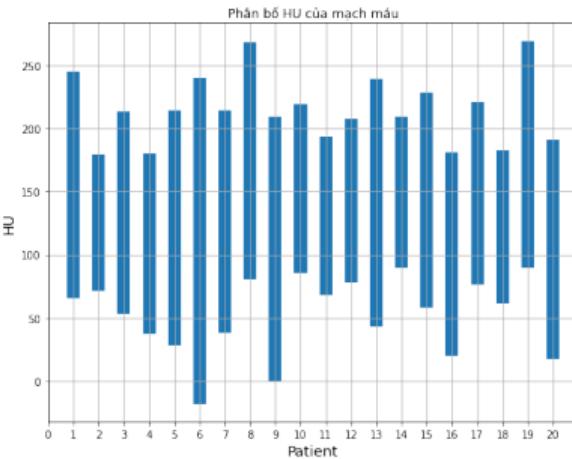
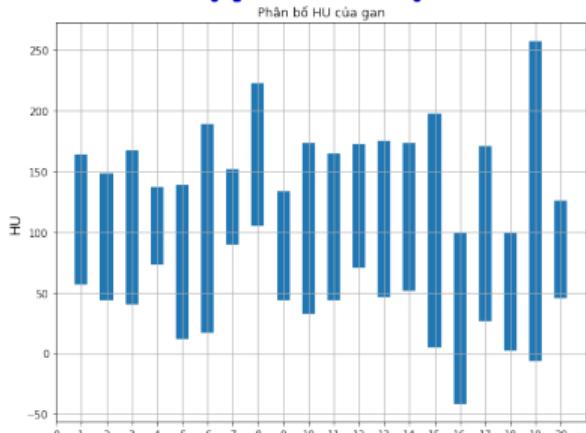
Kết quả thí nghiệm mô hình U2net3D* trên gan.

Phân tích tập dữ liệu



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh



Chuẩn bị dữ liệu huấn luyện



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

STT	Tập	Phân phôi giá trị trung bình HU			Tổng
		<125	[125 , 150]	>150	
0	Huấn luyện	5, 16, 9, 18, 20	2, 3, 7, 12, 13, 14, 15	8, 10	14
1	Kiểm thử	4	17	19	3
2	Kiểm tra	6	11	1	3

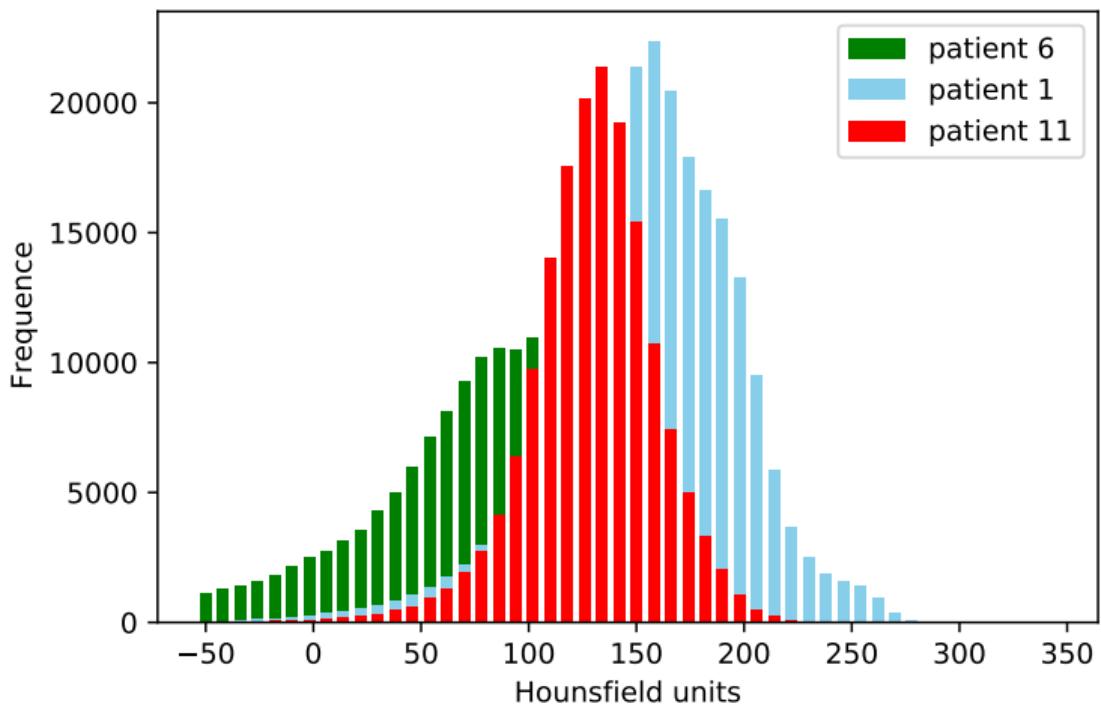
Bảng B.1:Bảng phân chia các bệnh nhân thành các tập dữ liệu cho mạch máu.

Phân tích tập dữ liệu



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh



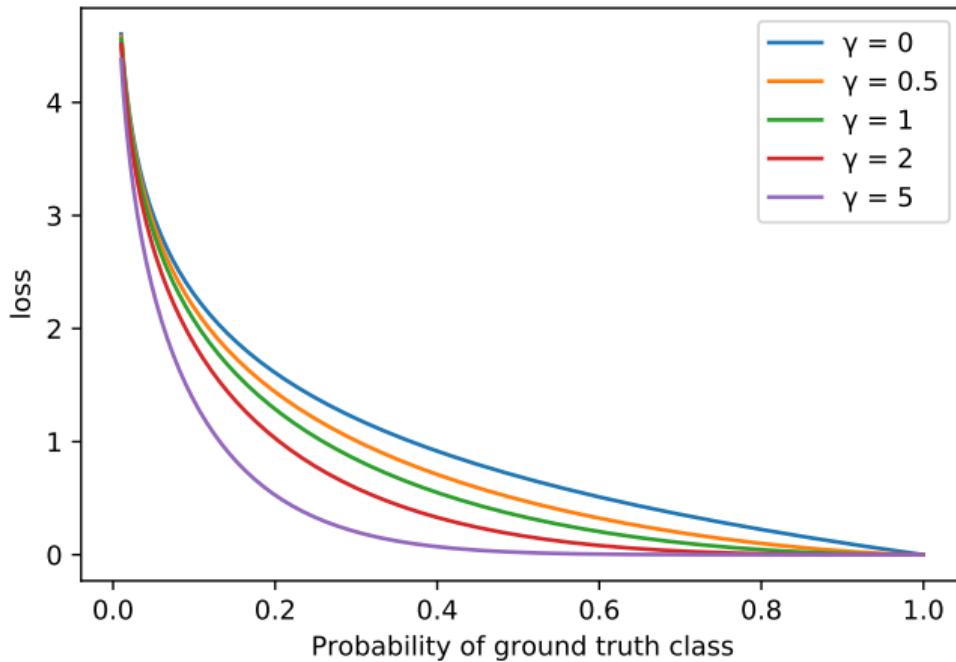
Hình A.1: Phân bố HU của từng bệnh nhân trên tập kiểm tra.

Hàm mục tiêu - Focal Loss



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh



Hình A.1:Sự ảnh hưởng của trọng số γ đối với hàm focal loss $FL(q) = -(1 - q)^\gamma \log(q)$

Thí nghiệm mô hình Unet3D - mạch máu



Hệ thống làm nhãn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

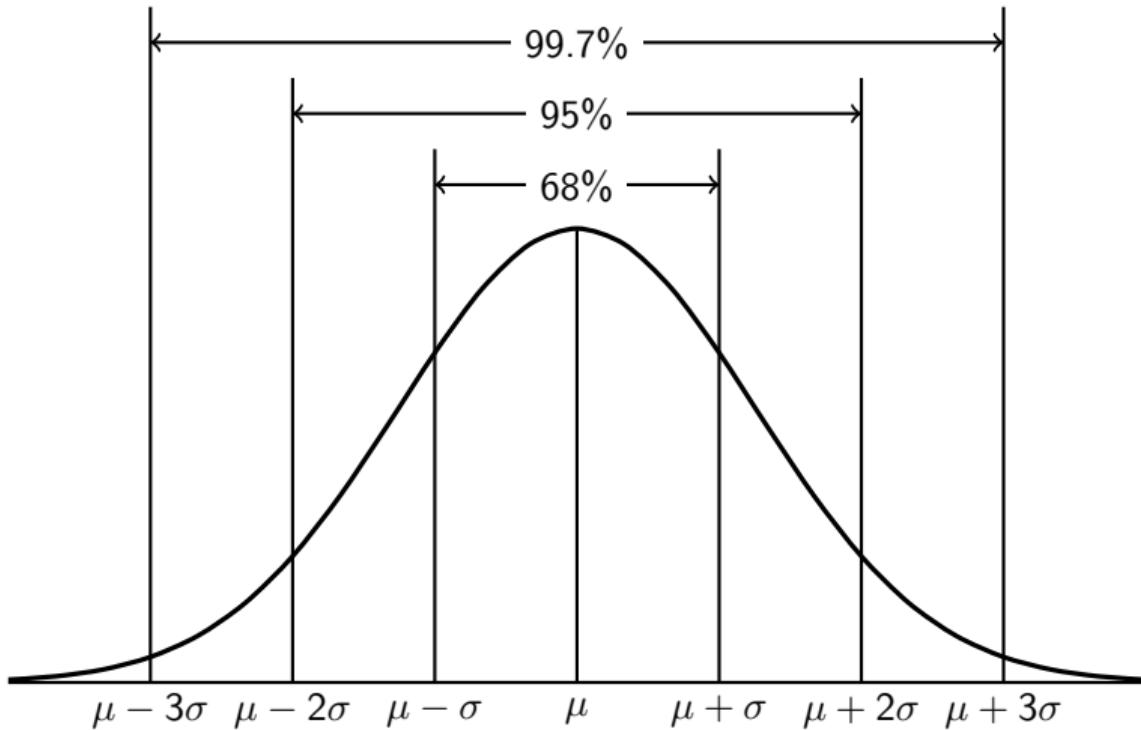
Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Mô hình	Độ sâu	Tập kiểm tra		Số lượng tham số
		Dice	Recall	
Unet3D	3	51.58	51.33	5.420.737
Unet3D	4	55.33	59.06	22.399.425
Unet3D	5	36.04	65.13	90.304.449

Hàm lỗi	Siêu tham số		Tập kiểm thử	
	gamma	alpha	Dice	Recall
BCE Loss	—	—	54.17	42.66
Focal Loss	1.0	0.6	52.59	45.19
Focal Loss	1.0	0.7	50.98	47.96
Focal Loss	1.0	0.8	53.98	48.11
Focal Loss	1.5	0.7	53.05	49.43
Focal Loss	1.5	0.8	53.23	50.18
Focal Loss	2.0	0.7	54.16	54.07
Focal Loss	2.0	0.8	55.33	59.06
Focal Loss	3.0	0.8	50.12	59.10

STT	Giới tính	Kích thước voxel (mm)	Kích thước ảnh ban đầu
1	Nữ	0.57 - 0.57 - 1.6	512 - 512 - 129
2	Nam	0.62 - 0.62 - 1.25	512 - 512 - 200
...			
20	Nữ	0.81 - 0.81 - 2.0	512 - 512 - 225

Bảng -1.1: Thông tin kích thước không gian ban đầu của mỗi bộ ảnh tập dữ liệu 3DIRCAD



Hình A.1: Tỷ lệ diện tích phân phối Gauss theo độ lệch chuẩn.



Hệ thống làm nhẵn cho
ảnh chụp cắt lớp vi tính
(CT) với sự trợ giúp của
Trí tuệ nhân tạo

Cao Thanh Tùng
Nguyễn Thành Tuấn
Phan Ngọc Thịnh

Thông tin mạch máu gan*

- **Tĩnh mạch cửa** là mạch máu có đường kính lớn nhất trong cơ quan gan.
- Đường kính tĩnh mạch cửa trong khoảng **15 – 18mm**.

*Nguồn: A. M. Covey, L. A. Brody, G. I. Getrajdman, C. T. Sofocleous, and K. T. Brown, "Incidence, patterns, and clinical relevance of variant portal vein anatomy," American Journal of Roentgenology, vol. 183, no. 4, pp. 1055–1064, 2004.