

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC DUY TÂN



Lê Văn Chung

**NGHIÊN CỨU MỘT SỐ KỸ THUẬT
XỬ LÝ ĐỐI TƯỢNG VÀ MÔ PHỎNG
ỨNG DỤNG TRONG Y HỌC**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KHOA HỌC MÁY TÍNH

Đà Nẵng - 2022

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC DUY TÂN



Lê Văn Chung

**NGHIÊN CỨU MỘT SỐ KỸ THUẬT
XỬ LÝ ĐỐI TƯỢNG VÀ MÔ PHỎNG
ỨNG DỤNG TRONG Y HỌC**

Chuyên ngành: Khoa học máy tính
Mã số: 9 48 01 01

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KHOA HỌC MÁY TÍNH

Người hướng dẫn khoa học: PGS.TS Lê Đắc Như
TS. Jolanda Gerda Tromp

Đà Nẵng - 2022

Lời cam đoan

Tác giả xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của bản thân tác giả. Các kết quả nghiên cứu và các kết luận trong luận án này là trung thực, không sao chép từ bất kỳ một nguồn nào và dưới bất kỳ hình thức nào. Việc tham khảo các nguồn tài liệu đã được thực hiện trích dẫn và ghi nguồn tài liệu tham khảo đúng quy định.

Nghiên cứu sinh

Lê Văn Chung

Mục lục

Lời cam đoan	i
Danh mục bảng	v
Danh mục hình vẽ	vi
Danh mục từ viết tắt	viii
Lời cảm ơn	x
Mở đầu	1
Chương 1. Tổng quan về xử lý đối tượng trong mô phỏng y học	6
1.1 Khái quát về mô phỏng và mô phỏng 3D	6
1.1.1 Khái niệm về mô phỏng	6
1.1.2 Phân loại các hệ thống mô phỏng	7
1.1.2.1 Hệ thống mô phỏng không có tính nhúng	7
1.1.2.2 Hệ thống mô phỏng Bán nhúng	8
1.1.2.3 Hệ thống mô phỏng nhúng toàn phần	8
1.1.3 Mô phỏng 3D trong y học	10
1.1.3.1 Công nghệ mô phỏng y học	10
1.1.3.2 Hệ thống mô phỏng 3D thực tại ảo trong y học	13
1.1.3.3 Một số kỹ thuật tạo mô hình 3D	15
1.1.3.4 Nguyên lý tối ưu mô hình 3D	18
1.1.4 Ứng dụng của mô phỏng thực tế ảo trong y học	19
1.2 Một số kỹ thuật biểu diễn, tái tạo và tương tác trên đối tượng 3D	22
1.2.1 Kỹ thuật biểu diễn, biến đổi đối tượng 3D	22
1.2.2 Kỹ thuật xử lý, tái tạo bề mặt đối tượng 3D	23
1.2.3 Kỹ thuật tương tác đối tượng 3D đa góc nhìn	27
1.2.3.1 Vấn đề cong vênh đối tượng đồ họa đa điểm nhìn	28
1.2.3.2 Góc nhìn người dùng khi tương tác đối tượng 3D	28
1.2.3.3 Góc nhìn đa người dùng tương tác đối tượng 3D	30
1.3 Một số hướng tiếp cận xử lý đối tượng 3D trong mô phỏng y học	31
1.3.1 Hướng tiếp cận tối ưu hóa bề mặt đối tượng 3D	31
1.3.1.1 Tối ưu hóa bề mặt lưới tam giác, tứ giác	31
1.3.1.2 Tiếp cận làm mịn bề mặt đối tượng 3D	33
1.3.2 Hướng tiếp cận về chiếu sáng và tạo bóng đối tượng 3D	33

1.3.2.1	Tiếp cận chiếu sáng đối tượng 3D	33
1.3.2.2	Tiếp cận tạo bóng đối tượng 3D	34
1.3.3	Hướng tiếp cận về tương tác đối tượng 3D	34
1.3.3.1	Điều hướng tương tác	35
1.3.3.2	Lựa chọn, thao tác và điều khiển ứng dụng	35
1.3.4	Tiếp cận bảo mật cho dữ liệu hình ảnh đối tượng 3D	36
1.4	Kết chương 1	37

Chương 2. Đề xuất một số kỹ thuật xử lý đối tượng trong mô phỏng y học **38**

2.1	Kỹ thuật lựa chọn màu RGB hiệu quả cho cấu trúc đối tượng 3D phức tạp	38
2.1.1	Đặt vấn đề	38
2.1.2	Các nghiên cứu liên quan	40
2.1.3	Đề xuất mô hình lựa chọn màu RGB hiệu quả cho cấu trúc đối tượng 3D phức tạp trong hệ thống đồ thị cảnh	42
2.1.3.1	Vẽ trước vùng chọn và định danh	43
2.1.3.2	Xác định đường biên	43
2.1.3.3	Truy vấn dữ liệu	47
2.1.3.4	Kiểm soát trạng thái Texture chính và RGB	48
2.1.3.5	Xử lý các tính toán đổ bóng GLSL	48
2.1.3.6	Tương tác với vùng đã chọn	49
2.1.3.7	Kết xuất (Rendering)	50
2.1.4	Kết quả thực nghiệm và đánh giá	51
2.1.4.1	Đánh giá hiệu năng các thao tác ghi pixel	52
2.1.4.2	Đánh giá hiệu quả trên đối tượng 3D phức tạp	53
2.2	Kỹ thuật nâng cao hiệu quả tương tác với đa người dùng trong thực tế ảo tăng cường	54
2.2.1	Đặt vấn đề	54
2.2.2	Các nghiên cứu liên quan	55
2.2.3	Đề xuất kỹ thuật cải thiện hiệu quả của tương tác với nhiều người dùng trong thực tế tăng cường hợp tác để đào tạo giải phẫu y khoa	57
2.2.3.1	Kiến trúc đa tương tác với nhiều người dùng trong AR	57
2.2.3.2	Triển khai AnatomyNow trong môi trường AR	59
2.2.3.3	Kỹ thuật chia sẻ nhiều người dùng	62
2.2.3.4	Kỹ thuật tương tác AR với nhiều thiết bị	64
2.2.4	Kết quả thực nghiệm và đánh giá	65
2.2.4.1	Kết quả thực nghiệm	65
2.2.4.2	Phân tích, đánh giá kết quả thực nghiệm	67
2.3	Kỹ thuật tăng cường mã hóa dữ liệu y tế trên đường truyền trong các hệ thống phân tán dựa trên IoT	68

2.3.1	Đặt vấn đề	68
2.3.2	Các nghiên cứu liên quan	69
2.3.3	Đề xuất thuật toán Memetic mã hóa dữ liệu y tế trên đường truyền trong các hệ thống phân tán dựa trên IoT	70
2.3.3.1	Thuật toán Memetic truyền dữ liệu y tế an toàn	70
2.3.3.2	Mã hóa thông tin nhạy cảm với thuật toán Memetic	72
2.3.3.3	Thuật toán Memetic mã hóa dữ liệu	73
2.3.3.4	Thủ tục giấu tin sử dụng DWT	74
2.3.3.5	Thủ tục lấy thông tin bí mật	75
2.3.4	Kết quả thực nghiệm và đánh giá	76
2.3.4.1	Thiết lập môi trường thực nghiệm	76
2.3.4.2	Thiết lập tham số đánh giá	76
2.3.4.3	Phân tích, đánh giá mức độ bảo mật	78
2.4	Kết chương 2	84

Chương 3. Ứng dụng một số kỹ thuật xử lý đối tượng xây dựng hệ thống mô phỏng thực tế ảo cơ thể người 85

3.1	Thực trạng giảng dạy môn giải phẫu và hướng tiếp cận	85
3.1.1	Thực trạng giảng dạy	85
3.1.2	Hướng tiếp cận ứng dụng công nghệ mô phỏng	86
3.1.3	Các nghiên cứu liên quan	86
3.2	Ứng dụng một số kỹ thuật xử lý đối tượng 3D xây dựng hệ thống mô phỏng cơ thể người	88
3.2.1	Hệ thống mô phỏng cơ thể người 3D	88
3.2.2	Mô phỏng các hệ giải phẫu cơ thể người	89
3.2.3	Mô phỏng và giả lập các cử động, hoạt động	92
3.2.4	Mô phỏng tương tác đa nền tảng thiết bị với hệ thống	93
3.3	Phân tích, đối sánh hiệu quả của hệ thống thực nghiệm	94
3.3.1	Thiết kế kiến trúc và lựa chọn đối tượng thực nghiệm	94
3.3.2	Phân tích kết quả thực nghiệm	96
3.3.3	Đánh giá về hệ thống mô phỏng	101
3.4	Kết chương 3	103

Kết luận và hướng phát triển 104

Danh sách các công bố liên quan đến luận án 107

Reference 108

Danh mục bảng biểu

1.1	So sánh hiệu năng hoạt động của các hệ thống mô phỏng [52]	10
2.1	Lưu trữ mã màu và các giá trị quan hệ	47
2.2	Môi trường thực nghiệm	51
2.3	So sánh đánh giá hiệu suất ghi pixel của phương pháp đề xuất	52
2.4	So sánh đánh giá điểm chuẩn FPS trên hệ thống giải phẫu người	53
2.5	Phân tích các nhóm người sử dụng AnatomyNow khác nhau dùng HoloLens	66
2.6	Phân tích so sánh giải pháp đề xuất với các giải pháp khác	67
2.7	So sánh tỷ lệ tín hiệu đỉnh trên nhiễu và lỗi bình phương trung bình đối với hình ảnh màu	78
2.8	So sánh tỷ lệ tín hiệu đỉnh trên nhiễu và lỗi bình phương trung bình đối với hình đa cấp xám	80
2.9	So sánh Tỷ lệ lỗi bit, sự giống nhau về cấu trúc, nội dung cấu trúc và sự tương quan của hình ảnh màu	83
2.10	So sánh các giá trị PSNR và MSE giữa Memetic và các phương pháp khác	84
3.1	Các hệ cơ quan trong cơ thể được mô phỏng	89
3.2	Các cơ quan và đặc điểm cấu tạo hệ Hô hấp	90
3.3	Độ biến thiên giữa độ tuổi và giới tính của các nhóm sinh viên	97

Danh mục hình vẽ

1.1	Giao diện giữa người sử dụng và hệ thống máy tính 3D	6
1.2	Thiết bị găng tay trong hệ thống nhúng toàn phần	9
1.3	Thiết bị HDM trong hệ thống nhúng toàn phần	9
1.4	Ứng dụng của thực tại ảo trong cuộc sống	14
1.5	Kiến trúc hệ thống mô phỏng thực tại ảo trong y học	15
1.6	Biểu diễn mô hình 3D từ tập đỉnh, tập mặt và tập UV	16
1.7	Các thành phần trong mô hình 3D mô phỏng tim người	16
1.8	Mô hình triển khai hệ thống VR tại bệnh viện	21
1.9	Các bước tái tạo mặt cong Bézier tam giác (<i>a</i>) Lưới khởi tạo, (<i>b,c,d</i>) mặt cong đạt được sau $k = 2, 4, 6$ bước dịch chuyển, (<i>e</i>) mặt trong của mặt cong (<i>d</i>), và (<i>f</i>) độ cong Gaussian của Bézier kết quả với bậc $n = 164$	24
1.10	Thị sai từ góc độ người dùng khi tương tác đối tượng 3D	27
1.11	Thị sai từ điểm nhìn cố định và góc nhìn của người dùng	29
1.12	Góc nhìn đa người dùng cùng tương tác đối tượng 3D	31
1.13	Điều hướng góc nhìn trong môi trường 3D	35
2.1	Hiện tượng các bề mặt bị chồng chéo RGBA.	39
2.2	Hộp sọ được đánh dấu bằng các PIN và trái tim với một số vùng được đánh dấu bằng kênh alpha.	42
2.3	Kỹ thuật lựa chọn màu RGB hiệu quả cho đối tượng 3D phức tạp.	43
2.4	Vẽ các vùng màu dựa trên UV chính xác.	43
2.5	Các đỉnh được di chuyển để dựng một đường biên.	45
2.6	Thuật toán tạo đường biên khác nhau.	46
2.7	Kết quả của phát hiện và tái tạo đường biên	47
2.8	Bộ cơ sở dữ liệu về đại não được lưu trữ trên MySQL	48
2.9	Kết quả áp dụng RGB texture cho mô hình sọ	49
2.10	Kết quả áp dụng tương tác với vùng cơ đầu	50
2.11	Kết quả lựa chọn màu RGB cho mô hình phổi 3D phức tạp	51
2.12	Kết quả áp dụng kỹ thuật đề xuất lên mô hình bộ não	52
2.13	So sánh phương pháp đề xuất với các kỹ thuật hiện có	53
2.14	Kiến trúc đa tương tác với nhiều người dùng thực tế ảo tăng cường	57
2.15	Mô hình chi tiết cho hệ thống nhiều người dùng khác nhau trong cùng một không gian vật lý	58
2.16	Các bước xác định vị trí của các điểm trong không gian 3D	59
2.17	Gắn các Pin vào vị trí đã chọn và điều khiển tương tác từ xa	60
2.18	Một số kết quả của tương tác RGB và Pin trên đối tượng 3D	62
2.19	Tạo không gian từ thiết bị đầu và không gian cho các thiết bị khác	62
2.20	Vị trí và giá trị của pin trên máy chủ	63
2.21	Quy trình làm việc của tương tác AR với nhiều thiết bị	64
2.22	Dịch vụ chia sẻ IP trên mô hình Client-Server	65
2.23	AnatomyNow được hiển thị với tương tác AR với nhiều người dùng	66

2.24	So sánh trải nghiệm của người dùng với HoloLens	67
2.25	Quá trình tiến hóa các quần thể trong thuật toán Memetic	71
2.26	Quá trình phân tách của DWT-2L	74
2.27	Quá trình tổng hợp DWT-2L	75
2.28	Hình ảnh màu và xám được sử dụng để đánh giá	76
2.29	So sánh biểu đồ của hình ảnh màu trước và sau khi áp dụng thuật toán Memetic với các kích thước văn bản (15, 30, 45, 55 Byte)	79
2.30	So sánh biểu đồ của hình ảnh màu trước và sau khi áp dụng thuật toán Memetic với các kích thước văn bản (100, 128, 256 Bytes)	81
2.31	So sánh biểu đồ của hình ảnh xám trước và sau khi áp dụng thuật toán Memetic với các kích thước văn bản (15, 30, 45, 55, 100, 128, 256 Bytes)	82
3.1	Hệ thống mô phỏng cơ thể người 3D	89
3.2	Hệ hô hấp	90
3.3	Hệ tiêu hóa	91
3.4	Hệ Tim mạch	91
3.5	Hệ Thần kinh	92
3.6	Mô phỏng hoạt động tứ chi và hàm	93
3.7	Hệ thống mô phỏng cơ thể người và hoạt động của tim	93
3.8	Kỹ thuật đánh dấu và ghi nhớ các điểm giải phẫu	94
3.9	Người dùng tương tác hệ thống qua máy tính, thiết bị di động và VR	94
3.10	Thiết kế kiến trúc khảo sát thực nghiệm	95
3.11	3 phương pháp đối chứng trong nghiên cứu	96
3.12	Mô hình thay đổi phương pháp học của nhóm A sang cho nhóm C	98
3.13	So sánh điểm số của sinh viên ở kỳ thi sau đợt đào tạo đầu tiên.	99
3.14	So sánh điểm số của sinh viên ở kỳ thi sau đợt đào tạo thứ hai.	99
3.15	So sánh điểm của sinh viên các trường đại học được nhóm lại với nhau theo các phương pháp học (Manikin, Cadaver, VR) sau bài kiểm tra đầu tiên (màu vàng) và bài kiểm tra thứ hai (màu đỏ).	100
3.16	So sánh điểm của sinh viên các trường đại học được nhóm lại với nhau theo (Manikin, Xác người, VR), với điểm sau kỳ thi thứ nhất (màu cam) và điểm ở lần thứ hai kỳ thi sau đào tạo (màu xanh lá cây).	100
3.17	Học nhóm tương tác AR qua smartphone	102

Danh mục từ viết tắt

Viết tắt	Nghĩa tiếng Anh	Nghĩa tiếng Việt
2D	Two Dimension	2 Chiều
3D	Three Dimentional	3 chiều
AR	Agumented Reality	Thực tế ảo tăng cường
API	Application Programming Interface	Giao diện lập trình ứng dụng
AES	Advanced Encryption Standard	Chuẩn mã hóa dữ liệu
BER	Bit Error Rate	Tỷ lệ lỗi bit
BFS	Breadth-First Search	Tìm kiếm theo chiều rộng
B-Spline	Basic Spline	Đường cơ sở Spline
CPU	Central Processing Unit	Bộ xử lý trung tâm
CT	Computerized Tomography	Chụp cắt lớp
CTA	Computer Tomography Angiography	Chụp CT mạch máu não
CAM	Computer-Aided Manufacturing	Sản xuất thông qua sự trợ giúp máy tính
CAD	Computer Aided-Design	Thiết kế thông qua sự trợ giúp máy tính
CNN	Convolutional Neural Networks	Mạng nơ-ron tích chập
DWT	Discrete Wavelet Transform	Phép biến đổi wavelet rời rạc
DME	Distance Measuring Equipment	Thiết bị đo khoảng cách
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine	Tiêu chuẩn ảnh số và truyền thông trong y tế
FPS	Frames-per-second	Tốc độ khung hình/giây
DCT	Discrete Cosine Transform	Biến đổi cosin rời rạc
GLSL	OpenGL Shading Language	Ngôn ngữ tạo bóng OpenGL
GPU	Graphics Processing Unit	Bộ xử lý đồ họa
GLM	Gray Level Modification	Thay đổi mức xám
HMD	Head-Mounted Display	Màn hình gắn trên đầu
HIE	Health Information Exchange	Hệ thống chia sẻ thông tin y tế

HGA	Hybrid Genetic Algorithm	Thuật toán di truyền lai
IoT	Internet of things	Internet vạn vật
LOD	Level of Detail	Cấp độ chi tiết
LSB	Least Significant Bit	Bit thấp nhất
MLE	Multi-Level Encryption	Mã hóa đa mức
MSE	Mean Square Error	Sai số toàn phương trung bình
MPU	Multi-Partition Unit	Phân vùng đa cấp
NTP	Normalized Totally Positive	Phân bố tổng thể tích cực
NURBS	Non-uniform rational B-spline	Biểu diễn đường cong và bề mặt
OpenGL	Open Graphics Library	Thư viện OpenGL
P2P	Peer-to-Peer	Mạng ngang hàng
PIA	Progressive Iterative Approximation	Xấp xỉ lặp lũy tiến
PIN	Put Information Note	Ghim chú thích
PSNR	Peak Signal to Noise Ratio	Tỷ lệ tín hiệu đỉnh trên nhiễu
PRNG	Pseudorandom Number Generator	Bộ sinh số giả ngẫu nhiên
PHT	Pressure Half-time	Thời gian để độ chênh áp giảm đi $\frac{1}{2}$
RGB	Red, Green, Blue	Mô hình màu RGB
RGB-A	Red Green Blue Alpha	Mô hình màu RGB-A
RGB-D	Red Green Blue Depth	Mô hình màu RGB-D
RBF	Radial Basis Function Network	Mạng hàm cơ sở bán kính
RSA	R. Rivest, A. Shamir, L. Adleman	Hệ mã hóa RSA
SSIM	Structural Similarity	Chỉ số sự tương đồng cấu trúc
SC	Structural Content	Nội dung cấu trúc
UI	User Interface	Giao diện người dùng
VR	Virtual Reality	Thực tại ảo
VE	Virtual Environment	Môi trường ảo

Lời cảm ơn

Luận án được hoàn thành dưới sự hướng dẫn tận tình của PGS.TS Lê Đắc Nhường và TS. Jolanda Gerda Tromp. Lời đầu tiên, tôi xin bày tỏ lòng kính trọng và biết ơn sâu sắc tới Thầy và Cô.

Tôi xin chân thành cảm ơn các Thầy, Cô trong Trường Khoa học máy tính đã đóng góp những ý kiến quý báu cả về học thuật và kinh nghiệm nghiên cứu giúp đỡ tôi trong suốt quá trình thực hiện luận án.

Tôi xin chân thành cảm ơn Ban Giám hiệu trường Đại học Duy Tân và Trường Khoa học Máy tính, Ban Đào tạo Sau Đại học đã tạo mọi điều kiện thuận lợi trong quá trình hoàn thành và bảo vệ luận án. Xin chân thành cảm ơn cán bộ trung tâm CVS đã luôn động viên giúp đỡ tôi trong công tác để tôi có thời gian tập trung nghiên cứu, thực hiện luận án.

Đặc biệt tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới Cha, Mẹ, Vợ, Con và các anh, chị em trong gia đình, những người luôn dành cho tôi những tình cảm nồng ấm và sẻ chia những lúc khó khăn trong cuộc sống, luôn động viên giúp đỡ tôi trong quá trình nghiên cứu. Luận án cũng là món quà tinh thần mà tôi trân trọng gửi tặng đến các thành viên trong Gia đình.

Tôi xin trân trọng cảm ơn!

Mở đầu

1. Tính cấp thiết

Trong những năm gần đây, cùng với sự phát triển của phần cứng như các thiết bị thu nhận hình ảnh, thiết bị trình chiếu là sự tiến bộ của học thuật với nhiều công trình nghiên cứu về lĩnh vực xử lý hình ảnh, mô phỏng đã thúc đẩy mạnh mẽ các hệ thống mô phỏng thực tại ảo. Thực tại ảo (VR- *Virtual Reality*) [114] đã ngày càng chứng tỏ vai trò quan trọng trong đời sống cũng như trong khoa học, kỹ thuật. Thực tại ảo hiện diện ở hầu như mọi lĩnh vực giải trí, văn hóa, kinh tế, chính trị, quốc phòng, khoa học, đời sống...

Trong thực tại ảo việc xây dựng các đối tượng 3D (3 chiều) là vô cùng quan trọng, vì các đối tượng 3D giúp cho thế giới trong thực tại ảo giống với thực tế hơn đáp ứng được các nhu cầu khắc khe của con người. Các mô hình đối tượng 3D trong thực tại ảo được tạo ra chủ yếu bằng ba phương pháp: từ các lệnh trong ngôn ngữ lập trình, từ các nhà thiết kế sử dụng phần mềm 3D và từ các máy quét 3D. Cùng với sự phát triển của khoa học công nghệ những chiếc máy quét 3D đang dần trở thành công cụ đắc lực cho việc tạo ra các mô hình 3D từ thế giới thực [77, 99, 100]. Các sản phẩm được tạo từ máy quét 3D có tỷ lệ chính xác so với mẫu ban đầu khá cao, đồng thời cũng giảm khá nhiều thời gian và chi phí để tạo ra đối tượng 3D [3, 22]. Tuy nhiên, đồng nghĩa với độ chính xác cao, các mô hình này cũng có số lượng lưới khá lớn, khó có thể dùng cho nhiều ứng dụng khác nhau của thực tại ảo.

Bài toán tối ưu hóa xử lý các đối tượng trong mô hình 3D có nhiều ý nghĩa khi mà số lượng đối tượng cần đưa vào thực tại ảo ngày một nhiều, ví dụ như chúng ta mô phỏng lại một thành phố, hay tái tạo lại một khu bảo tàng hay biểu diễn các cơ quan trong cơ thể người... [10, 121]. Bên cạnh đó, sản phẩm về thực tại ảo xuất hiện nhiều trên các điện thoại thông minh hay máy tính bảng, các thiết bị này hiện tại thì cấu hình phần cứng đang còn khá khiêm tốn. Với khả năng ứng dụng cao, chi phí thấp thì cần phải có những nghiên cứu chuyên sâu về xử lý các đối tượng 3D sau được tạo từ máy quét 3D có thể ứng dụng được rộng rãi hơn [10, 15, 77, 107].

Trong lĩnh vực đào tạo y khoa, theo thống kê của Bộ Giáo dục và Đào tạo, ở Việt Nam hiện nay có 31 trường Đại học, 42 trường Cao đẳng và 49 trường Trung

cấp có đào tạo khối ngành Y dược. Trong chương trình đào tạo, môn giải phẫu học là môn cơ bản và quan trọng nhất mà tất cả các ngành Y Đa Khoa, Điều dưỡng, Dược, chuẩn đoán hình ảnh,... đều phải học. Môn học này đòi hỏi phải học trực tiếp trên xác người. Tuy nhiên, với điều kiện thực tế hiện nay ở Việt Nam có được bao nhiêu trường đào tạo khối ngành Y Dược có xác người để sinh viên học? Ngoài các trường Đại học lớn, trọng điểm như: Đại học Y Hà Nội, Đại học Y Dược Thành phố Hồ Chí Minh, Đại học Y Dược Huế là có xác người. Các trường còn lại chỉ cho sinh viên học trên các mô hình, tranh, tiêu bản và hình ảnh 2D hoặc dùng các phần mềm không có bản quyền trên của nước ngoài - ngôn ngữ thể hiện là tiếng Anh, mô hình mẫu là chúng người phương Tây [62]. Những điều này làm cho sinh viên khó nắm được chi tiết giải phẫu thực tế, không tiếp thu kiến thức đối với các hệ cơ quan, khó quan sát như các hệ cơ, thần kinh, mạch máu, tiêu hóa, não. Đặc biệt đối với sinh viên năm nhất thì tiếng Anh là rào cản lớn để tiếp cận tài liệu chuyên ngành, dẫn đến sẽ không nhận biết được sự giống và khác nhau ở mốc giải phẫu giữa người Việt với người phương Tây [114].

Mặt khác, các trường đại học lớn tuy có xác người nhưng xác đó cũng phải trải qua quá nhiều lần thực hành mổ xẻ và đã bị sử dụng quá lâu ngày, dẫn đến các chi tiết trên xác không còn nguyên vẹn, các bộ phận bị hư hỏng, biến dạng. Quy trình lưu trữ và ngâm xác trong bể formol cũng khá tốn kém và khó khăn, đòi hỏi quy trình xử lý khắc khe về môi trường. Hiện nay, xác người rất khó kiếm do nguồn hiến tặng ít, phần vì văn hóa, tín ngưỡng của người Việt Nam đối với người thân sau khi chết. Việc thực hành trên xác động vật cũng không thể thay thế hoàn toàn được với xác người, đồng thời bị giới hạn bởi quyền giết mổ động vật. Ngoài ra, ở các trường Trung học phổ thông, điều kiện để giảng dạy môn Sinh học còn rất nghèo nàn và sơ sài. Học sinh được học phần lớn chỉ là lý thuyết từ sách giáo khoa, mà không được tận mắt thấy các bộ phận trên cơ thể con người, các em chỉ được xem qua các tranh vẽ ở sách, tranh ảnh minh họa. Với điều kiện khó khăn về xác người và tình thực tế của các môn học giải phẫu và sinh học như vậy, ý tưởng áp dụng công nghệ 3D thực tại ảo sẽ là giải pháp tối ưu để giải quyết bài toán này [113, 118].

Việc nghiên cứu giải quyết bài toán mô phỏng cơ thể người và xây dựng ứng dụng phục vụ cho công tác nghiên cứu, học tập và luyện nghề giải phẫu học là vấn đề còn mới mẻ với Việt Nam, trong khi đã có những yêu cầu thực tế đang đặt ra. Đây thực sự là bài toán được đặt ra cho các nhà nghiên cứu, các nhà phát triển phần mềm và các bệnh viện, Bộ Y tế cần phối hợp lại với nhau để tạo ra được các sản phẩm ứng dụng liên ngành có giá trị cao trong đào tạo ở nhà trường cũng như đào tạo nâng cao tay nghề trong các cơ sở y tế [72, 119].

Xuất phát từ hoàn cảnh đó và tầm quan trọng của bài toán tối ưu xử lý, biểu diễn đối tượng trong mô hình 3D, tôi thực hiện đề tài "*Nghiên cứu một số kỹ thuật xử lý đối tượng và mô phỏng ứng dụng trong y học*" nhằm đáp ứng các yêu cầu về kích thước dữ liệu mô hình đối tượng, chia sẻ nhiều người dùng trong môi trường thực tế ảo tăng cường. Đề tài nghiên cứu hướng đến việc mô phỏng và biểu diễn cơ thể ảo hoàn chỉnh với đầy đủ các hệ cơ quan như: hệ xương, hệ cơ, hệ tuần hoàn, hệ thần kinh, hệ hô hấp, tiêu hóa, hệ bài tiết và sinh dục, các hệ này bao gồm đầy các chi tiết giải phẫu nhỏ nhất và hoàn toàn giống với người thật, với tỉ lệ chính xác 1:1, có thể in 3D ra các bộ phận của cơ thể người. Các kỹ thuật xử lý, biểu diễn tối ưu các đối tượng 3D, kỹ thuật tương tác lên đối tượng 3D trong môi trường thực tại ảo, chia sẻ và cộng tác nhiều người dùng phép quan sát được toàn bộ các cơ quan, cũng như các chi tiết giải phẫu, mổ giải phẫu một cách trực quan và giống thật nhất nhằm tạo thuận lợi nhất cho việc đào tạo, tư vấn cũng như hội chẩn qua mạng (telehealth).

2. Mục tiêu nghiên cứu của luận án

Mục tiêu của đề tài là nghiên cứu một số kỹ thuật xử lý đối tượng 3D và triển khai ứng dụng công nghệ tiên tiến về thực tại ảo hiện có để thiết kế và xây dựng môi trường thực tại ảo đối với một số bộ phận trên cơ thể con người nhằm trợ giúp cho việc giảng dạy, đào tạo và nghiên cứu trong y học. Nghiên cứu kỹ thuật tương tác lên đối tượng 3D trong môi trường thực tế ảo và kỹ thuật chia sẻ hiệu quả nhiều người dùng trong môi trường thực tế ảo tăng cường.

Với hệ thống này không chỉ hỗ trợ cho giảng viên, sinh viên có điều kiện quan sát kỹ hơn, có thể xem xét từng thành phần bộ phận, có thể quan sát ở nhiều góc độ khác nhau với một mẫu vật, mà đáng lẽ trước đây chỉ có thể quan sát thông qua những ảnh 2D được chụp ở nhiều góc độ khác nhau. Ngoài ra, các mô hình ảo này sẽ giúp bác sỹ rèn luyện các kỹ năng lâm sàng, tổ chức các buổi đào tạo từ xa, hội chẩn liên viện, tiết kiệm được chi phí và giúp sinh viên tiếp thu kiến thức một cách dễ hiểu và trực quan hơn các kỹ thuật thực hành trong ngành y tế.

Trên cơ sở các mục tiêu chính đề ra, đề tài tập trung vào các mục tiêu nghiên cứu cụ thể sau:

- Thứ nhất: Nghiên cứu tổng quan và phát triển các kỹ thuật xử lý đối tượng 3D, mô hình hóa, các kỹ thuật tái tạo, mô phỏng bề mặt, vật liệu của mô hình. Đánh giá và lựa chọn phương pháp phù hợp, hiệu quả.
- Thứ hai: Nghiên cứu và tối ưu hóa các mô hình, nghiên cứu kỹ thuật đa người dùng trong 3D thực tại ảo, nghiên cứu các kỹ thuật mô phỏng 3D thực tại ảo từ các ảnh y tế (MRI, X-Ray, CT Scan).

- Thứ ba: Nghiên cứu kỹ thuật mã hóa dữ liệu y tế trong quá trình truyền dữ liệu hình ảnh giữa các thiết bị.
- Thứ tư: Trên cơ sở kỹ thuật đề xuất xây dựng thử nghiệm một hệ thống một số bộ phận trên cơ thể người như: hệ xương, cơ, tiêu hóa, tuần hoàn, thần kinh, tim.

3. Đối tượng, phạm vi nghiên cứu của luận án

Đối tượng nghiên cứu của đề tài gồm: Các kỹ thuật xử lý, kỹ thuật tái tạo, mô hình hóa, kỹ thuật hoàn thiện bề mặt chất liệu của mô hình 3D. Các kỹ thuật đánh dấu và vẽ lên các đối tượng trong môi trường 3D, kỹ thuật tối ưu hóa mô hình trong thực tại ảo và kỹ thuật tương tác đa người dùng.

Phạm vi nghiên cứu của đề tài: Đề tài tập trung chủ yếu vào nghiên cứu các kỹ thuật xử lý đối tượng 3D, tối ưu hóa đối tượng 3D, xử lý ảnh và hiển thị hình ảnh dựa trên công nghệ 3D thực tại ảo, ứng dụng mô phỏng các hệ xương, cơ, thần kinh, tuần hoàn, tiêu hóa, tim trên công nghệ thực tại ảo 3D.

4. Đóng góp chính của luận án

Các kết quả nghiên cứu của luận án góp phần bổ sung và hoàn thiện các giải pháp xử lý đối tượng 3D hiệu quả ứng dụng để mô phỏng thực tại ảo trong y học. Cụ thể, luận án có 4 đóng góp chính sau:

- Đề xuất kỹ thuật lựa chọn màu RGB hiệu quả cho cấu trúc đối tượng 3D phức tạp dựa trên kết hợp phương pháp gắn thẻ, đánh dấu bằng cách chọn vùng màu RGB trên cấu trúc đối tượng trong hệ thống đồ thị cảnh.
- Đề xuất kỹ thuật nâng cao hiệu quả tương tác với đa người dùng trong thực tại ảo tăng cường với các kịch bản các người dùng có cùng không gian địa lý và khác không gian địa lý.
- Đề xuất thuật toán Memetic tăng cường mã hóa dữ liệu y tế trên đường truyền trong các hệ thống phân tán dựa trên IoT sử dụng thuật toán Memetic kết hợp phép biến đổi DWT.
- Xây dựng hệ thống mô phỏng các hệ cơ quan trong cơ thể người: Hệ xương, hệ cơ, hệ tuần hoàn, hệ thần kinh, hệ hô hấp, tiêu hóa, hệ bài tiết và sinh dục,...

Các đóng góp trên của luận án đã được công bố trong 6 công trình khoa học tại các tạp chí trong và ngoài nước gồm: 02 bài báo đăng trên các Tạp chí quốc tế trong danh mục SCIE năm 2021; 01 bài báo đăng Tạp chí quốc tế trong danh mục Scopus năm 2020; 03 chương sách đăng trên sách chuyên khảo được xuất bản bởi nhà xuất bản Wiley và Springer năm 2018 và 2020.

5. Phương pháp và nội dung nghiên cứu

Phương pháp luận trong nghiên cứu của luận án là kết hợp giữa nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm.

Phương pháp lý thuyết: Tổng hợp một số công bố liên quan đến các kỹ thuật xử lý đối tượng 3D trong y học. Cụ thể nghiên cứu các kỹ thuật mô hình, biểu diễn, tái tạo, tương tác trên đối tượng 3D.

Phương pháp thực nghiệm: Thực hiện cài đặt các thuật toán, kỹ thuật xử lý đối tượng 3D của luận án, chạy thử nghiệm trên hệ thống mô phỏng cơ thể người kết hợp với triển khai e-learning để đào tạo trong khối ngành khoa học sức khỏe.

6. Cấu trúc luận án

Ngoài phần mở đầu, kết luận và tài liệu tham khảo, luận án được tổ chức thành 3 chương như sau:

- Chương 1: Tổng quan về xử lý đối tượng trong mô phỏng y học
- Chương 2: Đề xuất một số kỹ thuật xử lý đối tượng trong mô phỏng y học
- Chương 3: Ứng dụng các kỹ thuật xử lý đối tượng xây dựng hệ thống mô phỏng thực tế ảo cơ thể người.

Chương 1

Tổng quan về xử lý đối tượng trong mô phỏng y học

1.1 Khái quát về mô phỏng và mô phỏng 3D

1.1.1 Khái niệm về mô phỏng

Trong vòng vài năm trở lại đây, mô phỏng đang trở thành một ngành công nghệ mũi nhọn nhờ vào khả năng ứng dụng rộng rãi trong mọi lĩnh vực như: y tế, giáo dục, kiến trúc, quân sự, du lịch, giải trí,... Hiện nay, có nhiều định nghĩa về mô phỏng, một trong các định nghĩa được chấp nhận rộng rãi là của C. Burdea và P. Coiffet thì có thể hiểu mô phỏng tương đối chính xác như sau: *Mô phỏng là một hệ thống giao diện cấp cao giữa Người sử dụng và Máy tính. Hệ thống này mô phỏng các sự vật và hiện tượng theo thời gian thực có tương tác với người sử dụng qua tổng hợp các kênh cảm giác.* Đó là ngũ giác gồm: thị giác, xúc giác, thính giác, khứu giác và vị giác [18]



HÌNH 1.1: Giao diện giữa người sử dụng và hệ thống máy tính 3D

Hay nói một cách cụ thể mô phỏng là công nghệ sử dụng các kỹ thuật mô hình hoá không gian ba chiều, với sự hỗ trợ của thiết bị hiện đại để xây dựng một thế giới mô phỏng để đưa người ta vào một thế giới nhân tạo với không gian như thật. Trong thế giới ảo này, người sử dụng không còn được xem như người quan sát bên ngoài, mà đã thực sự trở thành một phần của hệ thống. Thế giới “nhân tạo” này không tĩnh tại mà lại phản ứng, thay đổi theo ý muốn của người sử dụng nhờ những cử chỉ, hành động,... Tức là người sử dụng nhìn thấy sự vật thay đổi trên màn hình ngay theo ý muốn của họ.

Một cách lý tưởng, người sử dụng có thể tự do chuyển động trong không gian ba chiều, tương tác với các vật thể ảo, quan sát và khảo cứu thế giới ảo ở những góc độ khác nhau về mặt không gian. Ngược lại, môi trường ảo lại có những phản ứng tương ứng với mỗi hành động của người sử dụng, tác động vào các giác quan như thị giác, thính giác, xúc giác của người sử dụng trong thời gian thực làm người sử dụng có cảm giác như đang tồn tại trong một thế giới thực [18].

1.1.2 Phân loại các hệ thống mô phỏng

Mặc dù khó có thể phân loại được tất cả các hệ thống mô phỏng, nhưng phần lớn các hình thái hệ thống rơi vào ba nhóm chính, mỗi nhóm được xếp hạng theo khả năng cung cấp tính “thực” hay độ “nhúng” của người sử dụng trong môi trường ảo do hệ thống tạo ra. Tính thực hay độ nhúng được xem là kết quả của sự phối hợp nhiều yếu tố bao gồm mức độ tương tác với môi trường, mức độ nhìn lập thể, trường quan sát và tốc độ cập nhật ảnh của màn hình trong sự thay đổi về mặt không gian của người dùng [18]

1.1.2.1 Hệ thống mô phỏng không có tính nhúng

Các hệ thống mô phỏng không có tính nhúng (Non-Immersive Systems) là những hệ thống có khả năng cung cấp mức độ hiện thực thấp nhất. Môi trường ảo được quan sát thông qua một khung nhìn là một màn hình máy tính có độ phân giải cao. Hệ thống này sử dụng các thiết bị sau:

- Máy tính để bàn: có cấu hình cao, có hỗ trợ card xử lý đồ hoạ 3D Stereo có dung lượng 256 MB trở lên, và có hỗ trợ Spaceball cũng như một số thiết bị ngoại vi mở rộng khác

Việc tương tác với môi trường ảo được thực hiện thông qua các phương tiện truyền thống như bàn phím, chuột hoặc tiên tiến hơn sử dụng các thiết bị tương tác lập thể như Spaceball.

- Chuột Spaceball là thiết bị đầu vào giúp cho người dùng thực hiện các thao tác như: phóng to hay thu nhỏ, theo dõi và xoay chuyển các vật thể trong môi trường không gian 3 chiều giống y như trong thế giới thực

Ưu điểm của các hệ thống không có tính nhúng là ở chỗ chúng không đòi hỏi hiệu năng xử lý đồ họa ở mức cao, không cần hỗ trợ bởi những phần cứng đặc biệt và có thể trình diễn ngay trên các máy tính cá nhân có cấu hình tương đối trở lên. Điều này có nghĩa là những hệ thống này được xem như giải pháp công nghệ có chi phí thấp nhất [109], trong khi đó vẫn có thể áp dụng trong nhiều ứng dụng. Tuy nhiên chi phí thấp cũng đồng nghĩa với việc không đáp ứng được với những tương tác ở mức độ cao [89], không cho cảm giác tồn tại trong môi trường giả lập, không phát huy được cảm nhận phạm vi không gian rộng

1.1.2.2 Hệ thống mô phỏng Bán nhúng

Hệ thống bán nhúng (Semi-Immersive Systems) là một thể nghiệm khá mới trong công nghệ mô phỏng. Sự phát triển của các hệ thống dạng này dựa trên các công nghệ đã được phát triển trong lĩnh vực mô phỏng bay [36]

Một hệ thống bán nhúng thường có những thiết bị sau:

- Một màn ảnh rộng.
- Máy chiếu màn ảnh rộng công nghệ DLP (Digital Light Processing).
- Kính mắt Shutter Glasse là loại kính hỗ trợ đặc biệt cho mắt người quan sát để có thể nhìn thấy những cảnh 3D trong thế giới ảo. Đây là thiết bị hỗ trợ quan trọng nhất trong hệ bán nhúng.

Hệ thống Bán nhúng sử dụng một trường quan sát rộng, cho người dùng có cảm nhận nhiều hơn về sự hiện diện trong không gian ảo so với các hệ thống không có tính nhúng. Tuy nhiên, chất lượng của ảnh chiếu là vấn đề đáng quan tâm. Do đó việc nâng cao hiệu năng luôn luôn đi kèm với những chi phí đắt. Nhưng ta cũng phải thừa nhận những tính năng vượt trội mà nó mang lại so với hệ thống không tính nhúng là khả năng hiện diện của người quan sát trong hệ, tính đa người dùng [117].

1.1.2.3 Hệ thống mô phỏng nhúng toàn phần

Hệ thống nhúng toàn phần (Fully Immersive Systems) cung cấp cho người sử dụng những trải nghiệm trực quan nhất trong môi trường ảo. Những hệ thống như vậy có thể được xem như bước tiến xa nhất trong công nghệ mô phỏng cho

tới thời điểm này. Có một loại thiết bị gắn liền với sự phát triển của các hệ thống dạng này đó là thiết bị HMD và DataGloves. Các thiết bị đó cho phép người quan sát được nhúng hoàn toàn trong một thế giới ảo mà ở đó có thể quay 3600 và tương tác với vật có cảm giác như tương tác với vật thật [57].

- Găng tay dữ liệu (Data Gloves): Về hình dạng giống như găng tay thường nhưng có gắn các thiết bị cảm biến (Sensor). Thiết bị này theo dõi sự thay đổi về vị trí và cử chỉ trên bàn tay. Mỗi cử chỉ quy định một hành vi khác nhau của người sử dụng trong môi trường ảo. Bằng cách này người sử dụng có thể tương tác với các vật thể ảo, đồng thời có những cảm nhận về mặt xúc giác thông qua những phản hồi từ phía hệ thống tới găng tay



HÌNH 1.2: Thiết bị găng tay trong hệ thống nhúng toàn phần

- Thiết bị hiển thị đội đầu (Head Mounted Display - HMD) là thiết bị không chỉ cho phép người quan sát cảm nhận được thế giới ảo 3 chiều mà còn cho phép người quan sát được tự do chuyển động trong thế giới đó



HÌNH 1.3: Thiết bị HDM trong hệ thống nhúng toàn phần

Tất cả các hệ thống nhúng toàn phần có khả năng cung cấp những cảm nhận hiện thực trong môi trường ảo hơn bất kỳ một loại hệ thống nào đã đề cập trước. Tuy nhiên, mức độ “thực” còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố bao gồm trường quan sát của thiết bị HMD, độ phân giải, tốc độ cập nhật ảnh trong thời gian thực khi người quan sát chuyển động trong không gian [110].

BẢNG 1.1: So sánh hiệu năng hoạt động của các hệ thống mô phỏng [52]

Các đặc trưng chính	Hệ thống nhúng	Hệ thống bán nhúng	Hệ thống nhúng toàn phần
Độ phân giải	Cao	Cao	Trung bình
Cảm nhận về phạm vi không gian	Thấp	Trung bình-Cao	Cao
Khả năng tương tác	Thấp	Trung bình	Cao
Trường quan sát	Thấp	Trung bình	Cao
Độ trễ	Thấp	Thấp	Trung bình-Cao
Cảm giá hiện diện trong môi trường ảo	Không-Thấp	Trung bình-Cao	Trung bình-Cao

1.1.3 Mô phỏng 3D trong y học

1.1.3.1 Công nghệ mô phỏng y học

Ngày nay, công nghệ hình ảnh mô phỏng 3D đang thu hút sự chú ý của nhiều người và lĩnh vực y học cũng không phải là một ngoại lệ. Y học là một trong những lĩnh vực ứng dụng tiềm năng và là một trong số ít lĩnh vực ứng dụng thuộc ngành khoa học của mô phỏng. Cho đến nay, lĩnh vực nổi bật trong y học áp dụng thành công công nghệ mô phỏng là giả lập giải phẫu (Surgical Simulation) [102]

Trên cơ sở các kỹ thuật đồ họa máy tính và Mô phỏng, hệ thống đào tạo y học này bao gồm hai bộ phận cơ bản: Khối tương tác ba chiều là mô hình sinh thể ảo cho phép người sử dụng thực hiện các thao tác giải phẫu thông qua các dụng cụ giải phẫu ảo; Khối giao diện người dùng hai chiều cung cấp những thông tin phản hồi trực quan từ mô hình trong quá trình giải phẫu cũng như những thông tin hướng dẫn trong phiên đào tạo.

Phương pháp đào tạo có tính tương tác cao này mang nhiều ưu điểm so với các phương pháp truyền thống như thực hành trên mô hình plastic hay trên bệnh nhân thực. Thứ nhất, khác với phương pháp dùng mô hình plastic, sinh thể giải phẫu ảo có khả năng cung cấp những thông tin phản hồi sinh học một cách tự nhiên như một sinh thể sống thực, dưới tác động giải phẫu của bác sỹ mổ, chẳng hạn như sự thay đổi về nhịp tim, huyết áp v.v.. Điều này tạo cho học viên có cảm giác đang trải qua một ca mổ trong một tình huống thực. Thứ hai, khác với thực hành trên bệnh nhân thật, rõ ràng sai lầm của học viên trong quá trình thực tập không phải trả giá bằng những thương tổn thực trên cơ thể người bệnh. Điều này

cũng làm giảm áp lực lên học viên khi thực hiện phẫu thuật ảo. Từ đó, giúp họ tự tin và chủ động hơn trong học tập.

Phương pháp này không chỉ cho phép các học viên y khoa thực hành các ca phẫu thuật trong tình huống thực, đem lại cho họ những kinh nghiệm cần thiết trước khi thực hiện phẫu thuật trên cơ thể con người, đây còn là cơ hội để các bác sỹ mở nâng cao kỹ thuật giải phẫu và kỹ năng phối hợp làm việc theo nhóm trong phòng mổ. Điều này đặc biệt quan trọng trong các tình huống phẫu thuật nguy hiểm và nhạy cảm.

Các kỹ thuật Mô phỏng cũng được sử dụng để hỗ trợ bác sỹ mổ trong giai đoạn lập kế hoạch tiền phẫu thuật (preoperative planning). Trước khi thực hiện quy trình giải phẫu trên bệnh nhân thực, người bác sỹ có thể thử nghiệm các phương pháp tiến hành phẫu thuật khác nhau trên mô hình ảo của người bệnh. Mô hình này mô phỏng đầy đủ các đặc điểm bệnh lý của người bệnh thật. Theo cách này, người bác sỹ sẽ lựa chọn ra được cách thức an toàn nhất, hiệu quả nhất và tốn ít thời gian nhất trong phòng phẫu thuật, hạn chế những biến cố trong quá trình giải phẫu.

Trên thế giới, nhiều bác sỹ cũng đang cố gắng tận dụng công nghệ mới này để điều trị bệnh nhân. Ví dụ như vào một cuộc phẫu thuật nội soi có gắn camera 3D. Camera sẽ truyền về những hình ảnh 3D chân thật, rõ nét để các phẫu thuật viên có thể điều khiển các dụng cụ phẫu thuật chạm vào các cơ quan bên trong khoang bụng một cách chính xác. Công nghệ này đảm bảo độ an toàn hơn trong quá trình phẫu thuật. Thêm nữa, công nghệ 3D có thể giúp ta chuyển từ tia X-quang bình thường hay các hình ảnh 2 chiều của chụp cắt lớp vi tính (CT) sang 3 chiều.

Với các phương pháp chụp các lớp vi tính hay chụp cộng hưởng từ (MRI), các bác sỹ vừa nhìn hình ảnh vừa tiến hành phẫu thuật bằng cách đưa một cái kim hoặc một ống nhỏ gắn camera vào cơ thể bệnh nhân. Phạm vi sai số ở đây phải ít hơn 0,5mm, nếu không các mạch máu có thể sẽ bị vỡ hoặc thậm chí bị rách toạc ra. Các bác sỹ vừa phải theo dõi hình ảnh 2D trên màn hình, vừa phải tưởng tượng hình ảnh đó sẽ như thế nào trong không gian 3 chiều, điều đó đã gây không ít khó khăn cho họ khi tiến hành các thao tác phẫu thuật. Nay với việc ứng dụng công nghệ hình ảnh 3D, các bác sỹ có thể nhìn được các hình ảnh 3 chiều rõ nét ngay lập tức và tập trung hơn vào phẫu thuật. Điều này chắc chắn sẽ nâng cao hiệu quả của một ca phẫu thuật [60].

Như vậy, công nghệ hình ảnh 3D sẽ giúp tăng độ chính xác của các ca phẫu thuật lên. Trước đó, các bác sỹ thường phải tưởng tượng ảnh 3 chiều cơ thể người trong khi nhìn các hình ảnh phác họa 2 chiều. Tuy nhiên giờ đây, họ có thể phẫu

thuật cho bệnh nhân khi nhìn trực tiếp những hình ảnh 3 chiều. Đặc biệt, phương pháp nội soi 3D có tác dụng giúp giảm thiểu rủi ro vỡ mạch máu trong quá trình phẫu thuật cũng như đảm bảo cho ca mổ nhanh chóng và an toàn hơn. Thêm vào đó, các bác sĩ cũng có thể quan sát được các mạch máu xoắn trong không gian 3 chiều và dễ dàng làm cho lưu thông các mạch máu bị nghẽn.

Theo cách truyền thống, việc tương tác với máy tính được thực hiện thông qua các thiết bị như bàn phím, chuột hay joystick/trackball để cung cấp thông tin đầu vào và sử dụng khối hiển thị trực quan để nhận thông tin đầu ra từ hệ thống. Với sự ra đời của các hệ thống mô phỏng, các phương thức giao tiếp mới được phát triển cho phép người sử dụng tương tác một cách tích cực với máy tính.

Mô phỏng 3D là công nghệ sử dụng các kỹ thuật mô hình hoá không gian ba chiều với sự hỗ trợ của các thiết bị đa phương tiện hiện đại để xây dựng một thế giới mô phỏng bằng máy tính – môi trường ảo (virtual environment). Trong thế giới ảo này, người sử dụng không còn được xem như người quan sát bên ngoài, mà đã thực sự trở thành một phần của hệ thống. Một cách lý tưởng, người sử dụng có thể tự do chuyển động trong không gian ba chiều, tương tác với các vật thể ảo, quan sát và khảo cứu thế giới ảo ở những góc độ khác nhau về mặt không gian. Ngược lại, môi trường ảo lại có những phản ứng tương ứng với mỗi hành động của người sử dụng, tác động vào các giác quan như thị giác, thính giác, xúc giác của người sử dụng trong thời gian thực và tuân theo những quy tắc vật lý rất tự nhiên, làm ta có cảm giác như đang tồn tại trong một thế giới thực.

Hiện nay, ở nước ta giáo dục trong y học vẫn còn tình trạng giảng chay, thiếu điều kiện thực hành quan sát. Nhất là trong thực hành, không phải là lúc nào cũng có điều kiện thực hành để nâng cao trình độ, kỹ năng và kinh nghiệm, đặc biệt là ngoại khoa [62]. Để có thể được một ca thực hành thì đòi hỏi phải rất nhiều thời gian, và chi phí cho một ca thực hành như vậy lại rất cao. Khi thực hành xong thì những mẫu vật thực hành rồi chủ yếu là bỏ đi, không có khả năng dùng lại rất lãng phí và v.v..

Hơn nữa, việc xây dựng phần mềm ứng dụng trong ngành y tế còn có nhiều hạn chế, nhất là ở Việt Nam hiện nay phần mềm hỗ trợ giảng dạy trong y tế vẫn là mảng đang bị bỏ ngỏ, chưa có đầu tư nào thích đáng phù hợp cho tình hình hiện nay. Tương tự là những ứng dụng về mô phỏng trong chuẩn đoán bệnh hoặc luyện nghề của các trường học và các trung tâm y tế cũng chưa có gì

Việc xây dựng các phần mềm mô phỏng trong y tế là khả quan. Với những phần mềm này, giảng viên, sinh viên có điều kiện quan sát kỹ hơn, có thể xem xét từng thành phần bộ phận, có thể quan sát ở nhiều góc độ khác nhau với một

mẫu vật, mà đáng lẽ trước đây chỉ có thể quan sát thông qua những ảnh 2D được chụp ở nhiều góc độ khác nhau. Phần mềm mô phỏng có thể giúp giải thích rõ ràng hơn các bước, quá trình thực hiện, hoặc chỉ cho chúng ta thấy các kỹ thuật thực hiện các thao tác y giảng v.v..

Trong việc học giải phẫu học là vẽ ra một hình ảnh ba chiều của tất cả các cơ quan bộ phận trong cơ thể. Đồng thời có thể tách rời các cơ quan bộ phận ra để quan sát một cách chi tiết để mô tả, xác định những mốc chính, những chi tiết quan trọng để xác định và vận dụng vào thực tế lâm sàng.

1.1.3.2 Hệ thống mô phỏng 3D thực tại ảo trong y học

Thực tại ảo (*Virtual Reality*) [114] là công nghệ sử dụng các kỹ thuật mô hình hoá không gian ba chiều, đưa thế giới ba chiều vào trong máy tính để tạo ra một môi trường ảo (*Virtual Environment-VE*) bằng 3D. Trong môi trường ảo, người sử dụng đã thực sự trở thành một phần của hệ thống. Một trong các ứng dụng, con người có thể được nhập vai để có thể tự do chuyển động trong không gian ảo, tương tác với các vật thể ảo [3]. Ngược lại, môi trường ảo tác động lại hay có những phản hồi tương ứng với các hành động của người sử dụng, các tác động này tuân theo những quy tắc toán học, vật lý, ... tự nhiên, làm con người có cảm giác như đang tồn tại trong một thế giới thực.

Một hệ thống thực tại ảo thông thường bao gồm có 5 thành phần: Phần mềm, phần cứng, mạng liên kết, người dùng và các ứng dụng [45]. Trong đó, phần mềm, phần cứng và các ứng dụng là quan trọng nhất với 3 đặc tính chính:

- Tính tương tác (*Interactive*): Hệ thống thực tại ảo có khả năng tạo ra một thế giới nhân tạo giống như một thế giới thật. Thế giới nhân tạo này không tĩnh mà lại phản ứng, thay đổi theo ý muốn của người sử dụng. Người sử dụng có thể tương tác với các mô hình 3D ảo trong thế giới ảo đó và thay đổi ngay lập tức theo ý muốn của mình.
- Đắm chìm (*Immersion*): Hệ thống thực tại ảo có khả năng thu hút người sử dụng vào trong một thế giới ảo giống như thật, người dùng sẽ có cảm giác trở thành một phần của các hành động trên màn hình khi họ đang trải nghiệm thực tại ảo.
- Tưởng tượng (*Imagination*): Có hai khía cạnh của tính tưởng tượng trong một hệ thống thực tại ảo. Thứ nhất chính là khả năng di chuyển khắp nơi một cách độc lập như đang ở bên trong thế giới thật của người dùng. Thứ hai là những quy tắc về cách thức mà con người, sự vật, hiện tượng trong

thế giới ảo tương tác với nhau theo một trật tự để trao đổi năng lượng và thông tin.

Công nghệ thực tại ảo đang ngày một phát triển rộng rãi và đã có mặt trong hầu hết các lĩnh vực quan trọng của cuộc sống như: Kiến trúc, xây dựng, công nghiệp chế tạo, công nghiệp giải trí, giáo dục và đào tạo, y tế... Trong y học, công nghệ thực tại ảo giúp con người có thể thao tác giải phẫu trực tiếp với các cơ thể ảo. Giúp cho việc đào tạo các bác sỹ đa khoa được hoàn thiện hơn và tự tin hơn trong các ca mổ, qua mô phỏng giúp cho con người hiểu hơn về quá trình truyền máu, tiêu hóa thức ăn... từ các bài toán mô phỏng. Y học là một trong những lĩnh vực ứng dụng tiềm năng trong công nghệ thực tại ảo. Cho đến nay, lĩnh vực nổi bật trong y học áp dụng thành công công nghệ thực tại ảo là giả lập giải phẫu (*Surgical Simulation*) [113, 118].

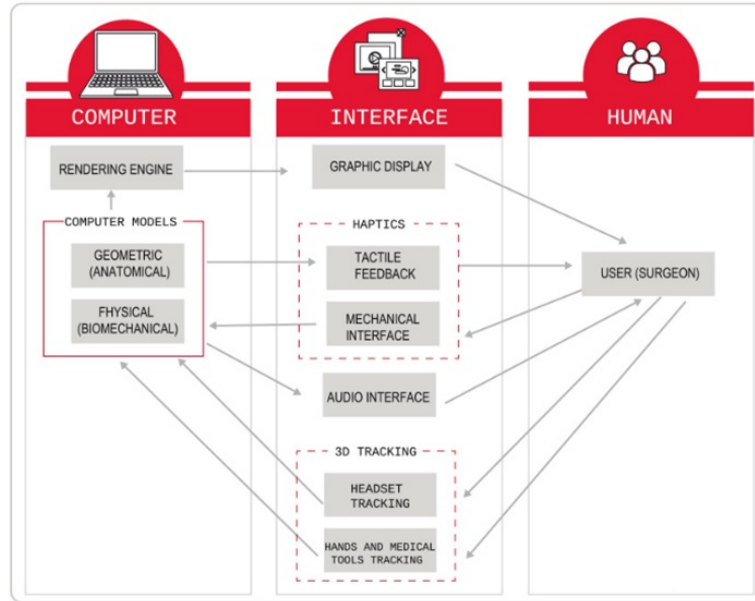


HÌNH 1.4: Ứng dụng của thực tại ảo trong cuộc sống

Trên cơ sở các kỹ thuật đồ họa máy tính và thực tại ảo, hệ thống mô phỏng thực tại ảo trong y học bao gồm hai bộ phận cơ bản [114]:

1. Khối tương tác ba chiều là mô hình sinh thể ảo cho phép người sử dụng thực hiện các thao tác giải phẫu thông qua các dụng cụ giải phẫu ảo;
2. Khối giao diện người (Interface) dùng hai chiều cung cấp những thông tin phản hồi trực quan từ mô hình trong quá trình giải phẫu cũng như những thông tin hướng dẫn trong phiên đào tạo.

Mô hình hệ thống thực tại ảo có tính tương tác cao được thể hiện trong Hình 1.5 với nhiều ưu điểm so với các phương pháp truyền thống như thực hành trên mô hình plastic hay trên bệnh nhân thực [72].

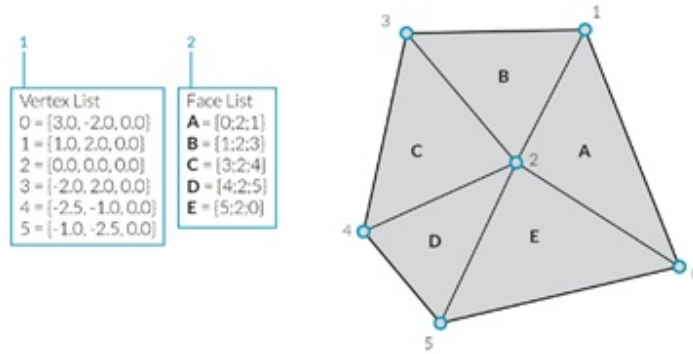


HÌNH 1.5: Kiến trúc hệ thống mô phỏng thực tại ảo trong y học

Thứ nhất, khác với phương pháp dùng mô hình plastic, sinh thể giải phẫu ảo có khả năng cung cấp những thông tin phản hồi sinh học một cách tự nhiên như một sinh thể sống thực, chẳng hạn như sự thay đổi về nhịp tim, huyết áp... Điều này tạo cho học viên có cảm giác đang trải qua một ca mổ trong một tình huống thực. Thứ hai, khác với thực hành trên bệnh nhân thật, những sai lầm của học viên trong quá trình thực tập không phải trả giá bằng những thương tổn thực trên cơ thể người bệnh. Điều này cũng làm giảm áp lực lên học viên khi thực hiện phẫu thuật ảo. Từ đó, giúp họ tự tin và chủ động hơn trong học tập. Phương pháp này còn cho phép các bác sĩ không ngừng nâng cao trình độ tay nghề, kỹ năng phối hợp làm việc bằng cách liên tục đặt ra những giả định tình huống bệnh, cập nhật những dữ liệu bệnh lý mới để thực hiện những phương pháp mới, kỹ thuật mới trong điều trị. Bác sĩ cũng có thể tự lập kế hoạch mổ thử trên bệnh nhân ảo trước khi mổ trên bệnh nhân thật do đó làm tăng mức độ an toàn và hiệu quả điều trị, giảm thiểu sai lầm rủi ro đáng tiếc xảy ra.

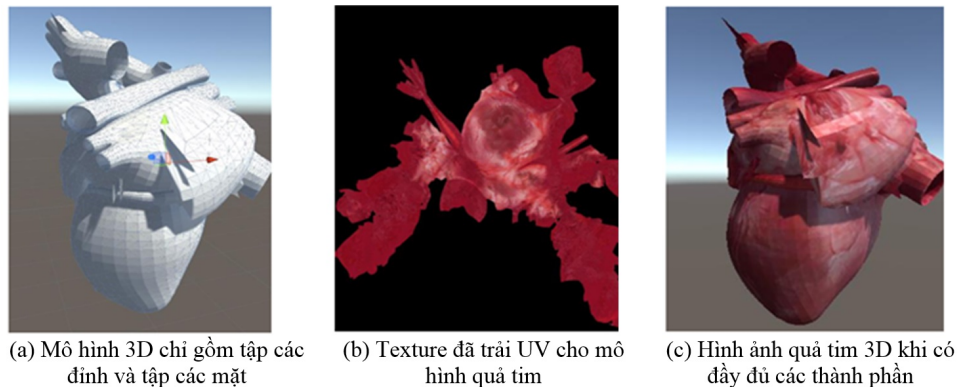
1.1.3.3 Một số kỹ thuật tạo mô hình 3D

Mô hình 3D [83] là một cấu trúc dữ liệu mô tả hình thái 3D của một đối tượng. Có nhiều cách khác nhau để tạo ra mô hình 3D như: Các phần mềm thiết kế 3D, lập trình 3D, các máy quét 3D. Mô hình 3D được xác định bởi 3 thành phần là tập các đỉnh (*VertexList*), tập các mặt (*FaceList*) và tập UV.



HÌNH 1.6: Biểu diễn mô hình 3D từ tập đỉnh, tập mặt và tập UV

Tập đỉnh là các vector 3 chiều biểu diễn các điểm trong không gian 3 chiều quy định hình dạng 3D của đối tượng. Tập các mặt kết nối các đỉnh với nhau tạo ra bề mặt của đối tượng. Tập UV xác định texture trên mỗi bề mặt của đối tượng:



HÌNH 1.7: Các thành phần trong mô hình 3D mô phỏng tim người

Có ba phương pháp chính để tạo ra mô hình 3D, với mỗi phương pháp tạo mô hình đều mang những ưu, nhược điểm khác nhau [39, 121].

- Một là, mô phỏng các mô hình 3D nhờ các ngôn ngữ lập trình truyền thống như C, C++ có thể thực hiện các mô phỏng phức tạp đòi hỏi sự chính xác cao, tuy nhiên nó cũng đòi hỏi máy tính phải có cấu hình mạnh về phần cứng, người lập trình phải có kỹ năng lập trình cao để biểu diễn các thuật toán phức tạp, mất nhiều thời gian và cũng rất khó trong việc tạo ra những cảnh rộng lớn. Mặc dù vậy, đây lại là một lựa chọn duy nhất để mô phỏng chính xác các sự vật, hiện tượng tự nhiên đúng với bản chất của nó [3, 22]. Ví dụ như mô phỏng nước, mô phỏng lửa, mô phỏng các hiện tượng vật lý.... Mô phỏng mô hình 3D nhờ các ngôn ngữ lập trình truyền thống thường chỉ

thích hợp trong những trường hợp mô phỏng có quy mô nhỏ hoặc sử dụng trong quá trình học tập. Phương pháp sử dụng các lệnh trong ngôn ngữ lập trình để vẽ ra các mô hình khá hạn chế về chất lượng mô hình và đòi hỏi phải tính toán nhiều khi lập trình để tạo ra các đối tượng 3D.

- Hai là, sử dụng các công cụ mô phỏng đã được xây dựng sẵn như: 3DS Max, Maya, Autocad,... Cách này thường phù hợp với việc mô phỏng các mô hình không yêu cầu độ chính xác cao và nó không đòi hỏi người mô phỏng phải có trình độ lập trình cao, không tốn nhiều thời gian thực hiện. Tuy nhiên nó cũng có nhược điểm là yêu cầu cấu hình hệ thống phải mạnh để cài đặt và chạy chương trình, đặc biệt là khi xuất (*Rendering*) mô hình [10, 121]. Hiện nay, cách này rất được ưa chuộng và được sử dụng rất phổ biến trong các công việc như làm Game 3D, Web 3D, dựng các công trình kiến trúc, hoặc phim hoạt hình 3D, ... Phương pháp này sử dụng con người để thiết kế có khả năng tạo ra mô hình 3D với khả năng tối ưu về lưới, tuy nhiên độ tối ưu của mô hình phụ thuộc vào kiến thức và kinh nghiệm của từng nhà thiết kế. Phương pháp này cũng đòi hỏi chi phí về con người, trong đó thời gian để tạo ra một sản phẩm là tương đối dài, độ đồng đều và ổn định không cao do phụ thuộc vào con người, chi phí cho mỗi một mô hình là lớn. Bên cạnh đó khả năng chính xác là một vấn đề khi sử dụng phương pháp này. Có ba cách tiếp cận thiết kế sử dụng phần mềm [41, 82, 112]:

1. *Phương pháp thiết kế đi từ tổng thể đến chi tiết*: Bằng việc quan sát vật thể cần mô phỏng hay thiết kế, người thực hiện rút ra cho mình những nhận xét, cấu tạo của vật thể và sử dụng các hình khối cơ bản.
2. *Phương pháp thiết kế đi từ chi tiết đến tổng thể*: Để bắt tay vào xây dựng vật thể theo phương pháp này ta sẽ phải chuẩn bị ảnh hình chiếu của vật thể thường là hình chiếu mặt trước và hình chiếu mặt trái hoặc hình chiếu mặt phải. Ưu điểm của phương pháp này là độ chính xác cao hơn phương pháp trên, ở trên việc tạo ra vật thể hoàn toàn do khả năng quan sát trong không gian và cảm tính, ước chừng của người thực hiện. Còn ở phương pháp này ta có thể tạo chính xác hoàn toàn chi tiết khi có cơ sở dữ liệu ảnh đầy đủ, tuy nhiên làm theo phương pháp này cần nhiều thời gian và độ tỉ mỉ hơn. Vì thế tùy theo yêu cầu của sản phẩm mà ta chọn cho mình một phương pháp phù hợp.
3. *Phương pháp thiết kế phối hợp*: Tận dụng hiệu quả của từng phương pháp, cách tốt nhất cho công việc của chúng ta là sử dụng linh hoạt kết hợp các phương pháp. Vì khách quan mà nói mọi vật thể trong cuộc sống đều tương đối phức tạp, bằng khả năng phân tích tốt cùng với sự linh hoạt công việc thiết kế xây dựng của các nhà mô phỏng sẽ được thực hiện dễ dàng và nhanh chóng, hiệu quả hơn.

- Ba là, sử dụng các máy quét để tạo mô hình 3D với nhiều ưu điểm về thời gian tạo ra một mô hình ngắn, độ chính xác cao, tính ổn định, chi phí rẻ [94]. Tuy nhiên, mô hình tạo ra từ máy quét có nhược điểm là số lượng lưới lớn (số các đỉnh và số các mặt lớn). Điều đó ảnh hưởng rất nhiều tới việc sử dụng mô hình từ máy quét trong thực tế. Với một chương trình mô phỏng trong thực tại ảo cần sử dụng hàng trăm, hàng nghìn mô hình thậm trí lớn hơn thì việc một mô hình không tối ưu sẽ ảnh hưởng tới quá trình lưu trữ, tính toán để vẽ mô hình ra các thiết bị hiển thị, tính toán va chạm... Do đó, trên thực tế đa phần các chương trình mô phỏng và thực tại ảo cũng như lưu trữ không thể sử dụng mô hình từ máy quét 3D.

1.1.3.4 Nguyên lý tối ưu mô hình 3D

Có hai dạng bài toán tối ưu trong lĩnh vực mô phỏng 3D với đầu vào và đầu ra cùng là mô hình 3D nhưng mang những đặc điểm khác nhau giữa mô hình trước tối ưu và sau tối ưu. Thứ nhất, là tối ưu về mặt hình ảnh, với đầu vào là một mô hình 3D đã được thiết kế hoặc thu từ máy quét người xử lý cần nâng cao chất lượng hình ảnh của mô hình [83]. Chúng ta cần tối ưu chất lượng hình ảnh hoặc lưới của mô hình, điều này dẫn tới các bài toán xử lý về ánh sáng, góc cạnh để khi render thu được hình ảnh chân thực nhất có thể. Trên thực tế quá trình tối ưu này dẫn tới một trường phái thiết kế siêu thực. Ở đó, những nhà thiết kế có thể thay thế nhân vật thực bằng nhân vật thiết kế ảo. Thứ hai, là tối ưu số lượng lưới (mặt và đỉnh trong mô hình) với bài toán này đầu vào là một mô hình 3D (thường là mô hình thu được từ máy quét) và đầu ra là mô hình đó với số lượng lưới giảm đi nhưng vẫn đảm bảo hình dạng và hình ảnh của đối tượng không thay đổi nhiều giữa trước và sau tối ưu.

Việc tái tạo lại mô hình từ các đối tượng thực bằng công nghệ tái tạo mô hình vật thể trên máy tính. Việc thu thập dữ liệu của đối tượng thực dưới dạng các điểm, liên kết các dữ liệu và tái tạo lại mô hình của đối tượng thực trong không gian 3D [11, 43]. Từ các dữ liệu điểm, một lưới tam giác được xây dựng để liên kết các điểm trong không gian 3 chiều. Mô hình đối tượng được số hoá sau khi thực hiện một số bước tinh chỉnh, làm mịn, vá lỗ thủng lưới tam giác để tăng cường chi tiết hoá mô hình. Ngày nay, kỹ thuật mô hình hoá các đối tượng 3D đã có nhiều ứng dụng rộng rãi, đặc biệt trong thiết kế và biểu diễn các đối tượng ba chiều. Việc tái lập lại các đối tượng 3D thực bằng cách sử dụng cơ chế tái tạo ngược bằng các thu thập dữ liệu các đối tượng thực dưới dạng điểm để liên kết các dữ liệu và tái tạo lại mô hình.

Mắt lưới đa giác thường được sử dụng để đại diện cho các bề mặt 3D. Cho một tập đỉnh mẫu lấy từ một bề mặt nhẵn, lưới tam giác với các đỉnh như là một đại diện (xấp xỉ) của bề mặt mẫu. Điều này còn phụ thuộc vào sự lựa chọn của các kết nối giữa các đỉnh gọi là cạnh [15, 104]. Chúng ta quan niệm tập rời rạc các điểm, các cạnh nối đại diện cho các bề mặt (thể hiện rằng các đặc tính nổi bật nhất của nó về các độ sần sùi, độ cong,...) là đại diện cho các dữ liệu của mô hình 3D.

Nội dung chính của việc tối ưu hóa mô hình 3D là sau khi thu thập được từ máy scan 3D có thể có nhiều chi tiết. Mật độ lưới càng dày thì dẫn đến tốn kém bộ nhớ, việc xử lý khi tính toán là vô cùng khó khăn [10, 15]. Mô hình chứa nhiều thông tin hình học dư thừa. Các ý tưởng chính hướng đến là: Loại bỏ hình học dư thừa, giảm kích thước mô hình, cải thiện hiệu suất thời gian chạy.

1.1.4 Ứng dụng của mô phỏng thực tế ảo trong y học

Có thể nói, y học là lĩnh vực tiên phong trong phát triển các ứng dụng của VR nhằm tối ưu hóa chi phí, nâng cao chất lượng huấn luyện, đào tạo và điều trị với các khóa đào tạo mở rộng, hiệu quả và tăng cường sự an toàn [72]. Cụ thể:

- *Điều trị tiếp xúc*: Là phương pháp điều trị được áp dụng với bệnh nhân có những ám ảnh về tâm lý. Các bác sỹ tâm thần thuộc Đại học Louisville (Hoa Kỳ) đã sử dụng VR giúp bệnh nhân vượt qua nỗi sợ hãi khi nhìn thấy những vật thể bay hoặc chứng sợ những nơi tù túng, chật hẹp. Công nghệ VR sẽ mô phỏng lại môi trường chứa những nỗi sợ hãi của các bệnh nhân, giúp người bệnh học cách đối mặt và làm quen dần với các nỗi sợ hãi đó theo mức độ tăng dần. Với những môi trường giả định, mỗi bệnh nhân sẽ được điều trị và hướng dẫn thực hành cách đối phó với những chứng sợ của riêng mình [72, 119]. Đây là phương pháp được ưu tiên sử dụng tại các bệnh viện, thích hợp với từng cá nhân người bệnh, an toàn, có thể lặp đi lặp lại trong tầm kiểm soát của các bác sỹ.
- *Điều trị rối loạn căng thẳng hậu chấn thương tâm lý*: Đây là bệnh do loại rối loạn lo âu bị kích hoạt bởi một sự kiện chấn thương tâm lý khi có trải nghiệm hoặc chứng kiến một sự kiện gây căng thẳng, sợ hãi... Tương tự với điều trị tiếp xúc cho những nỗi sợ hãi và lo lắng, VR được đưa vào để điều trị các cựu chiến binh bị rối loạn sau những căng thẳng hậu chấn thương tâm lý [23]. VR được sử dụng để mô phỏng lại các cuộc chiến tranh với tổ chức nhà nước hồi giáo tự xưng (IS) tại Syria và Iraq để giúp đỡ các cựu chiến binh hồi tưởng lại những sự kiện đau thương mà họ phải trải qua. Trong môi trường an toàn có kiểm soát, các cựu chiến binh được hướng dẫn để làm chủ

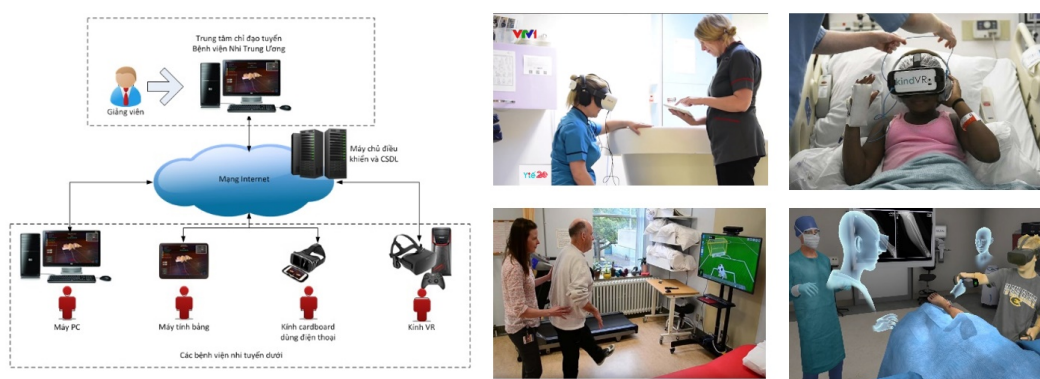
hành vi và tâm lý của mình thay vì sự căng rứt tới mức tự làm những hành động gây tổn thương cho bản thân hoặc người xung quanh [94].

- *Kiểm soát cơn đau*: VR được sử dụng để giúp bệnh nhân giảm tập trung vào cơn đau thay cho thuốc giảm đau. Ví dụ, với những nạn nhân bỏng, đau đớn kéo dài là điều không thể tránh khỏi. Các bác sỹ Đại học Washington (Hoa Kỳ) cho bệnh nhân đeo kính VR để tập trung vào những trò chơi thú vị như Thế giới tuyết (SnowWorld) hay nghe những bản nhạc làm họ giảm tập trung vào các cơn đau bằng cách áp đảo các giác quan và cản trở việc não bộ cảm nhận về cơn đau đó [20, 118].
- *Đào tạo phẫu thuật*: Bác sỹ phẫu thuật buộc phải trải qua nhiều quá trình tập huấn có liên quan đến tử thi mới có đủ kinh nghiệm để đảm nhận trực tiếp việc điều trị [2]. VR trở thành một phương tiện thực hành tốt không gây ra rủi ro cho cơ thể sống của bệnh nhân. Mô hình mô phỏng nội soi tử cung được phát triển tại Computer Vision Laboratory (ETH Zurich, Thụy Sĩ)¹ được sử dụng để các bác sỹ tập sự làm quen về các thủ tục trong phẫu thuật. Tại Đại học Stanford (Hoa Kỳ), VR được sử dụng trong các buổi thực thành, mặc dù diễn ra trong không gian ảo nhưng vẫn cảm nhận được những phản hồi xúc giác kèm theo [55]. Các sinh viên y khoa có thể thực hiện các bài thực hành trong một môi trường an toàn và kiểm soát, họ tương tác với một bệnh nhân ảo để có được những kỹ năng cần thiết trong thế giới thực. Đặc biệt, VR còn được ứng dụng rất hiệu quả trong lập kế hoạch phẫu thuật. Mô hình cấu trúc giải phẫu được mô phỏng lại và có tương tác phản hồi giúp các bác sỹ thử nghiệm và lên kế hoạch chi tiết về các bước giải phẫu cần thiết trong thực tế. Hệ thống SpectoVive² sử dụng VR cho phép bác sỹ tương tác với các mô hình 3D của cơ thể con người. Thông qua kính VR và bộ điều khiển, bác sỹ có thể chạm, di chuyển, xoay và thực hiện các tác động khác lên mô hình ảo để kiểm tra và thử nghiệm trước khi phẫu thuật trên thực tế [31].
- *Điều trị cơn đau do mất các chi*: Đối với những người bị mất các chi trên cơ thể, những cơn đau, buốt, ngứa ngáy được gọi là “Phantom limb - chi ma” như thể chi ấy vẫn tồn tại rất phổ biến [59]. Phương pháp điều trị gương của y học truyền thống để bệnh nhân nhìn vào gương chuyên dụng để thấy hình ảnh của mình còn đủ các chi, nỗi đau của họ sẽ được xoa dịu. Với VR, các chi ảo của bệnh nhân sẽ cử động theo sự điều khiển của bộ não qua đó trở thành liều thuốc giảm đau, giảm sóc với những bệnh nhân vừa bị cắt bỏ một phần cơ thể.

¹<https://vision.ee.ethz.ch/>

²<https://www.diffuse.ch/>

- *Đánh giá tổn thương não và phục hồi chức năng*: VR hỗ trợ về mặt kỹ thuật trong việc phục hồi chức năng của những bệnh nhân bị tổn thương, khuyết tật ở não. Ban đầu, VR được phát triển để tạo ra môi trường ảo nhằm giúp các bác sỹ hoặc nhà tâm lý đánh giá khả năng nhận thức của bệnh nhân trong những trường hợp cụ thể [22]. Trong phục hồi chức năng, VR được sử dụng kết hợp với robot giúp giảm số buổi vật lý trị liệu nhờ tạo được sự hấp dẫn để bệnh nhân tập luyện lâu hơn trong môi trường nhân tạo thú vị. Bệnh viện Đại học Balgrist (Zurich, Thụy Sĩ) sử dụng robot Lokomat kết hợp với các kịch bản khác nhau tạo môi trường phục hồi, giúp cung cấp tiêu chuẩn đánh giá và các phương thức huấn luyện phù hợp theo nhu cầu điều trị của từng bệnh nhân.



HÌNH 1.8: Mô hình triển khai hệ thống VR tại bệnh viện

- *Đào tạo nhận thức xã hội cho trẻ em tự kỷ*: Các giáo sư thuộc Đại học Texas (Hoa Kỳ) đã thiết kế một bộ giáo trình học tập VR để giúp trẻ tự kỷ học được những kỹ năng xã hội cần thiết. VR được kết nối với bộ cảm biến để theo dõi sóng não và đặt trẻ em vào những tình huống cơ bản trong cuộc sống như phỏng vấn xin việc, cuộc hẹn với những người chưa từng gặp bao giờ [123]. Sau khi hoàn chỉnh một quá trình đào tạo, khi quét não bộ của trẻ tự kỷ, các bác sỹ nhận thấy rõ sự gia tăng hoạt động vùng não gắn liền với sự phát triển hiểu biết xã hội.
- *Thiền định*: Thiền là phương pháp điều trị những chứng lo âu nói chung. Ứng dụng DEEP trên VR Oculus Rift hỗ trợ người dùng học cách kiểm soát hơi thở sâu và ổn định theo hướng thiền thông qua trò chơi trong thế giới ảo. Ngoài thiết bị đeo ở đầu, người dùng sẽ đeo thêm một chiếc đai quanh ngực để đo nhịp thở [118]. Khi đeo Oculus Rift, cảm giác của người sử dụng tương tự như đang ở trong một đại dương, hơi thở nhịp nhàng sẽ điều khiển nhân vật ảo di chuyển. Thao tác lặp đi lặp lại sẽ giúp người chơi học cách kiểm soát hơi thở của mình để trở nên bình tĩnh trước mọi lo âu [16].

- *Cơ hội cho người khuyết tật*: Ứng dụng Eye play Piano (chơi piano bằng mắt) giúp trẻ em khuyết tật có thể đàn những bản nhạc piano thông qua chuyển động của ánh mắt với VR và tai nghe Fove [105, 118].

1.2 Một số kỹ thuật biểu diễn, tái tạo và tương tác trên đối tượng 3D

1.2.1 Kỹ thuật biểu diễn, biến đổi đối tượng 3D

Có 2 phương pháp biểu diễn đối tượng 3 chiều là phương pháp biểu diễn bề mặt và biểu diễn theo phân hoạch không gian. Phương pháp biểu diễn bề mặt mô tả đối tượng bằng một tập hợp các bề mặt giới hạn phần bên trong của đối tượng với môi trường bên ngoài. Thông thường ta xấp xỉ các bề mặt phức tạp bởi các mảnh nhỏ hơn gọi là các patch (mặt vâ). Các mảnh này có thể là các đa giác hoặc các mặt cong. Phương pháp phân hoạch không gian thường dùng để mô tả các thuộc tính bên trong đối tượng [22].

Khi áp dụng một dãy các phép biến đổi hình học có thể tạo ra nhiều phiên bản của cùng một đối tượng. Do đó có thể quan sát vật thể ở nhiều vị trí, nhiều góc độ khác nhau và cảm nhận về các hình ảnh vẽ ba chiều sẽ trực quan, sinh động hơn. Các phép biến đổi thường được sử dụng là phép tịnh tiến, phép quay, phép biến dạng... được mô tả bằng các ma trận. Ma trận của mỗi phép biến đổi có các dạng khác nhau [39, 46, 98]. Nấn chỉnh biến dạng đối tượng dựa vào hệ tọa độ Barycentric được áp dụng rộng rãi trong các ứng dụng làm biến dạng đối tượng ở mức độ đơn giản. Tư tưởng chính của kỹ thuật này là chia bề mặt đối tượng cần biến đổi thành các đa giác, các đa giác này được đặc trưng bởi các đỉnh. Để biến đổi đối tượng chúng ta chỉ cần biến đổi các đa giác này và sau đó áp dụng hệ tọa độ Barycentric tính lại dữ liệu cho đối tượng để thu được kết quả cuối cùng. Kỹ thuật nấn chỉnh đối tượng 3D dựa vào hàm cơ sở bán kính (RBF) là kỹ thuật được áp dụng rất phổ biến trong các ứng dụng nấn chỉnh hình học [64, 88]. Tư tưởng của kỹ thuật là đối tượng sẽ được đặc trưng bởi một tập điểm gọi là điểm điều khiển, việc nấn chỉnh đối tượng sẽ dựa trên việc nấn chỉnh các điểm điều khiển, đầu tiên chúng ta sẽ tính ra các hệ số biến đổi dựa vào sự biến đổi của tập điểm điều khiển, sau đó việc tính toán lại dữ liệu của đối tượng sẽ được thực hiện bởi nội suy dựa trên hàm cơ sở bán kính với các hệ số là các giá trị vừa tính được [39].

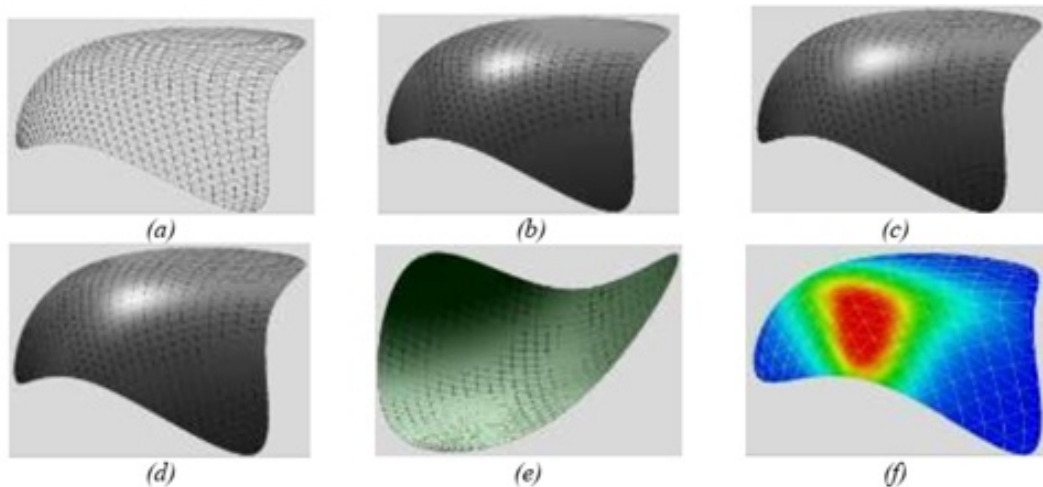
1.2.2 Kỹ thuật xử lý, tái tạo bề mặt đối tượng 3D

Tiếp cận rút gọn bề mặt biểu diễn mô hình 3D: Xây dựng mô hình là một khâu quan trọng trong các hệ thống thực tại ảo. Mô hình được xây dựng không những phải đảm bảo về chất lượng mà còn phải đảm bảo về yêu cầu giảm thiểu không gian bộ nhớ, rút ngắn thời gian tính toán, nhằm phục vụ cho các yêu cầu điều khiển sau đó [98]. Điều này, đặc biệt quan trọng khi sử dụng các thiết bị thu nhận như máy quét 3D, mô hình thu được thường có kết quả quá "nặng". Để giảm thiểu không gian bộ nhớ của mô hình, một trong những cách tiếp cận là giảm thiểu số bề mặt biểu diễn mô hình. Các thuật toán "giảm thiểu bề mặt" biểu diễn một vật thể trong không gian ba chiều hiện nay là không nhiều đối với đa số các ứng dụng thực tại ảo. Trong thực tế, không phải lúc nào chúng ta cũng cần biểu diễn một vật thể trong không gian ba chiều với chất lượng như thật. Hơn nữa, mức độ chất lượng hình ảnh của cùng một vật thể khi hiển thị cũng có thể thay đổi theo cách nhìn (*view*) [100].

Ví dụ, khi quan sát cận cảnh một vật thể, chúng ta cần số lượng mặt nhiều hơn để việc mô hình hoá có thể đạt đến một chất lượng như thật. Tuy nhiên, khi khoảng cách tăng lên, vật thể càng nhỏ đi đối với mắt người quan sát thì số lượng mặt biểu diễn có thể giảm đi mà vẫn đảm bảo cho người quan sát vẫn có thể hình dung ra được vật thể. Kỹ thuật hiển thị này đã được tích hợp vào nhiều hệ thống đồ họa 3 chiều và thực tại ảo với tên gọi là LOD (*Level Of Detail*) [10]. Để thực hiện được kỹ thuật hiển thị LOD về cơ bản người ta phải sinh ra các mô hình ở các mức độ chi tiết khác nhau và kỹ thuật sẽ sử dụng mô hình phù hợp tại các tình huống hiển thị khác nhau. Việc sinh ra các mô hình này thường dựa trên các kỹ thuật rút gọn bề mặt hoặc trường hợp mô hình được biểu diễn bởi các bề mặt có phương trình tham số, thì chúng sẽ được sinh ra bởi các tham số phù hợp.

Kỹ thuật tái tạo mặt cong tham số bậc thấp từ lưới tam giác: Trong mô hình hóa hình học, mặt cong trơn thường được dùng để mô tả bề mặt của các đối tượng thực. Dạng thường dùng là mặt cong phân mảnh hoặc mặt cong tham số [10]. Mặc dù mặt cong phân mảnh đã trở nên phổ biến và cho phép biểu diễn bề mặt đa mức với hình dáng bất kỳ, nhưng loại mặt cong này khó có thể tính toán chính xác vị trí của từng điểm trên bề mặt cũng như khó điều khiển hình dáng bề mặt một cách cục bộ [122]. Trong khi đó, mặt cong tham số không chỉ cho phép biểu diễn bề mặt mềm mượt với độ liên tục cao, ổn định, mềm dẻo và điều chỉnh bề mặt cục bộ mà còn cung cấp các phép toán, giải thuật chi tiết để xác định vị trí của một điểm bất kỳ trên bề mặt một cách chính xác và hiệu quả. Các mặt cong tham số như Bézier, B-spline hoặc NURBS trên miền tham số tứ giác từ lâu đã trở thành công cụ đắc lực và là chuẩn công nghiệp trong các hệ thống CAD/CAM [10, 29].

Dựa trên miền tham số, các mặt cong được thành hai loại: Mặt cong tham số tứ giác và mặt cong tham số tam giác. Mặt cong tham số tứ giác hay gọi là mặt cong tích tensor, các điểm có thể xác định chính xác bằng giải thuật de Boor. Mặt cong tham số tứ giác còn sở hữu các thuộc tính quan trọng của B-spline một biến như: bao lồi, bất biến affine, điều khiển cục bộ và trực giác,... [125]. Tuy nhiên, nếu miền tham số không thể phân chia thành các tứ giác thì mặt cong này không thích hợp cho việc mô phỏng bề mặt có hình dạng bất kỳ của một đối tượng thực. Việc phân chia miền tham số thành lưới phẳng các tam giác thường tự nhiên và dễ dàng thực hiện. Mặt cong trên miền tham số tam giác, hay Spline hai biến không chỉ sở hữu các ưu điểm của B-spline một biến mà còn cho phép kết nối mềm dẻo và phù hợp với bề mặt có hình dạng bất kỳ. Lưới tam giác bản chất là lưới không cấu trúc nên chúng cho phép biểu diễn với độ phân giải đa tỉ lệ và phù hợp với dạng hình học phức tạp, ghép nối linh hoạt và xử lý hiệu quả [85]. Ngoài ra, bậc đa thức của mặt cong tham số tam giác thấp hơn so với bậc đa thức của mặt cong tham số tứ giác nên tiết kiệm chi phí tính toán hơn [10, 115]. Với một số ưu điểm đặc thù, các mặt cong tham số tam giác, đặc biệt là B-spline tam giác, đóng vai trò quan trọng và có triển vọng trong việc mô hình hóa hình học các bề mặt có hình dạng phức tạp cũng như thiết kế linh hoạt [64].



HÌNH 1.9: Các bước tái tạo mặt cong Bézier tam giác (a) Lưới khởi tạo, (b,c,d) mặt cong đạt được sau $k = 2, 4, 6$ bước dịch chuyển, (e) mặt trong của mặt cong (d), và (f) độ cong Gaussian của Bézier kết quả với bậc $n = 164$

Các phương pháp tái tạo mặt cong trơn có thể được chia làm hai loại: Nội suy và xấp xỉ. Đối với phương pháp nội suy, các điểm dữ liệu có dạng lưới và được xếp thành các hàng, các cột. Mặt cong được tái tạo là mặt cong đi qua các điểm dữ liệu này. Ngược lại, phương pháp xấp xỉ cho ra mặt cong gần sát với các điểm dữ liệu, tối thiểu hóa độ lệch giữa mặt cong và các điểm dữ liệu. Các điểm dữ liệu

trong phương pháp xấp xỉ có thể phân bố ngẫu nhiên [38]. Hầu hết, các phương pháp tái tạo truyền thống là nội suy các mặt cong trơn bằng cách giải các hệ phương trình tuyến tính và giải quyết các vấn đề bình phương tối thiểu [92, 104]. Mặc dù các phương pháp này đã sinh ra các mặt cong nội suy qua các điểm dữ liệu, song các mặt cong này xuất hiện các gợn mấp mô, không được trơn mượt do bậc cao, không trực quan và chi phí tính toán lớn. Để vượt qua các hạn chế này, gần đây các phương pháp xấp xỉ lặp lại đang được nghiên cứu và mở rộng. Khác với phương pháp truyền thống, các phương pháp này không chỉ tránh được chi phí tính toán lớn do phải giải các hệ phương trình tuyến tính mà còn sinh ra một loạt các mặt cong xấp xỉ tốt bằng cách cập nhật và thay đổi vị trí các điểm điều khiển dựa trên kết quả tính toán khoảng cách giữa các điểm dữ liệu với mặt cong. Các tiếp cận này mặc dù đã thu được kết quả khích lệ, nhưng nhìn chung chúng thường tạo ra các mặt cong phân mảnh hoặc mặt cong trên miền tham số tứ giác [10, 77, 100, 107].

Để biểu diễn bề mặt của một đối tượng có hình dáng tự do, các phương pháp này thường chia mặt cong biểu diễn bề mặt đối tượng thành tập các mảnh cong và lần lượt tái tạo các mảnh cong này, sau đó ghép nối chúng lại để tạo thành một mặt cong trơn hoàn chỉnh. Vì ghép nối nên mặt cong kết quả xuất hiện các nếp gấp hoặc kẽ hở giữa các mảnh cong liền kề. Bên cạnh đó, một số phương pháp tái tạo các dạng mặt cong trên miền tham số tam giác, như tái tạo Bézier tam giác, B-patch, Spline đơn hình và B-spline tam giác cũng đã được nghiên cứu và cải tiến. Phương pháp dịch chuyển hình học cục bộ cũng được các tác giả trong [38, 63, 128] đề xuất. Mặc dù các nghiên cứu này đã tạo ra các mặt cong trơn toàn cục nhưng một vài kết quả không thể điều khiển cục bộ hình dạng mặt cong. Hơn nữa, vì dùng lưới ban đầu như lưới điều khiển của mặt cong nên mặt cong kết quả có bậc khá cao, do đó xuất hiện các mấp mô đặc trưng và làm tăng chi phí tính toán.

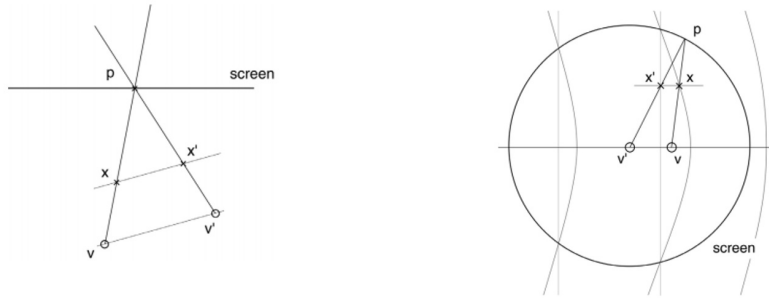
Kỹ thuật đường cong tái tạo bề mặt ngầm: Hầu hết các thuật toán tái tạo bề mặt ngầm kết hợp các nguyên hàm ngầm cục bộ để thể hiện các bề mặt dựa trên ý tưởng được phát triển bởi Blinn [94]. Dựa trên mô hình Blobby của Muraki phát triển với tập dữ liệu rất phức tạp bằng cách pha trộn các thành phần nguyên thủy ản, Lui và cộng sự [68] đề xuất một thuật toán tái tạo bề mặt dựa trên hàm đánh dấu khoảng cách (*Signed distance function*) được xác định cục bộ. Một số biến thể của hàm đánh dấu khoảng cách sử dụng trọng số tích lũy cũng được nghiên cứu để biểu diễn thể tích. Carr và cộng sự [21] đề xuất một phương pháp nhanh để điều chỉnh và đánh giá các RBFs (Radial basis functions) để mô hình hóa một tập dữ liệu lớn.

Có nhiều lược đồ đã được xem xét để giảm lượng chi phí lưu trữ trong tái thiết ngầm. Morse và cộng sự [79] đề xuất sử dụng RBFs được hỗ trợ nhỏ gọn để giảm chi phí tính toán và yêu cầu bộ nhớ, cho phép tái tạo bề mặt từ các tập dữ liệu lớn không thực tế từ các phương pháp trước đó. Sau đó, các tác giả trong [64] xem xét RBF được hỗ trợ nhỏ gọn để giảm chi phí tính toán và cải thiện hiệu quả của quá trình tái thiết. Pan và cộng sự [91] kết hợp một kỹ thuật xấp xỉ tensor bậc thấp và giảm yêu cầu lưu trữ một cách hiệu quả. Ohtake và cộng sự [88] đề xuất một phân vùng đa cấp (MPU) đại diện để tái cấu trúc các mô hình bề mặt từ một tập hợp lớn các điểm. Wang và cộng sự [122] đã trình bày một thuật toán tái tạo bề mặt dựa trên PHT-spline ẩn, nó tái tạo một bề mặt từ một đám mây điểm lớn một cách hiệu quả. Kazhdan và cộng sự [54] đề xuất sự tái tạo bề mặt dùng Poisson là hàm đặt trung của bề mặt. Tái cấu trúc bề mặt Poisson đã được trình bày để tránh tình trạng quá tải bằng cách kết hợp các ràng buộc vị trí trong vấn đề tối ưu hóa [67].

Kỹ thuật xấp xỉ lặp lũy tiến PIA (Progressive Iterative Approximation) [67] được sử dụng rộng rãi vì khả năng phù hợp và hiệu quả với dữ liệu. Phương pháp này tạo ra một chuỗi các đường cong/bề mặt một cách tường minh bằng cách tinh chỉnh các điểm điều khiển của các đường cong/bề mặt pha trộn và các điểm dữ liệu được nội suy theo giới hạn của chuỗi. Cả số lượng điểm kiểm soát và điểm dữ liệu được yêu cầu phải bằng nhau trong PIA cổ điển. Với sự tiến bộ gần đây của kỹ nguyên dữ liệu lớn, việc PIA phù hợp với các điểm dữ liệu quy mô lớn là không khả thi. Để khắc phục nhược điểm này, Lin và cộng sự [65] đã phát triển một phương pháp PIA (EPIA) mở rộng, cho phép số lượng điểm dữ liệu cao hơn số điểm kiểm soát. Phương pháp xấp xỉ lũy tiến và lặp lại cho phép khớp vuông góc tối thiểu (LSPIA) là một phương pháp PIA tường minh khác, cho phép số lượng điểm dữ liệu cao hơn số điểm điều khiển và giới hạn của nó là kết quả khớp vuông góc nhất với bộ dữ liệu đã có. Ban đầu, nhóm nghiên cứu đã phát hiện ra tính chất của PIA cho đường cong B-spline hình khối đồng nhất. Sau đó, Liu và cộng sự [67] cho thấy đường cong và bề mặt B-spline có đặc tính PIA không đồng nhất. Thuộc tính PIA giữ cho các đường cong và bề mặt với cơ bản được tường minh (NTP - *Normalized Totally Positive*). Ngoài ra, đường cong và bề mặt B-spline Rational có được thuộc tính này và Lu đã đề xuất một kỹ thuật PIA có trọng số để tăng tốc độ hội tụ của phương pháp PIA. Để biết thêm chi tiết, tổng quan toàn diện về PIA được cung cấp trong [69]. Như đã phân tích, một số phương pháp PIA đã được phát triển cho cả đường cong tham số và khớp bề mặt và đường cong phân chia và khớp bề mặt nhưng không được sử dụng trong đường cong ngầm và tái tạo bề mặt. Phương pháp lặp I-PIA cho tái tạo đường cong ngầm có thể dễ dàng được mở rộng để tái tạo bề mặt ngầm thông qua bổ sung thêm các điểm bù phụ (*Offset Points*) vào tập điểm dữ liệu để tạo ra bề mặt B-spline ẩn [65, 67, 69].

1.2.3 Kỹ thuật tương tác đối tượng 3D đa góc nhìn

Để đảm bảo tính chính xác trong tương tác, chúng ta cần phân tích vị trí của người dùng dựa trên phép chiếu môi trường ảo để đảm bảo điểm chiếu đối tượng 3D không bị biến dạng với vị trí nhìn của người dùng [22, 58]. Thị sai (*Parallax*) trong một hình ảnh xảy ra khi một điểm đối tượng ảo x được xem từ một điểm nhìn v' khác với điểm chiếu ban đầu v . Một điểm ảnh p được hình thành bởi giao điểm của màn hình với tia từ điểm nhìn chiếu v qua điểm đối tượng x . Nhìn từ một điểm nhìn khác v' , điểm ảnh ảo x' nằm trên tia giữa điểm quan sát v' và điểm ảnh p . Điểm x' là hình ảnh thị sai của điểm x , vì điểm x' được chiếu với điểm nhìn v' sẽ xuất hiện ở cùng vị trí trên màn hình khi x chiếu với điểm nhìn v ; vectơ từ x đến x' là thị sai của điểm x [19, 40, 105].



(a) Thị sai và biến đổi lệch từ điểm nhìn (b) Thị sai từ điểm nhìn lệch trên màn hình tròn

HÌNH 1.10: Thị sai từ góc độ người dùng khi tương tác đối tượng 3D

Độ chênh lệch (d) [41] là khoảng cách giữa các điểm ảnh tương ứng trong một ảnh lập thể - xác định độ sâu tương đối của một điểm ảnh ảo x từ màn hình. Chênh lệch d tại điểm hình ảnh p là độ dài hình chiếu của vectơ interpupillary i qua điểm x lên màn hình:

$$d = \|i \times s\| \frac{\overline{px}}{vx} = \|i \times s\| \frac{\overline{px'}}{v'x'} \quad (1.1)$$

Trong đó s là vector pháp tuyến từ màn hình. Đối với hai điểm nhìn v và v' và điểm ảnh ảo x và x' - và giả sử cùng một interpupillary vectơ - sử dụng các tam giác đồng dạng chúng ta thấy rằng thị sai của x thực sự song song với vectơ lệch giữa các điểm nhìn v và v' . Chúng ta có thể xác định thị sai từ vectơ lệch cho điểm nhìn là:

$$\overrightarrow{xx'} = \frac{\overline{px}}{\overline{pv}} \overrightarrow{vv'} = \frac{\overline{px'}}{\overline{pv'}} \overrightarrow{vv'} \quad (1.2)$$

Đối với màn hình phẳng, thị sai điểm nhìn là phép biến đổi trượt đơn giản của ảnh không gian. Đối với màn hình cong có trường nhìn ngang rất rộng, phép chiếu omnistereo sẽ đảm bảo độ chênh lệch chính xác trên vòng tròn quan sát toàn cục bằng cách xoay interpupillary vectơ i với hướng quan sát. Với phép chiếu omnistereo trên màn hình cong, các đường thẳng song song với phần lệch quan sát lại được ánh xạ lên các đường thẳng. Tuy nhiên, các đường vuông góc với vectơ lệch cho điểm nhìn được ánh xạ tới một đường cong hyperbol [50, 81].

1.2.3.1 Vấn đề cong vênh đối tượng đồ họa đa điểm nhìn

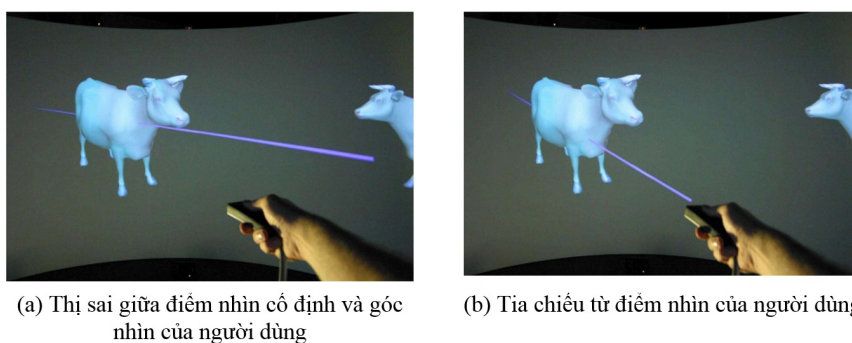
Thông thường, người xem có thể quan sát các ảnh lập thể thoải mái ngay khi góc nhìn hoặc khoảng cách xen kẽ (*Interpupillary*) khác biệt đáng kể so với điểm nhìn trong hình ảnh được kết xuất. Điều này cho phép các nhóm người xem có thể chia sẻ một hình ảnh omnistereo không cần tracking bằng đầu duy nhất, miễn là điểm nhìn chiếu được tập trung ở đâu đó ở giữa [59]. Để biến một cảnh thành một hình ảnh lập thể nhất quán với các góc điểm nhìn khác nhau, kiểm soát thị sai mà người dùng có trên các phần của cảnh mà không ảnh hưởng đến các điều kiện xem chung cho những người xem còn lại. Điều này được thực hiện bằng cách làm cong vênh các vị trí điểm của đối tượng trong cảnh và trong bước thứ hai là hiển thị toàn cảnh với các đối tượng đã làm cong vênh trong một ảnh omnistereo với một điểm nhìn chiếu hình tròn đơn.

Hàm cong vênh cho một điểm đối tượng ảo x đồng nhất với thị sai của điểm x từ điểm nhìn v đến điểm nhìn trung tâm v' , vì điểm x' (ảnh thị sai của x) được chiếu với điểm nhìn trung tâm v' sẽ xuất hiện ở cùng vị trí với x được chiếu với điểm nhìn v . Đối với màn hình phẳng, Wartell và cộng sự đã sử dụng cong vênh đối tượng để bù sự trượt do thay đổi IPD trong hình ảnh lập thể [14] bằng cách nhân lên ma trận trượt của phép biến đổi được mô tả bởi phương trình (1.2) với ma trận OpenGL ModelView. Với sự cong vênh đối tượng, chúng ta có thể gán các hình chiếu của điểm nhìn khác nhau cho một số đối tượng trong cảnh, trong khi vẫn duy trì và hiển thị một hình ảnh lập thể nhất quán, duy nhất [40].

1.2.3.2 Góc nhìn người dùng khi tương tác đối tượng 3D

Chất lượng của các kỹ thuật tương tác trực tiếp và tương tác vùng trung tâm [24] trong môi trường hiển thị dựa trên phép chiếu phụ thuộc vào sự tương đồng giữa không gian thực và không gian ảo từ điểm nhìn của người dùng. Vấn đề khó nhất là theo dõi được vị trí đầu người dùng. Mỗi khi đầu ta ngẩng lên xuống, quay trái phải thì thiết bị cũng điều chỉnh hình ảnh theo làm sao cho mắt

cảm thấy nhìn thấy hình ảnh liên tục như mắt thật vậy. Tuy nhiên, quy trình cảm biến-phân tích-phản hồi vẫn có một độ trễ nhất định giữa 2 thế giới. Thị sai cho thấy độ lệch đáng kể ở vị trí được theo dõi của thiết bị thực và ở các vị trí ảo nơi ứng dụng sẽ đặt các yếu tố tương tác nhất định như các tia chọn, menu, biểu tượng của vùng chọn chức năng, một vật thể va chạm hoặc một nguồn sáng di chuyển. Thị sai can thiệp vào chất lượng của việc tương tác trực tiếp vì vị trí của thiết bị tương tác không phù hợp với vị trí của tay người dùng. Kết quả tạo ra sự sai lệch giữa khối quan sát phía trước mắt người dùng với khối hướng đến được mô tả bởi tay người dùng. Một phần lệch lớn làm cho việc tương tác trở nên khó khăn, do phần lệch giữa tay và các yếu tố tương tác, người dùng sẽ không thể tương tác đến một số vị trí nhất định trong khối quan sát của mình một cách thoải mái. Thậm chí còn không thể nhìn thấy các yếu tố tương tác một cách chính xác, khi các đối tượng có thể nhìn thấy trước mặt người dùng, được chiếu quá gần phía trước hoặc thậm chí phía sau điểm nhìn thực của người dùng, hoàn toàn nằm ngoài khối quan sát [50, 71]. Do thị sai liên tục thay đổi theo vị trí đầu của người dùng, ngay cả độ lệch nhỏ cũng có thể gây khó chịu vì người dùng không thể sử dụng vị trí tay của mình để tiếp cận các vật thể nhìn thấy được mà thay vào đó phải liên tục điều chỉnh thị sai giữa vị trí tay, thiết bị tương tác và đối tượng tương tác ảo. Việc sử dụng điểm nhìn của người dùng để hiển thị và đặt các yếu tố tương tác của người dùng bằng cách làm cong vênh đối tượng sẽ loại bỏ vấn đề thị sai, vì người dùng lúc này sẽ nhìn thấy các yếu tố tương tác được điều khiển bởi chính họ một cách chính xác tại vị trí thực trong không gian. Do đó, các yếu tố tương tác trực quan chính xác với vị trí thực của các thiết bị và nằm trong không gian tiếp cận của người dùng [50, 81, 127].



HÌNH 1.11: Thị sai từ điểm nhìn cố định và góc nhìn của người dùng

Hình 1.11(a) cho thấy thị sai của vị trí thiết bị tương tác trong tay người dùng và vị trí có thể nhìn thấy của tia chọn được hiển thị với hình chiếu của điểm nhìn cố định ở giữa và được hiển thị trên màn hình [71, 81]. Người dùng (hoặc trong trường hợp này với mục đích minh họa cho góc nhìn của máy ảnh) nằm ở

khoảng nửa mét về phía bên phải của điểm nhìn chiếu cố định của hệ thống hiển thị, được sử dụng để hiển thị cảnh và biến đổi tia chọn. Điều này dẫn đến một thị sai đáng kể khoảng 0,4m cho điểm bắt đầu tia từ vị trí thực được theo dõi ở đầu thiết bị tương tác. Hình 1.11(b) cho thấy kết quả của việc chiếu tia chọn bằng cách sử dụng điểm nhìn của người dùng. Chúng tôi sử dụng phương pháp làm cong vênh đối tượng để di chuyển điểm đầu và hướng trở của thiết bị tương tác từ điểm nhìn chiếu cố định của hệ thống hiển thị sang điểm nhìn chiếu từ người dùng, căn chỉnh sự hiển thị của tia chọn và bù cho thị sai từ điểm nhìn của người dùng.

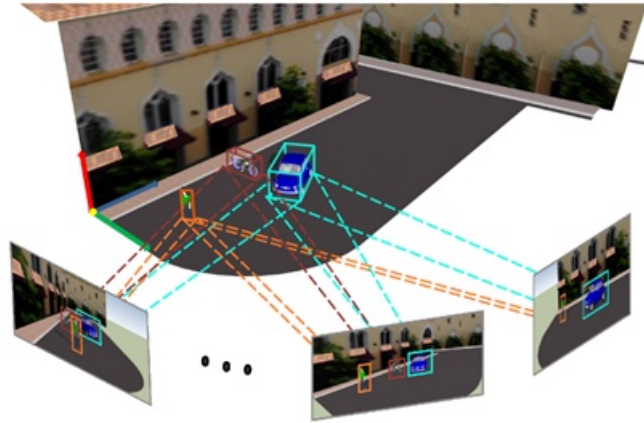
Chúng ta có thể thấy sự phù hợp tốt giữa vị trí có thể nhìn thấy của điểm bắt đầu của tia chọn và vị trí thực của thiết bị tương tác từ điểm nhìn của người dùng. Lưu ý rằng chỉ có hình chiếu và vị trí bắt đầu của phần tia chọn thay đổi, cảnh chính vẫn được hiển thị từ điểm nhìn cố định chính giữa của hệ thống hiển thị và không thay đổi tùy thuộc vào vị trí xem của người dùng. Phép chiếu theo điểm nhìn của người dùng được sử dụng cho tất cả các yếu tố tương tác là phần mở rộng trực tiếp của các thiết bị tương tác như con trỏ, tia chọn hoặc biểu tượng cho biết trạng thái của thiết bị tương tác trong biểu diễn ảo. Làm cho các yếu tố này được căn chỉnh chính xác với thiết bị tương tác theo điểm nhìn của người dùng. Để loại bỏ lỗi thị sai, tất cả các yếu tố tương tác liên kết trực tiếp với sự tương tác của một người dùng như các đối tượng 3D, văn bản hoặc popup menu được làm cong vênh và hiển thị trong phép chiếu theo điểm nhìn của người dùng.

1.2.3.3 Góc nhìn đa người dùng tương tác đối tượng 3D

Chúng ta có thể dễ dàng mở rộng số người dùng để tích hợp các yếu tố tương tác cho nhiều người dùng bằng cách hiển thị các yếu tố tương tác cho từng người dùng trong một hệ thống hiển thị được chia sẻ với phép chiếu từ các điểm nhìn tương ứng. Do đó, tất cả các yếu tố tương tác được liên kết với từng người dùng sẽ căn chỉnh với vị trí hiển thị của họ trong không gian thực chính xác theo điểm nhìn của người dùng này [31, 105].

Các thành phần tương tác được liên kết trực tiếp với thiết bị của mỗi người dùng. Từ điểm nhìn của mỗi người dùng, do thị sai nên các thành phần tương tác khác sẽ không phù hợp với các thiết bị tương ứng của từng người. Việc ánh xạ giữa các thành phần tương tác và thiết bị đang là thách thức lớn. Thứ nhất, người dùng có thể quan sát sự liên kết giữa thiết bị và biểu diễn ảo của thiết bị theo điểm nhìn của mình. Chỉ các yếu tố tương tác được liên kết mới được căn chỉnh chính xác, các yếu tố tương tác khác của người dùng khác không được căn chỉnh.

Thứ hai, các thiết bị tương tác theo dõi chuyển động tay người dùng và phải phản hồi trực quan ngay lập tức hành động đó [72, 72, 119].



HÌNH 1.12: Góc nhìn đa người dùng cùng tương tác đối tượng 3D

1.3 Một số hướng tiếp cận xử lý đối tượng 3D trong mô phỏng y học

Liên quan đến nghiên cứu và xây dựng các hệ thống mô phỏng cơ thể người trong môi trường thực tại ảo 3D tại Việt Nam cũng chỉ có thể nói đến các nhóm nghiên cứu quan tâm đến vấn đề này ngay từ ngày đầu, có thể kể đến:

1. Nhóm của PGS.TS Đỗ Năng Toàn, Viện Công nghệ thông tin, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam;
2. Trung tâm Mô phỏng và Mô hình hóa CVS, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng.

1.3.1 Hướng tiếp cận tối ưu hóa bề mặt đối tượng 3D

1.3.1.1 Tối ưu hóa bề mặt lưới tam giác, tứ giác

Tối ưu hóa bề mặt lưới tam giác được tập trung nghiên cứu với ba hướng chính là:

1. Multi-resolution: Remeshing, parametric surfaces, subdivision surfaces [10].
2. Polygonal Simplification:
 - Theo toán tử địa phương: Vertex Clustering, Incremental Decimation, Triangle Collapse [98].

- Theo toán tử toàn cầu: Low-Pass Filtering, Morphological Operators, Alpha-Hull [100].

3. Image Imposters: Texture Depth Meshes [122].

Tùy vào từng trường hợp mà người ta dựa vào các hướng giải quyết khác nhau. Để tối ưu hóa bề mặt lưới thì phương pháp Incremental Decimation [10, 29, 98, 100] theo hướng Polygonal Simplification được phát triển rộng rãi trong các gói chương trình đã nghiên cứu thành công.

Để tối ưu hóa mô hình lưới tam giác, chúng ta thấy bề mặt lưới thu được của mô hình là có thể đáp ứng được so với yêu cầu đặt ra về phần kích thước dữ liệu và mô hình chủ yếu là những mô hình tĩnh ví dụ như tượng, đồ vật,... Tuy nhiên, vấn đề là các mô hình sau khi tối ưu phải đạt được yêu cầu cả ứng dụng về chuyển động hoạt hình và biểu cảm nhân vật. Khi đó, không gian lưới phải đáp ứng được các chuyển động mà mô hình không bị biến dạng. Đây là điều mà việc tối ưu hóa bề mặt lưới tam giác đang còn hạn chế [85, 125]. Có hai phương pháp để chuyển mô hình bề mặt lưới tam giác về mô hình có bề mặt lưới tứ giác:

1. Phương pháp gián tiếp: Bao gồm các thủ tục đòi hỏi bề mặt lưới mô hình có lưới tam giác ban đầu được kết hợp với tam giác liền kề một cách hệ thống, trong hầu hết các trường hợp, kết quả là một bề mặt lưới gồm tất cả các tứ giác. Trong khi phương pháp này có thể được thực hiện nhanh chóng, đôi khi phương pháp này có thể để lại một số lượng lớn các đỉnh bất quy tắc. Một đỉnh của một lưới tứ giác là “bất thường” nếu nút có nhiều hơn hoặc ít hơn bốn đỉnh lân cận (hay số bậc của đỉnh khác 4) [10, 16].
2. Phương pháp trực tiếp: Không quá quan tâm đến bề mặt lưới tam giác ban đầu. Tứ giác thay thế đặt trực tiếp lên bề mặt lưới mô hình hoặc tứ giác có thể được đặt sau khi phân hủy bề mặt mô hình thành các vùng đơn giản. Trong số các phương pháp trực tiếp, thuật toán “lát nền” cung cấp một số đặc tính mong muốn. Blacker mô tả điều này như: “Ranh giới nhạy cảm”, “Định hướng Insensitive”. Xoay hoặc dịch lưới mô hình đưa ra các kết quả nên hay không nên thay đổi lưới topo. Một lưới được tạo ra trong một mô hình chuyển đổi được tương đương với lưới ban đầu, và ít điểm “bất thường”. Vì vậy, một lưới với vài nút bất thường, đặc biệt là ranh giới nơi hình dạng của đối tượng biến đổi [77, 100].

Một số thuật toán tiêu biểu có thể kể đến là: thuật toán của Hopper, thuật toán Quad-Morphing, thuật toán của Lindstrom và Turk, thuật toán tái tạo bề mặt đầy đủ khác biệt của Loper và Black, thuật toán mở rộng mặt lưới dựa trên ảnh, thuật toán chuyển đổi lưới 3D dựa trên mạng neuron [16, 92, 100, 104, 107].

1.3.1.2 Tiếp cận làm mịn bề mặt đối tượng 3D

Các vị trí điểm lưới tứ giác sau khi đã được chuyển đổi đang ở những vị trí chưa hợp lý trên bề mặt lưới cho mô hình 3D vì vậy công việc tiếp theo của chúng ta là làm mịn bề mặt lưới này, phương pháp ở đây là ta có thể thêm điểm hoặc thay đổi vị trí một số điểm trên bề mặt lưới làm cho bề mặt lưới trở nên đẹp hơn về mặt thẩm mỹ, thuận tiện cho việc chuyển động mô hình và tốt cho quá trình tối ưu hóa lưới ở bước tiếp theo. Một số yêu cầu khi làm mịn bề mặt đối tượng:

- Xử lý các tứ giác bị bóp méo nghiêm trọng.
- Được xử lý trong một phạm vi rộng các bề mặt của mô hình dựa vào tính vật lý và sinh học của mô hình đó.

Một số thuật toán tiêu biểu có thể kể đến là: Thuật toán làm mịn tổng thể, thuật toán Harmonic Cross-Valued Maps, thuật toán sử dụng Cohort Intelligence, thuật toán sử dụng phương pháp Spectral Element [101, 120]. Sau khi lưới được làm mịn thì bề mặt lưới của mô hình vẫn còn khá lớn, mà việc tối ưu hóa mô hình là làm cho mô hình trở nên ít lưới hơn nữa. Vì thế công việc tiếp theo của chúng ta là sẽ làm tinh giảm tối đa số lưới trên mà vẫn đảm bảo bề mặt của mô hình đồng thời vẫn giữ được cấu tạo số lưới tối thiểu để hỗ trợ cho các chuyển động của mô hình hay liên kết giữa các thành phần của mô hình nhất là ở các vị trí khớp. Công việc này thường thì chúng ta sẽ làm bằng tay trên các phần mềm 3D, việc này tiêu tốn khá nhiều thời gian. Để khắc phục vấn đề này chúng ta cần một thuật toán tối ưu hóa bề mặt lưới tứ giác 3D một cách tự động mà vẫn có thể đáp ứng được yêu cầu đề ra ở trên [67, 69]. Hiện nay, các công trình nghiên cứu về tối ưu hóa trên bề mặt lưới tứ giác vẫn đang còn hạn chế, do độ phức tạp trong tính toán bề mặt mô hình. Công việc tối ưu hóa vẫn thường được các nhà thiết kế làm việc trực tiếp bằng tay trên các mô hình dựa vào các phần mềm 3D. Một số thuật toán tối ưu lưới tứ giác tiêu biểu là: thuật toán nén lưới, Quadrilateral Meshes, Triangular, Quadrilateral, Quad-Dominant Meshes [34, 86, 101].

1.3.2 Hướng tiếp cận về chiếu sáng và tạo bóng đối tượng 3D

1.3.2.1 Tiếp cận chiếu sáng đối tượng 3D

Tác dụng của việc chiếu sáng là làm cho các đối tượng hiển thị trong máy tính giống với vật thể trong thế giới thực. Để thực hiện công việc này cần phải có các mô hình tạo sáng. Vật thể được chiếu sáng nhờ vào ánh sáng đến từ khắp mọi hướng gọi là ánh sáng xung quanh (*ambient light*) hay ánh sáng nền (*background light*). Trên bề mặt có 2 loại hiệu ứng phát sáng là khuếch tán (*diffuse light*) ánh

sáng đi theo mọi hướng và phản xạ gương (*specular light*). Kazantsev và cộng sự [53] đã đề xuất kỹ thuật ánh sáng có cấu trúc màu giả mã ngẫu nhiên mạnh mẽ để phục hồi mô hình đối tượng 3D. Kỹ thuật untrathin biểu diễn bề mặt đối tượng với hiệu ứng ánh sáng cũng được tiếp cận bởi X. Ni [84]. Tập hợp các phương pháp biểu diễn ánh sáng có cấu trúc tốc độ cao mô tả các đối tượng 3D được trình bày khá chi tiết trong [53, 84].

1.3.2.2 Tiếp cận tạo bóng đối tượng 3D

Bóng của đối tượng được xác định dựa vào cường độ sáng khác nhau theo góc nhìn. Các vật có bề mặt phẳng chỉ cần tính cường độ sáng chung cho một bề mặt là có thể hiển thị đối tượng tương đối thật. Các vật có bề mặt cong phải tính cường độ sáng cho từng pixel trên bề mặt. Để tăng tốc độ ta xấp xỉ các mặt cong bởi một tập hợp các mặt phẳng. Với mỗi mặt phẳng sẽ áp dụng mô hình cường độ không đổi (*flat shading*) hoặc cường độ nội suy (*Gouraud shading, Phong shading*) để tạo bóng [54]. Với dữ liệu không đủ hoặc không đáng tin cậy, hình dạng từ các thuật toán tạo bóng thường phải giả định để chuẩn hóa như độ mịn bề mặt được xem xét bởi Barron và Malik [12]. Hình dạng và góc nhìn đơn khi tạo bóng được thực hiện dễ dàng khi có thông tin độ sâu trên mỗi pixel. Việc kết xuất ngược được sử dụng để tinh chỉnh hình dạng độ sâu để phù hợp với hình ảnh bóng được đề cập đến trong [124].

Hướng tiếp cận xử lý bài toán tinh chỉnh độ sâu dựa trên bóng có thể được mở rộng thành tinh chỉnh tái tạo hình dạng đầy đủ có chiều sâu và bóng từ các góc nhìn khác nhau cũng được nhiều tác giả đề cập đến [10, 87, 98]. Nghiên cứu của Gargallo và cộng sự [37] hướng đến phân biệt chính xác chức năng lỗi trên bề mặt chưa biết. Delaunoy và Prados [27] đã mở rộng bài toán toán tạo bóng để giảm thiểu các điều kiện ràng buộc dựa trên hình ảnh hỗ trợ thiết lập bề mặt nhiều đa góc nhìn. Các phương pháp tạo hình từ bóng mờ được xây dựng xung quanh các giả định rằng dữ liệu đầu vào được thu thập nhưng không đáng tin cậy từ hình dạng vật lý được nhận biết đầy đủ [27, 37].

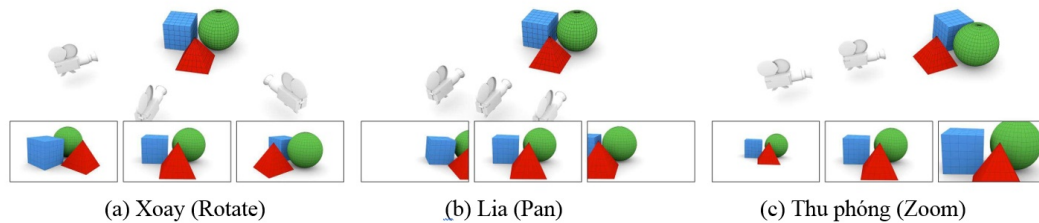
1.3.3 Hướng tiếp cận về tương tác đối tượng 3D

Tương tác trong môi trường 3D được đặc trưng bởi ba nhiệm vụ là: Điều hướng, lựa chọn và thao tác và hệ thống điều khiển giao tiếp giữa người dùng và hệ thống/ứng dụng [49, 56, 59].

1.3.3.1 Điều hướng tương tác

Tương tác trong môi trường 3D là một không gian rộng lớn, người dùng có thể đi lại và quan sát với nhiều góc nhìn khác nhau của đối tượng. Quá trình đi lại quan sát và tương tác 3D đòi hỏi các kỹ thuật phức tạp như: tìm đường, điều hướng và điều khiển camera, góc nhìn [19, 22, 59].

- Kỹ thuật xoay (*Tumble* hoặc *Sweep*) xử lý góc nhìn xung quanh một điểm trung tâm theo bất kỳ hướng nào - thao tác quét sẽ quét máy ảnh xung quanh theo chiều ngang và chiều dọc trên một rãnh hình cầu ảo, giữ cho máy ảnh được lấy nét ở cùng một điểm tham chiếu (xem Hình 1.13(a)).
- Kỹ thuật lia trong bối cảnh tương tác 3D, Pan và cộng sự [91] đề cập đến sự dịch chuyển của máy ảnh dọc theo các trục x và y (xem Hình 1.13(b)).
- Kỹ thuật thu phóng (*Dolly*) hướng đến sự dịch chuyển của máy ảnh dọc theo đường ngắm (xem Hình 1.13(c)).



HÌNH 1.13: Điều hướng góc nhìn trong môi trường 3D

1.3.3.2 Lựa chọn, thao tác và điều khiển ứng dụng

Một tác vụ điển hình khác được thực hiện trong môi trường ảo 3D là lựa chọn đối tượng và thao tác trực tiếp với nó [22, 59]. Các kỹ thuật tương tác cho thao tác 3D bao gồm ba tác vụ cơ bản: xê dịch đối tượng (định vị), xoay đối tượng và mở rộng đối tượng. Lựa chọn đối tượng - Cách phổ biến nhất để chọn đối tượng trong Desktop VEs là đặt con trỏ chuột lên đối tượng nhất định và nhấp vào nút chuột. Kỹ thuật này dựa trên phương pháp “*ray casting*” [50, 81, 127]. Thao tác đối tượng là một tác vụ cơ bản khác được thực hiện trong môi trường ảo 3D, đặc biệt là trong quá trình xây dựng tình huống khung cảnh. Chuột là một thiết bị nhập liệu tuyệt vời cho giao diện người dùng 2D, thường được sử dụng để định vị các đối tượng trong môi trường 3D. Một giải pháp khác cho vấn đề thao tác người dùng là hiển thị bộ công cụ, hộp thoại, hoặc mục menu để thao tác rõ ràng và trực tiếp [22, 59]. Ngoài ra thao tác được xem như một biểu diễn đồ họa làm

thay đổi trạng thái hoặc cách hiển thị của một đối tượng. Hoạt động này có thể được thực hiện bằng cách nhấp và kéo các đối tượng đồ họa của trình điều khiển.

Điều khiển ứng dụng (*Application Control*) là quá trình giao tiếp giữa người dùng và hệ thống, không phải là một phần của môi trường ảo [72, 105]. Tuy nhiên, đây là các hành động cụ thể và cần thiết để người dùng ra các lệnh thay đổi trạng thái của hệ thống hoặc phương thức tương tác [40, 94, 105]. LaViola và cộng sự [61] chỉ ra rằng mặc dù chuyển động điểm nhìn và lựa chọn/thao tác đã được nghiên cứu rộng rãi, nhưng rất ít nghiên cứu về các nhiệm vụ điều khiển hệ thống. Tuy nhiên, các kỹ thuật điều khiển ứng dụng đã được nghiên cứu chuyên sâu trong 40 năm qua trong giao diện người dùng đồ họa WIMP 2D “*point-and-click*” (giao diện dựa trên cửa sổ, biểu tượng, menu và thiết bị trỏ, thường là chuột) [41].

1.3.4 Tiếp cận bảo mật cho dữ liệu hình ảnh đối tượng 3D

Trong những năm gần đây, xu hướng số hóa dữ liệu y học đặt ra yêu cầu cấp thiết cho nghiên cứu, thảo luận để sớm có chính sách về quản trị dữ liệu nói chung và dữ liệu sức khỏe nói riêng. Đây là nhóm dữ liệu có độ nhạy cảm cao, cần được quản trị tốt để tạo nền tảng chuyển đổi số bền vững. Vấn đề bảo vệ thông tin riêng tư của người dùng cần phải đặt lên hàng đầu đặc biệt khi các thiết bị IoT đóng vai trò là quan trọng kết nối các cảm biến trong môi trường truyền thông tích hợp nền tảng giữa thế giới thực và ảo thông qua các hệ thống phân tán [26]. Tổ chức HIE (*Health Information Exchange*) đã triển khai hệ thống truyền dữ liệu y tế để tăng hiệu quả chăm sóc bệnh nhân. Trao đổi dữ liệu y tế hiện đã trở thành một sự kiện thường xuyên của cuộc sống hàng ngày ở nhiều bệnh viện. Tuy nhiên, vấn đề đặt ra là cần đảm bảo an toàn khi truyền tải các dữ liệu này qua mạng Internet. Mặc dù giao thức `https` đã được trang bị các kỹ thuật bảo mật nhưng các hệ thống truyền dữ liệu y tế vẫn cần có một phương pháp bảo mật trong môi trường IoT [1, 9, 103]. Hướng tiếp cận để giải quyết vấn đề này là tích hợp các kỹ thuật mã hóa để tránh những xâm nhập và truy cập trái phép vào hệ thống [47, 73, 129]. Chỉ có những người được ủy quyền mới có thể truy cập và tiếp cận các dữ liệu này [51]. Đây là hướng nghiên cứu mới đang thu hút được nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học để giải quyết bài toán đảm bảo tính chất bền vững và chất lượng hiển thị các đối tượng 3D [6, 30, 80, 90, 93, 108, 111].

1.4 Kết chương 1

Trong Chương 1, luận án tập trung giới thiệu về mô hình mô phỏng ứng dụng trong y học, mô hình bài toán và nguyên lý tối ưu mô hình 3D. Nghiên cứu sinh cũng đã trình bày tóm lược các kỹ thuật biểu diễn, tái tạo và tương tác trên đối tượng 3D cùng những vấn đề mở trong mục 1.2. Mục 1.3 của luận án tập trung phân tích, đánh giá các hướng tiếp cận xử lý đối tượng 3D gần đây gồm: tiếp cận tối ưu bề mặt lưới tam giác, lưới tứ giác, làm mịn bề mặt lưới, chiếu sáng, tạo bóng đối tượng và tương tác đối tượng 3D. Đây là những kiến thức cơ sở quan trọng và cái nhìn tổng quan về các vấn đề nghiên cứu mà luận án hướng đến giải quyết được trình bày trong Chương 2 và Chương 3.

Chương 2

Đề xuất một số kỹ thuật xử lý đối tượng trong mô phỏng y học

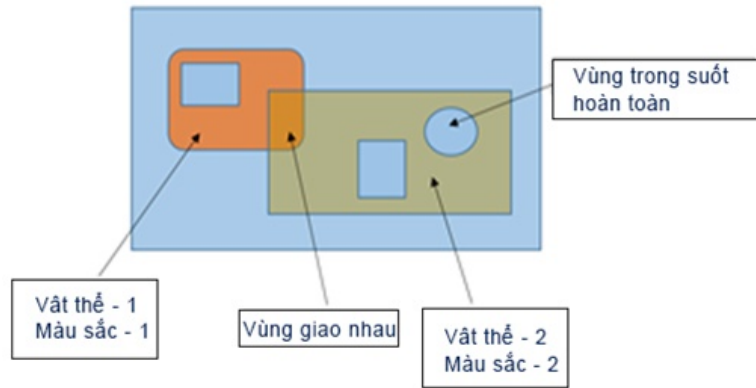
2.1 Kỹ thuật lựa chọn màu RGB hiệu quả cho cấu trúc đối tượng 3D phức tạp

2.1.1 Đặt vấn đề

Các bề mặt đối tượng (*Texture*) thường không chứa thuộc tính trong suốt (*Transparent*) mà chỉ sử dụng thành phần màu RGB hoặc giá trị kênh alpha của tất cả các điểm ảnh đều là giá trị lớn nhất ($\text{Maximal} = 255$). Do đó, hình ảnh đó không chứa bất kỳ một điểm ảnh trong suốt nào. Trong khi thông tin này là rất quan trọng vì xác định được cách thức hiển thị đối tượng. Điều này có nghĩa là bất kỳ hai đối tượng nào cũng có thể được vẽ chồng lên nhau (*Overlapping*) mà không cần trộn các điểm ảnh màu tại vị trí chồng lấn. Quá trình tạo điểm ảnh của đối tượng không có tính trong suốt là tương đối đơn giản và thực hiện rất nhanh. Toàn bộ bề mặt sẽ được xử lý cũng một lúc trong một hoặc nhiều khối chứ không phải xử lý lần lượt trên từng pixel. Mảng bộ nhớ của bề mặt được chuyển vào nhớ bộ đệm (*Buffer Frame*) bằng thao tác sao chép bộ nhớ. Chỉ có một tiêu chí đánh giá đơn giản là tránh tràn bộ đệm khung và giới hạn của màn hình. Nếu có đối tượng nào nằm ngoài hình chữ nhật giới hạn theo bất kỳ hướng nào thì giới hạn khung nhìn sẽ được thực hiện theo từng hàng trên bề mặt. Giải pháp này cần thêm các tính toán và đủ nhanh để áp dụng trong các trò chơi trên máy tính thế hệ đầu [39, 46, 98].

Khi texture có tính trong suốt, một phần của hình ảnh chứa đựng các nhóm điểm trong suốt hay các điểm ảnh của ảnh bị mờ với các mức độ khác nhau. Khi đó, một màu được chọn trước nhưng không sử dụng sẽ được dùng để đánh dấu các điểm ảnh trong suốt, gọi là colorkey. Đặc tính này sử dụng kênh alpha (A) liên kết với hình ảnh dùng trong nhiều lĩnh vực để cải thiện trải nghiệm về sự trực quan. Quá trình xử lý thông tin bổ sung này không quá phức tạp nhưng đòi hỏi

nhiều tính toán hơn. Bởi vì các vùng trong suốt và không trong suốt có thể tùy ý thay đổi trong một ảnh khi nhân vật chuyển động hay hiệu ứng particle... Khi đó, quá trình kết xuất đồ họa cần được thực hiện ở mức độ từng điểm ảnh bởi vì phần trong suốt và nửa trong suốt của các đối tượng được trộn với nhau trên những điểm ảnh chồng lấn [77, 99, 100].



HÌNH 2.1: Hiện tượng các bề mặt bị chồng chéo RGBA.

Tất cả các màn hình hiện đại đều dựa trên raster. Raster là một lưới hình chữ nhật 2D gồm các pixel (hoặc các phần tử hình ảnh). Một pixel có hai thuộc tính: màu sắc và vị trí. Màu sắc được thể hiện bằng các thành phần RGB (Đỏ-Lục-lam) thường là 8 bit trên mỗi thành phần hoặc 24 bit trên mỗi pixel (hoặc màu thực). Vị trí được biểu thị dưới dạng tọa độ (x, y) . Điểm gốc $(0, 0)$ nằm ở góc trên cùng bên trái, với trục x hướng sang phải và trục y hướng xuống. Điều này khác với tọa độ Descartes 2D thông thường, trong đó trục y hướng lên trên.

- Số bit màu trên mỗi pixel được gọi là độ sâu (hoặc độ chính xác) của màn hình. Số hàng theo cột của lưới hình chữ nhật được gọi là độ phân giải của màn hình, có thể nằm trong khoảng từ 640×480 (VGA), 800×600 (SVGA), 1024×768 (XGA) đến 1920×1080 (FHD) hoặc thậm chí cao hơn.

- Các giá trị màu của pixel được lưu trữ trong một phần đặc biệt của bộ nhớ đồ họa được gọi là bộ đệm khung (FrameBuffer). GPU ghi giá trị màu vào bộ đệm khung hình. Màn hình đọc các giá trị màu từ từng hàng của bộ đệm khung, từ trái sang phải, từ trên xuống dưới và đưa từng giá trị lên màn hình. Đối với mỗi điểm ảnh thông tin màu sắc được đọc từ bộ nhớ, tùy thuộc vào dữ liệu môi trường, vị trí của nó sẽ được xác định và cuối cùng được ghi vào bộ đệm khung:

$$\text{pFramebuffer} [\text{y screenWidth} + \text{x}] = \text{color}) \quad (2.1)$$

Trong khi màn hình đang đọc từ bộ đệm khung để hiển thị khung hiện tại, chúng ta có thể đang cập nhật nội dung của nó cho khung tiếp theo (không nhất thiết

phải theo cách quét raster). Điều này sẽ dẫn đến cái gọi là xé hình (tearing), trong đó màn hình hiển thị các phần của khung hình cũ và các phần của khung hình mới. Ngoài ra, với các đối tượng phức tạp, các điểm ảnh yêu cầu hàng ngàn các tính toán và các lời gọi hàm để được vẽ ra. Đối với mỗi điểm ảnh thông tin màu sắc, vị trí được đọc từ bộ nhớ và ghi vào bộ đệm khung. Vì vậy, hiệu năng của kỹ thuật này không cao để đáp ứng các yêu cầu phức tạp như trong các trò chơi video game đòi hỏi hàng trăm đối tượng chuyển động khác nhau được kết xuất cùng lúc trên màn hình. Bởi lẽ, khi có quá nhiều tính toán nhỏ cũng làm cho tài nguyên CPU trở nên cạn kiệt.

Vì vậy, hiệu năng của kỹ thuật này không cao để đáp ứng các yêu cầu phức tạp trong các trò chơi máy tính đòi hỏi hàng trăm đối tượng chuyển động khác nhau được kết xuất cùng lúc trên màn hình. Bởi lẽ, khi có quá nhiều tính toán nhỏ cũng làm cho tài nguyên CPU trở nên cạn kiệt [10, 15, 77, 107]. Trong mục này, luận án đề xuất giải pháp lựa chọn màu RGB hiệu quả cho cấu trúc đối tượng 3D phức tạp trong các hệ thống đồ thị cảnh. Giải pháp đề xuất là sự kết hợp nhiều phương pháp gắn thẻ, sử dụng phương pháp đánh dấu bằng cách chọn vùng màu RGB được vẽ trong kết cấu, trên cấu trúc đối tượng 3D phức tạp.

2.1.2 Các nghiên cứu liên quan

Việc tạo các mô hình 3D từ những bức ảnh là chủ đề rất được quan tâm trong lĩnh vực thị giác máy tính, quan trắc hình ảnh và đồ họa máy tính. Phần lớn nghiên cứu đến từ cộng đồng thị giác máy tính đã tập trung vào việc khôi phục các thông số về camera (vị trí, hướng, tiêu cự,...) và hình học bề mặt (dữ liệu điểm 3D). A. Balazs và cộng sự trình bày một giải pháp mới cho vấn đề khoảng trống. Các đoạn code vertex được sử dụng để tạo ra các đường biên dày mờ phù hợp để lấp đầy các khoảng trống giữa các mảnh lân cận [10]. Baumberg [15] đã trình bày một cách tiếp cận tự động mới là mở rộng kỹ thuật pha trộn hình ảnh 2D cổ điển lên một bề mặt đối tượng 3D, tạo ra các kết quả là các ảnh hiện thực chất lượng cao với chi phí tính toán thấp. Nghiên cứu này mô tả một hệ thống mới cho việc xây dựng các map texture liền mạch cho bề mặt của cấu trúc liên kết tùy ý từ ảnh thực của đối tượng được chụp bằng máy ảnh kỹ thuật số tiêu chuẩn dưới điều kiện ánh sáng tự nhiên.

Trong những năm gần đây, các kỹ thuật tiên tiến về hình ảnh và đối tượng phức tạp, kỹ thuật thị giác máy tính để thay thế các phương pháp phân tích thủ công các hình ảnh 2D thu được đã được tập trung nghiên cứu. Trong [66], Liu và cộng sự đề xuất một giải pháp phân đoạn đối tượng tự động bằng cách sử dụng camera RGB-D. Các tác giả đã phát triển một bộ lọc ba chiều (ba bên) bao gồm

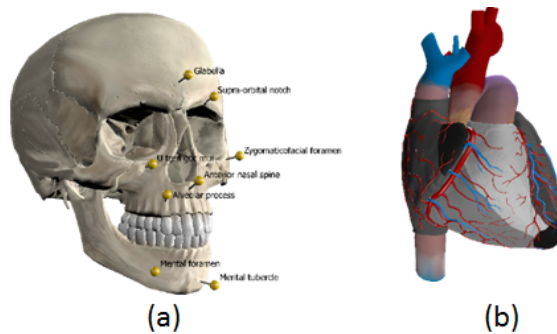
khoảng cách, giá trị RGB và thông tin đường biên. Richtsfeld và cộng sự đã triển khai và xác định mối quan hệ giữa các mảnh bề mặt trên hình ảnh 3D dựa trên các nguyên tắc Gestalt để xây dựng cấu trúc dựa trên phương pháp học. Kết cấu cảnh nhanh chóng được trừu tượng hóa bằng cách điều chỉnh mặt phẳng trên đám mây điểm 3D [97]. H. Y. Yalic và A. B. Can [128] đã trình bày một phương pháp phân đoạn đối tượng tự động trên dữ liệu RGB-D bằng cách sử dụng quy tắc bề mặt và độ tương tự vùng. Trong [5], AL-Mousa và cộng sự đã sử dụng khóa bình phương mã hóa với ma trận một chiều để tăng cường giải thuật mã hóa-giải mã ảnh màu RGB. Các tác giả trong [24] đã sử dụng mạng deep neural network để mã hóa các hình dạng nguyên thủy của một đối tượng cụ thể. Hướng tiếp cận này đã nhận được nhiều sự chú ý trong thời gian gần đây trước sự tăng lên nhanh chóng của không gian lưu trữ các hình khối 3D lớn. Mạng nơ-ron tái tạo 3D cho phép tạo ra các hình khối 3D trong sự biểu diễn thể tích, đưa ra một hình ảnh duy nhất làm đầu vào. H. Fan và cộng sự [33] đã đề xuất một mạng tạo điểm đặt để tạo từ hình ảnh 2D thành hình dạng 3D trong đám mây điểm.

Nhiều nghiên cứu đã thực hiện trên biểu diễn cấu trúc hình khối 3D bằng cách sử dụng phương pháp học không sâu và học sâu. Một số trường hợp ngoại lệ đáng chú ý bao gồm tạo ra các hình khối trong các đám mây điểm [38], hình hộp chữ nhật nguyên thủy [116] và bề mặt đa hình [63]. Trong [85], Chengjie Niu và cộng sự đã trình bày một phương pháp để phục hồi các cấu trúc hình khối 3D từ các hình ảnh RGB đơn, trong đó cấu trúc đề cập đến các phần hình khối được thể hiện bởi các hình hộp chữ nhật và các mối quan hệ một phần bao gồm kết nối và đối xứng. Phương pháp nhận dạng tự động các thành phần có cấu trúc từ hình ảnh 2D được chụp bằng máy ảnh kỹ thuật số và giải thuật nhận dạng các đối tượng và cấu trúc từ các hình ảnh 2D của một công trường đã được đề xuất bởi E. Trucco và A.P. Kaka [115]. Một phương pháp nhận dạng đối tượng để phát hiện các cột trong một hình ảnh bằng cách phân loại để học trên một bộ 100 hình ảnh của các cột bê tông đã được phát triển trong [70]. Trong nghiên cứu của Shih và Wang [104], các mô hình 3D về tiến độ công việc được phủ lên các đám mây điểm đưa vào cho biết tiến độ thực tế. P. Podbreznik và D. Rebolj [92] đã đề xuất cơ sở tái cấu trúc các mô hình hình học 3D từ hình ảnh 2D của một công trường xây dựng. Trong [107], Hyojoo Son và Changwan Kim đã đề xuất một phương pháp mô hình hóa và nhận dạng cấu trúc 3D tự động, hiệu quả, sử dụng dữ liệu màu và 3D thu được từ hệ thống quan sát nổi (stereo vision) để sử dụng trong giám sát tiến độ xây dựng.

2.1.3 Đề xuất mô hình lựa chọn màu RGB hiệu quả cho cấu trúc đối tượng 3D phức tạp trong hệ thống đồ thị cảnh

Trên một đối tượng giải phẫu 3D (*3D Anatomica*) [82, 112], ở đây lấy mẫu là đại não có rất nhiều mốc giải phẫu cần được đánh dấu để chỉ ra cho người học thấy, như đánh dấu bằng PIN, vẽ trực tiếp lên, hoặc kích chọn toàn bộ đại não để xem thông tin gốc. Nhưng trên đó, cũng có nhiều rãnh, vùng mang thông tin giải phẫu, các vùng đó có thể chồng chéo lên nhau, do đó cần cách đánh dấu để thể hiện được hết các điều đó. Ở đây, chúng tôi dùng phương pháp vẽ các vùng giải phẫu lên các textures riêng biệt, dựa vào mã màu RGB của vùng mà đúng vị trí UV của nó [10, 15].

Mô hình được đề xuất dựa trên phương pháp chọn mã PIN nhưng tập trung vào một số điểm nhất định trên đối tượng 3 sau đó đánh dấu bởi một kênh alpha trên bề mặt texture của đối tượng. Điều này có nghĩa là số lượng điểm lựa chọn chỉ giới hạn ở một giá trị trong khoảng từ 0 đến 255 (Hình 2.2) [15].



HÌNH 2.2: Hộp sọ được đánh dấu bằng các PIN và trái tim với một số vùng được đánh dấu bằng kênh alpha.

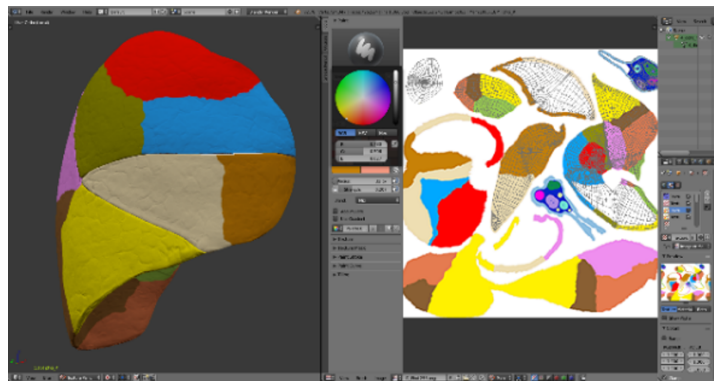
Thách thức chính khi thực hiện giải pháp này là cần phải chọn được vùng màu mô tả cho vùng giải phẫu. Các đường biên của vùng càng rõ nét thì càng chính xác. Vì thế, cần phải xử lý được mật độ điểm ảnh, xử lý các đường biên chồng lấn nhau hoặc bị nhòe, xử lý tương tác với parrallax fragment để UI nhận diện được vùng chọn, xử lý lưu trữ và kết nối với cơ sở dữ liệu một cách chính xác để lấy ra nhiều thông tin giải phẫu liên quan của vùng. Phương pháp chọn vùng theo RGB được đề xuất có thể đánh dấu vô số các vùng vì là tổ hợp giá trị màu RGB trong khi vẫn xác định được các vùng có thể chồng lên nhau. Khi đó, chúng ta có thể đánh dấu và chọn các khu vực và các khu vực chồng lên nhau. Phương pháp đề xuất được mô tả trong 06 bước trong Hình 2.3:



HÌNH 2.3: Kỹ thuật lựa chọn màu RGB hiệu quả cho đối tượng 3D phức tạp.

2.1.3.1 Vẽ trước vùng chọn và định danh

Trong bước 1, chúng ta vẽ vùng giải phẫu và tô màu vùng đó trên một texture dựa vào vị trí UV được tạo ra trong giai đoạn làm texture map và normal map. Mã màu RGB sẽ được ghi lại dưới dạng (R, G, B) hoặc hexa. Trong một texture, tất cả các mã màu RGB của các vùng phải khác nhau và được loại bỏ 02 màu $(0, 0, 0)$ và $(1, 1, 1)$ bên trong texture. Bởi lẽ, màu $(0, 0, 0)$ dùng làm màu mặc định chưa được chọn, màu $(1, 1, 1)$ dùng làm màu chọn cả đối tượng nhưng không chọn vùng màu [10, 15]. Hình 2.4 cho thấy các vùng màu vẽ dựa trên UV chính xác.



HÌNH 2.4: Vẽ các vùng màu dựa trên UV chính xác.

2.1.3.2 Xác định đường biên

Biên là vấn đề quan trọng trong trích chọn đặc điểm nhằm tiến tới hiểu ảnh. Cho đến nay chưa có định nghĩa chính xác về biên, trong mỗi ứng dụng người ta đưa ra các độ đo khác nhau về biên, một trong các độ đo đó là độ đo về sự thay đổi đột ngột về cấp xám. Ví dụ: Đối với ảnh đen trắng, một điểm được gọi là điểm biên nếu nó là điểm đen có ít nhất một điểm trắng bên cạnh. Tập hợp các điểm biên tạo nên biên hay đường bao của đối tượng. Xuất phát từ cơ sở này người ta thường sử dụng hai phương pháp phát hiện biên cơ bản: Phát hiện biên trực tiếp: Phương pháp này làm nổi biên dựa vào sự biến thiên mức xám của ảnh. Kỹ thuật chủ yếu dùng để phát hiện biên ở đây là dựa vào sự biến đổi cấp xám theo hướng.

Cách tiếp cận theo đạo hàm bậc nhất của ảnh dựa trên kỹ thuật Gradient, nếu lấy đạo hàm bậc hai của ảnh dựa trên biến đổi gia ta có kỹ thuật Laplace. Phát hiện biên gián tiếp: Nếu bằng cách nào đó ta phân được ảnh thành các vùng thì ranh giới giữa các vùng đó gọi là biên. Kỹ thuật dò biên và phân vùng ảnh là hai bài toán đối ngẫu nhau vì dò biên để thực hiện phân lớp đối tượng mà khi đã phân lớp xong nghĩa là đã phân vùng được ảnh và ngược lại, khi đã phân vùng ảnh đã được phân lớp thành các đối tượng, do đó có thể phát hiện được biên. Phương pháp phát hiện biên trực tiếp tỏ ra khá hiệu quả và ít chịu ảnh hưởng của nhiễu, song nếu sự biến thiên độ sáng không đột ngột, phương pháp tỏ ra kém hiệu quả, phương pháp phát hiện biên gián tiếp tuy khó cài đặt, song lại áp dụng khá tốt trong trường hợp này.

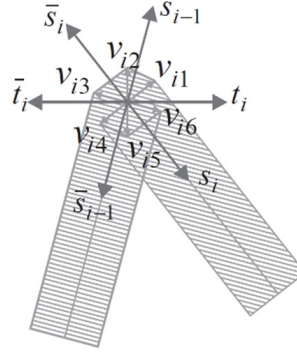
Khoảng trống giữa các mảnh liền kề được chỉ ra bởi các hình tam giác độc lập được lấp đầy bằng các đường biên dày được đổ bóng một cách phù hợp. Các đường biên (*Fat Border*) bao gồm một số hình tam giác với kết nối được xác định trước. Hướng và chiều rộng cũng như màu sắc của chúng phụ thuộc vào chế độ xem và được tính toán trong mỗi khung hình bằng chương trình vertex. Đầu vào cho thuật toán lấp khoảng trống là số N tùy ý về mức độ chi tiết (LOD) đặt của $H_i = \{\widehat{M}_i = M_{n,i}, \dots, M_{n,i}\}, i = 1, \dots, N$ các mảnh độc lập \widehat{M}_i với đường biên. Yêu cầu duy nhất trên các bộ LOD này là, đối với mỗi mảnh \widehat{M}_i , chúng ta luôn có thể chọn LOD M_{ki} sao cho khoảng cách giữa bề mặt xấp xỉ M_{ki} và bề mặt gốc \widehat{M}_i khi chiếu lên màn hình, ở nơi nào ít hơn điểm ảnh ϵ_{img} , đặc biệt dọc theo đường viền của mảnh [10]. Vấn đề này có thể đạt được bằng cách đảm bảo rằng điều kiện

$$H(M_i; M_{ki}) \leq r \quad (2.2)$$

Trong đó, H là khoảng cách Hausdorff; r được chọn theo cách sao cho hình chiếu không gian màn hình của hình cầu có bán kính r nhỏ hơn pixel ϵ_{img} .

Đầu vào cần thiết cho thuật toán này là một tập hợp các chuỗi đa giác đại diện cho một đường biên cong. Đối với mỗi phân đoạn dòng l , một bề mặt nhỏ S_i vuông góc với hướng nhìn hiện tại được tạo bằng cách mở rộng phân đoạn dòng sao cho phép chiếu l lên không gian ảnh mở rộng phân đoạn dòng được chiếu bởi pixel ϵ_{img} theo từng hướng, như trong Hình 2.5 [10]. Để đổ bóng cho các hình tam giác mới được đưa ra chính xác như các bề mặt liền kề, các tham số đổ bóng cho các đỉnh gốc trên đường biên được sử dụng cho các đỉnh mới được tạo.

Các đỉnh của đa đường (*polyline*) được lấp lại theo các thuật toán [10, 64] và mỗi polyline được xử lý theo một cách cụ thể như sau:



HÌNH 2.5: Các đỉnh được di chuyển để dựng một đường biên.

1. Chuẩn hóa hướng của bề mặt và độ vuông góc tương ứng với S_{i-1} và S_i của đoạn thẳng trước và đoạn sau tại đỉnh V_i hiện tại cùng với các cặp đối chiếu phủ định của chúng $\overline{S_{i-1}} = -S_{i-1}$ và $\overline{S_i} = -S_i$ tương ứng.
2. Chuẩn hóa tiếp tuyến $T_i = \frac{s_{i-1} + s_i}{\|s_{i-1} + s_i\|}$ của dòng poly ở đỉnh hiện tại và bảng đối chiếu phủ định của nó $\overline{T_i} = -T_i$.
3. Tạo 6 đỉnh mới bằng cách dịch chuyển T_i vuông góc với mỗi hướng và hướng nhìn $D_i = \frac{C - V_i}{\|C - V_i\|}$, trong đó C là vị trí của camera như sau:

$$\begin{aligned}
 V_{i1} &= \varepsilon \frac{(S_i \times D_i)}{\|(S_i \times D_i)\|} & V_{i2} &= \varepsilon \frac{(T_i \times D_i)}{\|(T_i \times D_i)\|} & V_{i3} &= \varepsilon \frac{(S_{i-1} \times D_i)}{\|(S_{i-1} \times D_i)\|} \\
 V_{i4} &= \varepsilon \frac{(\overline{S_i} \times D_i)}{\|(\overline{S_i} \times D_i)\|} & V_{i5} &= \varepsilon \frac{(\overline{T_i} \times D_i)}{\|(\overline{T_i} \times D_i)\|} & V_{i6} &= \varepsilon \frac{(\overline{S_{i-1}} \times D_i)}{\|(\overline{S_{i-1}} \times D_i)\|}
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

Trong đó ε là sai số trong hình học không gian bảo đảm sai số khoảng cách màn hình là ε_{img} pixel.

4. Dẩy các đỉnh mới tạo ra khỏi góc nhìn dọc theo hướng quan sát bằng ε .
5. Tạo các tam giác mới bằng cách kết nối các đỉnh kết quả. Lưu ý rằng, do cấu trúc đơn giản của các đường biên, một tứ giác đơn có thể được xác định cho mỗi đường cong biên.
6. Xác định màu của từng đỉnh mới bằng cách gán các tham số tô bóng của các đỉnh viền ban đầu. Lưu ý, hướng của các đường viền dùng để lấp đầy các khoảng trống không ảnh hưởng đến độ bóng thực tế được tính toán dựa trên đỉnh biên ban đầu. Vì hướng nhìn thay đổi từ khung này sang khung khác nên vị trí của các đỉnh mới phải được cập nhật liên tục.

Thuật toán 2.1 thể hiện quá trình làm mảnh các đường biên thông qua các vectơ tiếp tuyến được lưu trữ dưới dạng tọa độ kết cấu và lỗi xấp xỉ được đưa ra dưới dạng tham số chương trình cục bộ như sau:

Thuật toán 2.1 . Vertex program to render fat borders.

BEGIN

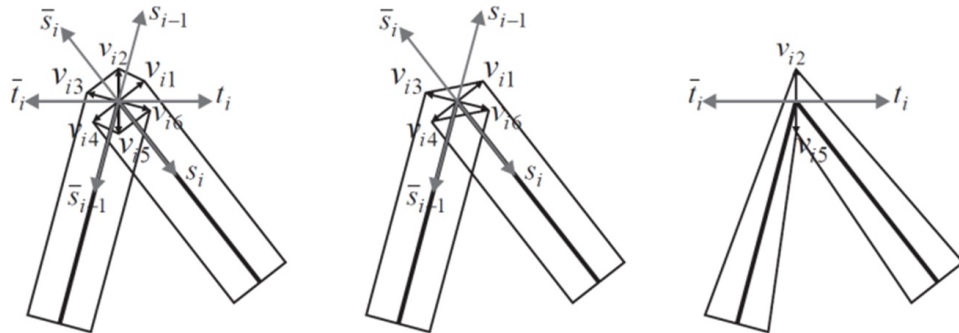
```

uniform vec3 length;
vec4 construct fat border(); vec3 view, offset; vec4 pos;
view = normalize(vec3(-1,-1,-1) × gl NormalMatrix[2]);
pos = gl Position;
offset = normalize(cross(view,gl MultiTexCoord0.xyz));
offset += gl MultiTexCoord0.xyz; pos.xyz += length × offset;
return pos;

```

END

Lưu ý rằng mặc dù phải có sáu điểm để đảm bảo mở rộng đường viền ngay cả ở các góc nhọn, nhưng thực tế chỉ sử dụng 4 hoặc thậm chí 2 đỉnh mới mang lại kết quả tốt (chỉ những đồ vật nhỏ) và có thể có tác động lớn đến hiệu suất kết xuất chỉ một hoặc hai phần ba đường biên tam giác phải được hiển thị. Các sơ đồ tạo đường biên tương ứng cho 6, 4 và 2 đỉnh được minh họa trong Hình 2.6.



HÌNH 2.6: Thuật toán tạo đường biên khác nhau.

Trong trường hợp, chúng ta sử dụng 4 đỉnh, các đỉnh V_{i2} và V_{i5} trong công thức (2.1) bị bỏ ra, nếu 2 đỉnh V_{i2} và V_{i5} sử dụng được tạo ra. Cũng lưu ý rằng miễn là tessellation là tĩnh (mức độ chi tiết (LOD) không thay đổi), các đường fat border cho bản vá cũng không thay đổi. Chúng ta có thể sử dụng đặc tính này để đóng gói các fat border trong danh sách hiển thị và do đó loại bỏ nhu cầu gửi thông tin này đến phần cứng đồ họa trong mỗi khung, do đó, yêu cầu băng thông của fat border thực tế không đáng kể [10]. Trong Hình 2.6, đa tuyến dày là ranh giới và các đa giác xung quanh nó đại diện cho các đường fat border được tạo ra. Lưu ý làm thế nào các đường biên trở nên mỏng hơn từ trái sang phải.

Điều kiện tiên quyết duy nhất cho việc này là cung cấp sáu đỉnh giả và khả năng kết nối của chúng cho mỗi đỉnh biên. Chương trình đỉnh chỉ nên được thực hiện cho các đỉnh biên. Do đó, việc thực thi của nó bị vô hiệu hóa trong khi hiển thị bản vá. Toàn bộ quá trình được hiển thị trong Hình 2.7.



HÌNH 2.7: Kết quả của phát hiện và tái tạo đường biên

Hình 2.7(a) thể hiện một phần của mô hình vành bánh xe được hiển thị không có fat border. Hình 2.7(b) hiển thị với các fat border được đặt chồng lên nhau và Hình 2.7(c) thể hiện kết quả fat border che lấp các khoảng trống.

2.1.3.3 Truy vấn dữ liệu

Đối với mỗi mã màu RGB đã được tạo, chúng ta đánh số và đặt tên theo tên của giải phẫu, đồng thời lưu trữ nhiều trường dữ liệu để chứa thông tin liên quan (tên của các bộ phận, tên trong các ngôn ngữ khác nhau gồm tiếng Việt, tiếng Latin, tiếng Anh và mô tả chi tiết về giải phẫu, mã màu RGB,...). Tạo bảng dữ liệu quan hệ dùng MySQL để truy vấn thông tin dựa trên các đường dẫn để có được kết cấu khớp với đối tượng 3D được yêu cầu (Bảng 2.1 và Hình 2.8)

BẢNG 2.1: Lưu trữ mã màu và các giá trị quan hệ

ColorID	Name	SName	ColorValue
1	3_hoi_tran_tren_R	Gyrus frontalis superioris	255 0 0
2	3_phan_tran_trong	Gyrus frontalis medialis	114 231 229
3	3_cuc_tran_R	Polus frontalis	193 0 255
4	3_ranh_tran_tren_R	Sulcus cerebri frontalis superior	0 194 168
5	3_hoi_tran_giua	Gyrus frontalis medius	255 255 0
6	3_hoi_tran_duoi_R	Gyrus frontalis inferior	141 173 217
7	3_phan_nap_R	Pars opercularis	217 210 140
8	3_tam_giac_ nao_R	Pars triangularis	0 43 137



ColorID	Name	Shieme	ColorValue						
1	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Superior frontal gyrus	Gyrus frontalis superior	255 0 0	17	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Supramarginal gyrus	Gyrus supramarginalis	137 173 36
2	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Medial frontal gyrus	Gyrus frontalis medialis	114 231 229	18	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Uncus, hook	Uncus	21 83 161
3	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Frontal pole	Pokus frontalis	193 0 255	19	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Angular gyrus	Gyrus angularis	75 180 189
4	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Superior frontal sulcus of the brain	Sulcus cerebri frontalis superior	0 194 168	20	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Occipital pole	Pokus occipitalis	99 78 16
5	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Medial frontal gyrus	Gyrus frontalis medius	255 255 0	21	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Ascending parietal sulcus	Sulcus postcentralis	102 99 2
6	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Inferior frontal gyrus	Gyrus frontalis inferior	141 173 217	22	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Cuneus	Cuneus	242 186 252
7	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Opercular part	Pars opercularis	217 210 140	23	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Precuneus (quadrate lobule)	Precuneus	226 114 63
8	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Triangular part	Pars triangularis	0 43 137	24	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Orbulate sulcus	Sulcus orbitalis	58 203 4
9	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Orbital part	Pars orbitalis	0 231 79	25	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Paracentral lobule	Lobulus paracentralis	225 210 138
10	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Orbital convolution	Gyrus occipitalis	206 96 180	26	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Precentral sulcus of the brain	Sulcus cerebri centralis anteri...	186 254 27
11	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Superior temporal gyrus	Gyrus temporalis superior	146 114 46	27	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Straight convolution	Gyrus rectus	239 183 21
12	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Middle temporal gyrus	Gyrus temporalis medius	234 225 40	28	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Temporal pole	Pokus temporalis	206 96 180
13	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Inferior temporal gyrus	Gyrus temporalis inferior	210 53 53	29	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Orbital sulcus	Sulcus occipitalis	255 51 0
14	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Anterior central gyrus (Precentral...)	Gyrus precentralis (Gyrus praec...	56 45 104	30	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Lateral sulcus anterior ramus	Sulcus lateralis ramus anterior	251 9 251
15	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Ascending parietal gyrus (Postcent...)	Gyrus postcentralis	42 135 184	31	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Lateral sulcus ascending ramus	Sulcus lateralis ramus ascendens	0 43 137
					32	3_brain_hoi_ben_uoi_nao_R	Lateral sulcus posterior ramus	Sulcus lateralis ramus posterior	0 248 185

HÌNH 2.8: Bộ cơ sở dữ liệu về đại não được lưu trữ trên MySQL

2.1.3.4 Kiểm soát trạng thái Texture chính và RGB

Các texture chính luôn được thiết lập trên kênh 1 (index 1) trong khi các texture RGB được thiết lập trên kênh 0 và đảm bảo chỉ nên nạp một texture RGB tại một thời điểm một lần. Các thay đổi texture RGB khác chỉ được nạp vào hệ thống khi cần. Bởi vì khi chúng ta sử dụng ảnh có độ phân giải cao 2048×2048 pixel để tạo ra các vùng chọn có màu đẹp và các đường biên của vùng ít bị biến dạng thì cần lựa chọn tối ưu các đối tượng, bề mặt được xử lý trong bộ nhớ [98].

2.1.3.5 Xử lý các tính toán đồ bóng GLSL

Nạp texture bề mặt chính và texture RGB vào dưới dạng uniform sampler2D [63]. Sử dụng biến uniform `vec3 rgb=vec3(1,1,1)` để báo hiệu trạng thái khi texture RGB được kích hoạt. Sử dụng cách trộn màu bằng hàm:

`mix function (colorRGB, color, 0.65)`

Thuật toán 2.2 . Mix Function (colorRGB, color, 0.65).

```

BEGIN
    if(rgb!=vec3(1,1,1))
        gl_FragColor.rgb = mix(color, colorRGB, 0.15);
    else gl_FragColor.rgb = color;
    if (colorRGB.rgb == (rgb))
        gl_FragColor.rgb = mix(colorRGB, color, 0.65);
END

```

- Hàm `mix function (colorRGB, color, 0.65)` thực hiện một phép nội suy tuyến tính giữa x và y bằng cách sử dụng trọng số giữa chúng. Giá trị trả về được tính là $x * (1 - a) + y * a$
- Có 3 tham số đầu vào của hàm `mix` là:
 - + `colorRGD` là giá trị màu R,G,B của đối tượng

- + color là một số thực trong khoảng $[0,1]$ thể hiện giá trị màu trong RGBA (Red, Green, Blue, Alpha)
- + 0.65 là giá trị hằng số được chọn dựa trên thực tế để trộn đổ bóng. Dựa vào kiểm nghiệm thực tế được triển khai trên hệ thống phần mềm mô phỏng giải phẫu Anatomy Now. Giá trị 0.65 là hằng số được chọn để đưa vào nhằm phân biệt các vùng màu được chọn và chưa được chọn tránh nhầm lẫn với các texture khác trong cùng một đối tượng. Với hàm số này hiệu quả cho các đối tượng 3D phức tạp có thể đánh dấu vị trí và chọn các khu vực chồng chéo lẫn nhau và được áp dụng trên cả đối tượng 3D tĩnh và động.



HÌNH 2.9: Kết quả áp dụng RGB texture cho mô hình sọ

2.1.3.6 Tương tác với vùng đã chọn

Sau khi lấy được giá trị mã màu RGB đã pick nhờ vào việc pick texture RGB trong sự kiện handle [107]. Dựa vào mã màu RGB (red, green, blue) chúng ta sẽ thiết lập các truy vấn đến cơ sở dữ liệu để lấy ra ID và Name của vùng từ đó lấy toàn bộ thông tin liên quan [10]. Hàm virtual void được khai báo như sau:

Thuật toán 2.3 Tương tác với vùng đã chọn

doUserOperations(osgUtil::LineSegmentIntersector::IntersectionResult)

BEGIN

```

osg::Vec3 tc;
osg::Texture × texture = result.getTextureLookUp(tc);
osg::Vec4 textureRGB = myImage → getColor(tc);
int red = textureRGB.r() × 255;
int green = textureRGB.g() × 255;
int blue = textureRGB.b() × 255;

```

END



HÌNH 2.10: Kết quả áp dụng tương tác với vùng cơ đầu

2.1.3.7 Kết xuất (Rendering)

Hệ thống đồ thị cảnh được sử dụng để thể hiện các cảnh chung cho việc kết xuất trong thời gian thực với phần cứng tạo điểm ảnh. Chúng ta giải phóng người dùng khỏi các vấn đề ở cấp thấp, như xử lý cảnh đa luồng (Luồng), tải và lưu trữ cảnh trong một số định dạng tệp (File format, textures). Gần như, tất cả các hệ thống đều có định dạng tệp riêng trong mã hóa chuỗi ký tự và nhị phân. Mã hóa nhị phân là một sự tuần tự hóa của tất cả các đối tượng cảnh với thông tin về kiểu và xử lý các đặc tính nền tảng [35].

Đổ bóng đơn giản là sử dụng các kỹ thuật này. Trong mỗi khung hình, các ma trận chuyển giao ở các đỉnh phải được nhân với thông số môi trường ánh sáng. Sau đó, các hệ số cho cơ sở chính xác được truyền xuống đến các điểm ảnh trong shader, trong đó giá trị normal hiện tại được tra cứu trong normal map và được sử dụng để đánh giá một cơ sở cụ thể. Các tính toán gần đúng có tính riêng biệt được dùng nhiều hơn vì các texture phụ thuộc vào normal cũng phải được hủy tham chiếu. Mã shader bên dưới là pixel shader khi $M = 4$. Các đỉnh được chia sẻ truyền xuống tọa độ texture và ba thành ghi có chứa các hệ số cơ bản [15, 121].

Thuật toán 2.4 . float4 StandardSVDPS (VS_OUTPUT_SVD In)

BEGIN

```
float4 RGBColor(0,0,0,1); // sample albedo/normal map
float4 vAlbedo = tex2D(AlbedoTex, In.uv);
float4 vNormal = tex2D(NormTex, In.uv);
float4 vU = tex2D(USampler,vNormal); // sample normal dependent texture
//Compute irradiance
RGBColor.r=dot(In.cR,vU);
RGBColor.g=dot(In.cG,vU);
RGBColor.b=dot(In.cB,vU);
return RGBColor × vAlbedo; // scale by albedo and return
```

END

2.1.4 Kết quả thực nghiệm và đánh giá

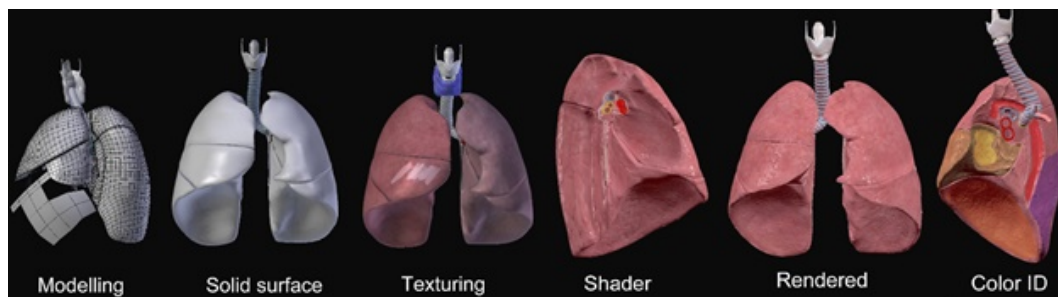
Các thực nghiệm được triển khai trên hệ thống phần mềm mô phỏng giải phẫu Anatomy Now. Phương pháp lựa chọn màu RGB hiệu quả cho các đối tượng 3D phức tạp được đề xuất có thể đánh dấu vị trí và chọn các khu vực và các khu vực chồng chéo lẫn nhau. Phương pháp đề xuất được áp dụng trên cả đối tượng 3D tĩnh và động. Chúng tôi đã đo lựa chọn màu RGB hiệu quả cho cấu trúc đối tượng 3D phức tạp trong thời gian tính toán hệ thống đồ thị cảnh cho một số độ phân giải texture maps điển hình (tổng số pixel trong tất cả các texture maps). Việc triển khai tham chiếu dựa trên đơn vị xử lý đồ họa (GPU) được phát triển với API OpenGL.

Chi tiết về cấu hình máy tính và môi trường thử nghiệm được nêu trong Bảng 2.2. Hệ thống của chúng tôi được viết bằng C++ áp dụng trình biên dịch GCC 4.8.1 và các phép đo được thực hiện trên môi trường Windows 10 64 bit.

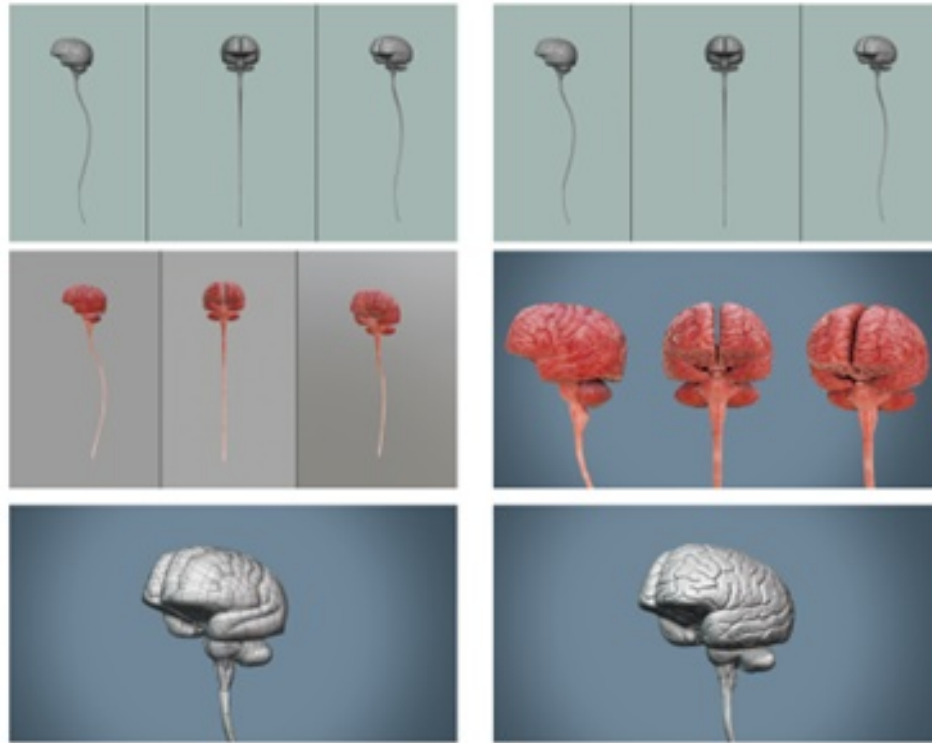
BẢNG 2.2: Môi trường thực nghiệm

Tham số	Mô tả
Processor	Intel Core TM i7 - 6700HQ 2.6 GHz
Graphics	NVIDIA GeForce GTX 980M
Memory	16 GB
Storage	Samsung PM951 NVMe 256GB
OS	Windows 10 64 bit
Screen Resolution and Color Depth	1920×1080, 32
Programming Language	OpenSceneGraph C++
Compiler	GCC 4.8.1

Các đánh giá được thực hiện đầy đủ hệ thống giải mô phỏng phẫu người với các mô hình 3D đa dạng gồm 8 hệ cơ quan. Chi tiết giải phẫu, kiểu giải phẫu, vùng giải phẫu, nhóm giải phẫu, mốc giải phẫu, hệ thống giải phẫu.



HÌNH 2.11: Kết quả lựa chọn màu RGB cho mô hình phổi 3D phức tạp



HÌNH 2.12: Kết quả áp dụng kỹ thuật đề xuất lên mô hình bộ não

2.1.4.1 Đánh giá hiệu năng các thao tác ghi pixel

Trong thực nghiệm 1, nghiên cứu sinh sẽ kiểm tra hiệu năng của phương pháp đề xuất trên các thao tác ghi pixel. Bảng 2.3 tóm tắt kết quả thực hiện thuật toán đề xuất trên các cơ quan trong cơ thể người.

BẢNG 2.3: So sánh đánh giá hiệu suất ghi pixel của phương pháp đề xuất

Hệ thống	Average FPS	GPU (%)	CPU (%)	GPU Dedicated	GPU System	Committed GPU Memory
Skeletal system - ligament	60.01	8.59	7.98	1.01 GB	83.3 MB	1018.8 MB
Respiratory system	59.22	8.84	9.4	1.1 GB	81.4 MB	1.0 GB
Cardio-vascular system	44.02	6.83	12.49	1.2 GB	72.8 MB	1.0 GB
Excretory and genital system	50.5	9.11	9.28	1.2 GB	81.1 MB	1.1 GB
Muscular system	47.62	12.59	12.29	1.8 GB	75.1 MB	1.7 GB
Digestive system	48.68	11.16	10.82	1.4 GB	81.4 MB	1.4 GB
Nervous system	43.52	7.03	12.49	1.2 GB	70.8 MB	1.2 GB
Endocrine system	49.69	10.68	9.89	1.2 GB	81.2 MB	1.1 GB
Trung bình	50.4075	9.35375	10.58	1.26375	78.3875	1.186865

Mục tiêu là kiểm tra khả năng lấp đầy màn hình bằng pixel màu được xác định trước dựa trên nhiều thao tác tính toán phức tạp trên pixel. Kết quả thực nghiệm được so sánh và đánh giá trên các tham số: Tốc độ trung bình của tốc độ

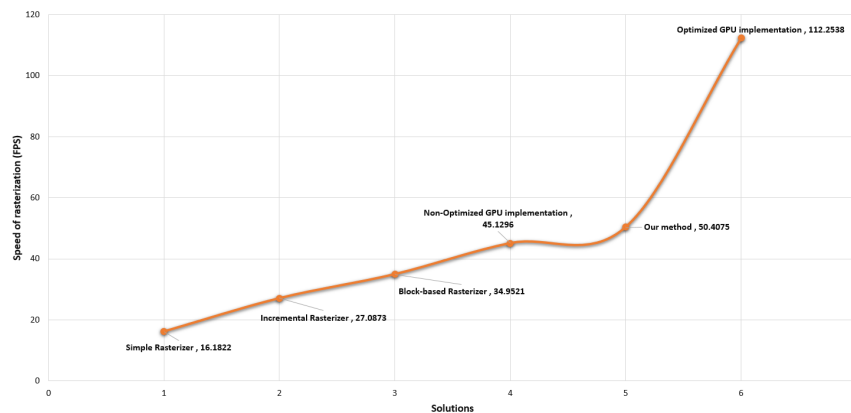
khung hình (FPS), tỷ lệ sử dụng GPU (%) và CPU (%), bộ nhớ chuyên dụng GPU, bộ nhớ hệ thống GPU và bộ nhớ committed GPU. Từ kết quả thực nghiệm cho thấy tốc độ rasterization trung bình luôn nằm trong khoảng từ 44,02 đến 60,01, mức sử dụng GPU trung bình là 9,35%, CPU trung bình là 10,58%, trung bình bộ nhớ dành riêng cho GPU là 1,26 GB, bộ nhớ trung bình của hệ thống GPU là 78,38 MB và trung bình bộ nhớ được cam kết của GPU là 1,186 GB. Các kết quả cho thấy rõ những lợi thế của giải pháp được đề xuất.

2.1.4.2 Đánh giá hiệu quả trên đối tượng 3D phức tạp

Thực nghiệm 2: Đánh giá hiệu quả lựa chọn màu RGB hiệu quả cho cấu trúc đối tượng 3D phức tạp trong các hệ thống đồ thị cảnh. Các phép đo được thực hiện cho thấy phương pháp đề xuất rất tốt khi áp dụng trên các đối tượng phức tạp, xem Bảng 2.4 và Hình 2.13.

BẢNG 2.4: So sánh đánh giá điểm chuẩn FPS trên hệ thống giải phẫu người

Thứ tự	Các giải pháp	Tốc độ của Rasterization (FPS)
1	Normal Rasterizer	16.1822
2	Incremental Rasterizer	27.0873
3	Block-based Rasterizer	34.9521
4	Non-Optimized GPU implementation	45.1296
5	Our method	50.4075
6	Optimized GPU implementation	112.2538



HÌNH 2.13: So sánh phương pháp đề xuất với các kỹ thuật hiện có

Việc triển khai GPU được tối ưu hóa có hiệu suất nhanh nhất. Nhưng chúng ta không nên quên rằng các tính toán được thực hiện bằng phần cứng chuyên dụng. Không cần phải di chuyển dữ liệu giữa GPU và bộ nhớ chính. Giải pháp đề

xuất của nghiên cứu sinh cho phép hiển thị hiệu quả các đối tượng 3D có cấu trúc phức tạp trên các thiết bị khác nhau. Công việc ứng dụng công nghệ thực tế ảo 3D tạo ra một cơ thể người hoàn chỉnh, cho phép người dùng tương tác theo nhiều cách khác nhau trên các đối tượng mô hình của các cơ quan, hệ thống, thậm chí các chi tiết nhỏ và cung cấp một bộ dữ liệu khoa học thống nhất nhằm vào người học là sinh viên, giảng viên, nhà nghiên cứu hoặc bác sĩ.

Việc thêm nhiều mục thông tin khác nhau vào một đối tượng 3D phức tạp là một thách thức khi khu vực cần gắn thông tin rất chi tiết và chồng chéo với tất cả các loại thông tin y tế khác liên quan đến khu vực. Các phương pháp hiện tại để gắn thẻ các khu vực không cho phép chúng ta có đủ vị trí để đính kèm thông tin. Giải pháp của nghiên cứu sinh kết hợp nhiều phương pháp gắn thẻ, sử dụng phương pháp đánh dấu bằng cách chọn vùng màu RGB được vẽ trong kết cấu, trên cấu trúc đối tượng 3D phức tạp. Sau đó, nó dựa vào các mã màu RGB đó để gắn thẻ ID và tạo các bảng quan hệ lưu trữ thông tin liên quan về các khu vực cụ thể của giải phẫu. Với phương pháp đánh dấu này, có thể sử dụng toàn bộ tập hợp các giá trị màu (R, G, B) để xác định một tập hợp các vùng giải phẫu và điều này cũng giúp xác định nhiều vùng chồng lấp.

2.2 Kỹ thuật nâng cao hiệu quả tương tác với đa người dùng trong thực tế ảo tăng cường

2.2.1 Đặt vấn đề

Thực tế tăng cường (*Augmented Reality-AR*) tích hợp các đối tượng thực và ảo trong môi trường thế giới thực ba chiều và mô phỏng thông qua giao diện tương tác [114]. Các thiết bị Solo AR được coi là có rất nhiều ứng dụng và dẫn đến thành công đáng kể. Một trong những tính năng làm cho AR có khả năng sử dụng cao là khả năng nhiều giao diện tương tác ảo với nhau [16]. Trong vài thập kỷ qua, AR đã trở thành một trong những công nghệ hứa hẹn nhất để hỗ trợ các tác vụ hiển thị 3D. Sự tiến bộ của nghiên cứu trong lĩnh vực này đang trở nên phổ biến do việc cung cấp hệ thống AR [20, 118]. Do đó, các nhà phát triển và nhà nghiên cứu đang hướng tới việc xây dựng các sản phẩm AR tối ưu và thiết thực trong thời gian ngắn trên quy mô toàn cầu. Hầu hết các kết quả AR nhắm đến trải nghiệm người dùng đơn lẻ và thiếu khả năng chia sẻ trong cùng một đối tượng ảo. Các kịch bản cộng tác AR có thể được phân loại thành hai loại khác nhau [3, 8]:

- Cộng tác từ xa (*Remote Collaboration*) để xây dựng ảo ảnh, kết hợp hai hoặc nhiều người tham gia chia sẻ cùng một không gian thông qua viễn thông

- Cộng tác AR đồng định vị (*Co-Located AR Collaboration*) giúp tăng cường không gian làm việc chung và chung để những người tham gia có thể nhìn thấy nhau tại thời điểm cộng tác.

Thế giới đã chứng kiến nhiều thay đổi và biến động mạnh mẽ do thiên tai, dịch bệnh và chiến tranh dẫn đến giảm tương tác của con người và hạn chế đi lại. Việc xây dựng các ứng dụng tương tác ảo, có thể chia sẻ có thể giúp đào tạo, đánh giá và chẩn đoán từ xa [4, 114], điều này cuối cùng có thể loại bỏ những vấn đề hiện tại đó. Nó cũng có thể dẫn đến các cuộc tham vấn bất ngờ ở các bệnh viện trên toàn thế giới. Môi trường tương tác cũng có thể được áp dụng cho việc giảng dạy và đào tạo, và được xem xét cho các hội thảo đào tạo nhân viên từ xa. Các hội thảo giảng dạy và đào tạo có thể do một nhóm chuyên gia và bác sĩ phụ trách và hỗ trợ các tiện ích trực quan, chẳng hạn như ảnh, video hoặc giao tiếp bằng giọng nói. Một trong những thách thức lớn nhất đối với các chuyên gia y tế là cung cấp các giải thích về y tế bên cạnh các bài học liên quan đến các chi tiết và ghi chú cụ thể trong lớp học [71, 76]. Tuy nhiên, có thể giải quyết các vấn đề như vậy bằng cách sử dụng hệ thống AR nhiều người dùng, cho phép tương tác và chia sẻ giữa nhiều người dùng trên các đối tượng 3D [50, 81].

2.2.2 Các nghiên cứu liên quan

Nhiều nhà nghiên cứu đã đề xuất các giải pháp dựa trên AR để khám phá giải phẫu cơ thể con người. Trong [50, 81, 127], một hệ thống dựa trên AR được đề xuất cho giải phẫu cơ thể người. Động cơ chính của các hệ thống như vậy là để học giải phẫu phức tạp một cách chi tiết và nhanh hơn so với các hệ thống học truyền thống. Một số nghiên cứu [49, 56] dựa vào việc khám phá giải phẫu cơ thể người thông qua các ứng dụng di động. Kurniawan và Witjaksono [58] đã đề xuất một ứng dụng di động dựa trên AR cho mục đích đó. Máy ảnh có nhiệm vụ chụp ảnh, sau đó chúng được chia thành nhiều mảnh và mẫu để khớp với cơ sở dữ liệu ảnh. Ngoài ra, một framework động đã được triển khai và tích hợp với cơ sở dữ liệu SQLite. Kuzuoka [59] đã sử dụng một luồng video để mô phỏng hành động của một người có kỹ năng. Người dùng tại chỗ được ghi lại trong video và sau đó được truyền đến người có kỹ năng từ xa, người có thể chú thích nội dung đã chụp. Baurer và cộng sự [14] đã mở rộng cách tiếp cận này và trình bày một con trỏ chuột được kích hoạt chuyên dụng trên màn hình gắn trên đầu (HMD) của các người dùng tại chỗ. Tuy nhiên, vị trí của chuột nằm trong màn hình hai chiều và độ ổn định được quan sát là kém ở thời gian di chuyển của HMD. Chasitine và cộng sự [22] đã trình bày một hệ thống hiển thị các con trỏ ba chiều để thể hiện ý định của người có kỹ năng.

Tuy nhiên, con trỏ 3D được xem xét cho nghiên cứu khá chậm. Trong [19], một hệ thống dựa trên AR cho phép đặt các đối tượng 3D động xuống để nhân viên địa phương quan sát. Mục đích của hệ thống này là để chứng minh cho những người tham gia cách phân tích hoặc giải quyết một vấn đề. Giải pháp chẩn đoán bệnh tim, nâng cao nhận thức về bệnh thoái hóa khớp và viêm khớp dạng thấp, bệnh Parkinson và chẩn đoán bệnh tự kỷ ở trẻ em được đề xuất trong [123]. Việc phát minh ra 3D Microsoft HoloLens đã trở thành một bước đột phá trong lĩnh vực thực tế tăng cường. Điều này đã khiến các nhà nghiên cứu và nhà phát triển làm việc trên các ứng dụng AR và các ấn phẩm học thuật một cách nhanh chóng. Một số lĩnh vực phổ biến là hình ảnh y tế, khoa học phân tử, kiến trúc và viễn thông. Kỹ thuật hình ảnh y tế 3D sử dụng HoloLens để hiển thị bộ dữ liệu CT ở dạng 3D với giới hạn về tập dữ liệu cụ thể được Si và cộng sự đề xuất trong một môi trường tương tác AR, đặc biệt cho đào tạo phẫu thuật thần kinh [105]. Nghiên cứu đã xem xét hai phương pháp khác nhau để phát triển hình ảnh ba chiều của não ảo. Bước đầu tiên là phát triển lại cấu trúc giải phẫu được cá nhân hóa từ hình ảnh MR được phân đoạn và bước thứ hai là triển khai phương pháp đăng ký chính xác để ánh xạ thông tin không gian thực-ảo.

Giải pháp dựa trên AR thử nghiệm các ứng dụng lâm sàng và phi lâm sàng bằng cách sử dụng Microsoft HoloLens tạo chú thích ảo, quan sát tổng thể 3D, điều hướng trang trình bày đầy đủ, thần giao cách cảm và quan sát mối tương quan trong thời gian thực giữa bệnh lý và X-quang [40]. Một nghiên cứu đánh giá so sánh dựa trên hệ thống AR quang học và bảng VR bán nhập vai với 82 người tham gia vào nghiên cứu [72, 119] và hiệu suất và sở thích được đánh giá thông qua bảng câu hỏi. Một ứng dụng thực tế hỗn hợp được phát triển bởi Maniam và cộng sự [72] để giảng dạy giải phẫu xương thái dương và được mô phỏng tương tự trên HoloLens. Thông qua sự dịch chuyển đỉnh và kéo dài kết cấu, mô phỏng tái tạo trải nghiệm khoan thực vào môi trường ảo và cho phép người dùng hiểu được sự đa dạng của các cấu trúc bản thể học. Pratt và cộng sự [94] khẳng định rằng kỹ thuật AR có thể giúp xác định, mổ xẻ và thực hiện các vật mạch máu nuôi cấy trong quá trình phẫu thuật tái tạo. Thông qua việc quét chụp mạch cắt lớp vi tính (*Computer Tomography Angiography - CTA*), các mô hình ba chiều có thể được tạo và chuyển đổi thành các mô hình đa giác và được hiển thị bên trong Microsoft HoloLens. Erolin [31] đã khám phá mô hình kỹ thuật số ba chiều tương tác để nâng cao việc học giải phẫu y khoa và giáo dục y tế. Nghiên cứu được sử dụng để phát triển các tài nguyên giải phẫu 3D ảo bao gồm phép đo quang, quét bề mặt và mô hình định dạng kỹ thuật số [41].

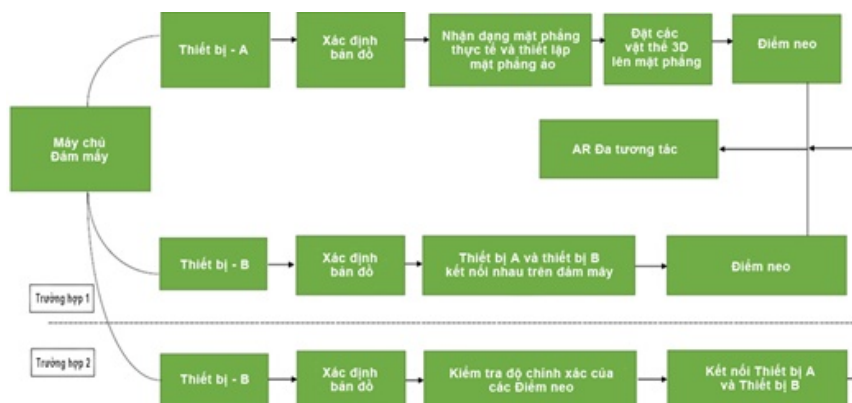
2.2.3 Đề xuất kỹ thuật cải thiện hiệu quả của tương tác với nhiều người dùng trong thực tế tăng cường hợp tác để đào tạo giải phẫu khoa

Mục tiêu chính của đề xuất này là phát triển một ứng dụng giải phẫu cơ thể người (*AnatomyNow*) để giảng dạy và đào tạo về giải phẫu. Hệ thống thực tại ảo cho phép đa người dùng tương tác trong cùng một thời điểm thực sự là một thách thức. Để giải quyết vấn đề này, nghiên cứu sinh đề xuất kỹ thuật chia sẻ cho nhiều người cùng tham gia trong một môi trường ảo hiển thị chi tiết các đối tượng 3D giải phẫu cơ thể người. Luận án xem xét hai trường hợp cụ thể. Thứ nhất, những người dùng khác nhau trong cùng một không gian thực và thứ hai, những người dùng ở các khu vực địa lý khác. Với tiếp cận tích hợp các ứng dụng giải phẫu người với Microsoft HoloLens. Tạo ra một nền tảng tương tác AR cho nhiều người dùng để giải phẫu cơ thể người và thử nghiệm cho hai trường hợp trên. Nghiên cứu sinh đã xây dựng hệ thống pin cho sự tương tác đa người dùng trên cùng một môi trường và đánh giá hiệu suất đã được thực hiện bằng cách sử dụng hai tham số: độ trễ dữ liệu giữa các thiết bị và khoảng cách giữa các mô hình của các thiết bị khác nhau.

2.2.3.1 Kiến trúc đa tương tác với nhiều người dùng trong AR

Nghiên cứu của luận án xem xét hai trường hợp đối với tương tác đa người dùng trong AR về mặt giải phẫu:

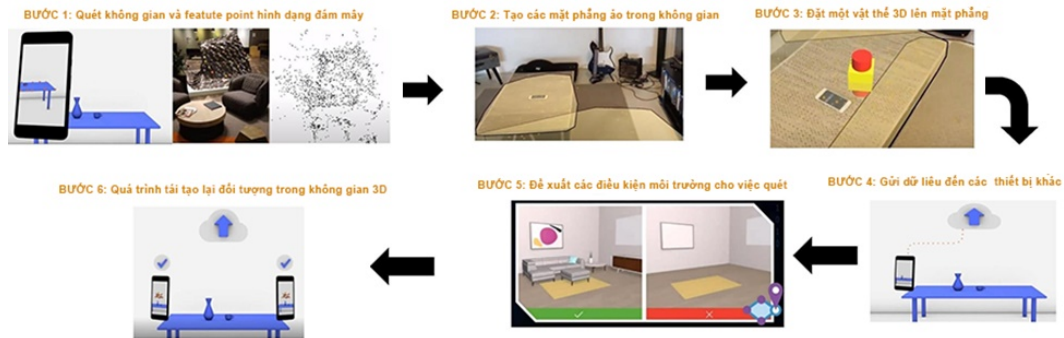
- 1) Những người dùng khác nhau trong cùng một không gian vật lý;
- 2) Những người dùng khác nhau và khác không gian địa lý.



HÌNH 2.14: Kiến trúc đa tương tác với nhiều người dùng thực tế ảo tăng cường

Trường hợp 1: Nhiều người dùng khác nhau cùng không gian vật lý.

Trong trường hợp này, tất cả các thiết bị đều quan sát các đối tượng 3D được đặt ở một vị trí vật lý. Ví dụ, cách đặt một cơ thể ảo trên sàn hoặc bàn có thể được thực hiện như Hình 2.15,



HÌNH 2.15: Mô hình chi tiết cho hệ thống nhiều người dùng khác nhau trong cùng một không gian vật lý

- Thiết bị A (Điện thoại hoặc kính AR như HoloLens):
 - *Bước 1:* Ứng dụng AR đã thực thi trên thiết bị giúp khoanh vùng và lập bản đồ không gian trong thế giới thực bằng cách kết hợp các thuật toán cố định trước với các cảm biến như SLAM.
 - *Bước 2:* Thiết bị nhận dạng các mặt phẳng của không gian xung quanh dựa trên định hình đám mây điểm đặc trưng và lưu các điểm đặc trưng này vào bộ nhớ.
 - *Bước 3:* Ứng dụng thiết lập các mặt phẳng ảo được tìm thấy từ các đám mây điểm đặc trưng để tạo thành một bản đồ thế giới ảo tương ứng bao gồm tất cả các mặt phẳng có thể phát hiện được
 - *Bước 4:* Người dùng đặt đối tượng 3D trên mặt phẳng trong không gian thực bằng cách tương tác với các vị trí địa điểm ảo như chạm vào màn hình trên điện thoại hoặc chạm vào không khí trên HoloLens. Sau đó, người dùng có thể thiết lập thông tin thông qua các điểm neo, bao gồm các thông số về vị trí, vòng quay và tỷ lệ.
- Thiết bị B:
 - *Bước 1:* Ứng dụng quét không gian thực để tự ghi lại bản đồ cục bộ khi đang ở chế độ hoạt động. Quá trình quét trên thiết bị B liên tục thực hiện và so sánh bản đồ cục bộ với thiết bị A cho đến khi hai bản đồ khớp nhau trong đám mây điểm. Việc tính toán phụ thuộc vào các yếu tố nhất định như ánh sáng, các đối tượng hiện tại trong không gian và các cảm biến thiết bị khác nhau.

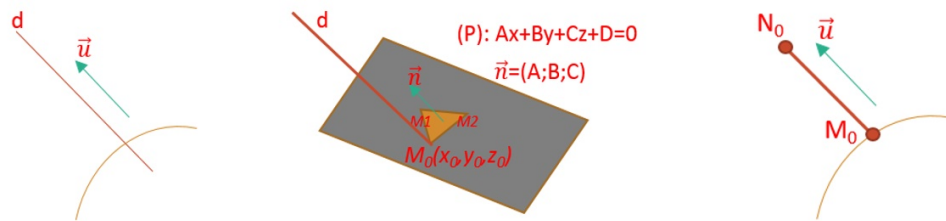
- *Bước 2:* Trong bước tiếp theo, các giá trị neo được tải xuống từ máy chủ đám mây hoặc thiết bị ngang hàng
- *Bước 3:* Ứng dụng AR trên thiết bị B tạo lại các đối tượng 3D trên bản đồ cục bộ của thiết bị.

Tất cả thông tin, tương tác hoặc chuyển động từ bất kỳ thiết bị nào (người dùng) được gửi đến các thiết bị khác trong phiên dựa trên mô hình thông báo P2P hoặc Client-Server. Người dùng trích xuất thông tin từ máy chủ hoặc thiết bị khác và thực hiện các thay đổi thích hợp trong cảnh theo lệnh nhận. Thông tin thông báo bao gồm tên của đối tượng ảo tương tác, vị trí, xoay và tỷ lệ. Trong trường hợp này, thiết bị A và thiết bị B có thể nhìn thấy cùng một đối tượng 3D ở một nơi và có thể xác định vị trí của nhau thông qua vị trí tương đối với tọa độ góc của vị trí neo.

Trường hợp 2: Nhiều người dùng khác không gian vật lý. Trong trường hợp này, người dùng tham gia AR chia sẻ trải nghiệm và ở cách xa nhau về mặt địa lý và quy trình thực hiện tương tự như trường hợp 1. Sự khác biệt là khi thiết bị B quét không gian xung quanh, độ chính xác của điểm neo phụ thuộc vào thực tế khu vực xung quanh thiết bị B đã được thiết kế trùng với vị trí của thiết bị A. Không gian thực của hai thiết bị là hoàn toàn khác nhau và điểm neo trên thiết bị B được tạo lại ở một vị trí tương đối (trên bất kỳ mặt phẳng nào). Điều này có thể được chấp nhận vì những người dùng tham gia không nhìn thấy nhau. Họ nhận thức được vị trí của nhau dựa trên ảnh đại diện của họ.

2.2.3.2 Triển khai AnatomyNow trong môi trường AR

Tạo các pin 3D và vẽ đối tượng: Công cụ tương tác 3D đa người dùng được thiết lập bằng cách đánh Pin hoặc tương tác với các vùng màu trên đối tượng 3D. Các bước để tạo ghim 3D như sau:



HÌNH 2.16: Các bước xác định vị trí của các điểm trong không gian 3D

- Bước 1: Vẽ một đường thẳng trong không gian 3D sao cho đường thẳng d đi qua $M_0(x_0; y_0; z_0)$ và có vectơ tần số Eigen $\vec{a} = (a; b; c)$ thỏa mãn phương

trình:

$$d : \begin{cases} x = x_0 + at \\ y = y_0 + bt \\ z = z_0 + ct \end{cases} \quad (t \in \mathbb{R}) \quad (2.4)$$

$$d : \frac{x-x_0}{a} = \frac{y-y_0}{b} = \frac{z-z_0}{c} \quad (a, b, c \neq 0) \quad (2.5)$$

$$d' : \begin{cases} x = uClick_x_0 + at \\ y = uClick_y_0 + bt \\ z = uClick_z_0 + ct \end{cases} \quad (t \in \mathbb{R}) \quad (2.6)$$

- Bước 2: Vẽ mặt phẳng P đi tới 3 điểm M_0, M_1, M_2 . Trong đó, M_1 và M_2 được xác định bởi mặt phẳng nhỏ nhất qua M_0 . Các điểm đã được nhập và do đó được chỉ định bằng vectơ $\vec{n} = (A; B; C)$.
- Bước 3: Từ M_0 , chúng ta xác định N_0 , thuộc đường thẳng d theo hướng trên cùng (sao cho Pin nằm bên ngoài đối tượng). Mã lệnh thiết lập vectơ thu được từ việc nhấp vào mặt phẳng như sau:

PickHandler:

```
osg::Vec3 normal = plane->getNormal();
osgUtil::LineSegmentIntersector::Intersection& result
osg::Vec3 normal = result.getWorldIntersectNormal();
```

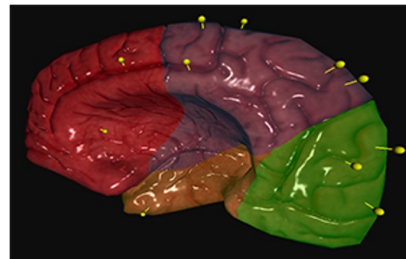
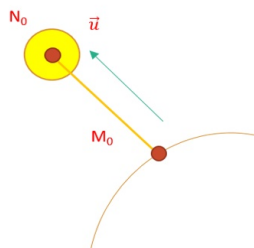
Đoạn mã vẽ mặt phẳng đi 3 điểm M_0, M_1, M_2 như sau:

```
osg::Plane* plane = new osg::Plane;
plane->set(osg::Vec3(x0, y0, z0), M1, M2);
osg::Vec3 normal = plane->getNormal();
```

- Bước 4: Gắn các Pin vào vị trí đã chọn. Vẽ một đường thẳng đi qua 2 điểm N_0, M_0 và sau đó tạo một hình cầu có tiêu điểm

$$N_0(M_0x_0 + N_0x_0 \cdot \Delta, M_0y_0 + N_0y_0 \cdot \Delta, M_0z_0 + N_0z_0 \cdot \Delta) \quad (2.7)$$

Hình 2.17 đại diện cho hình cầu có tiêu điểm và kết quả thu được từ tương tác pin tương ứng.



HÌNH 2.17: Gắn các Pin vào vị trí đã chọn và điều khiển tương tác từ xa

Để mã xác định vị trí Pin, chúng ta khởi tạo và gắn pin lên mặt của khối cầu. Sau khi áp dụng các bước trên, ta thực hiện như sau:

```
// tạo 1 khối cầu
osg::BoundingSphere bsph = nn->getBound();
// tạo vector và lấy tâm từ khối cầu
osg::Vec3 lookAt = bsph.center();
// lấy hướng nhìn trong không gian với khối cầu
osg::Vec3 eyeF = lookAt + osg::Vec3(0,-1,0)*bsph.radius()* 90.0f;
// lấy đối tượng camera
osgGA::CameraManipulator* manipulator = view1->getCameraManipulator();
// lấy tọa độ tâm của khối cầu
osg::Vec3d center(nn->getBound().center());
osg::Vec3d up(0.0, 0.0, 0.0); // góc tọa độ
// hủy camera tự đưa đến vị trí tọa độ khối cầu
manipulator->setAutoComputeHomePosition(false);
// set vị trí và góc nhìn camera với khối cầu
manipulator->setHomePosition(eyeF, center, up);
// mặc định camera tại vị trí góc
manipulator->home(0.0);
```

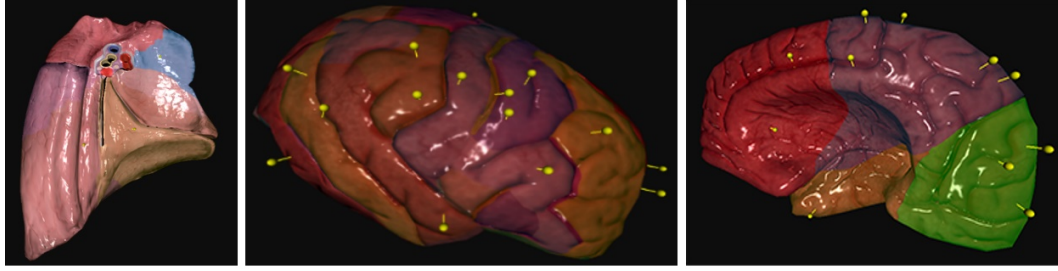
Tạo vùng màu và tương tác với các đối tượng 3D. Phương pháp này dựa trên việc chọn vùng màu RGB trên bản đồ của các đối tượng 3D như sau:

- Bước 1: Vẽ trước khi lựa chọn và nhận dạng
- Bước 2: Tạo dữ liệu lưu vào bảng RGB.
- Bước 3: Lập trình tương tác với khu vực đã chọn

```
Virtual void doUserOperations
(osgUtil::LineSegmentIntersector::Intersection&result);
osg::Texture* texture = result.getTextureLookUp(tc);
osg::Vec4 textureRGB = myImage->getColor(tc);
int red = textureRGB.r() * 255;
int green = textureRGB.g() * 255;
int blue = textureRGB.b() * 255; // Đọc ra màu Blue
```

- Bước 4: Xử lý mã trong phân đoạn (Fragment) và đỉnh (Vertex).

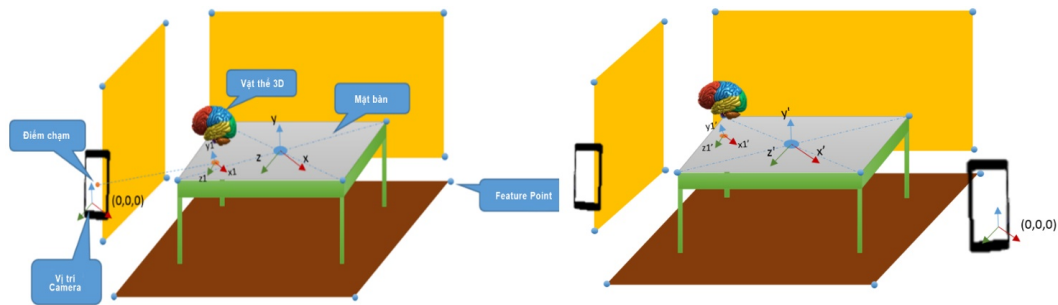
```
uniform sampler2D baseMap;
varying vec2 Texcoord;
vec4 fvBaseColor = texture2D( baseMap, Texcoord );
vec3 color = ( fvTotalAmbient + fvTotalDiffuse + fvTotalSpecular );
gl_FragColor.rgb = color;
```



HÌNH 2.18: Một số kết quả của tương tác RGB và Pin trên đối tượng 3D

2.2.3.3 Kỹ thuật chia sẻ nhiều người dùng

Kỹ thuật chia sẻ đa người dùng được thực hiện thông qua hai bước: Tạo không gian từ thiết bị ban đầu và chia sẻ không gian đó các thiết bị khác. Kỹ thuật chia sẻ không gian tương tác AR đề xuất được minh họa qua Hình 2.19.



HÌNH 2.19: Tạo không gian từ thiết bị đầu và không gian cho các thiết bị khác

- Thiết bị A:

- Bước 1: Khi thiết bị A thực hiện AnatomyNow, ứng dụng sẽ đặt máy ảnh của thiết bị ở vị trí ban đầu Camera Position $(0,0,0)$ cùng với góc quay thực tế Camera Rotation $(0,0,0)$.
- Bước 2: Máy ảnh quét không gian thực và định hình bản đồ thế giới. Khi các mặt phẳng được tạo ra từ các điểm đặc trưng, chúng ta xác định tọa độ Vector3 của mỗi mặt phẳng. Ví dụ: Mặt phẳng bàn được tạo từ tọa độ của bàn Table Plane (x, y, z) .
- Bước 3: Đặt đối tượng 3D vào mặt phẳng bằng cách chạm vào màn hình (điện thoại) hoặc chạm vào không khí (HoloLens). Tại điểm tiếp xúc, một tia đục chạm vào một mặt phẳng để định vị vật thể 3D. Mô hình 3D của não được hiển thị ở vị trí Brain Position (x_1, y_1, z_1) , điểm này được gọi là Anchor Point.
- Bước 4: Tính khoảng cách vectơ và độ lệch góc từ vị trí não 3D Brain Position đến mặt phẳng bàn Table Plane:

```
Vector3 distance = TablePlane.transform.position - BrainPosition.transform.position;
Vector3 angle = TablePlane.transform.eulerAngles - BrainPosition.transform.eulerAngles;
```

- Thiết bị B: Thiết bị B sau đây tham gia chia sẻ AR
 - Bước 1: Tương tự, thiết bị A và thiết bị B cũng tham gia trải nghiệm chia sẻ AR và quét môi trường xung quanh để xác định tọa độ mặt phẳng và Vector3 dựa trên tọa độ gốc của từng thiết bị. Thiết bị B bao gồm Table Plane1 (x', y', z') chịu trách nhiệm quét môi trường và định hình bản đồ cục bộ cho đến khi tìm thấy sự trùng khớp giữa hai thiết bị (Các đặc điểm giống nhau về số lượng, tỷ lệ, vị trí mặt phẳng được phát hiện) được tìm thấy. Một Table Plane1 (x', y', z') ngẫu nhiên được tạo khi không có sự trùng hợp nào giữa bản đồ cục bộ của các thiết bị tham gia.
 - Bước 2: Thiết bị B hiển thị mô hình 3D của não tại Brain Position1 (x'_1, y'_1, z'_1) được tính toán dựa trên giá trị vectơ khoảng cách của thiết bị A và góc nhận được.

```
Vector3 BrainPosition1.transform.position=TablePlane1 transform.position-distanceVector3
BrainPosition1.transform.eulerAngles=TablePlane1.transform.eulerAngles-angle
```

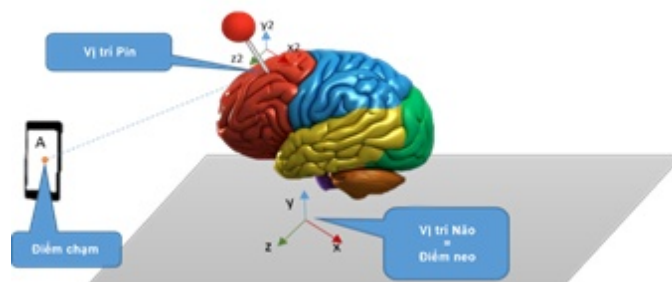
Đa tương tác: Sau khi hai thiết bị tham gia trải nghiệm AR và chia sẻ một điểm neo, các tương tác của mỗi thiết bị trên cảnh 3D sẽ lấy tọa độ neo làm mốc. Nhiều tương tác được sử dụng để thiết lập các tính toán và thông số cho các thiết bị khác. Khi người dùng sử dụng thiết bị A lắp ghim đánh dấu vào vị trí của mô hình não 3D, xác nhận sẽ được gửi đến một thiết bị khác. Quá trình được mô tả như sau:

- Bước 1: Trước hết, tạo tia sáng trên mô hình não 3D. Tại vị trí đánh, một chốt được định vị với tọa độ của Pin Position(x_2, y_2, z_2). Tính các giá trị khoảng cách và góc:

```
Vector3 distanceToAnchor=BrainPosition.transform.position-PinPosition.transform.position;
Vector3 angleToAnchor=BrainPosition.transform.eulerAngles-PinPosition.transform.eulerAngles;
```

- Bước 2: Trong một phiên làm việc, một thông báo về các giá trị mới được phát hành sẽ được gửi đến các thiết bị khác với đoạn mã sau:

```
CustomMessages.Instance.SendTransform (PinName, distance, angle);
```



HÌNH 2.20: Vị trí và giá trị của pin trên máy chủ

- Bước 3: Tất cả các thiết bị tham gia phiên được tạo ra để lấy thông báo, cuối cùng sẽ được trích xuất để xử lý các thông số như tên của đối tượng 3D, khoảng cách, góc,... Vị trí Pin trên thiết bị B (đề xuất 1) có thể được tính như sau:

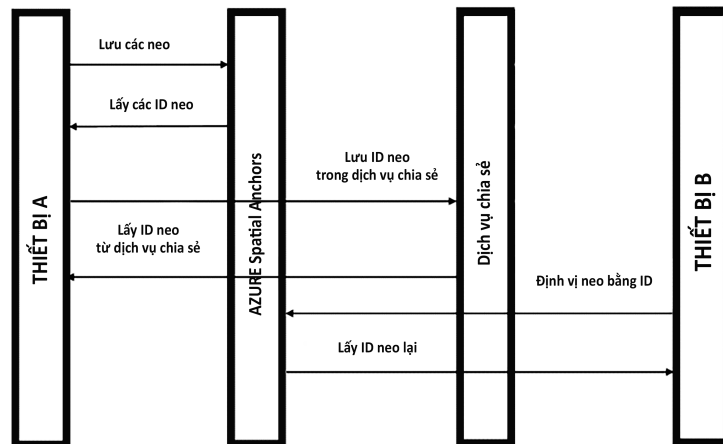
```
Vector3 PinPosition1.transform.position=BrainPosition1 transform.position-distanceToAnchor
Vector3 PinPosition1.transform.eulerAngles=BrainPosition1.transform.eulerAngles-angleToAnchor
```

- Bước 4: Thay đổi trạng thái trên đối tượng 3D tại thiết bị B.

Khi thiết bị B di chuyển hoặc xoay góc ghim, thiết bị sẽ chia sẻ cùng thông tin tham số với thiết bị A. Hai thiết bị hoàn toàn có thể tương tác trên đối tượng 3D trong trải nghiệm chia sẻ AR. Với cơ chế nêu trên, cùng với thao tác định vị trí ghim hoặc di chuyển các đối tượng 3D, hệ thống cho phép chúng ta cùng nhau vẽ hoặc chọn vùng màu RGB vào không gian 3D.

2.2.3.4 Kỹ thuật tương tác AR với nhiều thiết bị

Chúng ta phân loại tương tác AR trên nhiều thiết bị thành ba loại: tạo phiên làm việc, tạo vị trí neo và xác định vị trí neo. Trong tạo phiên làm việc, Microsoft HoloLens được sử dụng để phát triển phiên đầu tiên bằng cách thực thi một ứng dụng đã phát triển (AnatomyNow). Trong hai bước tiếp theo, HoloLens tạo các điểm neo và định vị thông qua thiết bị khách cho tương tác AR đa thiết bị.



HÌNH 2.21: Quy trình làm việc của tương tác AR với nhiều thiết bị

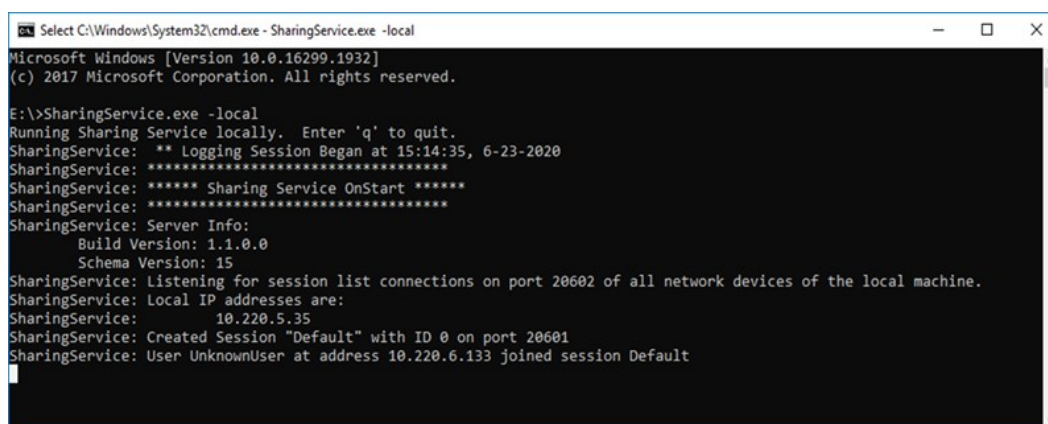
Hình 2.21 minh họa quy trình làm việc của tương tác AR đa thiết bị. Thiết bị A thực thi AnatomyNow để tạo các điểm neo và gửi nó đến neo không gian AZURE. Các neo không gian gửi một xác nhận đến thiết bị A dưới dạng một ID neo. Sau khi tạo một anchor ID thành công, thiết bị A sẽ gửi ID này đến các dịch

vụ chia sẻ và lấy một ID khác từ các dịch vụ chia sẻ dưới dạng xác nhận. Thiết bị B sẽ cố gắng kết nối thông qua ID neo này. Đầu tiên, Thiết bị B gửi thông tin đến các dịch vụ không gian và truy xuất dữ liệu, bao gồm cả các điểm Anchor. Hơn nữa, nó cũng cung cấp quyền cho thiết bị B để vào đa môi trường AR.

2.2.4 Kết quả thực nghiệm và đánh giá

2.2.4.1 Kết quả thực nghiệm

Với mô hình Client-Server, các dịch vụ AnatomyNow được thực thi trên máy chủ và các máy khách được kết nối với máy chủ này. Trong khi chia sẻ ở cùng một vị trí, một giao thức truyền thông dựa trên socket được thực hiện trong mạng cục bộ (LAN) dựa trên bộ công cụ thực tế hỗn hợp do Microsoft cung cấp. Tất cả người dùng HoloLens tham gia đều được kết nối với cùng một mạng LAN. Hệ thống được đề xuất theo dõi các tương tác của người dùng và đồng bộ hóa chúng để áp dụng cho các đối tượng được chia sẻ bao gồm một ma trận chuyển đổi của các đối tượng và bất kỳ trạng thái thay đổi tối thiểu nào (Hình 2.22). Menu chia sẻ được thiết kế để xử lý các đối tượng 3D theo cách dễ dàng nhất cho bất kỳ người dùng nào.



```
Select C:\Windows\System32\cmd.exe - SharingService.exe -local
Microsoft Windows [Version 10.0.16299.1932]
(c) 2017 Microsoft Corporation. All rights reserved.

E:\>SharingService.exe -local
Running Sharing Service locally. Enter 'q' to quit.
SharingService: ** Logging Session Began at 15:14:35, 6-23-2020
SharingService: *****
SharingService: ***** Sharing Service OnStart *****
SharingService: *****
SharingService: Server Info:
                Build Version: 1.1.0.0
                Schema Version: 15
SharingService: Listening for session list connections on port 20602 of all network devices of the local machine.
SharingService: Local IP addresses are:
SharingService:      10.220.5.35
SharingService: Created Session "Default" with ID 0 on port 20601
SharingService: User UnknownUser at address 10.220.6.133 joined session Default
```

HÌNH 2.22: Dịch vụ chia sẻ IP trên mô hình Client-Server

Hình 2.23 cho thấy AnatomyNow được thực thi thông qua nhiều thiết bị. Để phân tích AnatomyNow trên môi trường nhiều chia sẻ, chúng ta xem xét hai thông số, tức là độ trễ dữ liệu giữa các thiết bị và mức độ gần của các mô hình AnatomyNow với một thiết bị khác. Mục đích của nghiên cứu này là thu thập phản hồi về trải nghiệm của AnatomyNow về tương tác AR trên nhiều thiết bị. Tổng cộng 10 người tham gia đã được xem xét cho thử nghiệm môi trường AR

nhiều người dùng. Nhóm được chia thành năm nhóm, mỗi nhóm 2 người dùng. Tất cả những người tham gia đã quen thuộc với ứng dụng giải phẫu AR, thiết bị HoloLens và mục tiêu của giải pháp được đề xuất. Hai thông số, tức là độ trễ dữ liệu giữa các thiết bị và khoảng cách giữa hai mô hình trong hai thiết bị khác nhau được sử dụng để phân tích ứng dụng trong môi trường AR nhiều người dùng.



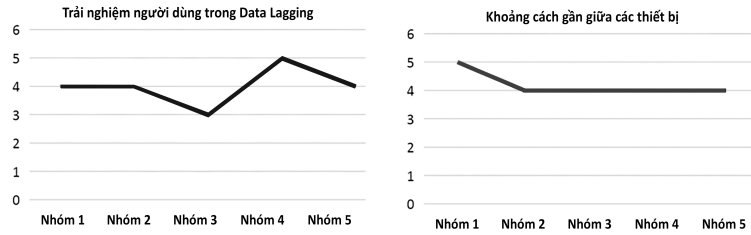
HÌNH 2.23: AnatomyNow được hiển thị với tương tác AR với nhiều người dùng

Trải nghiệm của những người tham gia được đo bằng thang đo Likert từ 1 đến 5. Trên thang đo Likert, 1 đại diện cho trải nghiệm tiêu cực nhất và 5 đại diện cho trải nghiệm tích cực nhất. Bảng 2.5 trình bày phân tích của AnatomyNow trong HoloLens.

BẢNG 2.5: Phân tích các nhóm người sử dụng AnatomyNow khác nhau dùng HoloLens

Nhóm tham gia	Độ trễ dữ liệu giữa các thiết bị	Khoảng cách và vị trí chính xác giữa các mô hình trong thiết bị khác nhau
Nhóm 1	4	5
Nhóm 2	4	4
Nhóm 3	3	4
Nhóm 4	5	4
Nhóm 5	4	4

Hình 2.24 minh họa trải nghiệm người dùng về giải phẫu AR với HoloLens. Độ trễ dữ liệu giữa các thiết bị từ nhóm 1, nhóm 2, nhóm 3, nhóm 4 và nhóm 5 lần lượt là 4, 4, 3, 5 và 4. Khoảng cách gần giữa các mô hình trong các thiết bị khác nhau từ nhóm 1, nhóm 2, nhóm 3, nhóm 4 và nhóm 5 lần lượt là 5, 4, 4, 4, 4. Kết quả tổng thể của thử nghiệm này là tốt, ngoại trừ nhóm 3. Nguyên nhân khiến dữ liệu bị trễ giữa các thiết bị trong nhóm 3 có thể là do thiết bị phải đối mặt với sự biến động dữ liệu về tốc độ internet hoặc độ trễ dữ liệu.



HÌNH 2.24: So sánh trải nghiệm của người dùng với HoloLens

2.2.4.2 Phân tích, đánh giá kết quả thực nghiệm

Bảng 2.6 thảo luận phân tích so sánh giải pháp được đề xuất với các giải pháp khác. Đánh giá chung về thí nghiệm này là khá khả quan. Tuy nhiên, số lượng thiết bị dùng chung môi trường trong HoloLens bị hạn chế. Trong khi tích hợp, có một độ trễ quan sát được đối với sự cộng tác của thiết bị. Do độ trễ của băng thông internet, các đối tượng 3D hiển thị ở các vị trí khác nhau.

BẢNG 2.6: Phân tích so sánh giải pháp đề xuất với các giải pháp khác

Tác giả	Phương pháp tiếp cận HoloLens và kết quả
Maniam và cộng sự (2019) [72]	<ul style="list-style-type: none"> - Phát triển ứng dụng MR để giải phẫu xương hai bên thái dương - Dịch chuyển các đỉnh, mở rộng bề mặt để dễ dàng khoan xương thái dương - Chỉ hỗ trợ khoan một hướng, tỷ lệ sai số bóc tách cao
Huang và cộng sự (2019) [45]	<ul style="list-style-type: none"> - Bảng so sánh đánh giá giữa VR và AR dùng trong giải phẫu - Trình tạo ảnh dựa trên vị trí và sự dịch chuyển, gắn nhãn. - Bộ điều khiển máy ảnh xoay và chuyển đổi trên AR - Hiệu suất của VR tốt hơn AR nhưng có độ trễ trong các mô hình AR
Vergen và cộng sự (2020) [32]	<ul style="list-style-type: none"> - Ứng dụng giải phẫu AR phát triển cho hệ thống chăm sóc sức khỏe - Điều khiển và định hướng quỹ đạo cho pin trong mô phỏng 3D giải phẫu - Độ trễ trong các mô hình AR cao
Nghiên cứu sinh (2021) [62]	<ul style="list-style-type: none"> - Phát triển ứng dụng để đào tạo, giảng dạy giải phẫu - Các đối tượng 3D tương tác dựa trên màu sắc, hệ thống pin để chia sẻ góc quay camera và quỹ đạo - Độ trễ dữ liệu giữa các thiết bị thấp - Hiển thị chính xác vị trí mô hình AR so với các phương pháp khác

Việc đào tạo Giải phẫu người với xác chết thật phải đối mặt với nhiều vấn đề thực tế. Do đó, việc tìm ra những phương pháp thay thế cho phương pháp đào tạo giải phẫu truyền thống là điều cần thiết, và hệ thống tương tác 3D nhiều người dùng là một trong những phương pháp ưu việt. Trong nghiên cứu này, nghiên cứu sinh đã thiết kế và phát triển một ứng dụng giải phẫu và sử dụng nó trong môi trường nhiều người dùng. Chiến lược kiểm soát đồng thời nhiều người dùng thực hiện kiểm soát phối hợp các bộ ảo 3D của người dùng. Nó cũng có khả năng tránh

xung đột đồng thời có thể được tạo ra trong quá trình tương tác. Hệ thống nhiều người chơi tương tác đã được thiết kế để thực hiện tương tác cộng tác cho nhiều người dùng HoloLens trong một cảnh 3D tương tự.

Hơn nữa, 10 người tham gia đã sử dụng hệ thống tương tác AR khuyến khích AnatomyNow. Kết quả cho thấy rằng việc sử dụng chế độ tương tác thoải mái dẫn đến trải nghiệm tương tác tốt hơn và mạnh mẽ hơn, đồng thời mang lại trải nghiệm thực tế. Đó là một khái niệm thú vị có thể đáng để khám phá.

2.3 Kỹ thuật tăng cường mã hóa dữ liệu y tế trên đường truyền trong các hệ thống phân tán dựa trên IoT

2.3.1 Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, IoT đóng vai trò là quan trọng kết nối các thiết bị cảm biến trong môi trường truyền thông tích hợp nền tảng giữa thế giới thực và ảo thông qua các hệ thống phân tán [26]. Đặc biệt là tổ chức HIE (*Health Information Exchange*) đã triển khai hệ thống truyền dữ liệu y tế để tăng hiệu quả chăm sóc bệnh nhân. Trao đổi dữ liệu y tế hiện đã trở thành một sự kiện thường xuyên của cuộc sống hàng ngày ở nhiều bệnh viện. Tuy nhiên, vấn đề đặt ra là cần đảm bảo an toàn khi truyền tải các dữ liệu này qua mạng Internet. Mặc dù giao thức `https` đã được trang bị các kỹ thuật bảo mật nhưng các hệ thống truyền dữ liệu y tế vẫn cần có một phương pháp bảo mật trong môi trường IoT [1, 9, 103]. Hướng tiếp cận của luận án để giải quyết vấn đề này là tích hợp các kỹ thuật mật mã cũng như các thuật toán mã hóa và giải mã [47, 129]. Mã hóa dữ liệu [73] là kỹ thuật chuyển đổi thông điệp sang dạng không thể đọc được để tránh những kẻ xâm nhập truy cập vào. Chỉ có những người được ủy quyền với khóa được cấp mới có thể truy cập. Mức độ an toàn của mã hóa phụ thuộc vào bài toán khó được sử dụng hình thành hệ mật và độ dài của khóa [51].

Ý tưởng của kỹ thuật giấu tin (*Steganography*) là nhúng (giấu) một lượng thông tin số nào đó vào một đối tượng dữ liệu số khác nhằm bảo đảm an toàn và bảo mật thông tin với hai mục đích. Một là bảo mật cho dữ liệu được đem giấu, hai là bảo vệ cho chính đối tượng dùng để giấu dữ liệu vào. Yêu cầu cơ bản của kỹ thuật giấu tin là không làm ảnh hưởng đến dữ liệu gốc. Ứng dụng quan trọng của giấu tin là đảm bảo an toàn của thông tin được che giấu tránh sự xem lén của kẻ xâm nhập trên đường truyền. Các thuật toán giấu tin thường sử dụng phương pháp biến đổi sóng nhỏ rời rạc (*DWT-Discrete Wavelet Transform*) để chuyển miền không gian ảnh sang miền đa phân giải. Tính đa phân giải của sóng

nhỏ hữu ích trong việc phân phối thông tin vào đối tượng bao phủ trong khi vẫn đảm bảo tính chất bền vững và chất lượng hiển thị [111].

Trong mục này, luận án sẽ đề xuất mô hình bảo mật cho việc truyền dữ liệu y tế bằng cách sử dụng thuật toán Memetic. Dữ liệu y tế sẽ được mã hóa để đảm bảo tính an toàn trên đường truyền giữa các thiết bị IoT. Quy trình giấu tin được tăng cường tính bảo mật bằng dựa trên phép biến đổi DWT và quá trình mã hóa, giải mã dữ liệu sử dụng thuật toán Memetic.

2.3.2 Các nghiên cứu liên quan

Razzaq và cộng sự [103] đã thực hiện một khảo sát chi tiết về các vấn đề bảo mật được quan tâm trong IoT. Các biện pháp kiểm soát bảo mật khác nhau như xác thực, bảo mật trên môi trường IoT đã được thảo luận chi tiết. Bairagi và cộng sự [9] đã trình bày ba kỹ thuật giấu tin an toàn trên ảnh màu để truyền dữ liệu hiệu quả trong môi trường IoT. Kỹ thuật thứ nhất và thứ ba sử dụng các kênh màu đỏ, xanh lam và xanh lục để cung cấp độ bảo mật cao hơn trong khi kỹ thuật thứ hai sử dụng màu xanh lá cây và xanh lam. Anwer và cộng sự [7] cũng đề xuất một kỹ thuật thử nghiệm mô hình đảm bảo tính toàn vẹn, xác thực và khả dụng trên bộ dữ liệu hình ảnh y tế để bảo mật hình ảnh khỏi kẻ xâm nhập sử dụng thuật toán mã hóa. Tuy nhiên, vẫn còn đó các lỗi hổng và rủi ro trong truyền dữ liệu y tế trên các thiết bị di động đã được nêu chi tiết trong [1, 30].

Tiếp đó, Razzaq và cộng sự [96] đề xuất hợp nhất sử dụng đồng thời các phương pháp mã hóa, giấu tin và thủy vân (*Watermarking*) để tăng cường tính bảo mật. Phương pháp được đề xuất bao gồm toán tử XOR để mã hóa ảnh bìa, phương pháp LSB (*Least Significant Bits*) để nhúng dữ liệu đã mã hóa vào ảnh bìa và thủy vân sử dụng miền không gian và tần số. M. Jain và cộng sự [47] đã sử dụng mô hình cây quyết định để mã hóa dữ liệu văn bản của một bệnh nhân bên trong hình ảnh y tế của bệnh nhân tương ứng. Họ đã sử dụng kỹ thuật giấu tin để che giấu dữ liệu. Các thuật toán BFS và RSA được sử dụng để nhúng văn bản vào bên trong hình ảnh. Zaw và cộng sự [130] cũng đề xuất một phương pháp để truyền dữ liệu y tế hiệu quả sau khi được mã hóa khi hình ảnh y tế được chia thành các khối (*Block*) tiêu chuẩn, mỗi khối có cùng kích thước. Các khối được sắp xếp để tiến hành một thuật toán biến đổi, sau đó mỗi khối được mã hóa bằng thuật toán Blowfish làm giảm mối tương quan khi entropy tăng lên. Sreekutty và cộng sự trong [108] cũng cải thiện tính bảo mật trong việc chuyển đổi hình ảnh y tế bằng cách sử dụng hệ thống xác minh tính toàn vẹn của dữ liệu y tế với quy trình hai giai đoạn gồm bảo vệ và xác minh các thông điệp bí mật. Một khái niệm mới để mã hóa hình ảnh y tế bằng AES và tích hợp khối hình ảnh dịch

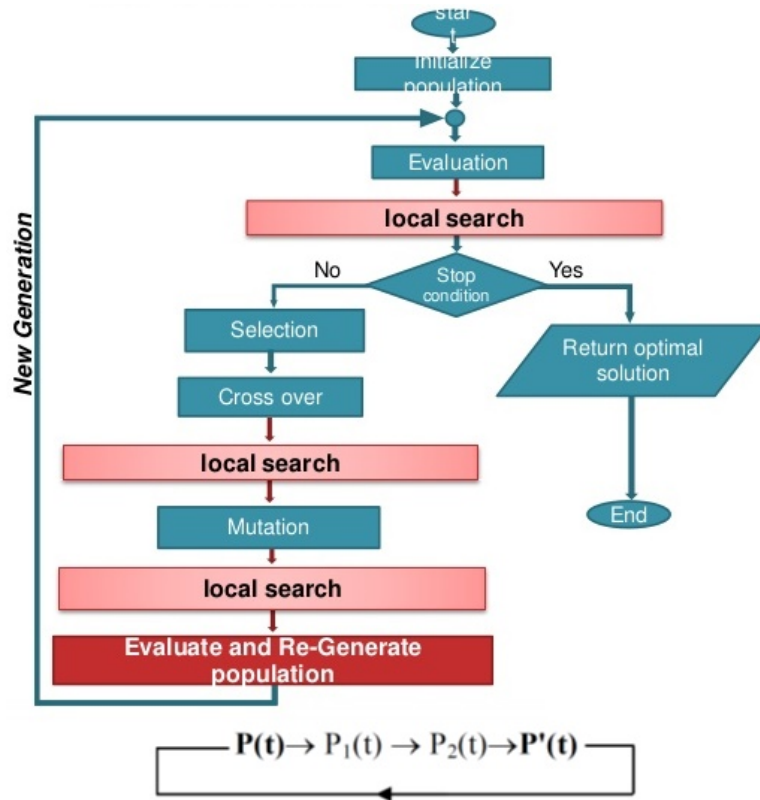
chuyển cũng đã được Bashir và cộng sự đề xuất trong [13]. Kỹ thuật dịch chuyển được sử dụng để xáo trộn các hàng và cột của hình ảnh, để nội dung được dịch chuyển lệch khỏi nội dung ban đầu. Muhammed và cộng sự [80] đã đề xuất một phương pháp an toàn để giải quyết các hình ảnh RGB thông qua kỹ thuật thay đổi mức xám (GLM- *Gray Level Modification*) và mã hóa đa mức (MLE-*Multi-Level Encryption*). Trong những năm gần đây, các phương pháp phỏng sinh học cũng được sử dụng để mã hóa hình ảnh và lý thuyết mật mã có thể tìm thấy trong [17, 78] với nhiều ứng dụng thực tế [6, 108]. Prabu và cộng sự đã nghiên cứu các kỹ thuật xử lý luồng hình ảnh (Image Processing Stream) gồm kỹ thuật mã hóa và thủy văn [93]. S. Pal và cộng sự [90] đã thảo luận về các thuật toán phân bổ tài nguyên trong các hệ thống phân tán dựa trên đám mây và việc sử dụng các máy ảo để phân tích quy trình triển khai thuật toán mật mã trong các hệ thống phân tán dựa trên IoT.

2.3.3 Đề xuất thuật toán Memetic mã hóa dữ liệu y tế trên đường truyền trong các hệ thống phân tán dựa trên IoT

2.3.3.1 Thuật toán Memetic truyền dữ liệu y tế an toàn

Trong tiếp cận mã hóa truyền thống, các thuật toán phải tuân thủ nhiều điều kiện toán học khắt khe và phải chứng minh được tính hội tụ hoặc ước lượng được sai số/tỷ lệ tối ưu còn với các bài toán cỡ lớn thì thuật toán phải có thời gian đa thức. Vì có các đòi hỏi như vậy nên những thuật toán được đề xuất không đủ để đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng trong ứng dụng. Các phương pháp tính toán mềm giải quyết các bài toán phức tạp theo tiếp cận mềm dẻo hơn. Trong tiếp cận tính toán mềm, các thuật toán heuristic và metaheuristic thường được đề xuất áp dụng cho các bài toán tối ưu khó, cỡ lớn. Các thuật toán heuristic cho phép tìm kiếm nhanh (thường theo kiểu tham lam) lời giải đủ tốt và thường hướng tới tối ưu cục bộ. Các thuật toán metaheuristics thường có thời gian chạy lâu hơn các thuật toán heuristics nhưng hướng tới tối ưu toàn cục, thời gian chạy càng lâu thì lời giải tìm được càng tốt hơn.

Memetic là thuật toán di truyền lai (HGA-*Hybrid Genetic Algorithms*) kết hợp với chiến lược tiến hóa, các quần thể khi được tạo ra sẽ được tối ưu cục bộ trước khi đưa vào quá trình tiến hóa tiếp theo. Sự cải tiến này làm cho quá trình hội tụ của các lời giải dự kiến về lời giải tối ưu được nhanh hơn [90, 108]. Trong quá trình xử lý tiến hóa thuật toán Memetic lần lượt tạo ra ba quần thể khác nhau:



HÌNH 2.25: Quá trình tiến hóa các quần thể trong thuật toán Memetic

- $P(t)$ là quần thể ban đầu;
- $P_1(t)$ sinh ra từ P trong đó sử dụng toán tử đột biến Gauss trên cơ sở tự suy giảm;
- $P_2(t)$ sinh ra từ P_1 trong đó sử dụng toán tử đột biến tự thích ứng Cauchy;
- $P'(t)$ sinh ra từ P_2 trong đó sử dụng toán tử đột biến tự thích ứng Gauss.

Đây là quá trình xử lý tuần tự, áp dụng phương pháp đột biến khác nhau cho từng quần thể; Bên cạnh ưu điểm là có khả năng tạo ra các cá thể có độ thích nghi tốt nhiều hơn, nó có thể phát sinh các nhược điểm là tiến trình xử lý tiến hóa quần thể $P_1(t)$ để tạo quần thể $P_2(t)$ có thể xảy ra việc áp dụng các toán tử tiến hóa trên các cá thể có độ thích nghi tốt trong P_1 để tạo ra cá thể có độ thích nghi kém hơn; điều này dẫn đến tăng một cách vô ích thời gian xử lý. Điều đó cũng xảy ra một cách tương tự khi tiến hóa quần thể P_2 để tạo ra quần thể $P'(t)$. Thuật toán Memetic được mô tả như sau:

Thuật toán 2.5 . Memetic Algorithm

Input: Problem, Parameters, Constraints

Output: Ind* (Best Individual)

BEGIN

$Population \leftarrow Init_{Pop}(\text{Parameters, Constraints})$

Repeat

$Fitness \leftarrow f(Population);$

$Pop_{Cross} \leftarrow Crossover(Population);$

$Pop_{Mut} \leftarrow Mutation(Pop_{Cross});$

$Population \leftarrow LocalSearch(Pop_{Mut});$

Until (*Termination Criteria Satisfied*);

END

Mô hình chi tiết truyền dữ liệu an toàn để giao tiếp các hình ảnh y tế cùng với các tin nhắn văn bản ẩn sử dụng thuật toán Memetic gồm bốn phần sau:

- (1) Mã hóa thông tin nhạy cảm (*Sensitive Information*) cần đảm bảo an toàn với thuật toán Memetic.
- (2) Thông tin sau mã hóa được nhúng trong hình ảnh y tế của bệnh nhân sử dụng phương pháp DWT để tạo ra hình ảnh mã hóa.
- (3) Thông tin được trích xuất từ hình ảnh mã hóa
- (4) Dữ liệu trích xuất được giải mã để lấy thông tin ban đầu.

Phần tiếp theo sẽ phân tích và giải thích chi tiết về cách thức thực hiện trong từng giai đoạn.

2.3.3.2 Mã hóa thông tin nhạy cảm với thuật toán Memetic

Thuật toán memetic được dùng để giải quyết các bài toán NP-Hard khi không gian tìm kiếm lớn với nhiều ràng buộc. Khi mã hóa dữ liệu với thuật toán AES và RSA, thông tin được mã hóa cần đảm bảo an toàn trước những kẻ xâm nhập hoặc tin tặc. Tuy nhiên, khi thực hiện tấn công Brute Force có thể dễ dàng giải mã được. Vì vậy, học viên lựa chọn thuật toán Memetic kết hợp với các số giả ngẫu nhiên (*Pseudorandom*) giúp tăng tính bảo mật. Các số giả ngẫu nhiên được tạo ra và sử dụng trong quá trình tìm kiếm cục bộ của thuật toán.

Bộ sinh số giả ngẫu nhiên (*Pseudorandom Number Generator-PRNG*) là thuật toán sinh ra chuỗi các số có thuộc tính ngẫu nhiên. Chuỗi sinh ra từ bộ sinh số giả ngẫu nhiên không thực sự là ngẫu nhiên, do nó hoàn toàn được xác định từ giá trị khởi đầu, được gọi là nguồn (*seed*) trong khi giá trị này có thể hoàn toàn

là ngẫu nhiên. Quá trình sinh số giả ngẫu nhiên như sau:

$$Z_{i+1} = Z_i \times a \pmod{m} \quad (2.8)$$

Trong đó m là số nguyên dương và a là hằng số; Z đại diện cho số giả ngẫu nhiên.

Phương trình (2.8) có nghĩa là giá trị của số giả ngẫu nhiên trong lần lặp cuối cùng thứ i sẽ có hệ số nhân không đổi với a và kết quả chia cho m . Việc chọn m và a có một tập hợp các quy tắc được xác định như sau:

1. Số ngẫu nhiên được tạo ra phải nhỏ hơn hoặc bằng m . Do đó, tập hợp số ngẫu nhiên không vượt quá 2147383648 và đủ lớn.
2. Chọn a là số nguyên tố với m , là một số lẻ với giới hạn $2^{16}+3$.

2.3.3.3 Thuật toán Memetic mã hóa dữ liệu

Lược đồ mã hóa ảnh y tế sử dụng thuật toán Memetic được mô tả như sau:

Thuật toán 2.6 . Thuật toán Memetic mã hóa dữ liệu

Input: Raw Text File.

Output: Enc_{Text}

BEGIN

Convert the raw text into ASCII Values $Values = ASCII(text)$;

Transform the ASCII values in the respective binary form with the base 10:

$$Values_{Bin} = Binary(Values);$$

The Binary Values are split into 8 bits/block: $N = \frac{Length(Values_{Bin})}{8}$;

Blocks stored in S_1, S_2, \dots, S_N

$j = 1$;

foreach $i = 1$ **to** N **do**

$S_i = Values_{Bin}(j : j+7)$;

$j = j+8$;

endfor

Repeat

Pseudorandom number generated for every two blocks from S_i and the mod of S_i with 4 will be the choice of crossover operation. 0-One Point Crossover; 1-Two Point Crossover; 2-Uniform Crossover; 3-Multi Point Crossover;

Applying Crossover: *foreach* $i = 1 : \frac{Pop}{2}$ *do* $C_i = Crossover(P_1, P_2, Pse)$;

Applying Mutation: *foreach* $i = 1 : \frac{Pop}{2}$ *do* $C_i = Mutation(P_i)$;

Until (*Termination condition satisfied*);

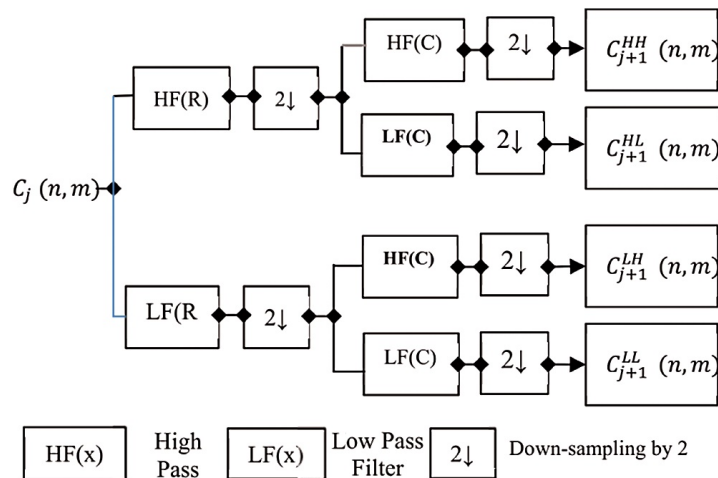
Transform the Binary values in respective ASCII Values: $R_{ASCII} = ASCII(Values_{Bin})$;

Convert the ASCII to text $Enc_{Text} = Text(R_{ASCII})$;

END

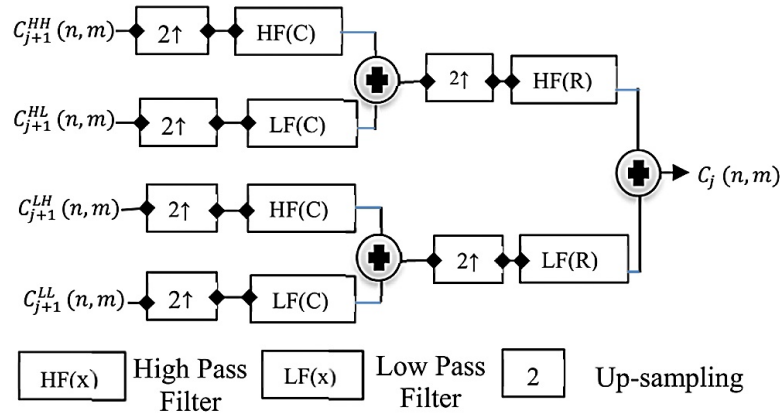
2.3.3.4 Thủ tục giấu tin sử dụng DWT

Các dạng Wavelet rời rạc được sử dụng để lấy mẫu tín hiệu một cách riêng biệt. Đối với một đầu vào được biểu diễn bằng một danh sách số, phép biến đổi Wavelet Haar được coi là để ghép nối các giá trị đầu vào, lưu trữ sự khác biệt và chuyển tổng. Quá trình này lặp đi lặp lại một cách đệ quy, ghép nối các tổng để chứng minh tỷ lệ tiếp theo, dẫn đến chênh lệch và tổng cuối cùng. Từ biến đổi DWT một chiều có thể mở rộng định nghĩa biến đổi DWT hai chiều (2D-DWT) theo cách: Sử dụng các bộ lọc riêng biệt, thực hiện biến đổi DWT một chiều dữ liệu vào (ảnh) theo hàng rồi thực hiện theo cột. Haar-DWT được áp dụng để nhúng văn bản được mã hóa vào hình ảnh y tế. Cả Haar-DWT và 2D-DWT-2L đều sử dụng một phép biến đổi mang tính xây dựng. Biến đổi xây dựng sử dụng các bộ lọc thông cao và thông thấp. Hình 2.26 cho thấy quá trình giấu tin của hình ảnh trong đó nó cho thấy quá trình phân tách của hình ảnh C với các kích thước $N \times M$. Chúng được chia nhỏ thành bốn thành phần phụ, đó là dải tần HH, HL, LH và LL (L: *Low* và H: *High*).



HÌNH 2.26: Quá trình phân tách của DWT-2L

Sau quá trình nhúng thành công văn bản được mã hóa vào hình ảnh, hình ảnh sẽ truyền qua bất kỳ đường truyền có dây hoặc không dây đến người dùng đã định sẵn. Việc trích xuất văn bản được mã hóa từ hình ảnh phải được thực hiện trong tay người nhận. Với mục đích đó, 2D-DWT-2L sẽ được sử dụng để trích xuất thông tin được mã hóa từ tệp hình ảnh. Khi lấy thông tin ra khỏi ảnh, văn bản được mã hóa sẽ bị xóa, ảnh bìa được tạo lại bằng IDWT2 cho cả giai đoạn thứ hai và thứ nhất. Chi tiết quá trình thực hiện được mô tả trong Hình 2.27.



HÌNH 2.27: Quá trình tổng hợp DWT-2L

2.3.3.5 Thủ tục lấy thông tin bí mật

Quá trình này đề cập đến việc chuyển đổi một tin nhắn được mã hóa sang dạng văn bản ban đầu của nó. Kỹ thuật đảo ngược áp dụng cho phương pháp mã hóa. Khóa người gửi sử dụng để giải mã thông điệp được mã hóa phải được người nhận sử dụng.

Thuật toán 2.7 . Thuật toán Memetic giải mã dữ liệu

Input: Encrypted Text

Output: Dec_{Text}

BEGIN

Convert the Encrypted Text into ASCII Values: $Values = ASCII(text)$;

Transform the ASCII values in the respective binary form with the base 10:

$$Value_{Bin}^{Enc} = Binary(Enc_{Values});$$

The Binary Values split into 8 bits/block: $Enc_N = \frac{Length(Value_{Bin}^{Enc})}{8}$;

Blocks stored in S_1, S_2, \dots, S_N

$j = 1$;

foreach $i = 1$ **to** N **do**

$S_i = Values_{Bin}(j : j+7), j = j+8$;

endfor

Repeat

Applying Mutation blocks: *foreach* $i = 1 : |Blocks|$ *do* $C_i = Mutation(P_i)$;

Applying Mutation: *foreach* $i = 1 : |Blocks|$ *do* $Crossover(P_1, P_2, Pse)$;

Until (*Termination condition satisfied*);

Transform the Binary values in respective ASCII Values: $F_{ASCII} = ASCII(Values_{Bin}^{Enc})$;

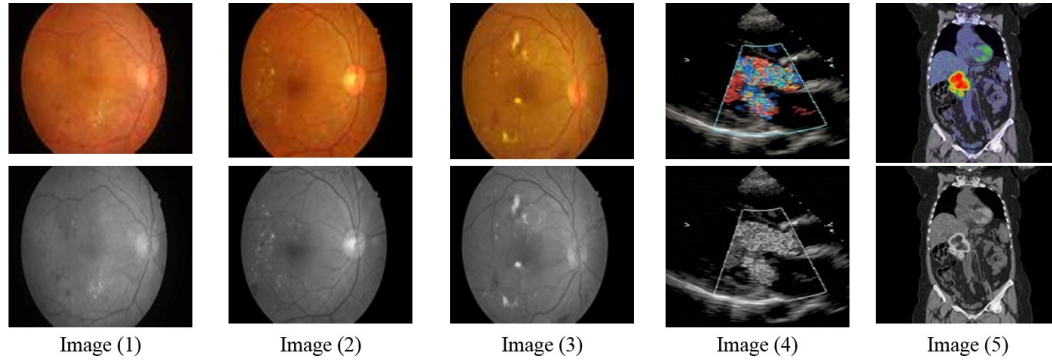
Convert the ASCII to text $Dec_{Text} = Text(F_{ASCII})$;

END

2.3.4 Kết quả thực nghiệm và đánh giá

2.3.4.1 Thiết lập môi trường thực nghiệm

Môi trường thực nghiệm được tiến hành trên MATLAB phiên bản 9.1, thuật toán đề xuất được thực hiện trên máy tính có cấu hình CPU Intel Core i7, RAM 8 GB và ổ cứng 2 TB, hệ điều hành Windows 10.



HÌNH 2.28: Hình ảnh màu và xám được sử dụng để đánh giá

Hình 2.28 minh họa các hình ảnh màu và ảnh xám khác nhau được sử dụng trong thực nghiệm, phân tích và đánh giá trên hai bộ dữ liệu DME Eyes [95] và DICOM [75].

2.3.4.2 Thiết lập tham số đánh giá

Các tham số thống kê, phân tích được sử dụng để đánh giá các thử nghiệm minh họa tầm quan trọng của thuật toán được đề xuất gồm: tỷ lệ tín hiệu đỉnh trên nhiễu (PSNR), hệ số tương quan (Corr), nội dung cấu trúc (SC), chỉ số sự tương đồng cấu trúc (SSIM) và sai số toàn phương trung bình (MSE).

Tỷ lệ tín hiệu đỉnh trên nhiễu (PSNR-*Peak Signal to Noise Ratio*) phản ánh mức độ không thể nhận thấy của hình ảnh được giấu tin [108]. PSNR càng cao thì hình ảnh giấu tin có chất lượng cao. PSNR được tính như sau:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left[\frac{P^2}{MSE} \right] \quad (2.9)$$

Trong đó, P biểu thị giá trị pixel lớn nhất trong một hình ảnh.

Sai số toàn phương trung bình (MSE-*Mean Square Error*) phản ánh giá trị sai số về độ lớn sai số trung bình giữa ảnh gốc và ảnh giấu tin [48]. MSE được

tính như sau:

$$MSE = \frac{1}{[|N| \times |M|]^2} \sum_{i=1}^{|N|} \sum_{j=1}^{|M|} (C_{ij} - S_{ij}) \quad (2.10)$$

Trong đó, N và M đại diện cho các hàng và cột của hình ảnh. C_{ij} và S_{ij} đại diện cho độ mạnh tương ứng của mỗi pixel của ảnh gốc và hình ảnh giấu tin.

Tỷ lệ lỗi bit (BER): Phản ánh độ lệch của các bit được biến đổi do nhiễu suy giảm hoặc bất kỳ nhiễu nào khác [126]. BER được tính như sau:

$$BER = \frac{E}{\# Bits} \quad (2.11)$$

Trong đó, E biểu thị các lỗi.

Chỉ số sự tương đồng cấu trúc (SSIM-*Structural Similarity*) phản ánh mức độ giống nhau về cấu trúc của chúng giữa ảnh gốc và hình ảnh giấu tin [122]. SSIM được tính như sau:

$$SSIM = \frac{2\mu(\rho_1)\mu(\rho_2) + c_1}{\mu(\rho_1)^2 + \mu(\rho_2)^2 + c_1} \times \frac{2C(\rho) + c_2}{\sigma_1(\rho)^2 + \sigma_2(\rho)^2 + c_2} \quad (2.12)$$

Trong đó, μ đại diện cho giá trị trung bình và σ đại diện cho độ lệch chuẩn.

Nội dung cấu trúc (SC-*Structural Content*) phản ánh mức độ giống nhau giữa ảnh gốc và hình ảnh giấu tin [28]. SC được tính như sau:

$$SC = \frac{\sum_{i=1}^{|N|} \sum_{j=1}^{|M|} (C_{ij})^2}{\sum_{i=1}^{|N|} \sum_{j=1}^{|M|} (O_{ij})^2} \quad (2.13)$$

Trong đó, C đại diện cho hình ảnh bìa và O đại diện cho hình ảnh gốc.

Hệ số tương quan (Corr-*Correlation Coefficient*) xác định sự giống nhau và chênh lệch giữa độ lớn và bước dữ liệu [106]. Corr được tính như sau:

$$Corr = \frac{X \sum O.S - \sum O \sum S}{\sqrt{X(\sum O^2) - (\sum O)^2} \sqrt{X(\sum S^2) - (\sum S)^2}} \quad (2.14)$$

Trong đó, X biểu thị các cặp trong thông tin, O là ảnh gốc và S là ảnh giấu tin.

2.3.4.3 Phân tích, đánh giá mức độ bảo mật

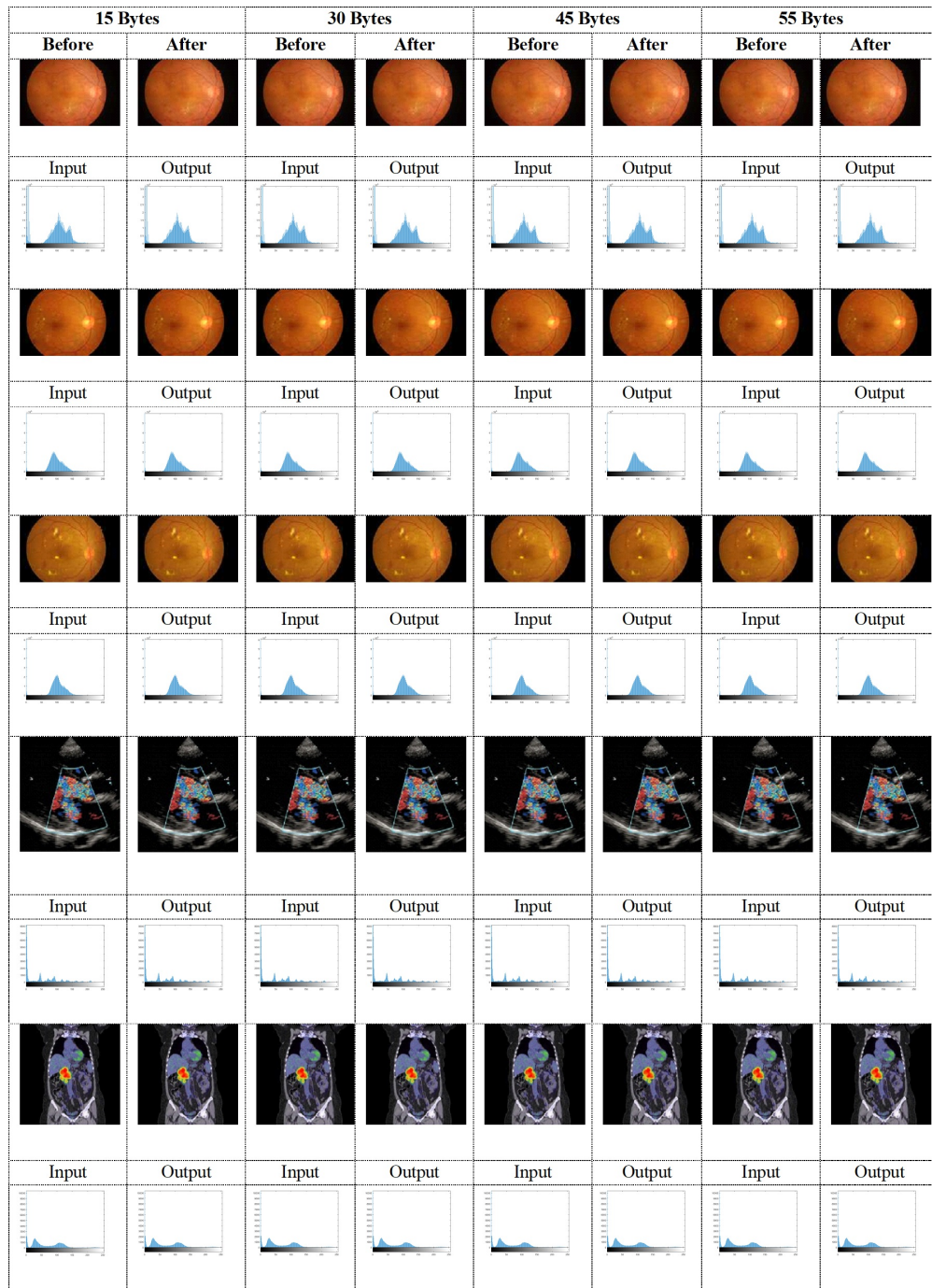
Việc nghiên cứu hình ảnh ẩn thực hiện bằng cách đối chiếu với hình ảnh gốc. Thuật toán Memetic được đề xuất đã thử nghiệm với các kích thước văn bản khác nhau và các hình ảnh ẩn gồm hình ảnh màu và trắng. Các tin nhắn văn bản được phân tích trước và trong quá trình mã hóa và giải mã. Nghiên cứu này sẽ chứng minh rằng số lượng biến dạng ít hơn xảy ra trước và sau khi nhúng thông điệp ẩn vào hình ảnh. Đầu ra của thuật toán đề xuất được đánh giá thông qua hai tập dữ liệu riêng biệt. Bộ dữ liệu DME Eyes [95] và bộ dữ liệu DICOM [75].

Đối với ảnh màu, so sánh kết quả thực nghiệm từ Bảng 2.7 cho thấy khi kích thước gói tin tăng lên, giá trị PSNR giảm ở DWT-2L và DWT-1L.

BẢNG 2.7: So sánh tỷ lệ tín hiệu đỉnh trên nhiễu và lỗi bình phương trung bình đối với hình ảnh màu

Image	Text Size (byte)	PSNR		MSE	
		DWT-2L	DWT-1L	DWT-2L	DWT-1L
Image (1)	15	58.22	57.97	0.22	0.2
	30	55.25	54.41	0.37	0.44
	45	52.81	51.8	0.49	0.66
	55	53.06	51.05	0.48	0.76
	100	53.78	48.06	0.41	1.42
	128	52.37	47.89	0.61	1.69
	256	52.68	44.78	0.51	3.27
Image (2)	15	58.24	57.29	0.22	0.24
	30	55.43	53.71	0.37	0.42
	45	53.48	51.88	0.52	0.65
	55	53.83	50.81	0.48	0.73
	100	53.5	48.66	0.46	1.44
	128	52.62	47.39	0.6	1.66
	256	53.58	44.7	0.5	3.25
Image (3)	15	57.27	57.62	0.22	0.22
	30	54.6	53.31	0.38	0.44
	45	53.16	51.83	0.52	0.66
	55	53.59	51.1	0.51	0.74
	100	54	48.68	0.44	1.44
	128	51.76	47.22	0.63	1.68
	256	52.66	44.66	0.54	3.3
Image (4)	15	58.36	55.94	0.24	0.25
	30	55.32	53.32	0.28	0.49
	45	54.38	51.22	0.45	0.68
	55	53.58	50.54	0.42	0.85
	100	55.24	48.3	0.32	1.44
	128	53.74	47.62	0.53	1.77
	256	53.06	44.23	0.47	3.47
Image (5)	15	58.55	56.37	0.2	0.22
	30	57.44	54.28	0.37	0.29
	45	54.93	53.23	0.43	0.52
	55	53.29	52.09	0.45	3.01
	100	53.8	54.42	30.07	1.06
	128	54.54	52.79	0.53	2.76
	256	51.99	50.11	0.48	3.18

Để đánh giá sự biến đổi của biểu đồ hình ảnh màu trước và sau khi áp dụng thuật toán, học viên tiến hành so sánh kết quả giữa kích thước gói cao và gói nhỏ trong Hình 2.29. Từ kết quả thực nghiệm cho thấy DWT 2L cải thiện 9,51% và DWT-1L cải thiện 22,75%.



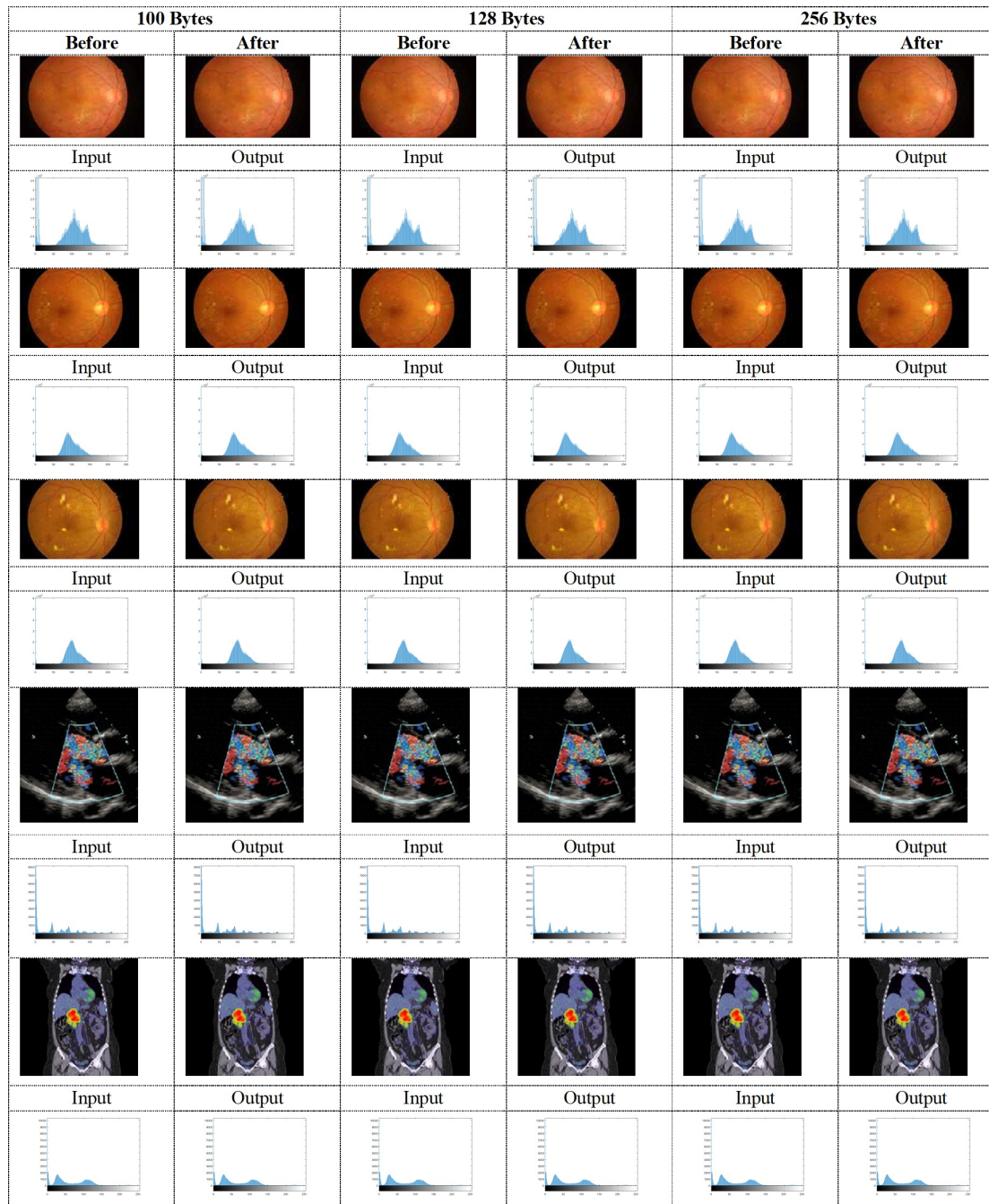
HÌNH 2.29: So sánh biểu đồ của hình ảnh màu trước và sau khi áp dụng thuật toán Memetic với các kích thước văn bản (15, 30, 45, 55 Byte)

Đối với các ảnh xám, luận án tiến hành so sánh tỷ lệ tín hiệu đỉnh trên nhiễu (PSNR) và tỷ lệ lỗi bình phương trung bình (MSE). Kết quả thực nghiệm được thống kê trong Bảng 2.8 cho thấy khi kích thước gói tin tăng lên, giá trị PSNR sẽ giảm trong DWT-2L và DWT-1L.

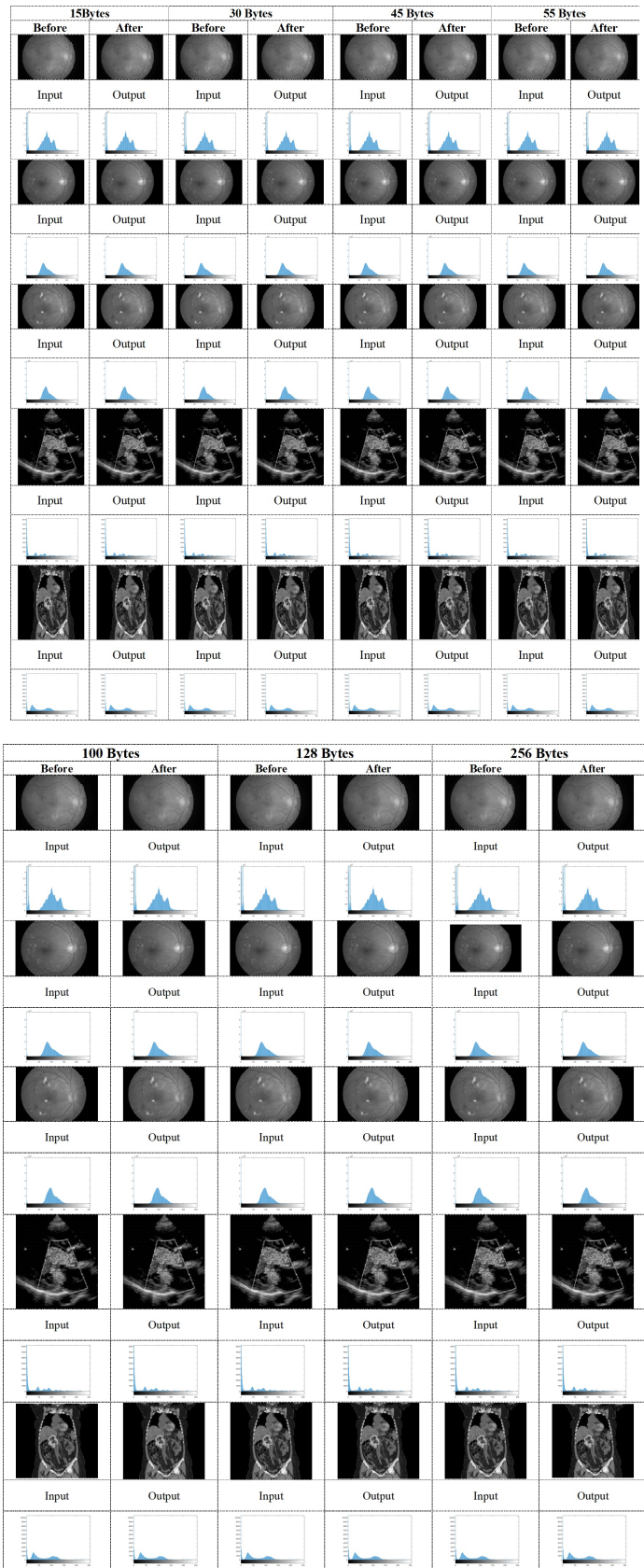
BẢNG 2.8: So sánh tỷ lệ tín hiệu đỉnh trên nhiễu và lỗi bình phương trung bình đối với hình đa cấp xám

Image	Text Size (byte)	PSNR		MSE	
		DWT-2L	DWT- 1L	DWT-2L	DWT- 1L
Image (1)	15	57.53	56.9	0.23	0.24
	30	55.33	53.4	0.33	0.45
	45	52.7	51.43	0.53	0.68
	55	52.87	51.43	0.49	0.78
	100	54.37	48.49	0.44	1.46
	128	52.01	47.27	0.61	1.68
	256	52.69	44.55	0.55	3.23
Image (2)	15	57.5	56.62	0.24	0.24
	30	55	53.35	0.34	0.45
	45	52.78	51.81	0.53	0.69
	55	52.8	50.66	0.49	0.78
	100	53.73	47.75	0.45	1.47
	128	51.81	47.84	0.61	1.69
	256	52.55	44.36	0.53	3.29
Image (3)	15	57.87	57.07	0.21	0.24
	30	54.8	53.57	0.35	0.47
	45	52.69	51.35	0.53	0.67
	55	53.01	51.2	0.5	0.81
	100	53.76	47.86	0.39	1.45
	128	52.27	47.92	0.63	1.68
	256	52.66	44.73	0.53	3.23
Image (4)	15	58.23	55.56	0.22	0.3
	30	55.89	53.15	0.32	0.56
	45	55.2	51.36	0.42	0.73
	55	53.47	50.61	0.42	0.85
	100	54.92	48.04	0.36	1.43
	128	52.67	47.05	0.54	1.79
	256	53.1	43.79	0.49	3.53
Image (5)	15	57.55	55.33	0.2	0.31
	30	54.62	53.19	0.34	0.53
	45	54.03	51.01	0.52	0.73
	55	53.38	50.14	0.48	0.92
	100	55.15	49.11	0.42	1.13
	128	52.23	49.33	0.64	1.17
	256	53.06	46.35	0.53	2.17

Để đánh giá sự biến đổi của biểu đồ hình ảnh màu trước và sau khi áp dụng thuật toán với các kích thước văn bản khác nhau. Kết quả thực nghiệm cho thấy giữa kích thước gói cao và gói nhỏ trên Hình 2.30, DWT 2L cho thấy sự cải thiện 8,41% và DWT 1L là 21,70%.



HÌNH 2.30: So sánh biểu đồ của hình ảnh màu trước và sau khi áp dụng thuật toán Memetic với các kích thước văn bản (100, 128, 256 Bytes)



HÌNH 2.31: So sánh biểu đồ của hình ảnh xám trước và sau khi áp dụng thuật toán Memetic với các kích thước văn bản (15, 30, 45, 55, 100, 128, 256 Bytes)

BẢNG 2.9: So sánh Tỷ lệ lỗi bit, sự giống nhau về cấu trúc, nội dung cấu trúc và sự tương quan của hình ảnh màu

Image	Text Size (byte)	BER	SSIM	SC	Correlation
Image (1)	15	0	1	1	1
	30	0	1	1	1
	45	0	1	1	1
	55	0	1	1	1
	100	0	1	1	1
	128	0	1	1	1
	256	0	1	1	1
Image (2)	15	0	1	1	1
	30	0	1	1	1
	45	0	1	1	1
	55	0	1	1	1
	100	0	1	1	1
	128	0	1	1	1
	256	0	1	1	1
Image (3)	15	0	1	1	1
	30	0	1	1	1
	45	0	1	1	1
	55	0	1	1	1
	100	0	1	1	1
	128	0	1	1	1
	256	0	1	1	1
Image (4)	15	0	1	1	1
	30	0	1	1	1
	45	0	1	1	1
	55	0	1	1	1
	100	0	1	1	1
	128	0	1	1	1
	256	0	1	1	1
Image (5)	15	0	1	1	1
	30	0	1	1	1
	45	0	1	1	1
	55	0	1	1	1
	100	0	1	1	1
	128	0	1	1	1
	256	0	1	1	1

Bảng 2.10 cho thấy phương pháp đề xuất đạt được giá trị PSNR tốt hơn với ít MSE hơn khi so sánh với các thuật toán khác trong các phương pháp hiện có.

BẢNG 2.10: So sánh các giá trị PSNR và MSE giữa Memetic và các phương pháp khác

Mô hình	Tỷ lệ tín hiệu đỉnh trên nhiễu(PSNR)	Sai số toàn phương trung bình (MSE)
Anwar và cộng sự [7]	56.76	0.1338
AES & RSA [30]	57.02	0.1288
Thuật toán Memetic đề xuất	58.32	0.1195

Trong mục này, thuật toán Memetic được sử dụng để truyền an toàn các hình ảnh y tế bằng cách sử dụng mã hóa và Steganography. Kết quả của thuật toán đề xuất được đánh giá bằng cách sử dụng các số liệu hiệu suất như PSNR, MSE, SSIM, Tương quan, SC và BER. Kết quả cho thấy tầm quan trọng của thuật toán được đề xuất so với các phương pháp hiện có. Khi so sánh biểu đồ của các thông điệp được bao phủ và thông báo gốc cả về hình ảnh màu và thang độ xám, không có nhiều sai lệch trong các giá trị PSNR, điều này cho thấy rằng thuật toán được đề xuất hoạt động tốt hơn trong quy trình mã hóa và giải mã. Do đó, các mối quan tâm về bảo mật trong hệ thống chăm sóc sức khỏe thông qua IoT có tính bảo mật và an toàn cao.

2.4 Kết chương 2

Trong Chương 2, luận án đã đề xuất một số kỹ thuật xử lý đối tượng 3D trong hệ thống mô phỏng dữ liệu y học. Cụ thể, một là đề xuất kỹ thuật lựa chọn màu RGB hiệu quả cho cấu trúc đối tượng 3D phức tạp; Hai là, đề xuất kỹ thuật nâng cao hiệu quả tương tác với đa người dùng trong thực tế ảo tăng cường với các kịch bản các người dùng có cùng không gian địa lý và khác không gian địa lý; Ba là, đề xuất kỹ thuật tăng cường mã hóa dữ liệu y tế trên đường truyền trong các hệ thống phân tán dựa trên IoT. Các kỹ thuật này có vai trò rất quan trọng trong việc xử lý đối tượng và mô phỏng ứng dụng trong y học giúp triển khai giảng dạy trên hệ thống e-learning được trình bày trong Chương 3. Các kết quả nghiên cứu trong Chương 2 được công bố trong các công trình [CT-1], [CT-2], [CT-3].

Chương 3

Ứng dụng một số kỹ thuật xử lý đối tượng xây dựng hệ thống mô phỏng thực tế ảo cơ thể người

3.1 Thực trạng giảng dạy môn giải phẫu và hướng tiếp cận

3.1.1 Thực trạng giảng dạy

Theo thống kê của Bộ Giáo dục và Đào tạo, ở Việt Nam hiện nay có hơn 50 trường Đại học, 42 trường Cao đẳng và 49 trường Trung cấp có đào tạo khối ngành Y dược. Trong đó, kiến thức về giải phẫu và lâm sàng là một trong những môn cơ bản và có vai trò quan trọng nhất. Sinh viên sẽ không thể hiểu được cấu tạo tế bào của từng mô, từng cơ quan, không thể hiểu được sự phát triển của từng cá thể (phôi thai học), cũng như chức năng của từng cơ quan (sinh lý học)... nếu người học không biết về hình thái, cấu trúc của các cơ quan đó. Với các môn lâm sàng, người học cần có kiến thức giải phẫu mới có thể thăm khám các phủ tạng để chẩn đoán và điều trị có kết quả. Môn học này đòi hỏi phải học trực tiếp trên xác người, tuy nhiên qua khảo sát, nghiên cứu sinh nhận thấy thực tế chỉ dưới 10% cơ sở đào tạo có xác người cho sinh viên thực tập. Đại đa số sinh viên tiếp cận môn học chủ yếu qua mô hình, tranh, hình ảnh 2D và tiêu bản hoặc dùng các phần mềm của nước ngoài [62]. Mặt khác, xác rất khó kiếm vì hiến xác là vấn đề tình cảm, phong tục và nhạy cảm... có người hiến xác nhưng đến khi họ mất gia đình không báo cho trường đến nhận xác, người nhà muốn thân nhân mồ yên mả đẹp mà không làm theo nguyện vọng của người đã mất. Để có một thi thể phục vụ nghiên cứu không hề đơn giản bởi quá trình xử lý xác rất vất vả. Sau khi người hiến qua đời, trường sẽ tiếp nhận thi thể trong 24 giờ. Thi thể được xử lý sạch sẽ trước khi tiêm hóa chất trong hai ngày. Sau đó thi thể được ngâm vào bể formol tối thiểu 6 tháng mới có thể dùng để học tập, nghiên cứu. Thực hành trên xác động vật thì ngày nay, việc thực hiện trên động vật cũng bị hạn chế bởi quyền giết mổ động vật.

3.1.2 Hướng tiếp cận ứng dụng công nghệ mô phỏng

Trên cơ sở sự phát triển của phần cứng máy tính, các kỹ thuật đồ họa máy tính và Thực tại ảo, hệ thống đào tạo y học trên bệnh nhân ảo đã dần trở thành hiện thực, giảm bớt được những vấn đề nan giải của lĩnh vực này. Hệ thống đào tạo y học này bao gồm hai bộ phận cơ bản: Khối tương tác ba chiều là mô hình sinh thể ảo cho phép người sử dụng thực hiện các thao tác giải phẫu thông qua các dụng cụ giải phẫu ảo; Khối giao diện người dùng hai chiều cung cấp những thông tin phản hồi trực quan từ mô hình trong quá trình giải phẫu cũng như những thông tin hướng dẫn trong phiên đào tạo [114].

Phương pháp đào tạo có tính tương tác cao này mang nhiều ưu điểm so với các phương pháp truyền thống như thực hành trên mô hình nhựa (mô hình plastic) hay trên bệnh nhân thực. Thứ nhất, khác với phương pháp dùng mô hình nhựa, sinh thể giải phẫu ảo có khả năng cung cấp những thông tin phản hồi sinh học một cách tự nhiên như một sinh thể sống thực, dưới tác động giải phẫu của bác sỹ mổ, chẳng hạn như sự thay đổi về nhịp tim, huyết áp, . . . Điều này tạo cho học viên có cảm giác đang trải qua một ca mổ trong một tình huống thực. Thứ hai, khác với thực hành trên bệnh nhân thật, rõ ràng sai lầm của học viên trong quá trình thực tập không phải trả giá bằng những thương tổn thực trên cơ thể người bệnh. Điều này cũng làm giảm áp lực lên học viên khi thực hiện phẫu thuật ảo. Từ đó, giúp họ tự tin và chủ động hơn trong học tập.

3.1.3 Các nghiên cứu liên quan

Các phần mềm của nước ngoài chưa thể hiện được đầy đủ các đặc trưng về cơ thể người của người Việt Nam nên quá trình mô phỏng không thực sự hiệu quả. Ở thời điểm hiện tại, Việt Nam cũng chưa có hệ thống phần mềm nào về Y tế mà xây dựng nên một công trình cơ thể người hoàn chỉnh về các cơ quan, hệ cơ quan, chưa có bộ dữ liệu khoa học thống nhất và tập tính năng tương tác và mô phỏng, cũng như hỗ trợ trên nhiều nền tảng công nghệ [113, 118]. Vì vậy, việc tìm kiếm giải pháp để tiếp cận môn học giải phẫu thuận lợi hơn, hiệu quả hơn và tiết kiệm chi phí hơn đối với người dạy đang là bài toán đặt ra hiện nay. Mục tiêu của nhóm tác giả là sử dụng công nghệ mô phỏng 3D thực tại ảo để mô phỏng hệ cơ thể người với đầy đủ các hệ cơ quan như: hệ xương, hệ cơ, hệ tuần hoàn, hệ thần kinh, hệ hô hấp, tiêu hóa, hệ bài tiết và sinh dục, các tuyến và hạch, bao gồm đầy đủ các chi tiết giải phẫu gần giống với cơ thể người thật nhất. Công trình của chúng tôi hướng đến việc ứng dụng công nghệ thực tại ảo 3D để tạo nên một cơ thể người hoàn chỉnh, có thể tương tác đa dạng về cách thức lên các đối tượng mô

hình các cơ quan, hệ cơ quan, thậm chí các chi tiết giải phẫu rất nhỏ, với bộ dữ liệu khoa học thống nhất, chính xác hướng đến các đối tượng người học là sinh viên, giảng viên, người nghiên cứu hoặc bác sĩ.

Có rất nhiều nhà nghiên cứu đang nghiên cứu và triển khai [72, 119] công nghệ 3D trong lĩnh vực giáo dục giải phẫu nói chung và các lĩnh vực giáo dục đào tạo khác. Một số nhà nghiên cứu đã đánh giá hiệu quả của VR là một phương pháp giảng dạy rất hữu ích, họ đã các khảo sát về điểm số của sinh viên học bằng phương pháp mô phỏng 3D này với các phương pháp giảng dạy truyền thống [62, 72]. Nghiên cứu của Marsh, Giffin, Jr. Lowrie [74] chỉ ra rằng học tập dựa trên web có thể cải thiện việc dạy học truyền thống khi họ sử dụng nó để giảng dạy về phát triển phôi trên mô hình 2D và 3D. Sinh viên học được trực quan hơn, được quan sát đầy đủ và chính xác hơn so với các sinh viên học tập theo phương pháp truyền thống. Điều này thể hiện rõ khi điểm số kiểm tra về kiến thức môn của sinh viên này cao hơn sinh viên học theo truyền thống.

Nhóm tác giả của Abid và cộng sự đã so sánh các mô hình giải phẫu 3D với việc giảng dạy bằng bảng và phần để duy trì hoạt động học tập của học sinh, từ một lớp học về hình thành phôi [2]. Người ta thấy rằng đối với khả năng ghi nhớ ngắn hạn, kỹ thuật dạy học 3D có lợi hơn so với kỹ thuật viết bảng và phần truyền thống, và trong tương lai, cần nghiên cứu thêm để đánh giá hiệu quả giữa kỳ, dài hạn và tác động lâu dài. Keedy và cộng sự [55] đã đánh giá kỹ thuật giảng dạy 3D tương tác để giảng dạy giải phẫu gan và mật và nhận thấy đây là kỹ thuật hiệu quả hơn so với sách giáo khoa truyền thống. Seo và cộng sự [87] đã đánh giá mức độ hiệu quả của mô hình đất sét để học giải phẫu tổng quát và giải phẫu thần kinh và so sánh mô hình đất sét này với CT và MRI. Bareither và cộng sự [11] đã đánh giá mức độ cải thiện kiến thức so sánh mô hình đất sét như một kỹ thuật giảng dạy với mô-đun viết và nhận thấy rằng mô hình đất sét có lợi cho giáo dục giải phẫu nhưng cần nghiên cứu thêm. J. Hu và cộng sự [44] đã đánh giá hệ thống Đa phương tiện 3D Nha khoa mới cho hệ thống giáo dục của học sinh trung học cơ sở để thực hành lâm sàng và nhận thấy rằng hệ thống Đa phương tiện 3D Nha khoa hoạt động nhanh hơn và không kém hơn so với nhóm truyền thống. Lundberg và cộng sự nhận thấy rằng các sinh viên y khoa nghiên cứu về giải phẫu tổng quát, thích sử dụng các phương pháp học tập nghiên cứu tự định hướng [23]. A. Hu và cộng sự [43] đã đánh giá mô hình giáo dục 3D của thanh quản và học sinh thấy việc học thanh quản với 3D Model dễ dàng hơn so với các bài giảng trên lớp truyền thống. Cui và cộng sự [25] đã đề xuất tính hiệu quả của Mô hình lập thể mạch máu 3D trong chụp mạch máu bằng máy tính giải phẫu (CTA) và nhận thấy rằng 97% sinh viên đồng ý với tuyên bố “Mô hình 3D thú vị và chiếm [học sinh] để tìm hiểu tài liệu”, cho thấy định hướng màn hình 2D không

hiệu quả bằng màn hình 3D, tức là mô hình mạch máu 3D lập thể mang lại cơ hội tốt hơn để tìm hiểu về giải phẫu mạch máu đầu và cổ và các buổi học 3D cải thiện khả năng không gian ở học sinh. Hoyek cùng cộng sự [42] đã đánh giá hiệu quả của phương pháp giảng dạy 3D bằng cách so sánh nó với việc giảng dạy bằng hình vẽ 2D trên slide PowerPoint và kết quả cho thấy hoạt hình kỹ thuật số 3D được coi là một công cụ rất quan trọng để dạy giải phẫu học, đặc biệt là để lưu giữ kiến thức.

3.2 Ứng dụng một số kỹ thuật xử lý đối tượng 3D xây dựng hệ thống mô phỏng cơ thể người

Trong bối cảnh nền giáo dục đào tạo theo “Định hướng nội dung” trở nên bắt cập và xuất hiện nhiều nhược điểm, các trường đang thấy rõ được tầm quan trọng của mô hình đào tạo học đi đôi với hành giúp sinh viên phát triển năng lực một cách toàn diện sau khi ra trường. Để phục vụ tốt cho việc giảng dạy, học tập và nghiên cứu, các trường cần phải thực hiện đào tạo gắn liền với thực tiễn thông qua các mô hình thực hành. Điều này lại cực kỳ quan trọng đối với các sinh viên ngành y liên quan đến giải phẫu học vì không có xác người để thực hành.

Mục tiêu của hệ thống mô phỏng được xây dựng hướng đến việc ứng dụng công nghệ 3D thực tại ảo mô phỏng cơ thể người Việt Nam trực quan, chính xác với tỉ lệ 1:1 với đầy đủ các hệ cơ quan cho phép khả năng tương tác trực tiếp trên không gian 3D. Hệ thống hỗ trợ, phục vụ công tác giảng dạy, học tập và nghiên cứu trong khối ngành khoa học sức khỏe tiếp cận được với các mục tiêu nghề nghiệp, có thể làm việc trong một thế giới mới đầy năng động và thay đổi nhanh.

3.2.1 Hệ thống mô phỏng cơ thể người 3D

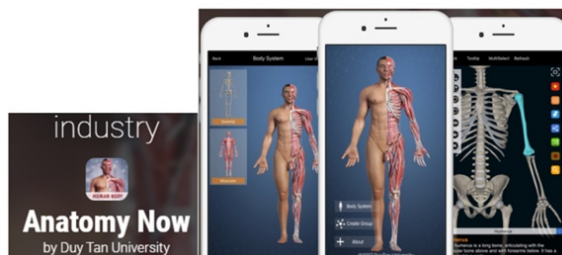
Hệ thống mô phỏng của nhóm nghiên cứu được xây dựng dựa trên các công cụ OpenGL (Open Graphics Library)¹ để mô phỏng các chi tiết đã được mô hình hóa trong môi trường 3D thực tại ảo, phần mềm Blender² để mô hình hóa các chi tiết được vẽ từ các tài liệu giải phẫu [113, 118].

Hệ thống mô phỏng hệ giải phẫu người được thực hiện trên công nghệ thực tại ảo 3D tương tác gồm tất cả các hệ cơ quan trong cơ thể người như: Hệ xương, hệ cơ, hệ tuần hoàn, hệ thần kinh, hệ hô hấp, hệ tiêu hóa, hệ bài tiết và sinh dục,

¹<https://www.opengl.org/>

²<https://www.blender.org/>

các tuyến và hạch. Các thông số được sử dụng trong quá trình mô phỏng được các giáo sư trong ngành về giải phẫu học tại các trường, các bệnh viện trọng điểm đánh giá, thẩm định sự đúng đắn của từng chi tiết trong các hệ cơ quan [114].



HÌNH 3.1: Hệ thống mô phỏng cơ thể người 3D

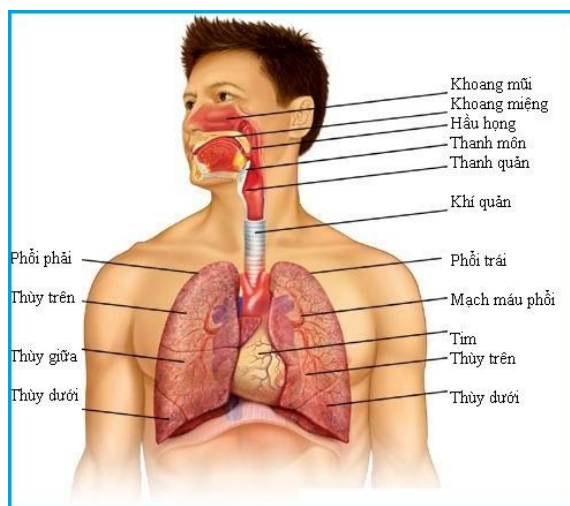
3.2.2 Mô phỏng các hệ giải phẫu cơ thể người

Hệ thống mô phỏng được xây dựng bao gồm đầy đủ các hệ giải phẫu cơ thể người dưới dạng mô hình 3D, các mốc giải phẫu được thể hiện trong Bảng 3.1. Hệ thống được thiết kế đa dạng về thể hiện về giải phẫu gồm: Chi tiết giải phẫu, mốc giải phẫu, vùng giải phẫu, nhóm giải phẫu, định khu giải phẫu, giải phẫu hệ.

BẢNG 3.1: Các hệ cơ quan trong cơ thể được mô phỏng

TT	Hệ cơ quan	Minh họa	TT	Hệ cơ quan	Minh họa
1.	Hệ xương - dây chằng (589 mô hình: 317 mô hình xương, 272 mô hình dây chằng)		5	Hệ cơ (510 mô hình)	
2.	Hệ hô hấp (6 mô hình)		6	Hệ tiêu hóa (41 mô hình)	
3.	Hệ mạch - tim (1517 mô hình: 1472 mô hình động mạch và tĩnh mạch, 45 mô hình về tim)		7	Hệ thần kinh - não (1028 mô hình: 989 mô hình về dây thần kinh, 39 mô hình về não)	
4.	Hệ bài tiết & sinh dục (20 mô hình)		8	Hệ nội tiết (các tuyến và hạch gồm 191 mô hình: 11 tuyến, 180 mô hình hạch).	

Hệ hô hấp: Cấu tạo các cơ quan của hệ hô hấp được mô phỏng được cho trong Hình 3.2 và Bảng 3.2.

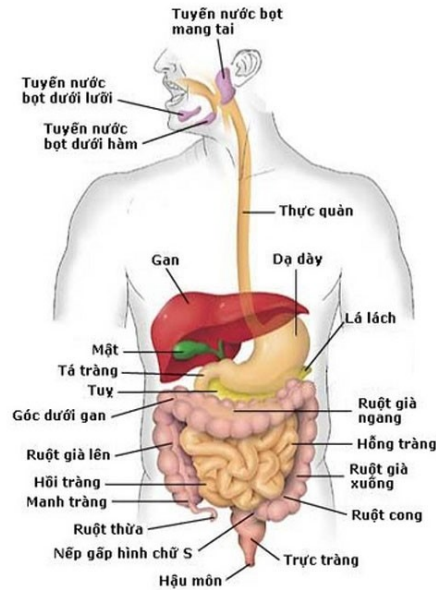


HÌNH 3.2: Hệ hô hấp

BẢNG 3.2: Các cơ quan và đặc điểm cấu tạo hệ Hô hấp

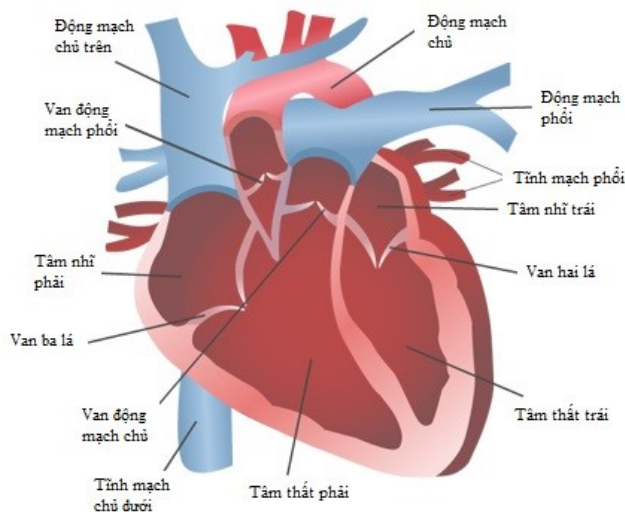
Các cơ quan		Đặc điểm cấu tạo
Đường dẫn khí	Mũi	Có nhiều lông mũi, có lớp niêm mạc tiết chất nhầy, có lớp mao mạch dày đặc.
	Họng	Có tuyến amidan và tuyến VA chứa nhiều tế bào limpho
	Thanh quản	Có nắp thanh quản cử động để đóng kín đường hô hấp
	Khí quản	Cấu tạo bởi 15-20 vòng sụn khuyết xếp chồng lên nhau. Có lớp niêm mạc tiết chất nhầy với nhiều lông rung chuyển động liên tục
	Phế quản	Cấu tạo bởi các vòng sụn. Ở Phế quản nơi tiếp xúc các phế nang thì không có vòng sụn mà là các thớ cơ.
Hai lá Phổi	Lá phổi phải có 3 thùy.	Bao ngoài hai lá phổi có hai lớp màng, lớp ngoài dính vào lồng ngực, lớp trong dính vào phổi, giữa hai lớp có chất dịch.
	Lá phổi trái có hai thùy.	Đơn vị cấu tạo của phổi là các phế nang tập hợp thành từng cụm và được bao bọc bởi mạng mao mạch dày đặc. Có tới 700-800 triệu phế nang

Hệ tiêu hóa: Hệ tiêu hoá là hệ thống các cơ quan của cơ thể có nhiệm vụ ăn, tiêu hoá thức ăn để tách lấy năng lượng và chất dinh dưỡng, đồng thời đẩy chất thải ra ngoài. Cấu tạo của hệ tiêu hóa gồm ống tiêu hóa và tuyến tiêu hóa. Ống tiêu hóa là đường ống để thức ăn đi qua gồm khoang miệng, cổ họng, thực quản, dạ dày, ruột non, đại tràng và hậu môn. Tuyến tiêu hóa gồm hai loại lớn và nhỏ. Tuyến tiêu hóa lớn gồm tuyến nước bọt, gan và tụy; tuyến tiêu hóa nhỏ nằm bên trong thành ống tiêu hóa lớn như tuyến dạ dày, tuyến ruột và tuyến ruột non.



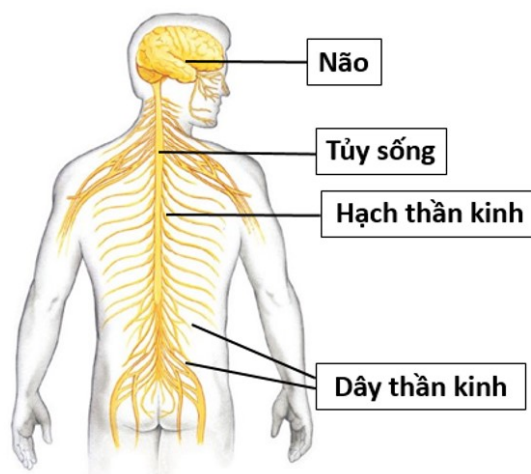
HÌNH 3.3: Hệ tiêu hóa

Hệ tim mạch: Tim là một cơ quan của hệ thống cơ được tạo thành bởi một loại cơ đặc biệt gọi là cơ tim. Ở bên ngoài tim (và một phần đầu của những mạch máu lớn) được bao phủ bởi một chiếc túi có 2 lớp làm từ mô liên kết gọi là màng ngoài của tim. Ở giữa 2 lớp màng ngoài tim có chứa một lượng rất nhỏ chất lỏng dạng nước có nhiệm vụ bôi trơn để giúp giảm ma sát giữa 2 lớp màng và với các bộ phận xung quanh khi tim co và giãn. Bên trong tim được lót bởi một lớp biểu mô khá mịn, được gọi là màng trong tim, có nhiệm vụ giúp giảm ma sát giữa máu và vách tim, ngăn ngừa đông máu và sự hình thành các cục huyết khối trong tim.



HÌNH 3.4: Hệ Tim mạch

Hệ thần kinh: Là một hệ cơ quan phân hóa cao nhất trong cơ thể người, ở dưới dạng ống và mạng lưới đi khắp cơ thể, được cấu tạo bởi một loại mô chuyên biệt là mô thần kinh, gồm các tế bào thần kinh - nơ-ron và các tế bào thần kinh đệm (thần kinh giao). Cũng chính các nơ-ron đã tạo ra hai thành phần cơ bản của não, tủy sống và hạch thần kinh là chất xám và chất trắng. Về mặt cấu tạo, hệ thần kinh được chia ra làm 2 bộ phận là bộ phận trung ương (não, tủy sống) và bộ phận ngoại biên (các dây thần kinh, hạch thần kinh), trong đó bộ phận trung ương giữ vai trò chủ đạo. Về chức năng, hệ thần kinh được chia thành hệ thần kinh vận động (điều khiển cơ, xương) và hệ thần kinh sinh dưỡng (hệ thần kinh thực vật). Hệ thần kinh sinh dưỡng lại gồm 2 phân hệ là phân hệ giao cảm và phân hệ đối giao cảm. Hoạt động thần kinh cấp cao ở người hình thành nên nhiều các phản xạ được tập quen (PXDTQ) rất phức tạp mà không sinh vật nào có được. Vì vậy, việc “vệ sinh” hệ thần kinh có cơ sở khoa học là cần thiết để hệ thần kinh luôn đạt chất lượng hoạt động cao.



HÌNH 3.5: Hệ Thần kinh

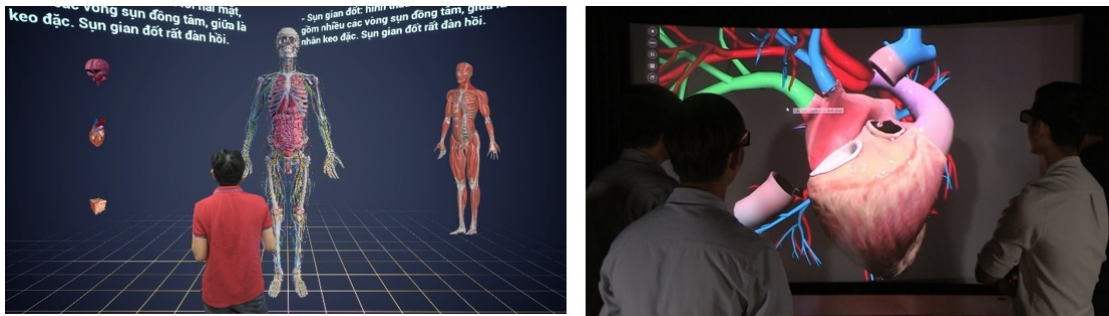
3.2.3 Mô phỏng và giả lập các cử động, hoạt động

Hệ thống cho phép mô phỏng và giả lập các cử động, hoạt động trên mô hình đối tượng 3D gồm: Cử động vai, cử động khuỷu tay, cử động cổ tay, cử động các ngón tay, cử động khớp hông, cử động khớp gối, cử động cổ chân, cử động cổ, cử động xương hàm dưới, cử động cột sống. Cử động nhóm cơ vai, cử động nhóm cơ khuỷu tay, cử động nhóm cơ cánh tay, cử động nhóm cơ mu tay và bàn tay, cử động nhóm cơ lưng, cử động nhóm cơ nâng sườn, cử động nhóm cơ bụng, cử động nhóm cơ vùng chậu, cử động nhóm cơ đùi, cử động nhóm cơ gối và khuỷu chân, cử động nhóm cơ cổ chân, cử động nhóm cơ mu chân và bàn chân, cử động nhóm cơ vùng mặt, cử động nhóm cơ nhai, cử động nhóm cơ vùng mắt, cử động nhóm cơ tai.



HÌNH 3.6: Mô phỏng hoạt động tứ chi và hàm

Hệ thống mô phỏng hoạt động của tim, các van tim, các tâm thất, tâm nhĩ, nhóm mạch vành (Hình 3.7) cùng tín hiệu hoạt động của nhóm thần kinh vận động các hoạt động điều khiển các nhóm cơ. Mô phỏng lại hoạt động hô hấp và sự co giãn nở thể tích của 2 lá phổi, di chuyển luồng khí. Hoạt động của hệ tiêu hóa với sự co bóp của dạ dày và sự vận chuyển thức ăn trong hệ, hoạt động của các tuyến trong hệ. Hoạt động bài tiết và hoạt động của thận và hoạt động một số tuyến trong cơ thể, và mô phỏng chức năng một số nhóm hạch.

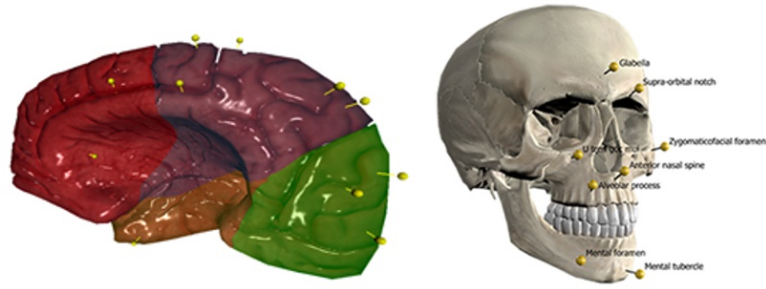


HÌNH 3.7: Hệ thống mô phỏng cơ thể người và hoạt động của tim

3.2.4 Mô phỏng tương tác đa nền tảng thiết bị với hệ thống

Phương pháp đánh dấu hỗ trợ xem và ghi nhớ đặc điểm giải phẫu được ứng dụng trên các cơ quan: Đánh dấu bằng pin (ghim, 568 chi tiết cho một số cơ có điểm nhận dạng giải phẫu riêng, cơ quan tim, cơ quan não). Đánh dấu bằng vùng màu (287 vùng màu giải phẫu, cho phần sọ, các sụn của lồng cầu, nguyên ủy, bám tận cơ bám xương, cơ quan não). Vẽ lên trên bề mặt (cho xương, cơ, cơ quan tim, cơ quan não, nội tạng, cho các tuyến).

Các tính năng tương tác hệ thống hỗ trợ gồm: Tính năng điều khiển 3D có thể xoay, ẩn, hiện, trong suốt, loại bỏ, di chuyển, sáng màu. Tính năng chọn đối



HÌNH 3.8: Kỹ thuật đánh dấu và ghi nhớ các điểm giải phẫu

tượng cho phép chọn 1 đối tượng, chọn nhiều đối tượng, chọn nhóm giải phẫu (sẵn có 130 nhóm mẫu chuẩn). Tính năng cho phép tùy chọn tạo nhóm để tùy chọn tạo nhóm bên trong hệ, tùy chọn tạo nhóm khác hệ. Hỗ trợ tương tác và xem trên máy tính, tương tác trên thiết bị Android hoặc iOS và tương tác trên thiết bị VR



HÌNH 3.9: Người dùng tương tác hệ thống qua máy tính, thiết bị di động và VR

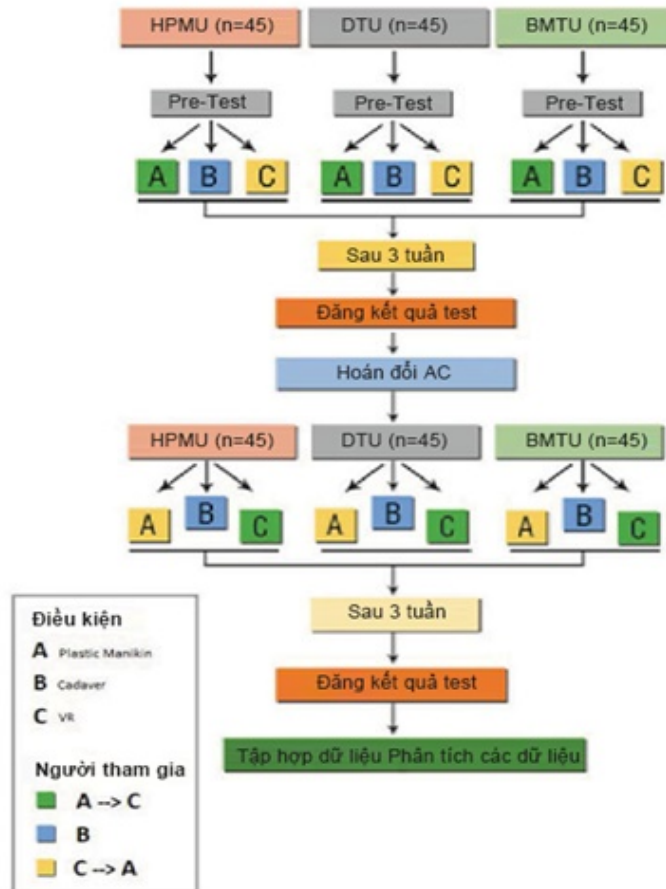
Tra cứu và tìm kiếm hình ảnh 3D, và cho phép trích xuất tập dữ liệu liên quan. Truy xuất dữ liệu thông minh theo quan hệ về mặt giải phẫu. Xây dựng sẵn cấu trúc bài giảng, bài học mẫu chuẩn. Cho phép tự tạo bài học, bài giảng. Ngôn ngữ hỗ trợ gồm: Tiếng Việt - tiếng La Tinh, tiếng Anh - tiếng La Tinh.

3.3 Phân tích, đối sánh hiệu quả của hệ thống thực nghiệm

3.3.1 Thiết kế kiến trúc và lựa chọn đối tượng thực nghiệm

Quá trình thực nghiệm được tiến hành trên 135 sinh viên được lựa chọn ngẫu nhiên từ 03 trường đại học đào tạo y tế lớn nhất của Việt Nam ở 03 vùng miền

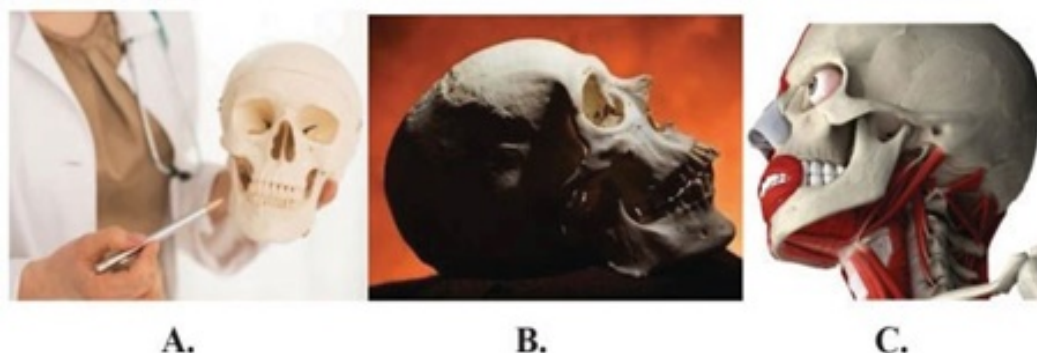
khác nhau. Mỗi trường được chọn ra 45 sinh viên, các sinh viên này là sinh viên năm thứ hai của ngành học bác sĩ đa khoa. Giới tính và tuổi tác được lựa chọn ngẫu nhiên và phân bố tương đối đồng đều cho các nhóm ở các trường. Không có sự chênh lệch đáng kể nào giữa độ tuổi $P = 0,637$ đối với nhóm sinh viên của Đại học Y Dược Hải Phòng, $P = 0.461$ đối với nhóm sinh viên của Đại học Duy Tân và $P = 0.551$ đối với nhóm sinh viên đại học Buôn Mê Thuộc. Giới tính cũng vậy $P = 0,245$ giữa các nhóm.



HÌNH 3.10: Thiết kế kiến trúc khảo sát thực nghiệm

Thử nghiệm được triển khai ở 3 trường ở 3 vùng miền để đánh giá về sự khác nhau giữa khả năng tiếp thu khoa học kỹ thuật và thói quen tiếp cận thông tin. 45 sinh viên của mỗi trường được chia ngẫu nhiên thành 3 nhóm A, B và C. Nhóm A sẽ học môn giải phẫu học bằng phương pháp tranh ảnh và mô hình nhựa tại phòng thí nghiệm. Nhóm B sẽ học trực tiếp trên xác người chết tại phòng thực hành giải phẫu của trường Đại học. Nhóm C sẽ học bằng phương pháp 3D mô phỏng hệ cơ thể người. Hình 3.10(A) là phương pháp học của nhóm 01, 3.10(B) là phương pháp học nhóm thứ 2 và Hình 3.10(C) là phương pháp học của nhóm thứ 3. Tất cả các nhóm sinh viên tham gia thử nghiệm của các trường đều có thời gian

học là 03 tuần để học một số bài học giải phẫu. Bài học để đánh giá thử nghiệm đó là: Cấu trúc hệ Xương, Cơ bám xương. Sau khi kết thúc 03 tuần học sẽ có bài kiểm tra kiến thức để đánh giá mức độ tiếp thu và hiểu biết của sinh viên. Các sinh viên sau đó sẽ được làm bài kiểm tra để đánh giá mức độ tiếp thu kiến thức đã đạt được qua phương pháp học của mình.



HÌNH 3.11: 3 phương pháp đối chứng trong nghiên cứu

Các thành viên tham gia nghiên cứu trong các nhóm của các trường Đại học trước khi học thực hành tất cả họ được tham gia học lý thuyết về môn học giải phẫu. Giảng viên sẽ giới thiệu cho sinh viên các khái niệm cơ bản về môn học giải phẫu như khái niệm về cấu tạo hệ xương người, thế nào là cơ bám xương, mục đích của nó là gì. Sau khi sinh viên được học lý thuyết trong một tuần lễ đầu tiên sẽ có một bài kiểm tra về kiến thức và khả năng tiếp thu kiến thức lý thuyết của từng sinh viên. Bài kiểm tra này sẽ được thực hiện bởi một đoàn đánh giá độc lập là các chuyên gia trong ngành giải phẫu học. Sau khi có kết quả của bài kiểm tra đầu tiên này dựa vào điểm số của sinh viên sẽ chia lại các nhóm sao cho trình độ của các nhóm trong một trường không chênh lệch quá lớn Mean (± 1), đảm bảo các nhóm có kiến thức như nhau. Các giảng viên tham gia giảng dạy môn giải phẫu của các trường tham gia dự án thử nghiệm này cũng được đoàn chuyên gia độc lập khảo sát về năng lực chuyên môn và khả năng giảng dạy.

3.3.2 Phân tích kết quả thực nghiệm

Kết quả trong Bảng 3.3 cho thấy kỹ năng chuyên môn của giảng viên của các trường đại học là tương đối đều nhau và có chuyên môn tốt trong chuyên ngành giải phẫu học.

BẢNG 3.3: Độ biến thiên giữa độ tuổi và giới tính của các nhóm sinh viên

Tên Đại học		Giá trị trung bình	Tối thiểu	Tối đa	Trung bình	Std. Độ lệch	Giá trị - P	Nam	Nữ
HPMU	Nhóm A	20.53	19	23	20.00	1.187	0.637	9	6
	Nhóm B	21.67	19	24	22.00	1.676		8	7
	Nhóm C	20.00	19	23	20.00	1.195		6	9
	Tổng	20.73	19	24	20.00	1.514		23	22
DTU	Nhóm A	20.20	19	22	20.00	1.014	0.461	6	9
	Nhóm B	21.60	19	24	21.00	1.549		7	8
	Nhóm C	20.53	19	23	20.00	1.407		6	9
	Tổng	20.78	19	24	20.00	1.444		19	26
BMTU	Nhóm A	21.27	19	24	22.00	1.438	0.551	6	9
	Nhóm B	20.60	19	23	20.00	1.242		7	8
	Nhóm C	19.67	19	21	20.00	.617		8	7
	Tổng	20.51	19	24	20.00	1.308		21	24

Sau khi hoán đổi phương pháp đào tạo dạy và học giữa nhóm 1(A) và nhóm nhóm 3(C) sinh viên được học bài học hệ thần kinh và hệ tiêu hóa sau 03 tuần hội đồng đánh giá độc lập ra bài kiểm tra kết thúc môn học cũng trong thời gian 90 phút bao gồm trắc nghiệm và tự luận cho tất cả sinh viên. Kết quả thật bất ngờ, nhóm 1(A) nhóm mà trước đây đã học bằng phương pháp tranh tiêu bản và mô hình nhựa sau đó được hoán đổi qua học tập bằng phương pháp mô phỏng 3D đã cải thiện điểm số đáng kể. từ nhóm có số điểm thấp nhất đã vươn lên số điểm cao. Trong khi sinh viên học bài giảng hệ thần kinh và tiêu hóa thì nhóm học bằng phương pháp trực tiếp trên xác lại có điểm thấp. Nghiên cứu chỉ ra rằng tùy theo mỗi bài học thì phương pháp học trên tiêu bản, mô hình nhựa hay phương pháp học trực tiếp trên xác sẽ có kết quả khác nhau.

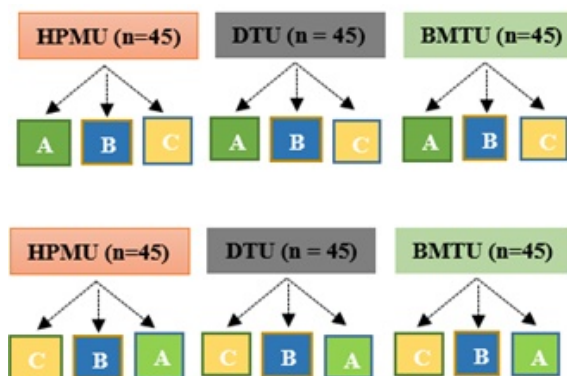
Với phương pháp học trên mô hình thực tại ảo 3D thì vẫn luôn có được kết quả cao và có thể khẳng định rằng ứng dụng mô hình thực tạo ảo 3D vào giảng dạy môn giải phẫu sẽ hỗ trợ và bổ sung vào bài giảng, giảm tải phòng thí nghiệm và khan hiếm tử thi như hiện nay của Việt Nam. Bằng chứng dựa vào 02 đợt kiểm tra của 06 nhóm sinh viên từ 03 trường Đại học khác nhau chỉ ra rằng với điều kiện như hiện nay ở Việt Nam nói chung và các trường đại học ở Việt Nam nói riêng, việc học trên môi trường ảo 3D là hiệu quả và có thể bổ sung vào bài giảng và kết hợp với việc học trên tử thi vốn là cần thiết và bắt buộc đối với các trường Đại học đào tạo y tế. Các yếu tố về giới tính hay yếu tố về sinh viên ở các vùng miền khác nhau của Việt Nam không ảnh hưởng gì nhiều đến các phương pháp tiếp cận của sinh viên.

Kết quả thi cho thấy điểm của từng nhóm như sau:

- Nhóm A (học với phương pháp quan sát mô hình nhựa) có điểm thấp nhất 5,81 (HPMU: $M = 5,67$; DTU: $M = 5,97$; BMTU: $M = 5,80$);

- Nhóm B (xác chết) $M = 6,69$ (HPMU: $M = 6,70$; DTU: $M = 6,60$; BMTU: $M = 6,77$)
- Nhóm C (VR) số điểm cao nhất $M = 7,74$ (HPMU: $M = 7,934$; DTU: $M = 7,68$; BMTU: $M = 7,63$).

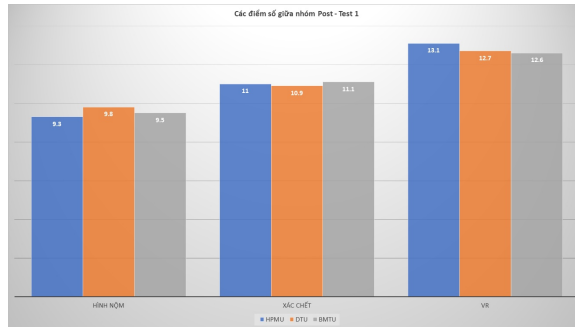
Tuy nhiên, khi nhìn vào điểm số của các sinh viên trong bài kiểm tra số 1 (bài kiểm tra Cơ xương và Cơ bám xương) và bài kiểm tra số 2 (bài kiểm tra hệ Thần kinh và Hệ tiêu hóa) và so sánh điểm giữa ba phương pháp khác nhau.



HÌNH 3.12: Mô hình thay đổi phương pháp học của nhóm A sang cho nhóm C

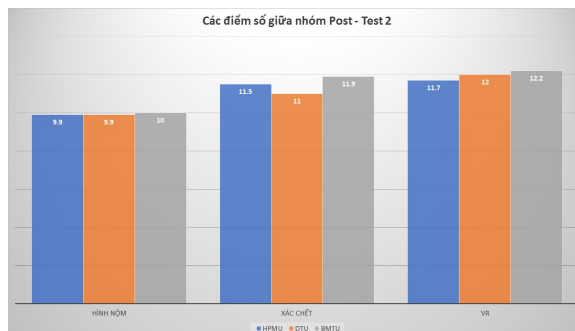
Sau khi có kết quả đánh giá bài kiểm tra kết thúc đợt học thực hành bởi đơn vị đánh giá độc lập. Chúng tôi thực hiện công việc hoán đổi phương pháp học tập của các nhóm như sau: Nhóm 01 ($A \rightarrow C$) trước đây đã học bằng phương pháp tiêu bản, mô hình nhựa nay được thay thế bằng phương pháp học trên mô hình 3D thực tại ảo, nhóm 2 (B) -được tiếp tục học bằng phương pháp quan sát trực tiếp trên xác người. Sự hoán đổi này nhằm khảo sát đánh giá kỹ hơn mức độ tiếp thu kiến thức của các phương pháp. Bài học tiếp theo là bài Hệ thần kinh và Hệ tiêu hóa thời gian học cũng được thiết kế trong 03 tuần.

Sau ba tuần học và thực hành phẫu thuật, mỗi nhóm sinh viên được kiểm tra những gì họ đã học về bộ xương người và cơ xương trong 3 tuần trước đó. Kỳ thi này là một kỳ thi chính thức, được quản lý bởi các giám khảo độc lập, chính thức. Kỳ thi bao gồm các câu hỏi trắc nghiệm và trả lời tự do kiểm tra kiến thức và hiểu biết của các em về giải phẫu học, gồm 100 câu hỏi được trả lời trong 60 phút cho mỗi học sinh. Ban giám khảo độc lập xác định chủ đề và câu hỏi cho kỳ thi. Bên thứ ba này có truyền thống chịu trách nhiệm đảm bảo an ninh và chấm bài thi trong nước (xem Hình 3.13). Sau khi hoán đổi phương pháp đào tạo dạy và học giữa nhóm 1(A) và nhóm nhóm 3(C) sinh viên được học bài học Hệ Thần Kinh và hệ Tiêu Hóa sau 03 tuần hội đồng đánh giá độc lập ra bài kiểm tra kết thúc môn học cũng trong thời gian 90 phút bao gồm trắc nghiệm và tự luận cho tất cả sinh viên (xem Hình 3.14).



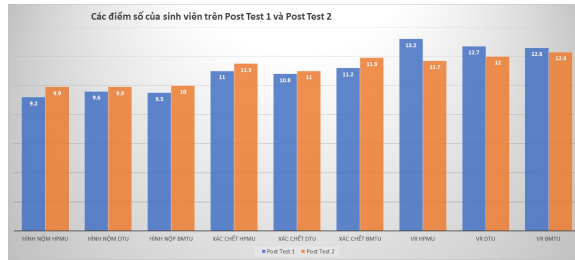
HÌNH 3.13: So sánh điểm số của sinh viên ở kỳ thi sau đợt đào tạo đầu tiên.

Kết quả thu cho thấy nhóm 1(A) nhóm mà trước đây đã học bằng phương pháp tranh tiêu bản và mô hình nhựa sau đó được hoán đổi qua học tập bằng mô phỏng 3D đã cải thiện điểm số đáng kể. Từ nhóm có số điểm thấp nhất đã vươn lên số điểm cao. Trong khi sinh viên học bài giảng hệ thần kinh và tiêu hóa thì nhóm học bằng phương pháp trực tiếp trên xác lại có điểm thấp. Nghiên cứu chỉ ra rằng tùy theo mỗi bài học thì phương pháp học trên tiêu bản, mô hình nhựa hay phương pháp học trực tiếp trên xác sẽ có kết quả khác nhau .

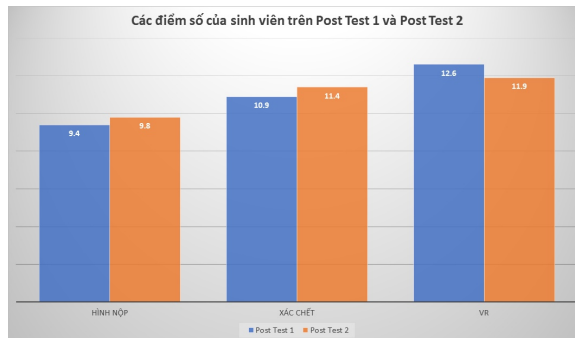


HÌNH 3.14: So sánh điểm số của sinh viên ở kỳ thi sau đợt đào tạo thứ hai.

Với phương pháp học trên mô hình thực tại ảo 3D thì vẫn luôn có được kết quả cao và có thể khẳng định rằng ứng dụng mô hình thực tạo ảo 3D vào giảng dạy môn giải phẫu sẽ hỗ trợ và bổ sung vào bài giảng, giảm tải phòng thí nghiệm và khan hiếm tử thi như hiện nay của Việt Nam. Bằng chứng dựa vào 02 đợt kiểm tra của 06 nhóm sinh viên từ 03 trường Đại học khác nhau chỉ ra rằng với điều kiện như hiện nay ở Việt Nam nói chung và các trường đại học ở Việt Nam nói riêng, việc học trên môi trường ảo 3D là hiệu quả và có thể bổ sung vào bài giảng và kết hợp với việc học trên tử thi vốn là cần thiết và bắt buộc đối với các trường Đại học đào tạo y tế. Các yếu tố về giới tính hay yếu tố về sinh viên ở các vùng miền khác nhau của Việt Nam không ảnh hưởng gì nhiều đến các phương pháp tiếp cận của sinh viên.



HÌNH 3.15: So sánh điểm của sinh viên các trường đại học được nhóm lại với nhau theo các phương pháp học (Manikin, Cadaver, VR) sau bài kiểm tra đầu tiên (màu vàng) và bài kiểm tra thứ hai (màu đỏ).



HÌNH 3.16: So sánh điểm của sinh viên các trường đại học được nhóm lại với nhau theo (Manikin, Xác người, VR), với điểm sau kỳ thi thứ nhất (màu cam) và điểm ở lần thứ hai kỳ thi sau đào tạo (màu xanh lá cây).

Kết quả nghiên cứu này một lần nữa góp phần khẳng định rằng với điều kiện hiện nay của các trường Đại học đào tạo Y tế của Việt Nam thì việc đưa công nghệ thực tại ảo vào góp phần giảng dạy là hiệu quả nhất. Chúng tôi có làm một feedback lấy ý kiến phản hồi từ 200 sinh viên tham gia học môn giải phẫu của các năm trước của các trường Đại học đào tạo y tế ở Việt Nam học trực tiếp trên xác người. Kết quả cho thấy rằng số lượng xác hiến cho y tế để sinh viên tham gia học giải phẫu ở các trường đào tạo Y tế của Việt Nam quá ít, hầu hết các xác được sử dụng quá nhiều và quá lâu. Thông thường các trường Đại học trên thế giới đào tạo bác sĩ sử dụng xác trong 06 tháng là thay mới. Tuy nhiên ở Việt Nam lâu hơn số đó nhiều thường xác được sử dụng hơn 2 năm. Các xác này không còn nguyên vẹn bởi các lần sinh viên mổ xẻ quá nhiều, do vậy với bài học về Thần Kinh hay Cơ bám xương sinh viên không còn nhận ra nhiều trên các xác này, khiến cho việc học trở nên khó khăn hơn. Những cái xác đen khô cần được ngâm trong bể fomol lâu ngày sử dụng đi sử dụng lại quá nhiều lần không còn đáp ứng được nhu cầu thực hành cho sinh viên y khoa. Một trong những lý do đã nói ở trên là do phong tục Châu á rất coi trọng thân thể người sau khi chết nên một phần rất lớn sau khi chết người nhà không chịu hiến xác hoặc không báo cho các pháp y của bệnh

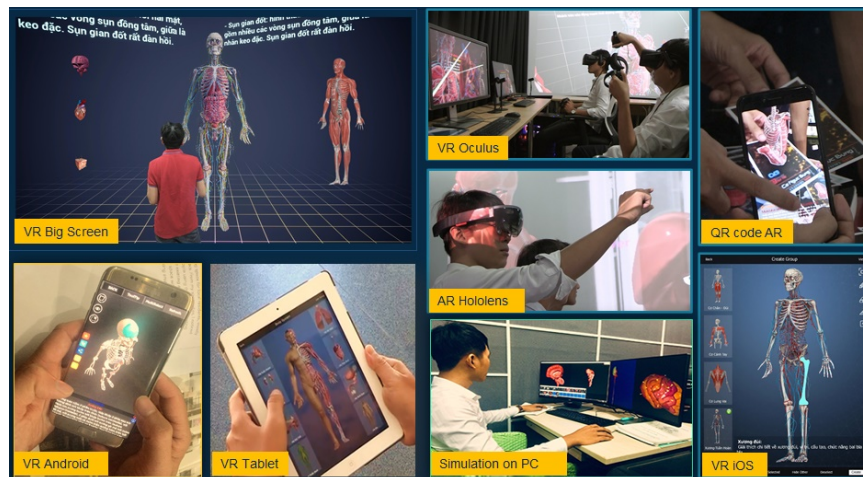
viện đến nhận mặc dù khi còn sống người đó đã đồng ý hiến xác phục vụ cho y học. Với phương pháp học trên tiêu bản, tranh hay mô hình nhựa thì đã quá lỗi thời thêm nữa một mô hình bằng nhựa quá đắt đỏ. Điều này khiến cho việc đầu tư vào phòng thí nghiệm giải phẫu của các trường đại học ở Việt Nam trở nên khan hiếm dẫn đến quá tải cho việc thực hành quan sát thực tế của sinh viên. Với những lý do đó việc đưa vào ứng dụng công nghệ thông tin với mô hình thực tạo ảo 3D mô phỏng hệ cơ thể người là điều rất cần thiết và mang lại hiệu quả cao cho các trường đào tạo y tế tại Việt Nam. Nghiên cứu này cũng không phải đưa ra ý kiến phải thay đổi phương pháp giảng dạy môn giải phẫu dựa vào 3D thực tại ảo mà chỉ đưa ra một thực trạng hiện nay tại các trường Đại học đào tạo y tế của Việt Nam cần phải ứng dụng nhiều hơn nữa các kỹ thuật công nghệ thông tin hiện đại ngày nay vào trong giảng dạy bên cạnh kết hợp học trực tiếp trên tử thi vốn là điều kiện cần thiết của đào tạo bác sĩ đa khoa.

3.3.3 Đánh giá về hệ thống mô phỏng

Hệ thống ứng dụng công nghệ thực tại ảo 3D, tạo nên một cơ thể người hoàn chỉnh, có thể tương tác đa dạng về cách thức lên các đối tượng mô hình các cơ quan, hệ cơ quan, thậm chí các chi tiết giải phẫu rất nhỏ, với bộ dữ liệu khoa học thống nhất, chính xác hướng đến các đối tượng người học là sinh viên, giảng viên, người nghiên cứu hoặc bác sĩ. Hệ thống đã xây dựng toàn bộ hệ giải phẫu cơ thể người ảo, với khoảng hơn 3924 chi tiết mô phỏng các cơ quan, hệ cơ quan (hệ xương, hệ cơ, hệ mạch máu và tim, hệ thống dây thần kinh và não, hệ hô hấp, hệ tiêu hóa, hệ bài tiết và sinh dục, hệ các tuyến và hạch) trong cơ thể người. Về chi tiết giải phẫu, mô phỏng hoàn toàn theo đặc điểm nhân dạng và đặc điểm giải phẫu của người Việt.

Tính đúng đắn của khoa học dữ liệu, về hình dạng và vị trí của tất cả các mô hình với các chi tiết trên đó đã được kiểm định và kiểm tra hình dạng giải phẫu với các bác sĩ giải phẫu, các giáo sư chuyên môn giải phẫu. Với hệ thống này, người dạy và người học có thể hoàn toàn tự xây dựng cấu trúc bài học, kịch bản bài giảng (*case study*) riêng, phù hợp với mỗi cá nhân và tùy vào mục đích khác nhau. Phần mềm hỗ trợ người học nhìn thấy trực quan từng cơ quan, mỗi chi tiết giải phẫu cụ thể, và tương tác (xoay, ẩn, hiện, di chuyển, xem tên, tên khoa học, mô tả ngắn gọn về chi tiết giải phẫu, đánh dấu lên bề mặt của một cơ quan nào đó bằng nhiều cách khác nhau, diễn hoạt cử động, diễn hoạt chuyển động, diễn hoạt tín hiệu truyền nhận, tìm kiếm, liệt kê,...), đa dạng được các chi tiết giải phẫu như gắn vào mốc giải phẫu, vùng giải phẫu, đối tượng giải phẫu, nhóm giải

phẫu, hệ giải phẫu, định khu giải phẫu (không thể thực hiện trên tranh ảnh giải phẫu, hay các tiêu bản).



HÌNH 3.17: Học nhóm tương tác AR qua smartphone

Về phương pháp tương tác: Hệ thống tương tác trực tiếp trong không gian 3 chiều (qua máy chiếu 3D, kính 3D, hoặc qua các loại kính hỗ trợ VR (*Virtual Reality*) như oculus rift, gear VR, HoloLens, HTC vive, các thiết bị định vị và cảm ứng). Hệ thống tương tác qua màn hình, màn chiếu. Thông qua máy tính (Windows, Mac, Linux) hoặc qua điện thoại thông minh và máy tính bảng (hệ điều hành Android hoặc iOS). Hệ thống với khả năng điều khiển đồng thời tất cả các thành phần như hình ảnh, âm thanh, video, theo năng lực và sở thích của cá nhân, sinh viên có thể tự trải nghiệm tương tác với mỗi đối tượng dạng 3D. Trong các bài giảng, bằng sự kết hợp của mô phỏng 3 chiều, của âm thanh nổi, bằng diễn biến tùy thuộc vào kỹ năng điều khiển của sinh viên. Điều quan trọng hơn, đó là từ những trải nghiệm này, sinh viên có được những kinh nghiệm cụ thể về môn học giải phẫu và cấu tạo cơ thể người.

Hệ thống cung cấp giao diện cho phép người sử dụng có thể thao tác để có thể quan sát được hình ảnh của các bộ phận: Hệ xương, hệ hô hấp, hệ thần kinh, hệ tuần hoàn ở các góc độ khác nhau và có thể tìm kiếm, tra cứu thông tin thông qua những thông tin mẫu. Khi triển khai hệ thống sẽ giảm tần suất sử dụng xác người, xác động vật. Người học dễ dàng nhớ được nhiều chi tiết giải phẫu hơn so với trước kia học qua tranh, ảnh, tiêu bản. Việc người dùng có thể tự tạo ra các case study sẽ tăng tính tự học, có nhiều dữ liệu để so sánh đối chiếu, đem lại tính chủ động trong học tập, thoát khỏi học rập khuôn. Chức năng tra cứu dựa trên quan hệ về mặt giải phẫu kết hợp với bộ dữ liệu khoa học chính xác, giúp giảm thời gian tìm kiếm, tổng hợp và so sánh thông tin dữ liệu đáng kể. Việc áp dụng trong các khóa luyện tay nghề bác sĩ, đào tạo nâng cao tay nghề, đào tạo

cho hệ thống các tuyến bệnh viện sẽ mang lại hiệu quả rõ rệt chuyên môn (dễ tiếp cận, lượng tri thức lớn), đồng thời giảm chi phí đáng kể trong khâu đào tạo (in ấn nhiều loại tài liệu, thực hành trên xác người nhiều lần, cần nhiều xác mới đảm bảo). Từ các mô hình 3D trong phần mềm, có thể trích xuất để in ấn thành mô hình 3D với chi phí tiết kiệm hơn $\frac{1}{2}$ giá thành, và hơn hết là tùy biến in ấn các mô hình 3D trong cơ thể phù hợp với nhu cầu của mỗi trường.

3.4 Kết chương 3

Trong chương này, nghiên cứu sinh đã áp dụng các kỹ thuật xử lý đối tượng được đề xuất ở chương 2 để xây dựng thử nghiệm hệ thống mô phỏng các bộ phận trên cơ thể người như: Hệ xương, cơ, tiêu hóa, tuần hoàn, thần kinh, tim. Hệ thống AnatomyNow mô phỏng đầy đủ các chi tiết giải phẫu theo đặc điểm nhận dạng của người Việt. Nghiên cứu sinh cũng đã tiến hành triển khai ứng dụng này vào quá trình đào tạo môn giải phẫu học tại một số trường đại học. Việc so sánh, đánh giá, kiểm tra hiệu quả mà hệ thống đem lại giữa các nhóm thực nghiệm và nhóm đối chứng cho thấy hiệu quả của hệ thống so với việc học bằng tranh tiêu bản và mô hình nhựa. Hệ thống có thể sử dụng trên nhiều nền tảng thiết bị, giúp tiết kiệm chi phí mua sắm, chi phí bảo dưỡng các mô hình, tranh ảnh, tiêu bản. Ở Việt Nam hiện nay, việc xây dựng phần mềm ứng dụng trong ngành y tế còn có nhiều hạn chế, vẫn là mảng đang bị bỏ ngỏ, chưa có đầu tư nào thích đáng. Tương tự, những ứng dụng về mô phỏng trong chẩn đoán bệnh hoặc luyện nghề của các trường học và các trung tâm y tế rất ít. Đây thực sự là bài toán được đặt ra cho các trường Đại học, các nhà phát triển phần mềm và các bệnh viện, Bộ Y tế cần phối hợp lại với nhau để tạo ra được các sản phẩm ứng dụng liên ngành có giá trị cao trong đào tạo ở nhà trường cũng như đào tạo nâng cao tay nghề trong các cơ sở y tế. Với hệ thống được xây dựng sẽ giúp người học tiếp cận các vấn đề trên dễ dàng, chi phí thấp mà đem lại hiệu quả cao. Hệ thống là nền tảng để phát triển các dự án về mô phỏng y khoa, tiến tới thực hiện ứng dụng công nghệ để khám chữa bệnh từ xa (*Telemedicine*). Để triển khai hệ thống đào tạo và khám bệnh từ xa một trong những yếu tố quan trọng là bảo mật thông tin, dữ liệu y tế của người dùng. Do vậy, nghiên cứu sinh áp dụng kỹ thuật tăng cường mã hóa dữ liệu y tế trên đường truyền trong các hệ thống phân tán dựa trên IoT sử dụng thuật toán Memetic kết hợp phép biến đổi DWT để tăng bảo mật và an toàn thông tin y tế. Các kết quả nghiên cứu trong Chương 3 được công bố trong các công trình [CT-4], [CT-5], [CT-6].

Kết luận và hướng phát triển

Trong luận án, nghiên cứu sinh đã trình bày về mô hình mô phỏng trong y học, mô hình bài toán và nguyên lý tối ưu mô hình 3D. Luận án tập trung phân tích, đánh giá các hướng tiếp cận xử lý đối tượng 3D gần đây gồm: tiếp cận tối ưu bề mặt lưới tam giác, lưới tứ giác, làm mịn bề mặt lưới, chiếu sáng, tạo bóng đối tượng và tương tác đối tượng 3D. Từ những phân tích đó, nghiên cứu sinh đề xuất một số kỹ thuật xử lý đối tượng 3D và triển khai ứng dụng công nghệ thực tại ảo xây dựng hệ thống mô phỏng một số bộ phận trên cơ thể con người Việt nhằm trợ giúp cho việc giảng dạy, đào tạo và nghiên cứu trong y học.

1. Các đóng góp của luận án

Những kết quả nghiên cứu của luận án có ý nghĩa trong việc bổ sung và hoàn thiện các kỹ thuật xử lý, tối ưu đối tượng 3D phức tạp và mô phỏng ứng dụng trong y học. Cụ thể, các đóng góp mới của quá trình nghiên cứu luận án như sau:

- 1) Đề xuất kỹ thuật lựa chọn màu RGB hiệu quả cho cấu trúc đối tượng 3D phức tạp dựa trên kết hợp phương pháp gắn thẻ, đánh dấu bằng cách chọn vùng màu RGB trên cấu trúc đối tượng. Từ các mã màu RGB sẽ tiến hành gắn thẻ ID và tạo các bảng quan hệ lưu trữ thông tin liên quan về các khu vực cụ thể của giải phẫu. Việc sử dụng toàn bộ tập giá trị màu (R, G, B) để xác định một tập hợp các vùng giải phẫu giúp xác định nhiều vùng chồng lấp của đối tượng giúp biểu diễn đối tượng phức tạp một cách hiệu quả và rõ nét hơn.
- 2) Đề xuất kỹ thuật nâng cao hiệu quả tương tác với đa người dùng trong thực tế ảo tăng cường với các kịch bản các người dùng có cùng không gian địa lý và khác không gian địa lý. Giải pháp đưa ra là xác định, đánh dấu các pin và vị trí tương tác trên các đối tượng 3D để thiết lập vùng màu và vị trí tương tác dưới các góc nhìn khác nhau của đa người dùng trên cùng một đối tượng. Kỹ thuật đề xuất cho phép nhiều tương tác được thực hiện đồng thời trên nhiều thiết bị khác nhau với nhiều người cùng sử dụng với độ trễ thấp và hiển thị chính xác vị trí mô hình thực tại ảo.

- 3) Đề xuất thuật toán Memetic tăng cường mã hóa dữ liệu y tế trên đường truyền trong các hệ thống phân tán dựa trên IoT sử dụng thuật toán Memetic kết hợp phép biến đổi DWT. Kết quả của thuật toán đề xuất được đánh giá bằng cách sử dụng các số liệu hiệu suất như PSNR, MSE, SSIM, tương quan, SC và BER cho thấy hiệu quả của thuật toán được đề xuất so với các phương pháp hiện có. Khi so sánh biểu đồ của các thông điệp được bao phủ và thông báo gốc cả về hình ảnh màu và thang độ xám, không có nhiều sai lệch trong các giá trị PSNR, điều này cho thấy rằng thuật toán được đề xuất hoạt động tốt hơn trong quy trình mã hóa và giải mã. Do đó, các mối quan tâm về bảo mật trong hệ thống chăm sóc sức khỏe thông qua IoT có tính bảo mật và an toàn cao.
- 4) Ứng dụng các kỹ thuật trên xây dựng hệ thống mô phỏng cơ thể người. Hệ thống cung cấp giao diện cho phép người sử dụng có thể thao tác để có thể quan sát được hình ảnh của các bộ phận có thể tìm kiếm, tra cứu thông tin thông qua những thông tin mẫu.

2. Hướng phát triển

Những vấn đề đề cập đến trong luận án bao phủ trên khá nhiều nội dung, đối với mỗi một nội dung trình bày ở từng chương đều có thể tìm thấy những vấn đề có thể sử dụng để đề xuất nội dung làm định hướng nghiên cứu cho các công trình tiếp theo. Điều đó thể hiện tính mở của những vấn đề đã được nghiên cứu sinh đề cập tới trong luận án. Một số hướng mở của luận án có thể được tiếp tục nghiên cứu là:

- 1) Nghiên cứu các thuật toán hiệu quả để làm mịn bề mặt các đối tượng 3D phức tạp dựa trên việc tối ưu nén các lưới mô hình. Đặc biệt là các thuật toán tạo bóng mờ dựa trên dữ liệu đầu vào không tin cậy.
- 2) Nghiên cứu các thuật toán tối ưu thao tác điều hướng đa góc nhìn từ đa người dùng trong môi trường 3D. Tối ưu kỹ thuật chia sẻ mô hình đa người dùng trên cùng không gian và khác không gian địa lý.
- 3) Nghiên cứu các thuật toán mã hóa đối tượng 3D hiệu quả để nén dữ liệu và tăng cường độ bảo mật khi truyền tải dữ liệu giữa các thiết bị.

Danh mục công trình khoa học của tác giả liên quan đến luận án

- [CT-1] | **Chung Van Le**, Trinh Hiep Hoa, Nguyen Minh Duc, Vikram Puri, Nguyen Tung Sanh, Dac-Nhuong Le (2021), Design and Development of Collaborative AR System for Anatomy Training, Intelligent Automation & Soft Computing, vol. 27, no. 3, pp.853-871, ISSN 1079-8587 (**SCIE IF 1.647**).
DOI: 10.32604/iasc.2021.013732
- [CT-2] | Srinath Doss, Jothi Paranthaman, Suseendran G, Akila D, Souvik Pal, Balaganesh. D, **Chung Le Van**, Dac-Nhuong Le (2021), *Memetic Optimization with Cryptographic Encryption for Secure Medical Data Transmission in IoT-based Distributed Systems*, Computers, Materials & Continua, vol. 66, no. 2, pp. 1577-1594, ISSN: 1546-2218 (**SCIE IF 3.772**). (Tác giả liên hệ)
DOI:10.32604/cmc.2020.012379
- [CT-3] | **Chung Le Van**, Gia Nhu Nguyen, Tri Huu Nguyen, Tung Sanh Nguyen, Dac-Nhuong Le (2020), *An Effective RGB Color Selection for Complex 3D Object Structure in Scene Graph Systems*, International Journal of Electrical and Computer Engineering, vol.10, no. 6, pp. 5951-5964. ISSN 2088-8708. (**Scopus Q2**).
DOI:10.11591/ijece.v10i6.pp5951-5964.
- [CT-4] | **Chung Van Le**, Gia Nhu Nguyen, Tung Sanh Nguyen, Tri Huu Nguyen, Dac-Nhuong Le (2020), *Applying 3D VR Technology for Human Body Simulation to Teaching, Learning and Studying*, Emerging Extended Reality Technologies for Industry 4.0: Early Experiences with Conception, Design, Implementation, Evaluation and Deployment, pp.17-28. John Wiley & Sons. ISBN 978-1119654636. (Book Chapter) (**Scopus**)
DOI:10.1002/9781119654674.ch2
- [CT-5] | **Chung Van Le**, Jolanda G. Tromp, Vikram Puri (2018), *Using 3D Simulation in Medical Education: A Comparative Test of Teaching Anatomy Using Virtual Reality*, Emerging Technologies for Health and Medicine: Virtual Reality, Augmented Reality, Artificial Intelligence, Internet of Things, Robotics, Industry 4.0, pp.12-21. John Wiley & Sons. ISBN: 978-1-119-50981-3. (Book Chapter) (**Scopus**)
DOI: 10.1002/9781119509875.ch2
- [CT-6] | Jolanda G. Tromp, **Chung Van Le**, Le Nguyen Bao, Dac-Nhuong Le (2018). *Massively Multi-User Online Social Virtual Reality Systems: Ethical Issues and Risks for Long-Term Use*. In Social Networks Science: Design, Implementation, Security, and Challenges, pp. 131-149. Springer. (**Scopus**)
DOI: 10.1007/978-3-319-90059-9_7

Một số công bố khác

- [CB-1] **Chung Van Le**, Vikram Puri, Nguyen Thanh Thao, Dac-Nhuong Le (2021), *Detecting Lumbar implant and Diagnosing Scoliosis from Vietnamese X-Ray Imaging using the Pre-Trained API Models and Transfer Learning*, Computers, Materials & Continua, vol. 66, no. 1, pp. 17-33, ISSN: 1546-2218 (**SCIE IF 3.772**). DOI: 10.32604/cmc.2020.013125
- [CB-2] Jolanda G. Tromp, Dac-Nhuong Le, **Chung Van Le** (2020). *Emerging Extended Reality Technologies for Industry 4.0: Early Experiences with Conception, Design, Implementation, Evaluation and Deployment*. John Wiley & Sons. ISBN 978-1119654636. (Book Editor) (**Scopus**) DOI: 10.1002/9781119654674
- [CB-3] Dac-Nhuong Le, **Chung Van Le**, Jolanda G. Tromp, Nguyen Gia Nhu (2018). *Emerging Technologies for Health and Medicine: Virtual Reality, Augmented Reality, Artificial Intelligence, Internet of Things, Robotics, Industry 4.0*. John Wiley & Sons. ISBN: 978-1-119-50987-5. (Book Editor) (**Scopus**) DOI: 10.1002/9781119509875

Tài liệu tham khảo

- [1] Ahmed Abdelaziz, Mohamed Elhoseny, Ahmed S Salama, and AM Riad. A machine learning model for improving healthcare services on cloud computing environment. *Measurement*, 119:117–128, 2018.
- [2] Bassem Abid, Nejmeddine Hentati, Jean-Marc Chevallier, Ali Ghorbel, Vincent Delmas, and Richard Douard. Traditional versus three-dimensional teaching of peritoneal embryogenesis: a comparative prospective study. *Surgical and radiologic anatomy*, 32(7):647–652, 2010.
- [3] Murat Akçayır and Gökçe Akçayır. Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20:1–11, 2017.
- [4] AH Al-Khalifah, RJ McCrindle, PM Sharkey, and VN Alexandrov. Using virtual reality for medical diagnosis, training and education. *ICDVRAT 2006*, 2006.
- [5] Mohammad Rasmi AL-Mousa, Fadi Al-salameen, and Khaled Al-Qawasmi. Using encryption square key with one-dimensional matrix for enhancing rgb color image encryption-decryption. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 9(3):771–777, 2018.
- [6] Ayidh Alharbi and M-Tahar Kechadi. A steganography technique for images based on wavelet transform. In *International Conference on Future Data and Security Engineering*, pages 273–281. Springer, 2017.
- [7] Asmaa Sabet Anwar, Kareem Kamal A Ghany, and Hesham El Mahdy. Improving the security of images transmission. *International Journal*, 3(4):7–13, 2015.
- [8] Jorge Luis Bacca Acosta, Silvia Margarita Baldiris Navarro, Ramon Fabregat Gesa, Sabine Graf, et al. Augmented reality trends in education: a systematic review of research and applications. *Journal of Educational Technology and Society*, 2014, vol. 17, núm. 4, p. 133-149, 2014.
- [9] Anupam Kumar Bairagi, Rahamatullah Khondoker, and Rafiqul Islam. An efficient steganographic approach for protecting communication in the internet of things (iot) critical infrastructures. *Information Security Journal: A Global Perspective*, 25(4-6):197–212, 2016.
- [10] Akos Balázs, Michael Guthe, and Reinhard Klein. Fat borders: gap filling for efficient view-dependent lod nurbs rendering. *Computers & Graphics*, 28(1):79–85, 2004.
- [11] Mary Lou Bareither, Vered Arbel, Meghan Growe, Emily Muszczyński, Adam Rudd, and Jane R Marone. Clay modeling versus written modules as effective interventions in understanding human anatomy. *Anatomical sciences education*, 6(3):170–176, 2013.
- [12] Jonathan T Barron and Jitendra Malik. Shape, illumination, and reflectance from shading. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 37(8):1670–1687, 2014.
- [13] Ahmed Bashir, ASB Hasan, and H Almangush. A new image encryption approach using the integration of a shifting technique and the aes algorithm. *International Journal of Computers and Applications*, 42(9):38–45, 2012.

- [14] Martin Bauer, Gerd Kortuem, and Zary Segall. "where are you pointing at?" a study of remote collaboration in a wearable videoconference system. In *Digest of Papers. Third International Symposium on Wearable Computers*, pages 151–158. IEEE, 1999.
- [15] Adam Baumberg. Blending images for texturing 3d models. In *Bmvc*, volume 3, page 5. Citeseer, 2002.
- [16] Mark Billinghurst and Hirokazu Kato. Collaborative augmented reality. *Communications of the ACM*, 45(7):64–70, 2002.
- [17] Jonathan Blackledge, Sergei Bezobrazov, Paul Tobin, and Francesco Zamora. Cryptography using evolutionary computing. 2013.
- [18] YAGV Boas. Overview of virtual reality technologies. In *Interactive Multimedia Conference*, volume 2013, page 4, 2013.
- [19] Sébastien Bottecchia, Jean-Marc Cieutat, and Jean-Pierre Jessel. Tac: augmented reality system for collaborative tele-assistance in the field of maintenance through internet. In *Proceedings of the 1st Augmented Human International Conference*, pages 1–7, 2010.
- [20] Julie Carmigniani, Borko Furht, Marco Anisetti, Paolo Ceravolo, Ernesto Damiani, and Misa Ivkovic. Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia tools and applications*, 51(1):341–377, 2011.
- [21] Jonathan C Carr, Richard K Beatson, Jon B Cherrie, Tim J Mitchell, W Richard Fright, Bruce C McCallum, and Tim R Evans. Reconstruction and representation of 3d objects with radial basis functions. In *Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 67–76, 2001.
- [22] Jeff Chastine, Kristine Nagel, Ying Zhu, and Mary Hudachek-Buswell. Studies on the effectiveness of virtual pointers in collaborative augmented reality. In *2008 IEEE Symposium on 3D User Interfaces*, pages 117–124. IEEE, 2008.
- [23] Derek L Choi-Lundberg, Tze Feng Low, Phillip Patman, Paul Turner, and Sankar N Sinha. Medical student preferences for self-directed study resources in gross anatomy. *Anatomical sciences education*, 9(2):150–160, 2016.
- [24] Christopher B Choy, Danfei Xu, JunYoung Gwak, Kevin Chen, and Silvio Savarese. 3d-r2n2: A unified approach for single and multi-view 3d object reconstruction. In *European conference on computer vision*, pages 628–644. Springer, 2016.
- [25] Dongmei Cui, Timothy D Wilson, Robin W Rockhold, Michael N Lehman, and James C Lynch. Evaluation of the effectiveness of 3d vascular stereoscopic models in anatomy instruction for first year medical students. *Anatomical sciences education*, 10(1):34–45, 2017.
- [26] Ashraf Darwish, Aboul Ella Hassanien, Mohamed Elhoseny, Arun Kumar Sangaiah, and Khan Muhammad. The impact of the hybrid platform of internet of things and cloud computing on healthcare systems: opportunities, challenges, and open problems. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(10):4151–4166, 2019.
- [27] Amaël Delaunoy and Emmanuel Prados. Gradient flows for optimizing triangular mesh-based surfaces: Applications to 3d reconstruction problems dealing with visibility. *International journal of computer vision*, 95(2):100–123, 2011.
- [28] C Ece and MMU Mullana. Image quality assessment techniques pn spatial domain. *IJCST*, 2(3):177, 2011.

- [29] Jan Egger, Christopher Nimsky, and Xiaojun Chen. Vertebral body segmentation with growcut: Initial experience, workflow and practical application. *SAGE open medicine*, 5:2050312117740984, 2017.
- [30] Mohamed Elhoseny, Gustavo Ramírez-González, Osama M Abu-Elnasr, Shihab A Shawkat, N Arunkumar, and Ahmed Farouk. Secure medical data transmission model for iot-based healthcare systems. *Ieee Access*, 6:20596–20608, 2018.
- [31] Caroline Erolin. Interactive 3d digital models for anatomy and medical education. *Biomedical visualisation*, pages 1–16, 2019.
- [32] Vergen et al. Wikitude. <https://www.wikitude.com/>. Accessed: 2020-07-15.
- [33] Haoqiang Fan, Hao Su, and Leonidas J Guibas. A point set generation network for 3d object reconstruction from a single image. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pages 605–613, 2017.
- [34] Bernd Flemisch and Barbara I Wohlmuth. Stable lagrange multipliers for quadrilateral meshes of curved interfaces in 3d. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 196(8):1589–1602, 2007.
- [35] Christoph Fünzig. *Spherical Techniques and their Applications in a Scene Graph System: Collision Detection and Occlusion Culling*. Cuvillier Verlag, 2007.
- [36] Shuming Gao, Huagen Wan, and Qunsheng Peng. An approach to solid modeling in a semi-immersive virtual environment. *Computers & Graphics*, 24(2):191–202, 2000.
- [37] Raquel Gargallo-Caballero, Laura Martín-García, Adrián Quesada, Cecilia Granados-Miralles, Michael Foerster, Lucía Aballe, Roland Bliem, Gareth S Parkinson, Peter Blaha, José F Marco, et al. Co on fe3o4 (001): Towards precise control of surface properties. *The Journal of chemical physics*, 144(9):094704, 2016.
- [38] Rohit Girdhar, David F Fouhey, Mikel Rodriguez, and Abhinav Gupta. Learning a predictable and generative vector representation for objects. In *European Conference on Computer Vision*, pages 484–499. Springer, 2016.
- [39] Hanry Ham, Julian Wesley, and Hendra Hendra. Computer vision based 3d reconstruction: A review. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 9(4):2394, 2019.
- [40] Matthew G Hanna, Ishtiaque Ahmed, Jeffrey Nine, Shyam Prajapati, and Liron Pantanowitz. Augmented reality technology using microsoft hololens in anatomic pathology. *Archives of pathology & laboratory medicine*, 142(5):638–644, 2018.
- [41] Jude D Hemanth, Utku Kose, Omer Deperlioglu, and Victor Hugo C de Albuquerque. An augmented reality-supported mobile application for diagnosis of heart diseases. *The Journal of Supercomputing*, 76(2):1242–1267, 2020.
- [42] Nady Hoyek, Christian Collet, Franck Di Rienzo, Mickael De Almeida, and Aymeric Guillot. Effectiveness of three-dimensional digital animation in teaching human anatomy in an authentic classroom context. *Anatomical sciences education*, 7(6):430–437, 2014.
- [43] Amanda Hu, Tim Wilson, Hanif Ladak, Peter Haase, Philip Doyle, and Kevin Fung. Evaluation of a three-dimensional educational computer model of the larynx: voicing a new direction. *Journal of Otolaryngology–Head & Neck Surgery*, 39(3), 2010.

- [44] Jian Hu, Hao Yu, Jun Shao, Zhiyong Li, Jiawei Wang, and Yining Wang. Effects of dental 3d multimedia system on the performance of junior dental students in preclinical practice: a report from china. *Advances in health sciences education*, 14(1):123–133, 2009.
- [45] Kuo-Ting Huang, Christopher Ball, Jessica Francis, Rabindra Ratan, Josephine Boumis, and Joseph Fordham. Augmented versus virtual reality in education: an exploratory study examining science knowledge retention when using augmented reality/virtual reality mobile applications. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 22(2):105–110, 2019.
- [46] Sherina Izzaty, Herman Tolle, Rizdania Dermawi, and Frihandhika Permana. Augmented reality objects design in augmented story book mobile application for better engagement. *International Journal of Electrical & Computer Engineering (2088-8708)*, 9(1), 2019.
- [47] Mamta Jain, Rishabh Charan Choudhary, and Anil Kumar. Secure medical image steganography with rsa cryptography using decision tree. In *2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*, pages 291–295. IEEE, 2016.
- [48] Firas A Jassim. A novel steganography algorithm for hiding text in image using five modulus method. *arXiv preprint arXiv:1307.0642*, 2013.
- [49] Juan A Juanes, Daniel Hernández, Pablo Ruisoto, Elena García, Gabriel Villarrubia, and Alberto Prats. Augmented reality techniques, using mobile devices, for learning human anatomy. In *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*, pages 7–11, 2014.
- [50] Zakaria Kaddour, Soumia D Derrar, and Abed Malti. Vranat: A complete virtual reality platform for academic training in anatomy. In *International Conference on Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development*, pages 395–403. Springer, 2019.
- [51] T KalaiPriyan, J Amudhavel, and Sujatha Pothula. Solving virtual machine placement in cloud data centre based on novel firefly algorithm. *BIOSCIENCE BIOTECHNOLOGY RESEARCH COMMUNICATIONS*, 11(1):48–53, 2018.
- [52] R. S. KALAWSKY. Exploiting virtual reality techniques in education and training : Technological issues. <http://www.man.ac.uk/MVC/SIMA/vrtech/title.html>. URL <https://ci.nii.ac.jp/naid/10010070775/en/>.
- [53] Aleksei Kazantsev and Emil M Petriu. Robust pseudo-random coded colored structured light technique for 3d object model recovery. In *2008 International Workshop on Robotic and Sensors Environments*, pages 150–155. IEEE, 2008.
- [54] Michael Kazhdan and Hugues Hoppe. Screened poisson surface reconstruction. *ACM Transactions on Graphics (ToG)*, 32(3):1–13, 2013.
- [55] Alexander W Keedy, Jeremy C Durack, Parmbir Sandhu, Eric M Chen, Patricia S O’Sullivan, and Richard S Breiman. Comparison of traditional methods with 3d computer models in the instruction of hepatobiliary anatomy. *Anatomical sciences education*, 4(2):84–91, 2011.
- [56] Fatima Khalid, Afeera Irshad Ali, Rana Ramzan Ali, and Muhammad Shahid Bhatti. Ared: Anatomy learning using augmented reality application. In *2019 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET)*, pages 1–6. IEEE, 2019.
- [57] Kwanguk Kim, M. Zachary Rosenthal, David Zielinski, and Rachel Brady. Comparison of desktop, head mounted display, and six wall fully immersive systems using a stressful task. In *2012 IEEE Virtual Reality Workshops (VRW)*, pages 143–144, 2012. doi: 10.1109/VR.2012.6180922.

- [58] Michael H Kurniawan, Gunawan Witjaksono, et al. Human anatomy learning systems using augmented reality on mobile application. *Procedia Computer Science*, 135:80–88, 2018.
- [59] Hideaki Kuzuoka. Spatial workspace collaboration: a sharedview video support system for remote collaboration capability. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 533–540, 1992.
- [60] Qing Lan, Qing Zhu, Liang Xu, and Tao Xu. Application of 3d-printed cranio-cerebral model in simulated surgery for complex intracranial lesions. *World neurosurgery*, 134:e761–e770, 2020.
- [61] Joseph J LaViola Jr, Ernst Kruijff, Ryan P McMahan, Doug Bowman, and Ivan P Poupyrev. *3D user interfaces: theory and practice*. Addison-Wesley Professional, 2017.
- [62] Chung Le Van, Trinh Hiep Hoa, Nguyen Minh Duc, Vikram Puri, Tung Sanh Nguyen, and Dac-Nhuong Le. Design and development of collaborative ar system for anatomy training. *INTELLIGENT AUTOMATION AND SOFT COMPUTING*, 27(3):853–871, 2021.
- [63] Jun Li, Kai Xu, Siddhartha Chaudhuri, Ersin Yumer, Hao Zhang, and Leonidas Guibas. Grass: Generative recursive autoencoders for shape structures. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 36(4):1–14, 2017.
- [64] Hongwei Lin, Guojin Wang, and Chenshi Dong. Constructing iterative non-uniform b-spline curve and surface to fit data points. *Science in China Series: Information Sciences*, 47(3):315–331, 2004.
- [65] Chengzhi Liu and Zhongyun Liu. Progressive iterative approximation with preconditioners. *Mathematics*, 8(9):1503, 2020.
- [66] Haowei Liu, Matthai Philipose, and Ming-Ting Sun. Automatic objects segmentation with rgb-d cameras. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 25(4):709–718, 2014.
- [67] Mingzeng Liu, Baojun Li, Qingjie Guo, Chungang Zhu, Ping Hu, and Yuanhai Shao. Progressive iterative approximation for regularized least square bivariate b-spline surface fitting. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 327: 175–187, 2018.
- [68] Shaohui Liu, Yinda Zhang, Songyou Peng, Boxin Shi, Marc Pollefeys, and Zhaopeng Cui. Dist: Rendering deep implicit signed distance function with differentiable sphere tracing. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 2019–2028, 2020.
- [69] Lizheng Lu. Weighted progressive iteration approximation and convergence analysis. *Computer Aided Geometric Design*, 27(2):129–137, 2010.
- [70] Tim C Lukins and Emanuele Trucco. Towards automated visual assessment of progress in construction projects. In *BMVC*, pages 1–10, 2007.
- [71] Meng Ma, Pascal Fallavollita, Ina Seelbach, Anna Maria Von Der Heide, Ekkehard Euler, Jens Waschke, and Nassir Navab. Personalized augmented reality for anatomy education. *Clinical Anatomy*, 29(4):446–453, 2016.
- [72] Pavithran Maniam, Philipp Schnell, Lilly Dan, Rony Portelli, Caroline Erolin, Rodney Mountain, and Tracey Wilkinson. Exploration of temporal bone anatomy using mixed reality (hololens): development of a mixed reality anatomy teaching resource prototype. *Journal of visual communication in medicine*, 43(1):17–26, 2020.

- [73] Septimiu Fabian Mare, Mircea Vladutiu, and Lucian Prodan. Secret data communication system using steganography, aes and rsa. In *2011 IEEE 17th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, pages 339–344. IEEE, 2011.
- [74] Karen R Marsh, Bruce F Giffin, and Donald J Lowrie Jr. Medical student retention of embryonic development: impact of the dimensions added by multimedia tutorials. *Anatomical sciences education*, 1(6):252–257, 2008.
- [75] Fintan J McEvoy and Eiliv Svalastoga. Security of patient and study data associated with dicom images when transferred using compact disc media. *Journal of Digital Imaging*, 22(1):65–70, 2009.
- [76] Ma Meng, Pascal Fallavollita, Tobias Blum, Ulrich Eck, Christian Sandor, Simon Weidert, Jens Waschke, and Nassir Navab. Kinect for interactive ar anatomy learning. In *2013 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pages 277–278. IEEE, 2013.
- [77] Péter Mileff and Judit Dudra. Advanced 2d rasterization on modern cpus. In *Applied Information Science, Engineering and Technology*, pages 63–79. Springer, 2014.
- [78] Swati Mishra and Siddharth Bali. Public key cryptography using genetic algorithm. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 2(2):150–154, 2013.
- [79] Bryan S Morse, Terry S Yoo, Penny Rheingans, David T Chen, and Kalpathi R Subramanian. Interpolating implicit surfaces from scattered surface data using compactly supported radial basis functions. In *ACM SIGGRAPH 2005 Courses*, pages 78–es. 2005.
- [80] Khan Muhammad, Jamil Ahmad, Haleem Farman, Zahoor Jan, Muhammad Sajjad, Sung Wook Baik, et al. A secure method for color image steganography using gray-level modification and multi-level encryption. *TIIS*, 9(5):1938–1962, 2015.
- [81] Amarnath Murugan, Ganesh A Balaji, and R Rajkumar. Anatomymr: A multi-user mixed reality platform for medical education. In *Journal of Physics: Conference Series*, volume 1362, page 012099. IOP Publishing, 2019.
- [82] Frank H Netter. *Atlas of human anatomy, Professional Edition E-Book: including NetterReference. com Access with full downloadable image Bank*. Elsevier health sciences, 2014.
- [83] Aleš Neubert, Jurgen Fripp, Craig Engstrom, Raphael Schwarz, Lars Lauer, Olivier Salvado, and Stuart Crozier. Automated detection, 3d segmentation and analysis of high resolution spine mr images using statistical shape models. *Physics in Medicine & Biology*, 57(24):8357, 2012.
- [84] Xingjie Ni, Zi Jing Wong, Michael Mrejen, Yuan Wang, and Xiang Zhang. An ultrathin invisibility skin cloak for visible light. *Science*, 349(6254):1310–1314, 2015.
- [85] Chengjie Niu, Jun Li, and Kai Xu. Im2struct: Recovering 3d shape structure from a single rgb image. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pages 4521–4529, 2018.
- [86] Stefano Nuvoli. Composing quadrilateral meshes for animation. 2021.
- [87] Chang-Seok Oh, Ji-Young Kim, and Yeon Hyeon Choe. Learning of cross-sectional anatomy using clay models. *Anatomical sciences education*, 2(4):156–159, 2009.
- [88] Yutaka Ohtake, Alexander Belyaev, and Hans-Peter Seidel. Multi-scale and adaptive cs-rbfs for shape reconstruction from clouds of points. In *Advances in Multiresolution for Geometric Modelling*, pages 143–154. Springer, 2005.

- [89] Daniel Paes, Javier Irizarry, and Diego Pujoni. An evidence of cognitive benefits from immersive design review: Comparing three-dimensional perception and presence between immersive and non-immersive virtual environments. *Automation in Construction*, 130:103849, 2021.
- [90] Souvik Pal, Raghvendra Kumar, Krishnan Saravanan, Mohamed Abdel-Basset, Gunasekaran Manogaran, Pham Huy Thong, et al. Novel probabilistic resource migration algorithm for cross-cloud live migration of virtual machines in public cloud. *The Journal of Supercomputing*, 75(9):5848–5865, 2019.
- [91] Maodong Pan, Weihua Tong, and Falai Chen. Compact implicit surface reconstruction via low-rank tensor approximation. *computer-aided design*, 78:158–167, 2016.
- [92] Peter Podbreznik and Danijel Rebolj. Real-time activity tracking system—the development process. In *24th CIB W78 Conf. “Bringing ICT Knowledge to Work, 2007*.
- [93] U Prabu, G Priyadharshini, M Saranya, N Resma Parveen, M Shanmugam, J Amudhavel, et al. Efficient personal identification using multimodal biometrics. In *2015 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2015]*, pages 1–5. IEEE, 2015.
- [94] Philip Pratt, Matthew Ives, Graham Lawton, Jonathan Simmons, Nasko Radev, Liana Spyropoulou, and Dimitri Amiras. Through the hololens™ looking glass: augmented reality for extremity reconstruction surgery using 3d vascular models with perforating vessels. *European radiology experimental*, 2(1):1–7, 2018.
- [95] Hossein Rabbani, Michael J Allingham, Priyatham S Mettu, Scott W Cousins, and Sina Farsiu. Fully automatic segmentation of fluorescein leakage in subjects with diabetic macular edema. *Investigative ophthalmology & visual science*, 56(3):1482–1492, 2015.
- [96] Mirza Abdur Razzaq, RA Sheikh, A Baig, and A Ahmad. Digital image security: Fusion of encryption, steganography and watermarking. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 8(5), 2017.
- [97] Andreas Richtsfeld, Thomas Mörwald, Johann Prankl, Michael Zillich, and Markus Vincze. Learning of perceptual grouping for object segmentation on rgb-d data. *Journal of visual communication and image representation*, 25(1):64–73, 2014.
- [98] Claudio Rocchini, Paolo Cignoni, Claudio Montani, and Roberto Scopigno. Multiple textures stitching and blending on 3d objects. In *Eurographics Workshop on Rendering Techniques*, pages 119–130. Springer, 1999.
- [99] Anatun Nadrah Rosman, Noor Azah Samsudin, Azizan Ismail, Muhammad Syariff Aripin, and Shamsul Kamal Ahmad Khalid. Augmented reality application for location finder guidance. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 13(3):1237–1242, 2019.
- [100] Robert E Roth, Andrew W Woodruff, and Zachary F Johnson. Value-by-alpha maps: An alternative technique to the cartogram. *The Cartographic Journal*, 47(2):130–140, 2010.
- [101] Mandar S Sapre, Anand J Kulkarni, and Sumit S Shinde. Finite element mesh smoothing using cohort intelligence. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Data Engineering and Communication Technology*, pages 469–480. Springer, 2019.
- [102] Richard M Satava. Accomplishments and challenges of surgical simulation. *Surgical endoscopy*, 15(3):232–241, 2001.

- [103] Abdulaziz Shehab, Mohamed Elhoseny, Khan Muhammad, Arun Kumar Sangaiah, Po Yang, Haojun Huang, and Guolin Hou. Secure and robust fragile watermarking scheme for medical images. *IEEE Access*, 6:10269–10278, 2018.
- [104] NAAI-JUNG Shih and PH Wang. Study on construction inaccuracies between point-cloud and building construction models. In *Proceedings of 9th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRRIA 2004)*, pages 623–632, 2004.
- [105] Weixin Si, Xianavun Liao, Qiong Wang, and Phena-Ann Heng. Augmented reality-based personalized virtual operative anatomy for neurosurgical guidance and training. In *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pages 683–684. IEEE, 2018.
- [106] Eric A Silva, Karen Panetta, and Sos S Aгаian. Quantifying image similarity using measure of enhancement by entropy. In *Mobile Multimedia/Image Processing for Military and Security Applications 2007*, volume 6579, page 65790U. International Society for Optics and Photonics, 2007.
- [107] Hyojoo Son and Changwan Kim. 3d structural component recognition and modeling method using color and 3d data for construction progress monitoring. *Automation in Construction*, 19(7):844–854, 2010.
- [108] MS Sreekutty and PS Baiju. Security enhancement in image steganography for medical integrity verification system. In *2017 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, pages 1–5. IEEE, 2017.
- [109] Anthony Steed and Ralph Schroeder. Collaboration in immersive and non-immersive virtual environments. In *Immersed in Media*, pages 263–282. Springer, 2015.
- [110] Frank Steinicke and Gerd Bruder. A self-experimentation report about long-term use of fully-immersive technology. In *Proceedings of the 2nd ACM symposium on Spatial user interaction*, pages 66–69, 2014.
- [111] Kalaipriyan Thirugnanasambandam, Sourabh Prakash, Venkatesan Subramanian, Sujatha Pothula, and Vengattaraman Thirumal. Reinforced cuckoo search algorithm-based multimodal optimization. *Applied Intelligence*, 49(6):2059–2083, 2019.
- [112] Gerard J Tortora and Bryan H Derrickson. *Principles of anatomy and physiology*. John Wiley & Sons, 2018.
- [113] Anna NA Tosteson, Jonathan S Skinner, Tor D Tosteson, Jon D Lurie, Gunnar Andersson, Sig Berven, Margaret R Grove, Brett Hanscom, and James N Weinstein. The cost effectiveness of surgical versus non-operative treatment for lumbar disc herniation over two years: evidence from the spine patient outcomes research trial (sport). *Spine*, 33(19):2108, 2008.
- [114] Jolanda G Tromp, Dac-Nhuong Le, and Chung Van Le. *Emerging Extended Reality Technologies for Industry 4.0: Early Experiences with Conception, Design, Implementation, Evaluation and Deployment*. John Wiley & Sons, 2020.
- [115] Emanuele Trucco and Ammar P Kaka. A framework for automatic progress assessment on construction sites using computer vision. *International Journal of IT in Architecture Engineering and Construction*, 2:147–164, 2004.
- [116] Shubham Tulsiani, Hao Su, Leonidas J Guibas, Alexei A Efros, and Jitendra Malik. Learning shape abstractions by assembling volumetric primitives. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 2635–2643, 2017.

- [117] Rogier Van de Pol, William Ribarsky, Larry F Hodges, and Frits H Post. Interaction in semi-immersive large display environments. Technical report, Georgia Institute of Technology, 1998.
- [118] DWF Van Krevelen and Ronald Poelman. A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. *International journal of virtual reality*, 9(2):1–20, 2010.
- [119] Ramiro Serrano Vergel, Pedro Morillo Tena, Sergio Casas Yrurzum, and Carolina Cruz-Neira. A comparative evaluation of a virtual reality table and a hololens-based augmented reality system for anatomy training. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 50(4):337–348, 2020.
- [120] Ryan Viertel and Braxton Osting. An approach to quad meshing based on harmonic cross-valued maps and the ginzburg–landau theory. *SIAM Journal on Scientific Computing*, 41(1):A452–A479, 2019.
- [121] Gang Wang, Xiaodong Zhang, Chengzhi Zhu, He Wang, Lin Peng, and Zhansheng Hou. Research on 3d terminal rendering technology based on power equipment business features. In *Recent Trends in Intelligent Computing, Communication and Devices*, pages 175–181. Springer, 2020.
- [122] Zhou Wang, Alan C Bovik, Hamid R Sheikh, and Eero P Simoncelli. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. *IEEE transactions on image processing*, 13(4):600–612, 2004.
- [123] Mohammad Wedyan, AL-Jumaily Adel, and Osama Dorgham. The use of augmented reality in the diagnosis and treatment of autistic children: a review and a new system. *Multimedia Tools and Applications*, 79(25):18245–18291, 2020.
- [124] William Whitehead, Steven Moran, Bilwaj Gaonkar, Luke Macyszyn, and Subramanian Iyer. A deep learning approach to spine segmentation using a feed-forward chain of pixel-wise convolutional networks. In *2018 IEEE 15th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI 2018)*, pages 868–871. IEEE, 2018.
- [125] Dorthe Wildenschild, CMP Vaz, ML Rivers, D Rikard, and BSB Christensen. Using x-ray computed tomography in hydrology: systems, resolutions, and limitations. *Journal of Hydrology*, 267(3-4):285–297, 2002.
- [126] Cort J Willmott and Kenji Matsuura. Advantages of the mean absolute error (mae) over the root mean square error (rmse) in assessing average model performance. *Climate research*, 30(1):79–82, 2005.
- [127] Rahmita Wirza, Shah Nazir, Habib Ullah Khan, Iván García-Magariño, and Rohul Amin. Augmented reality interface for complex anatomy learning in the central nervous system: a systematic review. *Journal of healthcare engineering*, 2020, 2020.
- [128] Hamdi Yalin Yalic and Ahmet Burak Can. Automatic object segmentation on rgb-d data using surface normals and region similarity. In *VISIGRAPP (4: VISAPP)*, pages 379–386, 2018.
- [129] Lobna Yehia, Ayman Khedr, Ashraf Darwish, et al. Hybrid security techniques for internet of things healthcare applications. *Advances in Internet of Things*, 5(03):21, 2015.
- [130] Zin May Zaw and Su Wai Phyo. Security enhancement system based on the integration of cryptography and steganography. *International Journal of Computer (IJC)*, 19(1):26–39, 2015.