

BỘ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG
HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



NGUYỄN ĐỨC HOÀNG

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG BỀ MẶT ĐỐI TƯỢNG 3D
VÀ ỨNG DỤNG TRONG ĐÀO TẠO NHI KHOA

LUẬN ÁN TIẾN SĨ CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

Hà Nội - 2023

BỘ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG
HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



NGUYỄN ĐỨC HOÀNG

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG BỀ MẶT ĐỐI TƯỢNG 3D
VÀ ỨNG DỤNG TRONG ĐÀO TẠO NHI KHOA

CHUYÊN NGÀNH : KỸ THUẬT MÁY TÍNH

MÃ SỐ: 9.48.01.06

LUẬN ÁN TIẾN SĨ

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

PGS. TS. ĐỖ NĂNG TOÀN

TS. VŨ HỮU TIẾN

Hà Nội - 2023

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan luận án "**Nghiên cứu mô phỏng bề mặt đối tượng 3D và ứng dụng trong đào tạo nhi khoa**" là công trình nghiên cứu do tôi thực hiện, dưới sự hướng dẫn khoa học của PGS.TS. Đỗ Năng Toàn và TS. Vũ Hữu Tiến.

Các số liệu và kết quả trình bày trong luận án là trung thực, chưa được công bố bởi bất kỳ tác giả hay công trình nghiên cứu nào. Tất cả những tham khảo và kế thừa đều được trích dẫn và tham chiếu đầy đủ.

Hà Nội, ngày tháng năm 2023

Nghiên cứu sinh

Nguyễn Đức Hoàng

LỜI CẢM ƠN

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến PGS.TS. Đỗ Năng Toàn và TS. Vũ Hữu Tiên đã tận tình hướng dẫn, truyền đạt kiến thức cũng như kinh nghiệm nghiên cứu khoa học và động viên tôi trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu và hoàn thành luận án.

Tôi chân thành cảm ơn các Thầy Cô trong khoa Công nghệ Thông tin, phòng Khoa học và Sau đại học – Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông; Ban lãnh đạo Viện công nghệ Thông tin và Truyền thông CDIT đã giúp đỡ và quan tâm chân thành, tạo điều kiện thuận lợi và hỗ trợ nhiệt tình trong quá trình học tập, nghiên cứu khoa học, trao đổi chuyên môn và tham gia hội thảo.

Chân thành cảm ơn các nhà khoa học đã tận tình đọc và cho tôi các góp ý quý báu để luận án được hoàn chỉnh.

Chân thành cảm ơn các anh chị nghiên cứu sinh, đồng nghiệp, bạn bè, người thân và gia đình đã luôn bên cạnh, động viên và giúp đỡ tôi trong suốt quá trình học tập và hoàn thành luận án.

Hà Nội, ngày tháng năm

Nghiên cứu sinh

Nguyễn Đức Hoàng

MỤC LỤC	
LỜI CAM ĐOAN	
LỜI CẢM ƠN	
MỤC LỤC	
DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT	
DANH MỤC HÌNH VẼ	
DANH MỤC BẢNG BIỂU	
PHẦN MỞ ĐẦU	1
1. Tính cấp thiết	1
2. Mục tiêu nghiên cứu của luận án	2
3. Đối tượng, phạm vi nghiên cứu của luận án	2
4. Đóng góp chính của luận án	3
5. Ý nghĩa thực tiễn của nghiên cứu	3
6. Phương pháp và nội dung nghiên cứu	4
7. Cấu trúc luận án	4
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ MÔ PHỎNG BỆNH NHÂN ẢO TRONG THỰC HÀNH Y KHOA	6
1.1. Tổng quan về mô phỏng bệnh nhân ảo trong thực hành y khoa	6
1.1.1. Mô phỏng trong thực hành y khoa tiền lâm sàng.....	8
1.1.1.1. Tình hình nghiên cứu trên Thế giới.....	8
1.1.1.2. Tình hình nghiên cứu tại Việt Nam	13
1.1.2. Hệ thống mô phỏng thực hành y khoa tiền lâm sàng.....	15
1.1.3. Một số vấn đề cơ bản trong mô phỏng thực hành y khoa tiền lâm sàng..	17
.....	17
1.2. Mô phỏng bề mặt đối tượng 3D trong y tế	20
1.2.1. Tính toán va chạm giữa các đối tượng 3D	20
1.2.1.1. Bài toán tạo thành hệ lưới của đối tượng 3D.	20
1.2.1.2. Bài toán xác định va chạm của bề mặt đối tượng với các vật thể khác	21
.....	21
1.2.2. Thể hiện màu sắc trong mô phỏng bề mặt đối tượng.....	22
1.2.3. Thể hiện biến đổi hình dạng của đối tượng 3D.....	24
1.3. Một số hướng nghiên cứu được đề xuất trong luận án	26
1.3.1. Thực trạng nghiên cứu ứng dụng mô phỏng da bệnh nhân dưới tác động ngoại lực	26
1.3.2. Các bài toán đề xuất giải quyết	27
1.4. Kết luận chương 1	27
CHƯƠNG 2. MỘT SỐ KỸ THUẬT TÍNH TOÁN GẦN ĐÚNG TRONG XÂY DỰNG VÀ XÁC ĐỊNH TƯƠNG TÁC BỀ MẶT ĐỐI TƯỢNG 3D	29
2.1. Biểu diễn đối tượng 3D trong không gian ảo	29
2.1.1. Kỹ thuật tạo hình đối tượng 3D trong không gian ảo.....	29

2.1.1.1.	Giới thiệu.....	29
2.1.1.2.	Việc thể hiện tạo hình của da người trong môi trường ảo.....	30
2.1.2.	Kỹ thuật tạo màu đối tượng 3D trong không gian ảo.....	34
2.1.2.1.	Một số kỹ thuật tạo màu cho đối tượng trong môi trường ảo.....	34
2.1.2.2.	Việc thể hiện màu sắc của da người trong môi trường ảo.....	34
2.2.	Xử lý va chạm giữa đối tượng 3D trong không gian ảo.....	37
2.2.1.	Xác định va chạm giữa các đối tượng 3D trong không gian ảo.....	38
2.2.2.	Đặc điểm của hệ hộp bao và một số kỹ thuật xây dựng hệ hộp bao tự động.....	42
2.2.2.1.	Một số đặc điểm của hệ hộp bao.....	42
2.2.2.2.	Một số kỹ thuật xây dựng hệ hộp bao tự động.....	48
2.2.3.	Kỹ thuật xác định va chạm đề xuất và đánh giá.....	50
2.2.3.1.	Kỹ thuật xác định va chạm đề xuất.....	50
2.2.3.2.	Thực nghiệm và đánh giá.....	53
2.3.	Kết luận chương 2.....	61
CHƯƠNG 3. MỘT SỐ ỨNG DỤNG CỦA KỸ THUẬT MÔ PHỎNG BỀ MẶT TRONG THỂ HIỆN DA NGƯỜI DƯỚI TÁC ĐỘNG CỦA NGOẠI LỰC.....		63
3.1.	Kỹ thuật tính toán thời gian làm đầy mao mạch.....	63
3.1.1.	Thời gian làm đầy mao mạch của da.....	63
3.1.2.	Tính toán tham số sức khỏe của bệnh nhân ảo dựa tập dữ liệu có sẵn.....	66
3.1.2.1.	Lựa chọn mạng nơ ron lan truyền ngược là công cụ tính toán.....	66
3.1.2.2.	Kỹ thuật tính toán thời gian làm đầy mao mạch sử dụng học máy..	68
3.1.2.3.	Kết quả thực nghiệm.....	71
3.2.	Biểu diễn lớp da đối tượng 3D có tương tác trong mô phỏng y tế.....	74
3.2.1.	Kỹ thuật biến đổi màu sắc của lớp vỏ đối tượng 3D dưới tác động ngoại lực.....	74
3.2.1.1.	Giới thiệu.....	74
3.2.1.2.	Phương pháp tính toán thời gian làm đầy mao mạch CRT.....	74
3.2.1.3.	Kỹ thuật mô phỏng biến đổi hình dạng và màu sắc da dưới tác động ngoại lực.....	75
3.2.1.4.	Kết quả thực nghiệm.....	78
3.2.2.	Kỹ thuật biến đổi hình dạng của lớp vỏ đối tượng 3D dưới tác động ngoại lực.....	81
3.2.2.1.	Giới thiệu.....	81
3.2.2.2.	Kỹ thuật mô phỏng được xây dựng.....	84
3.2.2.3.	Mô tả chi tiết kỹ thuật.....	85
3.2.2.4.	Kết quả thực nghiệm.....	89
3.3.	Kết luận chương 3.....	92
KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN.....		94
1.	Các nội dung đã thực hiện và kết quả đạt được.....	94

2. Những đóng góp mới của luận án	95
3. Ý nghĩa thực tiễn của nghiên cứu	95
4. Hướng nghiên cứu tiếp theo	96
DANH MỤC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA NGHIÊN CỨU SINH LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN.....	97
DANH MỤC CÁC TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	98

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

Tên viết tắt	Tiếng Anh đầy đủ	Giải nghĩa
3D	3 Dimensions	3 chiều
AABB	Axis-aligned bounding box	Hộp bao chính theo trục
ANN	Artificial neural network	Mạng thần kinh nhân tạo
AR	Augmented Reality	Thực tế tăng cường
BVH	Bounding volume hierarchy	Hệ hộp bao
CD	Collision Detection	Xác định va chạm
CF	Conference	Hội thảo
CRT	Capillary refill time	Thời gian làm đầy mao mạch
DOF	Degree of freedom	Bậc tự do
ETAT	Emergency Triage Assessment and Treatment	Đánh giá và điều trị cấp cứu
HMD	Head mounted Display	Thiết bị đeo trên đầu
JN	Journal	Tạp chí
k-DOP	k Discrete oriented polytope	Hộp đa hình định hướng rời rạc
MIST-VR	Minimally Invasive Surgical Trainer - Virtual Reality	Huấn luyện phẫu thuật xâm lấn tối thiểu – thực tế ảo
MR	Mixed Reality	Thực tế hỗn hợp
MRI	Magnetic resonance imaging	Chụp cộng hưởng từ
OBB	Oriented bounding box	Hộp bao theo hướng
PTSD	Posttraumatic stress disorder	Rối loạn sau sang chấn
SBME	Simulation-Based Medical Education	Đào tạo y khoa dựa trên mô phỏng
SVM	Support vector machine	Máy vector hỗ trợ
VR	Virtual Reality	Thực tế ảo
VRET	Virtual reality exposure therapy	Thực tế ảo tiếp xúc điều trị
WHO	The World Health Organization	Tổ chức Y tế Thế giới

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1: Thực hành y tế có sử dụng cả dụng cụ mô phỏng nguyên mẫu và mô phỏng trong môi trường ảo (theo healthysimulation.com)	7
Hình 1.2: Mô phỏng phẫu thuật ảo LAP Mentor multi-disciplinary LAP (theo Simbionix USA Corporation)	11
Hình 1.3: Hệ thống mô phỏng thực hành nha khoa dựa trên các manakin tại Trung Quốc [21]	15
Hình 1.4: Mô hình chuyển đổi từ mô trường thực sang môi trường ảo của Milgram và Kishino 1994	16
Hình 1.5: Sơ đồ hệ thống mô phỏng thực hành Nhi khoa tiền lâm sàng triển khai tại Bệnh viện Nhi Trung ương	17
Hình 1.6: Sự tăng trưởng của các dự án mô phỏng y tế tại Mỹ 2014 – 2026 [18] ..	18
Hình 1.7: Hình ảnh ống nghe điện thoại được tái tạo từ việc xấp xỉ đám mây điểm trong nghiên cứu của Chia-Wei Liao và Gerard Medioni (1994)	19
Hình 1.8: Việc tạo thành bề mặt cơ sở cong bằng phương pháp bom nước origami [25]	19
Hình 1.9: So sánh giữa việc sử dụng các lớp Texture thể hiện bề mặt đối tượng 3D (Theo Pinterest.com)	21
Hình 1.10: Lớp da người được tạo thành nhờ kỹ thuật UV Mapping (theo Andrew Moore 2015- andmoor1.wordpress.com)	23
Hình 1.11: Ví dụ so sánh về việc ứng dụng các lớp Texture khác nhau trên cùng một đối tượng 3D (theo GrumpyAlisonTeacher trên Sketchfab.com)	24
Hình 1.12: Ứng dụng kỹ xảo tạo ra con hổ 3D trong phim “Life of Pi” (theo Bill Desowitz, 2012 trên VFXWorld)	25
Hình 2.1: Các khớp của cơ thể người (22 DOF) được thể hiện trong môi trường ảo (theo Delamarre and Faugeras - 2001)	29
Hình 2.2: Mặt cắt ngang lớp da người (theo Don Bliss)	30
Hình 2.3: Hình dạng của da cho phép thể hiện biểu cảm, độ thực tế của nhân vật và hệ lưới của chúng [31]	32
Hình 2.4: Thuật toán sinh lưới tự động cho đối tượng chuyển động của Shaojun Bian 2018 [42]	33
Hình 2.5: Một số tiến bộ trong việc mô phỏng lớp da người được thực hiện trong nghiên cứu của Eugene d’Eon (2007)	35
Hình 2.6: Sử dụng học máy ghi nhận độ căng của da trong việc mô phỏng lớp da người trong môi trường 3D trong nghiên cứu của Maejima (2018)	36
Hình 2.7: Một số phương pháp biểu diễn đường bao của da bằng các đường cong của L.H.You (2009) a: đường cong bề mặt; b,e,h: tư thế đích; c,d,f,g: tư thế thu được từ phương pháp của You	37
Hình 2.8: Ví dụ về một hệ bao sử dụng hình chữ nhật làm khối bao	39
Hình 2.9: Không có chồng lấn hộp bao - Không có va chạm	42
Hình 2.10: Chồng lấn hộp bao - Có thể có va chạm	42

Hình 2.11: Một số dạng hộp bao	43
Hình 2.12: Va chạm giữa hai khối cầu	43
Hình 2.13: Va chạm giữa hai khối hộp AABB	44
Hình 2.14: Biểu diễn khối đa diện	44
Hình 2.15: Xác định va chạm giữa hai khối OBB	45
Hình 2.16: Xác định va chạm giữa hai khối đa diện	45
Hình 2.17: Hệ bảo xây dựng bởi các hộp bao	46
Hình 2.18: Hệ bao xây dựng bởi hộp bao OBB	46
Hình 2.19: Phân tích va chạm ảnh hưởng tới các phần tử của hệ bao	47
Hình 2.20: 3 Luật của thuật toán thêm vào. [63]	48
Hình 2.21: Xây dựng cây bằng cách phân chia dọc theo một trong 3 trục tại các điểm có giá trị nhỏ nhất. [65]	49
Hình 2.22: Một đỉnh sụp đổ thành một nút	49
Hình 2.23: Giải thuật tạo thành đối tượng 3D có hai hệ hộp bao hoạt động theo kỹ thuật đề xuất	50
Hình 2.24: Hộp bao dạng đa giác (Convex Collider) xác định cho một đối tượng trong Unity Engine (kiểm thử)	51
Hình 2.25: Khởi tạo thuật toán cho phép ghi nhận sự kiện tia (Raycast) gặp giao cắt (kiểm thử)	52
Hình 2.26: Khối trụ được bao bởi các hệ hộp bao (a) AABB (b) Song hệ hộp bao (c) k-DOPs (d) OBB	55
Hình 2.27: Mô hình cơ thể bệnh nhi 3D được bao bởi các hệ hộp bao (a) AABB (b) Song hệ hộp bao (c) k-DOPs (d) OBB	55
Hình 2.28: Mô phỏng bắn đạn nhằm xác định va chạm	56
Hình 2.29: Kết quả kiểm thử va chạm với khối trụ với hệ hộp bao AABB	56
Hình 2.30: Kết quả kiểm thử va chạm với khối trụ với Song hệ hộp bao AABB, OBB	56
Hình 2.31: Kết quả kiểm thử va chạm với khối trụ với hệ hộp bao k-DOPs	57
Hình 2.32: Kết quả kiểm thử va chạm với khối trụ với hệ hộp bao OBB	57
Hình 2.33: Kết quả kiểm thử va chạm với mô hình cơ thể bệnh nhân ảo với hệ hộp bao AABB	57
Hình 2.34: Kết quả kiểm thử va chạm với mô hình cơ thể bệnh nhân ảo với Song hệ hộp bao AABB, Convex	58
Hình 2.35: Kết quả kiểm thử va chạm với mô hình cơ thể bệnh nhân ảo với hệ hộp bao k-DOPs	58
Hình 2.36: Kết quả kiểm thử va chạm với mô hình cơ thể bệnh nhân ảo với hệ hộp bao OBB	58
Hình 2.37: Biểu đồ so sánh hiệu quả xử lý va chạm của hệ song hộp bao (Dual) ..	60
Hình 2.38: Kết quả thời gian thực hiện thử nghiệm song hộp bao của J.-W.Chang (đơn vị là giây)	61
Hình 3.1: Mô tả cho việc làm đầy mao mạch dưới da qua kiểm tra độ trắng móng tay (theo ssi.adam.com)	65

Hình 3.2: Sơ đồ ERP của hai nhóm bệnh nhân bị Alzheimer và không bị Alzheimer [70]	66
Hình 3.3: Mô hình mạng nơ ron đa lớp được sử dụng trong hệ thống chuẩn đoán bệnh tim 2014 [72]	67
Hình 3.4: So sánh độ chính xác của SVM và ANN theo Vijayarani và Dhayanand 2015	67
Hình 3.5: Các lớp thành phần của mạng nơ ron	68
Hình 3.6: Mô hình bệnh nhi ảo 3D 1 tuổi (kiểm thử)	71
Hình 3.7: Mô phỏng biến đổi màu sắc da trên cơ thể bệnh nhi ảo 3D 1 tuổi (kiểm thử)	72
Hình 3.8: Kết quả thử nghiệm ANN với 50 mẫu (kiểm thử)	73
Hình 3.9: Kết quả sai số thử nghiệm ANN với 50 mẫu (kiểm thử)	73
Hình 3.10: Sơ đồ giải thuật tạo thành Mô hình 3D cơ thể người có thể tính toán CRT khi có ngoại lực tác động	76
Hình 3.11: Thiết kế da bệnh nhi ảo 3D một tuổi (kiểm thử)	78
Hình 3.12: Mô phỏng thay đổi hình dạng và màu sắc của Da khi có tác động tại 0s; 0.5s; 1s; 1.5s; 2s	80
Hình 3.13: Biểu đồ đánh giá hiệu quả thể hiện màu sắc da dưới thủ thuật CRT trong đào tạo Nhi khoa	81
Hình 3.14: Mô phỏng lực ấn trên chất liệu cotton trên cơ thể người [75]	82
Hình 3.15: Tắm, hình dạng và bậc tự do [76]	83
Hình 3.16: Ứng suất và phân bố lực trên tắm	84
Hình 3.17: Sơ đồ giải thuật tạo thành Mô hình 3D cơ thể người có thể biểu diễn chi tiết biến đổi bề mặt khi có ngoại lực tác động	86
Hình 3.18: Bề mặt đối tượng biến dạng khi chịu lực tác động sử dụng thuật toán phần tử hữu hạn không sinh thêm lưới	87
Hình 3.19: Bề mặt đối tượng biến dạng khi chịu lực tác động sử dụng thuật toán phần tử hữu hạn $k = 4$	88
Hình 3.20: Bề mặt biểu diễn đối tượng biến dạng khi chịu lực tác động a) sử dụng kỹ thuật gốc b) sử dụng kỹ thuật được đề xuất	91
Hình 3.21: Biểu đồ đánh giá hiệu quả thể hiện hình dạng da dưới thủ thuật CRT trong đào tạo Nhi khoa	92

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1: Bảng so sánh thời gian xử lý (s).....	59
Bảng 2: Bảng so sánh dung lượng RAM tiêu tốn.....	59
Bảng 3: Bảng so sánh % ghi nhận va chạm xảy ra.....	59
Bảng 4: Mẫu bảng thống kê dữ liệu huấn luyện CRT	69
Bảng 5: Bảng đánh giá chất lượng thể hiện màu sắc da bệnh nhi ảo thực hiện bởi 10 chuyên gia y tế	80
Bảng 6: Bảng biểu diễn số lượng lưới với bán kính mắt lưới chịu tác động tương ứng	85
Bảng 7: Bảng dữ liệu vật liệu và hệ số Poisson và Modun Young tương ứng.....	89
Bảng 8: Bảng đánh giá chất lượng thể hiện hình dạng da thực hiện bởi 10 chuyên gia y tế.....	91

PHẦN MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết

Trong Y tế hiện nay, các vấn đề trong mô phỏng cơ thể người cũng đặt ra nhiều bài toán khác nhau như mô tả tình trạng của cơ thể người nói chung (các tham số sự sống của con người), mô phỏng chi tiết từng bộ phận trên cơ thể người (da, mắt, hệ tuần hoàn, hệ hô hấp, hệ cơ xương, ...). Việc giải các bài toán này cũng được phân chia thành nhiều hướng nghiên cứu như mô phỏng trong phẫu thuật, chẩn đoán, chữa trị, tiền lâm sàng, dự báo, ... Tại các nước phát triển, việc ứng dụng công nghệ mô phỏng, đặc biệt là công nghệ mô phỏng thực tế ảo trong thực hành tiền lâm sàng đã được nghiên cứu và triển khai tại nhiều trung tâm đào tạo và cơ sở y tế. Lý thuyết và nghiên cứu chuyên sâu về việc ứng dụng công nghệ đem lại những lợi ích cho việc nâng cao chất lượng đào tạo cũng như chất lượng phục vụ sức khoẻ cộng đồng đã được ghi nhận. Những kết quả khả quan cho thấy tầm quan trọng của thực hành tiền lâm sàng dựa trên công nghệ mô phỏng kết hợp với công nghệ thực tế ảo trong y tế. Ở Việt Nam, các nghiên cứu và việc ứng dụng công nghệ mô phỏng, công nghệ thực tế ảo 3D còn dừng ở mức lý thuyết, hoặc các triển khai còn phụ thuộc nhiều vào thiết bị của nước ngoài. Các sản phẩm mô phỏng hỗ trợ thực hành tiền lâm sàng nội địa còn ít và chưa kết hợp được giữa mô phỏng trên các thiết bị thực và mô phỏng thực tế ảo 3D.

Trong việc mô phỏng cơ thể người, có nhiều bài toán kỹ thuật cần được xem xét và giải quyết. Một trong số các bài toán đó là mô phỏng lớp vỏ, hay còn gọi là lớp da của cơ thể người. Để mô phỏng lớp vỏ này, việc thiết lập một mô hình ảo có đầy đủ các thành phần cấu thành nên lớp da người thường quá phức tạp cho việc xây dựng, mô tả tương tác, lưu trữ hay sử dụng, đặc biệt là trên các thiết bị phổ thông do đó các kỹ thuật biểu diễn có tính chất đặc thù cho bề mặt đối tượng 3D đã được áp dụng.

Chi tiết với đối tượng da người, có nhiều bài toán mô phỏng được đặt ra cho việc xây dựng, mô phỏng tương tác cũng như thể hiện của đối tượng được nghiên cứu sao cho kết quả đạt được gần sát nhất so với thực tế. Có hai hướng nghiên cứu chính trong việc mô tả một đối tượng: (1) Mô tả một cách chi tiết từng bộ phận của từng lớp da người và các liên kết giữa chúng, sau đó việc tính toán các tương tác được áp dụng cho từng lớp một để hình thành biểu diễn trên bề mặt; (2) Coi bề mặt da người là một lớp vỏ của đối tượng 3D, các tác động, biểu diễn được tổng hợp thành một thuật toán chung cho toàn bộ phần vỏ ngoài này, chi tiết sự biến đổi ở các lớp phía trong của lớp da không được tính toán chi tiết và chỉ được xem xét cẩn thận hơn khi có sự phá vỡ cấu trúc lớp vỏ. Trong thực tế ứng dụng, hướng nghiên cứu mô phỏng tất cả các lớp của da người thường chỉ được thực hiện cục bộ tại hoặc nghiên cứu hạn chế do tính phức tạp và khối lượng công việc rất lớn cho cả người họa sĩ thiết kế các lớp da và người kỹ thuật tính toán các tham số cho lớp da đó. Phương pháp thứ hai được ứng dụng rộng rãi hơn, tuy nhiên các thuật toán áp dụng cho lớp vỏ ngoài này hiện nay đa phần là các thuật toán cơ bản. Việc phân tích kỹ các đặc điểm sinh lý, vật lý, ... của lớp da động vật nói chung và da người nói riêng hầu hết vẫn được thực hiện

trong các nghiên cứu chuyên sâu, một số các dự án thực tế có kinh phí lớn, đòi hỏi độ chính xác và giống thực tuyệt đối của đối tượng mô phỏng.

Các bài toán lý thuyết và thực tiễn hiện nay còn nhiều vấn đề cần giải quyết, đặc biệt là các vấn đề trong nâng cao chất lượng hiển thị của các mô phỏng tình trạng của bệnh nhân trong các ứng dụng thực tế ảo. ngoài ra còn phải kể đến các bài toán trong việc tăng độ chân thực, tăng hiệu năng xử lý trong môi trường ảo, tương tác, hiệu quả kinh tế, ... Trong luận án này, xuất phát từ bài toán mô phỏng cơ thể bệnh nhân trong môi trường ảo cùng các tương tác liên quan nhằm mô phỏng lại các hoạt động thực hành của học viên trên cơ thể bệnh nhân ảo. Dựa trên cơ sở đó, luận án đề xuất một số kỹ thuật mới nhằm cải thiện việc mô phỏng theo nhiều phương diện:

- Cải thiện việc biểu diễn tương tác trên bề mặt đối tượng
- Cải thiện việc thể hiện bề mặt đối tượng dưới tương tác

Kết quả của luận án được thể hiện trong việc mô phỏng lớp da của đối tượng 3D và tương tác trên lớp da đó trong môi trường ảo và ứng dụng của việc mô phỏng này vào bài toán mô phỏng các biểu hiện của lớp da bệnh nhân trong thực tế nhằm hỗ trợ cho việc phát triển các ứng dụng, nghiên cứu trong lĩnh vực y khoa tiền lâm sàng. Các dữ liệu, thử nghiệm và kết quả của nghiên cứu được trích dẫn, áp dụng và tổng kết một phần trên thực tế thực hành tiền lâm sàng tại Bệnh viện Nhi Trung ương Việt Nam. Việc này giải quyết các hạn chế hiện nay của thực hành y khoa, mô phỏng y khoa và chung hơn là mô phỏng bệnh tật trên con người nói chung nhằm đạt mục đích cao nhất là tăng cường chất lượng đào tạo y, bác sĩ, giảm tỷ lệ tử vong trên các bệnh nhân.

2. Mục tiêu nghiên cứu của luận án

Mục tiêu cụ thể của luận án là đề xuất một số kỹ thuật xử lý các vấn đề như thể hiện màu sắc và hình dạng dưới tác động của ngoại lực trong bài toán biểu diễn bề mặt đối tượng người 3D trong không gian ảo. Kết quả của luận án được ứng dụng trực tiếp vào việc thể hiện lớp da của bệnh nhân trẻ em trong môi trường ảo 3D trong đó xử lý việc thể hiện màu sắc, độ biến dạng của lớp da dưới tác động của ngoại lực. Trong quá trình thực hiện, luận án thực hiện nghiên cứu các kỹ thuật chung cho các đối tượng 3D để xử lý va chạm của đối tượng và đề xuất một kỹ thuật mới có thể ứng dụng trong nhiều trường hợp.

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

Do giới hạn về thời gian, luận án không thể đề cập đến tất cả các kỹ thuật mô phỏng bề mặt đối tượng 3D trong không gian ảo trong đào tạo y khoa cũng như nhiều vấn đề liên ngành, hoặc các nội dung kiến thức nền. Các nghiên cứu và ứng dụng của luận án được thể hiện trong sản phẩm được triển khai thực tế và có sự tham gia liên ngành của các chuyên gia như các bác sĩ tại các bệnh viện tại Việt Nam. Đối tượng nghiên cứu trực tiếp của Luận án là bề mặt đối tượng bệnh nhân ảo 3D trẻ em bao gồm hình dạng của 3 của bệnh nhi được xây dựng từ hệ lưới tam giác được chuyển đổi từ hệ thống lưới tứ giác thiết lập thủ công và các lớp hình ảnh tạo màu sắc. Lĩnh vực ứng dụng của các nghiên cứu và các vấn đề liên ngành cũng được xác định theo sản phẩm ứng dụng: Lĩnh vực mô phỏng hỗ trợ đào tạo trong Y khoa, cụ thể hơn là

Nhi khoa và các vấn đề liên ngành có tính trực tiếp nhất là các vấn đề về Y tế, sức khoẻ, cấu tạo da người, các vấn đề về kết cấu, đặc điểm của da người. Ngoài ra trong luận án cũng sử dụng một số kỹ thuật liên quan đến học máy và cũng được ứng dụng trong sản phẩm chung. Bài toán được đặt ra hạn chế cho Nhi khoa do một số kỹ thuật điều trị, thăm khám là đặc thù với mỗi đối tượng bệnh nhân. Các tham số cài đặt cũng dựa trên bộ dữ liệu thu thập đặc thù của bệnh nhân Nhi.

Biểu diễn biến đổi bề mặt một đối tượng 3D dưới tác động của ngoại lực bao gồm nhiều vấn đề, luận án đề xuất một phương pháp xác định va chạm giữa hai đối tượng và kỹ thuật cải thiện biểu diễn màu sắc, biến đổi hình dạng của lớp da bệnh nhân ảo dưới tác động của ngoại lực vuông góc bề mặt. Phạm vi áp dụng của các kỹ thuật ban đầu ở mức cục bộ trên một số vùng bề mặt của đối tượng. Các thuật toán cài đặt trên đối tượng ở dạng thủ công, chưa xây dựng thành các thư viện.

Ngoài ra, luận án cũng trình bày việc ứng dụng học máy trong biểu diễn màu sắc của đối tượng 3D nhằm đưa ra một hệ thống sản phẩm hoàn thiện có khả năng ứng dụng trong thực tế đào tạo Nhi khoa tiền lâm sàng tại các cơ sở đào tạo Nhi khoa.

4. Đóng góp chính của luận án

Xuất phát từ phạm vi nghiên cứu, đối tượng nghiên cứu, các vấn đề luận án nghiên cứu gồm:

Vấn đề 1: Nghiên cứu, đề xuất kỹ thuật nhận dạng va chạm của 2 đối tượng 3D trong không gian ảo, đánh giá khả năng ứng dụng và lựa chọn kỹ thuật phù hợp.

Vấn đề 2: Nghiên cứu, cải tiến kỹ thuật thể hiện màu sắc của bề mặt đối tượng 3D trong không gian ảo dưới tác động của ngoại lực.

Vấn đề 3: Nghiên cứu, cải tiến kỹ thuật thể hiện hình dạng bề mặt của đối tượng 3D trong không gian ảo dưới tác động của ngoại lực.

Trên cơ sở nghiên cứu các vấn đề nêu trên, luận án đã có ba đóng góp chính là:

(i) Đề xuất phương pháp mới nhằm cải tiến kỹ thuật xác định va chạm giữa hai đối tượng 3D trong môi trường ảo dựa trên việc sử dụng hai hệ hộp bao. Đây là đóng góp ở mức kỹ thuật nền, có thể ứng dụng cho nhiều bài toán khác nhau.

(ii) Cải tiến kỹ thuật biểu diễn màu sắc da của đối tượng 3D là bệnh nhi ảo dưới tác động của ngoại lực áp dụng tham số thời gian làm đầy mao mạch và kỹ thuật học máy. Đây là bài toán chỉ dành cho y khoa, được cài đặt tham số để đáp ứng cho bài toán cấp cứu Nhi khoa.

(iii) Cải tiến kỹ thuật biểu diễn biến dạng lớp da của đối tượng 3D là bệnh nhi ảo dưới tác động của ngoại lực mô phỏng các thủ thuật y khoa như ấn, sờ. Kỹ thuật cho phép tăng cục bộ một lượng lớn hệ thống lưới trong vùng chịu tác động của ngoại lực làm tăng độ chi tiết hơn nhưng không làm tăng dung lượng lưu trữ của đối tượng. Hệ thống lưới của đối tượng hồi phục lại trạng thái ban đầu khi ngoại lực biến mất. Đây là bài toán chỉ dành cho y khoa, được cài đặt tham số để đáp ứng cho bài toán cấp cứu Nhi khoa.

5. Ý nghĩa thực tiễn của nghiên cứu

Các nghiên cứu của luận án được triển khai thực tế trong việc đào tạo cấp cứu Nhi khoa tại Việt Nam. Dữ liệu thu thập nhằm xác định tham số thời gian làm đầy

mao mạch được thực hiện với đối tượng trẻ em cấp cứu tại bệnh viện Nhi Trung ương, hệ thống đào tạo Nhi khoa được xây dựng sử dụng mô hình cơ thể Nhi 3D tích hợp các kỹ thuật đề xuất: (i) kỹ thuật biểu diễn màu sắc da (ii) kỹ thuật biểu diễn biến dạng da. Đánh giá hiệu quả của kỹ thuật đề xuất ngoài việc sử dụng phương pháp đo lường định lượng, bảng khảo sát chuyên gia cũng được sử dụng với các chuyên gia là các bác sĩ thuộc bệnh viện Nhi. Đối tượng 3D này được sử dụng trong bài toán mô phỏng bệnh nhi ảo 3D thuộc đề tài cấp nhà nước: “Nghiên cứu phát triển hệ thống hỗ trợ thực hành tiền lâm sàng Nhi khoa dựa trên công nghệ thực tế ảo.” KC-4.0/19-25 [REF]. Kết quả nghiên cứu của luận án góp phần xây dựng thành sản phẩm được triển khai thực tế tại Bệnh viện Nhi Trung ương và các tuyến bệnh viện sản nhi trực thuộc Bệnh viện Nhi Trung ương.

6. Phương pháp và nội dung nghiên cứu

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

Phương pháp lý thuyết: Tổng hợp một số công bố liên quan đến bài toán mô phỏng bề mặt, xây dựng đối tượng và nhận dạng va chạm giữa các đối tượng 3D, biểu diễn màu sắc của đối tượng 3D, biến dạng của bề mặt đối tượng 3D dưới tác động của ngoại lực và các vấn đề liên ngành hỗ trợ cho nghiên cứu như thời gian làm đầy mao mạch, kỹ thuật học máy dựa trên mạng nơ ron lan truyền ngược. Các vấn đề lý thuyết sau đó được xâu chuỗi nhằm giải đáp các bài toán cụ thể được đặt ra trong nghiên cứu, ứng dụng và tỏ ra có hiệu quả thực tế.

Phương pháp thực nghiệm: Thực hiện cài đặt các thuật toán của luận án, chạy thử nghiệm trên môi trường mô phỏng và so sánh kết quả đối với các đề xuất có đối tượng so sánh định lượng, một số kết quả của đề xuất chỉ có thể xác định định tính do chưa có nghiên cứu tương đương. Các kết quả định tính được kiểm chứng thông qua thống kê đánh giá bởi đội ngũ chuyên gia: các y bác sĩ, các chuyên gia trong ngành công nghệ, hội đồng đánh giá của Bộ Khoa học Công nghệ thông qua các hội thảo, hội nghị.

7. Cấu trúc luận án

Cấu trúc luận án được tổ chức thành 3 chương như sau:

Chương 1: Tổng quan về bài toán mô phỏng bệnh nhân ảo trong thực hành y khoa và các kỹ thuật biểu diễn bề mặt đối tượng 3D trong không gian ảo. Trong chương này luận án trình bày chi tiết về bài toán mô phỏng bệnh nhân ảo trong thực hành y khoa tiền lâm sàng cho thấy xu hướng và tính cấp thiết của luận án. Phần thứ hai trình bày về một số vấn đề cần được giải quyết trong mô phỏng bề mặt trong không gian ảo như vấn đề xây dựng đối tượng, xác định va chạm của các đối tượng và các vấn đề có tính chi tiết, chuyên sâu hơn như thể hiện, thay đổi màu sắc của đối tượng, biến dạng của bề mặt đối tượng dưới ngoại lực tác động. Cuối cùng, một số hướng nghiên cứu dự kiến trình bày trong luận án được làm rõ và giới hạn.

Chương 2: Trình bày một số kỹ thuật được sử dụng trong việc xây dựng đối tượng và tương tác giữa các đối tượng này trong môi trường ảo. Trong chương này trình bày các nghiên cứu có tính chất nền tảng cho các nội dung nghiên cứu được

trình bày trong Chương 3. Một đối tượng sau khi được biểu diễn trong không gian ảo, các tương tác, chuyển động và các quá trình mà nó tham gia vào đều cần phải có quá trình xác định va chạm và xử lý va chạm. Trong phần nghiên cứu này, luận án đã đề xuất một kỹ thuật xác định va chạm mới nhằm tăng hiệu suất hoạt động của hệ thống mà vẫn giữ được độ chính xác.

Chương 3: Thể hiện sự thay đổi màu sắc và hình dạng đối tượng 3D dưới tác động ngoại lực và ứng dụng. Trình bày hai khía cạnh nghiên cứu chuyên sâu của luận án: (1) Thể hiện sự thay đổi màu sắc của bề mặt đối tượng 3D dưới tác động ngoại lực (2) Thể hiện sự thay đổi hình dạng bề mặt đối tượng 3D dưới tác động ngoại lực, mà cụ thể đối tượng 3D ở đây là lớp da bệnh nhân ảo. Các kết quả thực nghiệm sau khi được kiểm chứng đơn lẻ trên các thiết bị mô phỏng đều được tích hợp vào sản phẩm chung là hệ thống mô phỏng bệnh nhi ảo thuộc Đề tài cấp quốc gia triển khai thực tế tại Bệnh viện Nhi Trung ương và các tuyến tỉnh.

Ngoài ra, các vấn đề liên ngành cũng được nghiên cứu và trình bày: (1) thời gian làm đầy mao mạch trong y khoa và (2) mạng nơ ron lan truyền ngược. Trong đó, thời gian làm đầy mao mạch mang ý nghĩa lý thuyết phục vụ cho các nghiên cứu và thử nghiệm. Mạng nơ ron lan truyền ngược được ứng dụng để xây dựng thuật toán tính toán thời gian làm đầy mao mạch cho bệnh nhân ảo dựa trên bộ dữ liệu các tham số sống đầu vào.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ MÔ PHỎNG BỆNH NHÂN ẢO TRONG THỰC HÀNH Y KHOA

1.1. Tổng quan về mô phỏng bệnh nhân ảo trong thực hành y khoa

Trong ngành y tế có nhiều lĩnh vực đã ứng dụng công nghệ mô phỏng ảo trong đó đào tạo y khoa tiền lâm sàng là một trong những lĩnh vực được ứng dụng công nghệ này nhiều nhất và sâu nhất.

Tiền lâm sàng là một trong các hoạt động cần phải có trong y tế nhằm tăng cường kỹ năng của y, bác sĩ và sinh viên y khoa trước khi khám chữa bệnh trực tiếp trên người bệnh. Để thực hiện hoạt động đào tạo y khoa tiền lâm sàng, từ trước đến nay trong y tế đã áp dụng nhiều phương pháp, ví dụ học tập qua hình ảnh, video, thực hành trên các nguyên mẫu nhựa, thực hành trên tử thi, thực hành thông qua thị phạm trực tiếp bệnh nhân... Tuy nhiên các hình thức thực hành qua hình ảnh, video mặc dù sát thực tế nhưng khó nâng cao kỹ năng cho người được huấn luyện, còn việc thực hành trên các nguyên mẫu gặp khó khăn do việc trang bị nguyên mẫu đắt đỏ, nhanh hỏng, nhiều nguyên mẫu phức tạp hiện nay Việt Nam chưa tự sản xuất được, phải nhập khẩu từ nước ngoài. Các phương pháp còn lại cũng đòi hỏi nhiều công sức và không cho phép đào tạo số lượng lớn, thực hành nhiều lần.

Những tiến bộ công nghệ gần đây đã cung cấp cho các chuyên gia chăm sóc sức khỏe một bộ công cụ đào tạo thực tế ảo (VR) sáng tạo cùng việc thực hành trên các nguyên mẫu mô phỏng cơ thể người. Các nguyên mẫu mô phỏng cơ thể người cho người học các kỹ năng thực tế như được tương tác với người thật với các tình huống bệnh được thiết kế sát với thực tế. Thực tế ảo bổ sung vào sự đa dạng của các cơ chế phân phối giáo dục, góp phần giải quyết những lĩnh vực mà phương pháp truyền thống yếu nhất. Các mô phỏng VR cung cấp một môi trường trong đó người học có thể thực hiện các mức phân loại cao hơn của Bloom như cấp 4: phân tích, cấp 5: tổng hợp và cấp 6: đánh giá, theo cách hoàn toàn độc đáo so với các phương pháp giáo dục khác [1],[2]. Trong một mô phỏng nguyên mẫu manakin hoặc mô phỏng ảo hoàn toàn, người học có thể tự do khám phá và kiểm tra tình huống theo bất kỳ quan điểm nào họ muốn bao gồm các trải nghiệm có tính nguy hiểm và khó tiếp cận. Điều này cho phép người dùng vượt ra ngoài trải nghiệm trên bệnh nhân thực tế bằng cách tương tác hoặc thay đổi các đối tượng mô phỏng theo những cách khác không thực hiện được trên lâm sàng [3]. Điều này có thể tăng khả năng phân tích vấn đề của người học và đánh giá, lựa chọn các hành động phù hợp với tình huống [4].

Cả Berman [5] và Walsh [6] đều cho rằng: Giáo dục lâm sàng không phải là lý tưởng vì thực hành lâm sàng của y học đã được cải tiến qua nhiều năm đặc biệt để cải thiện chăm sóc bệnh nhân. Ngoài ra, hệ thống đào tạo này cũng chưa đạt hiệu quả cao nhất ở chỗ học viên thậm chí không được đảm bảo cơ hội học một quy trình xử lý tình huống bệnh đầy đủ. Giáo dục lâm sàng như truyền thống cung cấp cơ hội thực hành không đầy đủ cho học viên để học các quy trình đầy đủ và có sự khác biệt giữa giáo dục y tế và thực hành y tế nếu giáo dục y tế chỉ được truyền đạt trong môi trường thực hành lâm sàng. Hiện nay xu hướng chung trong y tế là mở rộng đào tạo mô phỏng, đào tạo ảo cho nhân viên y tế nhằm tăng số lượng người được đào tạo, trải

nghiệm các tình huống không thể thực hiện trong thực tế, đảm bảo về y đức cũng như không gây hại cho người bệnh nếu thực hành trực tiếp [7], [8]. Phương pháp đào tạo này đang được ứng dụng rất rộng rãi trên thế giới [9] (Hình 1.1).

Giáo dục trong y tế đã thay đổi rất nhiều qua từng thời kỳ và có ảnh hưởng rộng tới nhiều vấn đề như: thay đổi nhân khẩu học của bệnh nhân và chuyên gia; sự xuất hiện của các bệnh mới; đổi mới công nghệ; trao quyền cho người tiêu dùng; tăng sự tham gia và tự tổ chức của bệnh nhân trong việc ra quyết định lâm sàng, nhấn mạnh hiệu quả trong các quyết định chăm sóc sức khỏe. Kết quả là, hiện nay, có những yêu cầu xã hội và tăng cường ngân sách nhằm cải thiện chất lượng giáo dục y tế và sự an toàn của chăm sóc y tế [10].

Trong lĩnh vực y học, các bác sĩ nói chung ban đầu học thông qua việc quan sát, sau đó thực hành, dưới sự giám sát của một bác sĩ giàu kinh nghiệm hơn. Hệ thống giáo dục lâm sàng truyền thống dựa vào thực hành các kỹ năng chẩn đoán, điều trị và các quy trình trên bệnh nhân thực tế. Thách thức của giảng dạy lâm sàng là làm thế nào để cân bằng trách nhiệm chăm sóc bệnh nhân với các cơ hội giảng dạy. Dạy học lâm sàng diễn ra trong môi trường khám và chữa bệnh có tính chất tức thì và bị ảnh hưởng bởi các nhu cầu đồng thời và thường có tính cạnh tranh được đặt ra cho tất cả các thành viên của nhóm chăm sóc sức khỏe. Công việc khám, chữa bệnh liên tục hàng ngày, hàng giờ đang đặt một gánh nặng cho việc đào tạo bác sĩ. Bên cạnh áp lực về thời gian thì thách thức trong việc cung cấp kiến thức, hướng dẫn cho người học ở các cấp độ phát triển khác nhau. Chăm sóc bệnh nhân tốt hơn và đào tạo bác sĩ tối ưu thường loại trừ lẫn nhau trong môi trường lâm sàng, và việc đào tạo trên bệnh nhân sống luôn tồn tại một số điểm thiếu sót nhất định.



Hình 1.1: Thực hành y tế có sử dụng cả dụng cụ mô phỏng nguyên mẫu và mô phỏng trong môi trường ảo (theo healthysimulation.com)

Reznek và các đồng nghiệp [11] cho rằng: Giáo dục lâm sàng không phải là lý tưởng vì thực hành lâm sàng của y học đã được cải tiến qua nhiều năm đặc biệt để cải thiện chăm sóc bệnh nhân. Ngoài ra, hệ thống đào tạo này cũng chưa đạt hiệu quả cao nhất ở chỗ học viên thậm chí không được đảm bảo cơ hội học một quy trình xử lý tình huống bệnh đầy đủ. Giáo dục lâm sàng như truyền thống cung cấp cơ hội thực hành không đầy đủ cho học viên để học các quy trình đầy đủ và có sự khác biệt giữa giáo dục y tế và thực hành y tế nếu giáo dục y tế chỉ được truyền đạt trong môi trường thực hành lâm sàng.

Việc thay đổi hình thức học tập này đang ngày càng trở nên cấp thiết do ý thức an toàn của cộng đồng ngày càng được nâng cao. Việc truyền đạt kiến thức y tế thông qua các hoạt động thực hành là phải cải thiện chương trình đào tạo bằng cách bổ sung các phương pháp giảng dạy tiêu chuẩn để tăng số lượng phương thức học tập cho học sinh. Với sự phức tạp, vai trò mâu thuẫn và căng thẳng của môi trường lâm sàng, thách thức đối với giáo viên lâm sàng là tạo ra một môi trường học tập chất lượng cao cho sinh viên.

1.1.1. Mô phỏng trong thực hành y khoa tiền lâm sàng

1.1.1.1. Tình hình nghiên cứu trên Thế giới

Thực hành mô phỏng (hay còn gọi là đào tạo tiền lâm sàng) là một phương pháp quan trọng trong việc thu hẹp khoảng cách giữa lý thuyết và thực hành trong đào tạo y khoa. Tài liệu giáo khoa của Oxford về đào tạo trong y khoa nhận định rằng đào tạo tiền lâm sàng tạo ra môi trường học tập lấy người học làm trung tâm, trong đó những người mới thực hành hoặc những người muốn thực hành nâng cao có thể học và thực hành các kỹ năng mà không gây hại cho bệnh nhân [5]. Trong môi trường đào tạo tiền lâm sàng các kỹ năng cơ bản như giao tiếp, lãnh đạo, làm việc nhóm và các kỹ năng lâm sàng đều có thể được học, được đánh giá và có khả năng được sử dụng như một phương thức chứng nhận để trở thành người thực hành độc lập. Trong đào tạo y khoa, đào tạo tiền lâm sàng đã ngày càng phổ biến trong vài thập kỷ gần đây. Các yếu tố đóng góp cho sự thay đổi này bao gồm những thay đổi trong dịch vụ chăm sóc sức khỏe và môi trường học thuật đã hạn chế sự tiếp cận bệnh nhân, sự chú ý trên toàn thế giới tập trung vào các vấn đề sai sót y khoa, sự cần thiết phải cải thiện vấn đề an toàn người bệnh, và sự thay đổi mô hình giáo dục chú trọng vào đánh giá kết quả đầu ra và năng lực thực hành [12].

Tùy thuộc vào từng chương trình giảng dạy, đào tạo tiền lâm sàng có thể được tiếp cận theo nhiều cách khác nhau. Mô phỏng có nhiều mức độ khác nhau, từ các mô hình đơn giản đến các hệ thống điều khiển kết nối máy tính tiên tiến. Đơn giản nhất là đào tạo từng kỹ năng đơn lẻ, người học có thể tiếp cận theo từng phần của mô hình chi tiết chính xác về mặt giải phẫu ví dụ như mô hình cánh tay trong thực hành truyền máu. Ngoài ra, còn có các mô hình mô phỏng với quy mô đầy đủ, phổ biến nhất là các manakin toàn thân, ngoài các môc về giải phẫu sinh lý có thể cung cấp thêm một số mô phỏng thực tế (âm thanh của tim và phổi), được sử dụng trong đào tạo thăm khám lâm sàng và các kỹ năng lâm sàng cơ bản khác. Ngày nay, với sự phát triển của công nghệ thông tin và khoa học kỹ thuật, thực tế ảo cũng được áp dụng trong đào tạo y khoa thông qua thiết lập một môi trường lâm sàng có tính thực tế cao như trong phòng phẫu thuật hoặc phòng chăm sóc đặc biệt và người chơi có thể nhập vai, tương tác và thực hiện và xử lý các tình huống y khoa. Đào tạo thực tế ảo trong y khoa bao gồm xây dựng các trò chơi 3D trên máy tính và người học có thể chơi, thực hành trên máy tính tại bất kỳ đâu và bất kỳ thời điểm nào. Mô phỏng thực tế ảo mang lại trải nghiệm học tập phù hợp với thời đại công nghệ 4.0 đã được tiêu chuẩn hoá dựa trên những kiến thức chuyên môn và phục vụ cho các phong cách học tập khác nhau, những cách mà có thể không phù hợp đối với cách học truyền thống, tạo

điều kiện cho việc tự học, cho phép người học phát triển các kỹ năng theo tốc độ năng lực của từng người và cho phép lặp lại không giới hạn các kịch bản cụ thể để khắc phục các thiếu sót y khoa trong môi trường an toàn. Mức độ cao nhất của đào tạo tiền lâm sàng là đào tạo mô phỏng kịch bản theo tình huống thực tức là có thể tạo ra môi trường như trong cuộc sống thực, sử dụng các hệ thống phức tạp và công nghệ phức tạp, ví dụ như sử dụng các trang thiết bị giống như phòng bệnh thực tế và các mô hình giống với người thật với một số các chức năng sống cơ bản và một số cử động cơ học nhằm tạo cảm giác chân thật với người thực hành. Trong các tình huống mô phỏng với độ chính xác cao này, người học sẽ tương tác trực tiếp với các phản ứng sinh lý của mô hình dưới các dạng phát hiện vật lý như âm thanh của tim, âm thanh của phổi, sờ thấy mạch, cử động mắt, tiếng nói...Phản ứng sinh lý được tạo ra bởi người vận hành thông qua hệ thống điều khiển bằng máy tính, cho phép thay đổi các dấu hiệu sinh tồn trong các giai đoạn đã được lập trình sẵn hoặc khi đáp ứng với các can thiệp lâm sàng của người học trên mô hình. Bởi tính hiện đại của nó nên các hệ thống mô phỏng này và mô phỏng thực tế ảo thường khá đắt đỏ. Tuy nhiên, với sự phát triển của khoa học công nghệ ngày nay, các nhà sản xuất đã điều chỉnh lại chi phí, mặc dù vậy vẫn còn khá đắt đối với các nền kinh tế đang phát triển.

Hiện nay công nghệ thực tế ảo, mô hình nguyên mẫu mô phỏng đã có những bước tiến lớn và được áp dụng rất nhiều trong các lĩnh vực của cuộc sống. Dù là sử dụng hình thức mô hình nguyên mẫu hay phần mềm thực tế ảo 3D thì mục đích chính của phương pháp này đều nhằm tái hiện lại các tình huống của thực tế. Trong lĩnh vực thực hành y khoa, các thiết bị mô phỏng và phần mềm thực tế ảo cho phép học việc nâng cao kỹ năng tiền lâm sàng trước khi tiếp cận với các kỹ năng lâm sàng đã được thực hiện tại nhiều quốc gia tiên tiến. Mô phỏng tạo điều kiện học tập thông qua việc đắm mình, suy ngẫm và thực hành, loại trừ đi những rủi ro vốn có trong trải nghiệm thực tế. Trong mô phỏng y tế, thiết bị, phần mềm mô phỏng điều khiển bằng máy tính thúc đẩy việc thực hành y khoa và đảm bảo rằng học viên được thực hành các quy trình và phác đồ điều trị một cách đầy đủ trước khi sử dụng chúng trên bệnh nhân thực tế. Thực hành y tế dựa trên mô phỏng cung cấp một môi trường được kiểm soát giống như môi trường chăm sóc bệnh nhân thực tế và cho phép học viên học hỏi, thực hành và lặp lại các quy trình một cách thường xuyên giúp người học sửa chữa sai lầm, điều chỉnh các kỹ năng và tối ưu hóa kết quả lâm sàng [13]. Ngoài ra, với các thiết bị, phần mềm mô phỏng, đặc biệt là các phần mềm, học viên y khoa và người dân có thể có được những kinh nghiệm nhất định trong việc xử lý khẩn cấp với nhiều tình huống bệnh và loại bệnh nhân.

Ziv [14] chỉ ra rằng mô phỏng đã được sử dụng một cách không hệ thống kể từ những ngày đầu của y học. Vào thế kỷ 16, người già đã được phát triển để dạy các kỹ năng sản khoa và giám tỷ lệ tử vong ở bà mẹ và trẻ sơ sinh cao. Thiết bị mô phỏng Manakin hiện đại được tích hợp các linh kiện điện tử đại diện cho bệnh nhân thay thế các video, hình vẽ bằng các chức năng thực tế của Manakin. Các mô phỏng Manakin toàn thân có nguồn gốc từ lĩnh vực gây mê của Denson và Abrahamson lần đầu tiên giới thiệu cho cộng đồng y tế vào năm 1969 trong một mô phỏng gây mê cho bệnh

nhân để tăng cường đào tạo nội trú. Mô hình này, được gọi là Sim One, giả lập bao gồm một Manakin kích thước thật được kết nối với máy tính, bảng điều khiển, một bộ kết nối và máy gây mê.

Năm 2008, Fritz [15] đã đưa ra các mô phỏng dựa trên Manakin trong cấp cứu y khoa, tập trung vào mô phỏng độ chính xác cao (HFS), đặc biệt là những ưu điểm và nhược điểm của việc sử dụng công nghệ này. Kết quả cho thấy mô phỏng có nhiều lợi thế tiềm năng so với các phương pháp học tập truyền thống hiện đang được sử dụng trong đào tạo nhân viên y tế, điều dưỡng và y tế. Các ưu điểm gồm: không có rủi ro trực tiếp cho bệnh nhân, có khả năng tăng tốc độ tiếp thu các kỹ năng lâm sàng, cho phép phát triển một chương trình giảng dạy chuẩn, đào tạo đội ngũ và giáo dục thường xuyên.

Những nhược điểm chính của mô phỏng dựa trên Manakin là chi phí đáng kể liên quan và khả năng chuyên giao hoặc học tập. Murphy [13] chỉ ra rằng Manakin tái tạo nhiều đặc điểm của căn bệnh nhưng thường có những hạn chế về kỹ thuật và phần cứng không phù hợp với mô phỏng tối ưu của thực tế lâm sàng.

Trong những năm đầu 2000 – 2010 trên Thế giới đã chứng kiến sự bùng nổ số lượng các công cụ để tăng cường giáo dục y tế: giáo dục dựa trên web, thực tế ảo và mô phỏng bệnh nhân ở độ trung thực cao. Những tiến bộ công nghệ trong các lĩnh vực thực tế ảo và mô phỏng đã đưa ra một phương pháp giảng dạy mới giảm bớt những vấn đề về đạo đức, tài chính và thực tế của đào tạo trên bệnh nhân sống trong hệ thống giáo dục lâm sàng truyền thống. Học tập dựa trên mô phỏng có thể giúp giảm bớt căng thẳng, phát triển kiến thức, kỹ năng và thái độ của các chuyên gia y tế trong khi bảo vệ bệnh nhân khỏi rủi ro không cần thiết.

Hiện nay có một số các doanh nghiệp nước ngoài cung cấp các giải pháp về mô phỏng tiền lâm sàng y tế. Tuy nhiên giá trị của các mô hình mô phỏng, phần mềm kèm theo khá lớn. Khả năng hiệu chỉnh, tùy biến cho phù hợp với điều kiện của từng địa phương, cơ sở đào tạo y tế còn nhiều hạn chế. Các doanh nghiệp hàng đầu về mô phỏng tiền lâm sàng có thể kể tới như: GE Healthcare (Mỹ); Laerdal (Mỹ); Gaumard (Mỹ), CAE (Canada).

Mô phỏng thực tế ảo được sử dụng đầu tiên trong y tế để đào tạo và đánh giá các thủ tục nội soi vào năm 1997. Lĩnh vực giáo dục y tế là ngành học y tế đầu tiên tận dụng sức mạnh của môi trường ảo. Trong những năm gần đây, loại hình giáo dục này ngày một được ứng dụng rộng rãi. Năm 2005, Stevens [16] đã đưa ra báo cáo rằng các công cụ đào tạo trên mô phỏng tương tác bệnh nhân ảo đã chứng minh hiệu quả trong việc nâng cao kiến thức và năng lực của các chuyên gia y tế khi giảm các sai sót trong lâm sàng.



Hình 1.2: Mô phỏng phẫu thuật ảo LAP Mentor multi-disciplinary LAP (theo Symbionix USA Corporation)

Năm 2002, việc thực tập cho các học viên phẫu thuật so sánh giữa huấn luyện thực tế và MIST-VR (Thực hành ảo phẫu thuật xâm lấn tối thiểu), với các đánh giá kỹ năng cơ bản sau đào tạo, mức độ cải thiện cho nhóm được đào tạo MIST-VR lớn hơn đáng kể ($P < 0,05$). Nghiên cứu này là một trong những nghiên cứu đầu tiên chứng minh sự cải thiện các kỹ năng tâm lý và hiệu suất phẫu thuật nội khoa sau khi đào tạo trên các hệ thống VR, nhấn mạnh tầm quan trọng của các hệ thống đó đối với việc đào tạo bác sĩ phẫu thuật.

Giáo dục y tế dựa trên mô phỏng (SBME) là một công cụ có giá trị trong việc xử lý các tình huống lâm sàng hiếm gặp và cho phép đào tạo các tình huống nhiều rủi ro, các tình huống lâm sàng khó mà không cần sự tham gia của bệnh nhân. Một lợi ích tiềm năng khác của mô phỏng thực là khả năng lặp lại các quy trình đào tạo. Nó cho phép các học viên thực hành nhiều lần cho đến khi các kỹ năng của họ thành thạo và duy trì các kỹ năng đó một khi có được. Thực tập sinh cũng có thể được chỉ dẫn thông qua các thực hành, dừng lại khi cần thiết để giải thích các phần khó khăn. Ngoài ra các đánh giá trong việc thực hành trên mô phỏng cũng đảm bảo tính khách quan, chi phí và hiệu suất cho học viên.

Đào tạo tiền lâm sàng trong y khoa cung cấp một môi trường đào tạo toàn diện dựa trên mô phỏng các kinh nghiệm thực tế tương tự, tạo môi trường học tập an toàn cho cả người bệnh và người học. Một nghiên cứu tổng quan dựa trên các bài báo khoa học từ năm 2003 đến năm 2009 dựa trên phương pháp lý luận phê bình của McGaghie và các cộng sự đã xác định 12 tính năng thực hành tốt nhất cho giáo dục dựa trên tiền lâm sàng bao gồm: (i) phản hồi, (ii) thực hành chủ động, (iii) tích hợp được với chương trình đào tạo, (iv) đo lường được kết quả đầu ra, (v) mức độ mô phỏng thực hành, (vi) các kỹ năng đạt được và duy trì, (vii) thực hành thành thạo, (viii) chuyển

sang thực hành lâm sàng, (ix) đào tạo làm việc nhóm, (x) kiểm tra các kỹ thuật cao, (xi) đào tạo giảng viên, (xii) bối cảnh giáo dục và tính chuyên nghiệp; và kết luận rằng đào tạo tiền lâm sàng có thể tạo ra những lợi ích giáo dục đáng kể. Xem xét lại nghiên cứu này vào năm 2016, McGaghie và các cộng sự nhận thấy bằng chứng ủng hộ đào tạo tiền lâm sàng như một phương pháp giáo dục can thiệp tối ưu đang ngày càng gia tăng [17].

Theo nhiều tài liệu cho thấy đào tạo tiền lâm sàng thường được áp dụng trong đào tạo cho điều dưỡng, phòng chống thảm họa, ngoại khoa và đặc biệt trong lĩnh vực cấp cứu. Đào tạo tiền lâm sàng đã đem lại hiệu quả đào tạo thay đổi rõ rệt so với các phương pháp đào tạo truyền thống. Một trong những đặc điểm chính của đào tạo tiền lâm sàng là cho phép người học đóng vai tham gia các tình huống lâm sàng, thực hành các kỹ thuật và xử trí tình huống. Ngoài ra, tương tác xã hội cũng đóng vai trò quan trọng trong việc củng cố hoặc thách thức kinh nghiệm của người học, giúp người học xây dựng các kỹ năng giao tiếp và kỹ năng cơ bản trong làm việc nhóm. Các kịch bản lâm sàng có thể lặp đi lặp lại giúp người học có cơ hội suy ngẫm, trải nghiệm và điều chỉnh nhận, thức hành vi của họ cho tới khi đạt được sự nhuần nhuyễn, thành thạo trong thực hiện các quy trình, xử lý các tình huống (*Hình 1.2*). Đây là một quá trình học tập từ những lỗi sai, học tập từ chính sự phản ánh các hành vi của cá nhân và sự tự điều chỉnh dưới sự hướng dẫn, định hướng và hỗ trợ của giảng viên.

Theo một nghiên cứu của Chang Sun Ju và các cộng sự tìm hiểu về hiệu quả của đào tạo tiền lâm sàng đối với các điều dưỡng mới tốt nghiệp về kiến thức, năng lực bản thân và khả năng xử trí các tình huống cấp cứu nhận thấy không có sự khác biệt đáng kể về mặt kiến thức giữa nhóm tham gia đào tạo tiền lâm sàng với nhóm kiểm chứng ($p = 0.117$ trong đó p là phép đo thống kê được sử dụng để xác nhận giả thuyết đối với dữ liệu được quan sát, $p < 0,05$ được coi là có ý nghĩa thống kê) tuy nhiên sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa hai nhóm này về khả năng xử trí tình huống cấp cứu ($p < 0.001$) [3], nhóm được đào tạo có điểm đánh giá năng lực xử trí cao hơn. Theo một nghiên cứu khác của Theilen và cộng sự thuộc Bệnh viện hoàng gia trẻ em Edinburgh và trường Đại học Edinburgh, Anh thử nghiệm việc tích hợp giữa đào tạo tiền lâm sàng hàng tuần và thực hành lâm sàng trên nhóm nhân viên cấp cứu nhi khoa trong mối liên quan với cải thiện đáp ứng của bệnh viện đối với tình trạng diễn biến của bệnh nhân, nhận thấy giảm tỷ lệ bệnh nhân nhi khoa chuyển sang điều trị tích cực, giảm mức độ nghiêm trọng của bệnh nhân khi chuyển sang điều trị tích cực, giảm thời gian nằm điều trị tại điều trị tích cực, giảm tỷ lệ tử vong tại khoa điều trị tích cực và trùng khớp với giảm đáng kể tỷ lệ tử vong bệnh viện giảm đáng kể ($p < 0.001$). Bên cạnh những lợi ích đào tạo thực hành nhóm và xử trí tình huống lâm sàng, đào tạo tiền lâm sàng còn tăng khả năng thành thạo kỹ năng khi thực hiện các kỹ thuật lâm sàng và giảm biến chứng liên quan đến kỹ thuật khi thực hiện trên bệnh nhân thật. Theo một nghiên cứu quan sát thuần tập của Barsuk và các cộng sự thuộc trường Đại học y khoa Feinberg vùng Tây Bắc, Chicago, Mỹ trên 103 bác sĩ nội trú nội khoa và cấp cứu nhằm xác định hiệu quả của đào tạo tiền lâm sàng với kỹ năng đặt catheter tĩnh mạch trung tâm và tỷ lệ các biến chứng liên quan đến kỹ thuật này

tại một đơn vị hồi sức trong một năm, nhận thấy sau khoá đào tạo tỷ lệ thành công cao hơn ($p=0.005$), 93.9% sau khoá đào tạo vượt quá điểm tối thiểu do hội đồng chuyên môn y khoa quy định.

Bên cạnh sự gia tăng ứng dụng các công nghệ mô phỏng (mô hình) sử dụng trong đào tạo y khoa, môi trường mô phỏng ảo (thực tế ảo) cũng bắt đầu được mở rộng do tính linh hoạt và sự tiện lợi mà mô hình giáo dục này đem lại [4]. Môi trường đào tạo thực tế ảo chuyên tải các kiến thức chuyên môn y khoa, nội dung lâm sàng cho đa dạng các đối tượng với sự phát triển nhanh chóng và đa dạng các ứng dụng công nghệ. Trong một nghiên cứu tổng quan hệ thống từ 31 nghiên cứu (2407 người tham gia) của Kyaw và các cộng sự năm 2019 nhằm tìm hiểu vai trò của đào tạo thực tế ảo đối với nhân viên y tế nhận thấy đào tạo thực tế ảo cải thiện kiến thức và kỹ năng của nhân viên y tế hơn so với phương pháp giáo dục truyền thống và các phương pháp giáo dục khác như giáo dục kỹ thuật số và giáo dục trực tuyến [7]. Theo một nghiên cứu khác của Bracq và các cộng sự dựa trên cơ sở dữ liệu của PsycInfo và Medline nhằm tìm kiếm các bài báo có liên quan đến đào tạo thực tế ảo trong y khoa được xuất bản đến tháng 12 năm 2017 đã xác định được 26 ấn phẩm đủ điều kiện trong số 1377 ấn phẩm được xác định, sau khi phân tích định tính, các tác giả nhận thấy việc sử dụng đào tạo thực tế ảo trong chăm sóc y tế đã tăng lên đáng kể từ năm 2010, trong đó mô phỏng thực tế ảo dựa trên màn hình hoặc thế giới ảo 3D là những hệ thống được sử dụng thường xuyên nhất, chủ yếu đào tạo các kỹ năng làm việc nhóm, giao tiếp và nhận biết tình huống lâm sàng [8].

Đào tạo tiền lâm sàng là một phương pháp học tập chứ không chỉ đơn giản là công nghệ khoa học, dùng để thay thế các trải nghiệm thực tế thông qua thực hiện các kịch bản hay tình huống được tái tạo lại để người học có thể tương tác, nhập vai và luyện tập trong môi trường an toàn. Đào tạo tiền lâm sàng ngày nay không còn là một phương pháp mới hay khác biệt, nó được dự kiến sẽ ngày càng phát triển và đóng vai trò quan trọng trong đào tạo y khoa trong tương lai [6]. Cùng với sự phát triển của khoa học công nghệ, các ứng dụng, mô hình liên quan trong đào tạo tiền lâm sàng sẽ ngày càng phát triển, tăng tính linh hoạt và tiện lợi cho người học. Chăm sóc y tế trên thế giới không ngừng cải tiến và phát triển liên tục để phù hợp với sự phát triển của xã hội và nhu cầu của người bệnh, và cùng với nó là sự phát triển của đào tạo tiền lâm sàng nhằm cải thiện chất lượng đào tạo y khoa.

1.1.1.2. Tình hình nghiên cứu tại Việt Nam

Hiện nay nhu cầu chăm sóc sức khỏe (CSSK) của người dân được quan tâm ngày càng cao vì vậy y tế trở thành một lĩnh vực được chú trọng hơn bao giờ hết. Để nâng cao chất lượng dịch vụ y tế nhằm đáp ứng nhu cầu CSSK cho người dân thì yếu tố con người là quan trọng nhất, do đó các cơ sở y tế đặc biệt là các bệnh viện luôn đặt nhiệm vụ đào tạo (ĐT) chuyên môn cho nhân viên y tế lên hàng đầu. Nguồn nhân lực là yếu tố quyết định chất lượng mọi dịch vụ y tế, cán bộ y tế (CBYT) phải luôn học tập và cập nhật kiến thức y khoa mới đáp ứng được nhu cầu khám chữa bệnh, CSSK và tư vấn ngày càng cao của người dân. Quyền lợi và nghĩa vụ học tập liên tục của nhân viên y tế được quy định rõ tại điều 33 và 37 của Luật khám bệnh, chữa bệnh.

Với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học kỹ thuật và nhu cầu ngày càng cao về chất lượng dịch vụ y tế từ góc độ nghề nghiệp đến sự kỳ vọng của người bệnh, việc ĐT càng trở nên cấp thiết. Tuy nhiên, tại các bệnh viện (BV), CBYT chủ yếu làm công tác điều trị lâm sàng nên nhiệm vụ ĐT còn chưa được quan tâm đúng mức, công tác tổ chức, quản lý ĐT liên tục cũng gặp nhiều khó khăn.

Để thực hiện ĐT hiệu quả, việc đánh giá tình hình và xác định nhu cầu đào tạo của các CBYT là rất cần thiết. Bên cạnh đó, việc xem xét các yếu tố ảnh hưởng đến tình trạng ĐT hiện nay cho BS cũng như mức độ quan tâm đến phát triển nghề nghiệp cho nhân viên các nhà quản lý đang sử dụng nguồn nhân lực y tế tại BV, môi trường làm việc, nguồn lực về thời gian và kinh phí, cơ sở và hệ thống đào tạo... Tại Việt Nam, việc đào tạo thực hành y khoa trực tiếp trên người bệnh phổ biến tại các trường y và các cơ sở thực hành y khoa, tuy nhiên việc các bệnh nhân trở thành đối tượng cho các học viên thực hành gây ra sự lúng túng cho học viên, một phần ảnh hưởng đến kết quả điều trị của người bệnh khi chưa được trang bị đầy đủ các kiến thức và kỹ năng cần thiết. Vậy để giúp các học viên học tập tại bệnh viện có điều kiện thực hành tốt nhất, có những công cụ, thiết bị, mô hình để thực hành trước khi làm trực tiếp trên bệnh nhân sao cho thuận lợi, tiện ích và thực tiễn thì cần đến các mô hình đào tạo tiền lâm sàng.

Ở hầu hết các nước phát triển thì đào tạo tiền lâm sàng là một chương trình đào tạo bắt buộc đối với học viên y khoa trước khi tiếp cận, thăm khám trực tiếp trên bệnh nhân tại bệnh viện. Hiện tại ở Việt Nam, đào tạo tiền lâm sàng thực tế chưa được quan tâm, đầu tư đúng mức. Một số đơn vị đã có những bước tiếp cận đầu tiên với quá trình đào tạo này nhưng mới chỉ dừng lại ở mức độ giản đơn, các CBYT còn chưa được tiếp cận đầy đủ, tần số thực hành còn ít. Trong khi đó, lĩnh vực tiền lâm sàng đem lại rất nhiều lợi ích bù đắp cho các nhược điểm của ngành y tế như việc cần phải thực hành thành thạo trên mô hình, phần mềm thì CBYT mới đủ tự tin để xử trí tình huống trên người bệnh, từ đó đưa ra các bước đột phá mới trong quá trình nâng cao năng lực đội ngũ y tế. Đồng thời cũng hạn chế được nhiều sai sót, sự cố y khoa, giúp giảm chi phí điều trị và tăng cường sự hài lòng của người bệnh. Đây là một bước tiến đáng ghi nhận cho công tác đào tạo thực hành y khoa, tạo niềm tin học viên đến học tại bệnh viện, cho người bệnh, cho sức khỏe cộng đồng nói chung.

Đối với đào tạo cán bộ y tế chuyên ngành Nhi khoa càng khó khăn, phức tạp hơn so với người lớn. Cách tiếp cận trong thăm, khám, điều trị bệnh nhi cần trang bị thêm các kỹ năng đặc biệt vì trẻ em không phải là người lớn thu nhỏ. Hệ thống bệnh viện chuyên ngành Nhi từ cấp tỉnh đến Trung ương, đặc biệt là các bệnh viện nhi, sản nhi tuyến tỉnh, huyện chỉ có một vài đơn vị trang bị thiết bị mô phỏng trong đào tạo tiền lâm sàng do công tác này chưa thật sự được quan tâm đúng mức, đồng thời chi phí dành cho trang thiết bị khá đắt đỏ nên việc tiếp cận đào tạo tiền lâm sàng để học tập có hiệu quả càng gặp nhiều khó khăn.

Việc đào tạo tiền lâm sàng tổ chức tại các trường đào tạo về y khoa hiện nay mới chỉ dừng lại ở việc trang thiết bị một số thiết bị mô hình thực hành cơ bản, chủ yếu phục vụ cho công tác đào tạo điều dưỡng, các thủ thuật, quy trình đơn lẻ như tiêm

truyền, đo huyết áp... mà chưa đưa được các tình huống mô phỏng lâm sàng cụ thể (VD tình huống xử trí bệnh nhân co giật, ngừng tuần hoàn...) cho các sinh viên y khoa, chuyên khoa sâu. Các đối tượng này phần lớn đào tạo thông qua thăm khám, điều trị trực tiếp trên người bệnh dưới sự hướng dẫn của các giảng viên mà không có giai đoạn tiếp cận tiền lâm sàng trước đó. Điều này gây ra nhiều hạn chế, khó khăn trong quá trình học tập của sinh viên, học viên.

1.1.2. Hệ thống mô phỏng thực hành y khoa tiền lâm sàng

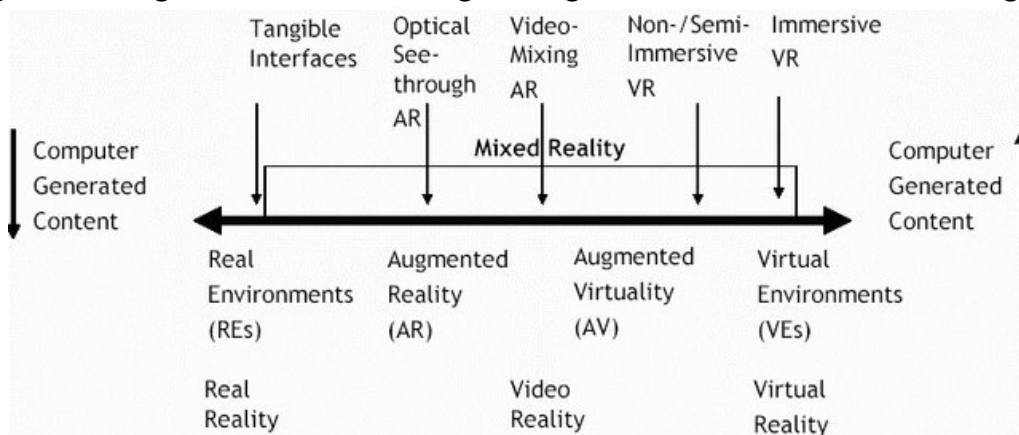
Một hệ thống mô phỏng thực hành y khoa tiền lâm sàng có thể có nhiều phương thức và công nghệ để xây dựng nhưng nhìn chung chúng được tạo thành dựa trên phương thức kết hợp các kiến thức y khoa, đặc điểm sinh lý học của con người và thể hiện trên các công cụ công nghệ. Trong các hệ thống mô phỏng thực hành y khoa tiền lâm sàng vẫn dựa trên các manakin, thông thường phần công nghệ mô phỏng chỉ được thực hiện khá hạn chế trong việc thể hiện một số dạng dữ liệu đa phương tiện như tiếng kêu thông qua hệ thống loa, màu sắc da thông qua hệ thống đèn led, chuyển động của cơ thể thông qua các hệ thống cơ khí, ... mà chưa có các mô phỏng với độ chính xác cao như trong các hệ thống mô phỏng hoàn toàn trên môi trường số [21]. Các hệ thống này cho phép nâng cao thủ thuật của nhân viên y tế, được tăng cường hiệu quả trên các nền tảng học tập trực tuyến (Hình 1.3), tuy nhiên vẫn gặp một số vấn đề về độ chi tiết và độ phủ rộng. Trong các hệ thống mô phỏng y khoa hoàn toàn trên môi trường số hiện nay được chú trọng xây dựng hơn với mục tiêu thể hiện một cách chính xác hơn các đặc điểm của bệnh nhân ảo nhờ sự phát triển mạnh mẽ của các thiết bị thể hiện đầu cuối như kính thực tế ảo. Các thiết bị này cho phép nhân viên y tế thực hành một cách tiệm cận với thực tế và mang lại nhiều hiệu quả, đặc biệt trong môi trường học tập bị ảnh hưởng bởi dịch bệnh, các lớp học với học viên từ nhiều địa điểm, nhu cầu học tập mọi lúc mọi nơi và đặc biệt là vấn đề y đức khi học tập trên lâm sàng [22].



Hình 1.3: Hệ thống mô phỏng thực hành nha khoa dựa trên các manakin tại Trung Quốc [21]

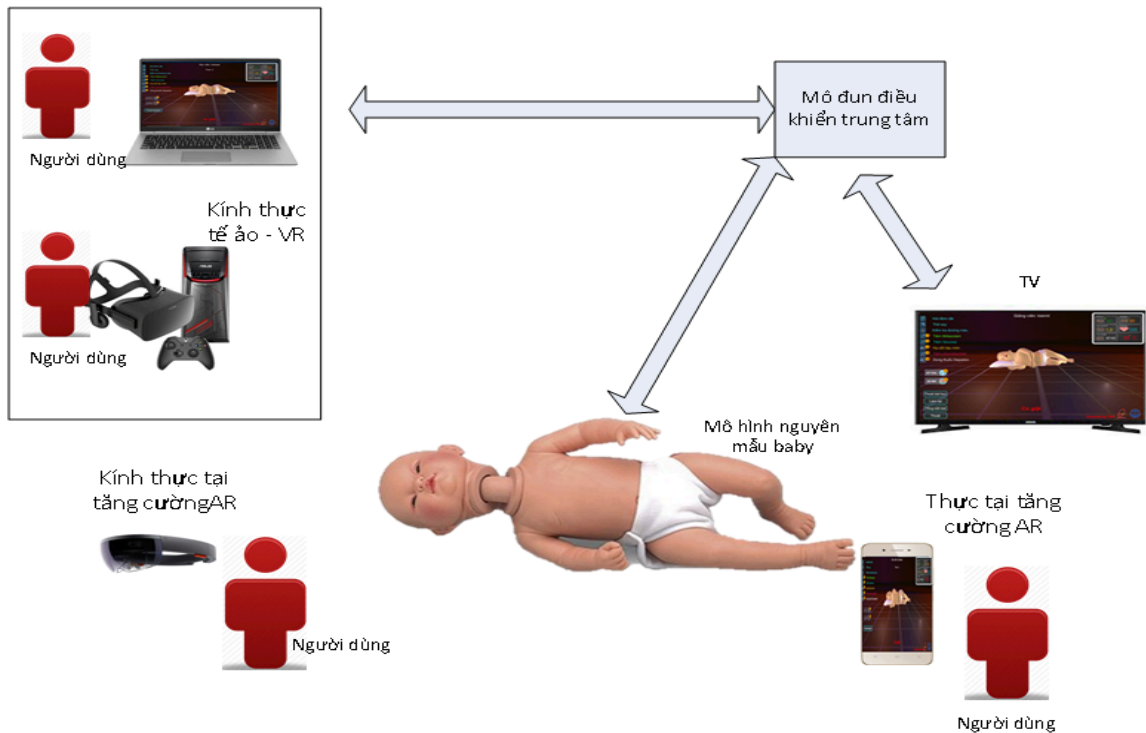
Các hệ thống mô phỏng thực hành y khoa tiền lâm sàng mới hiện nay thông thường được xây dựng với đa dạng thành phần hơn. Ngoài việc chế tạo các manakin nhằm huấn luyện thủ thuật của nhân viên y tế, các mô phỏng được xây dựng ngày một sâu hơn với mong muốn bổ sung một phần kỹ năng thực hành cho người học

thông qua các mô phỏng ảo. Trong việc mô phỏng ảo hai công nghệ được ứng dụng phổ biến nhất là công nghệ thực tế ảo (VR) và công nghệ thực tế tăng cường (AR). Chúng được gọi với tên chung là công nghệ thực tế hỗn hợp (MR) (Hình 1.4). Hiện nay các ứng dụng của MR trong lĩnh vực y tế ngày một rộng rãi [23], tuy nhiên rào cản lớn nhất trong việc thực hiện chuyển đổi nằm ở khâu xây dựng các đặc điểm của đối tượng khi chuyển đổi từ môi trường thực (Real Environment) sang môi trường ảo (Virtual Environment). Độ chính xác, chân thực của các đối tượng hiện nay chỉ đáp ứng được một phần yêu cầu trong đào tạo y khoa. Với các biến đổi của đối tượng trong môi trường ảo các thể hiện thông thường được các họa sĩ thực hiện bằng tay.



Hình 1.4: Mô hình chuyển đổi từ môi trường thực sang môi trường ảo của Milgram và Kishino 1994

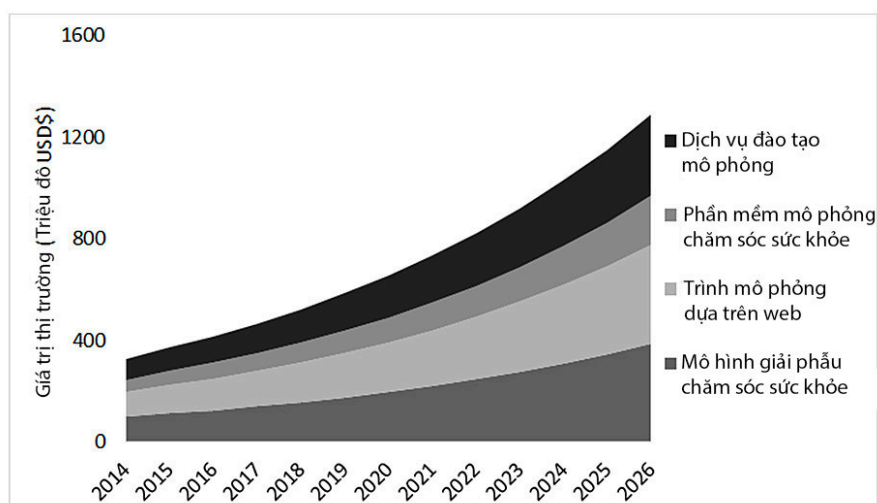
Trong thực tế phát triển sản phẩm, nghiên cứu sinh đã xây dựng một hệ thống hỗ trợ thực hành y khoa tiền lâm sàng cho đối tượng bệnh nhân là bệnh nhi một tuổi và các trường hợp cấp cứu thường gặp. Đây cũng chính là hệ thống được cài đặt các kỹ thuật nghiên cứu mới nhằm cải thiện chất lượng hiển thị và hiệu quả đào tạo. Hệ thống này được xây dựng trên cơ sở ứng dụng mô phỏng lại bệnh nhi là người Việt Nam, độ tuổi là một, giới tính không xác định, phương thức thể hiện trên cả thiết bị manakin cơ khí và cơ thể nhi ảo 3D trên môi trường ảo. Cơ thể nhi ảo được thiết lập bằng tay bởi đội ngũ họa sĩ 3D, cơ thể là rỗng (chỉ có lớp da) và một số thành phần được mô hình hoá chi tiết như lưỡi, mắt. Các biểu hiện của cơ thể nhi ảo 3D được xây dựng dựa trên các tham khảo về trẻ em và tư vấn chuyên gia bởi các bác sĩ thuộc Bệnh viện Nhi Trung ương (Hình 1.5).



Hình 1.5: Sơ đồ hệ thống mô phỏng thực hành Nhi khoa tiền lâm sàng triển khai tại Bệnh viện Nhi Trung ương

1.1.3. Một số vấn đề cơ bản trong mô phỏng thực hành y khoa tiền lâm sàng

Có nhiều phương pháp mô phỏng được sử dụng trong đào tạo Y khoa tiền lâm sàng, trong đó phổ biến nhất hiện nay là phương pháp sử dụng các manakin cho phép thực hành trực tiếp trên các nguyên mẫu mô hình cơ thể người. Qua đó, học viên có thể nắm được các kiến thức và kỹ năng y khoa cần thiết trước khi áp dụng trên cơ thể bệnh nhân. Tuy nhiên phương pháp này khó tiếp cận đến hầu hết các cơ sở đào tạo y tế do chi phí thiết bị manakin khá đắt đỏ, chủng loại manakin cũng khó đáp ứng được hết các nhu cầu về bệnh tật, số lượt thực hành trên các nhân viên y tế và điều kiện cơ sở vật chất học tập bị hạn chế. Xu hướng dịch chuyển sang một loại hình đào tạo có thể kém chi tiết về mức độ thực hành nhưng đảm bảo số lượng, không gian, thời gian với chi phí rẻ hơn là hướng đi được quan tâm. Các loại hình mô phỏng y khoa không chỉ trong đào tạo mà còn trong nghiên cứu, thử nghiệm ngày một được sử dụng phổ biến hơn. Hiện nay, ngành công nghiệp chế tạo các thiết bị thực hành y khoa tiền lâm sàng, cận lâm sàng đang được phát triển ngày một mở rộng tại các nước phát triển trên Thế giới [18] (Hình 1.6).

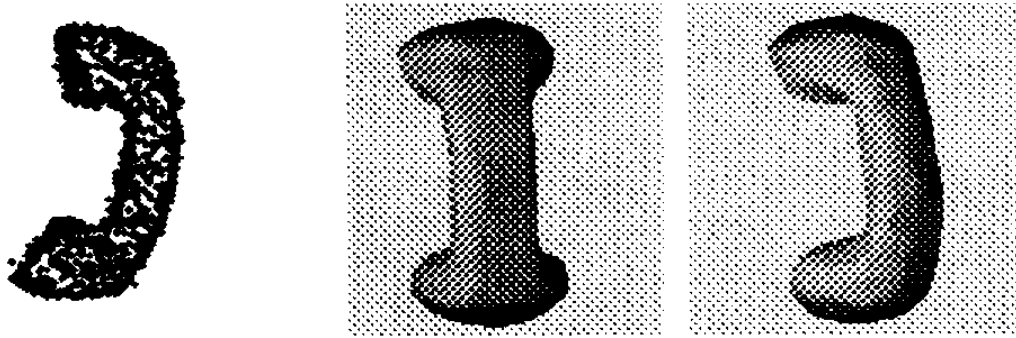


Hình 1.6: Sự tăng trưởng của các dự án mô phỏng y tế tại Mỹ 2014 – 2026 [18]

Vấn đề về chi phí, việc áp dụng công nghệ thực tế ảo ban đầu có thể bị đánh giá là đắt đỏ và khó đo lường được hiệu quả so với các phương pháp huấn luyện mô phỏng truyền thống. Tuy nhiên trong một nghiên cứu so sánh về độ hiệu quả đào tạo [19], thực tế ảo đã cho thấy tính hiệu quả của mình. Trong nghiên cứu đó, thực tế ảo đã được sử dụng để đào tạo nhân viên chăm sóc đặc biệt sơ sinh trong việc sơ tán bệnh viện. Một cuộc tập huấn thảm họa trực tiếp với manakin cũng đã được thực hiện để cho trải nghiệm gần đúng với trải nghiệm ảo. Chi phí so sánh được thống kê cho việc lập kế hoạch, phát triển và thực hiện cả hai biện pháp can thiệp. Ban đầu, thực tế ảo đắt hơn, với chi phí 229,79\$ cho mỗi người tham gia (tổng chi phí 18.617,54 \$ cho mỗi bài tập) cho cuộc diễn tập trực tiếp so với 327,78 \$ (tổng chi phí 106 951,14 \$) cho thực tế ảo. Tuy nhiên, khi chi phí phát triển được ngoại suy cho việc đào tạo lặp lại trong 3 năm, bài tập ảo trở nên ít tốn kém hơn với chi phí 115,43 \$ cho mỗi người tham gia, trong khi chi phí cho các bài tập trực tiếp vẫn cố định. Đầu tư ban đầu lớn hơn thực tế có thể được trải rộng trên một số lượng lớn học viên và một khoảng thời gian dài hơn với ít chi phí bổ sung, trong khi mỗi cuộc diễn tập trực tiếp đòi hỏi chi phí bổ sung theo quy mô số lượng người tham gia. Từ đó có thể thấy được việc phát triển, sử dụng thực tế ảo trong đào tạo với quy mô càng rộng thì hiệu quả sẽ càng được tăng cao.

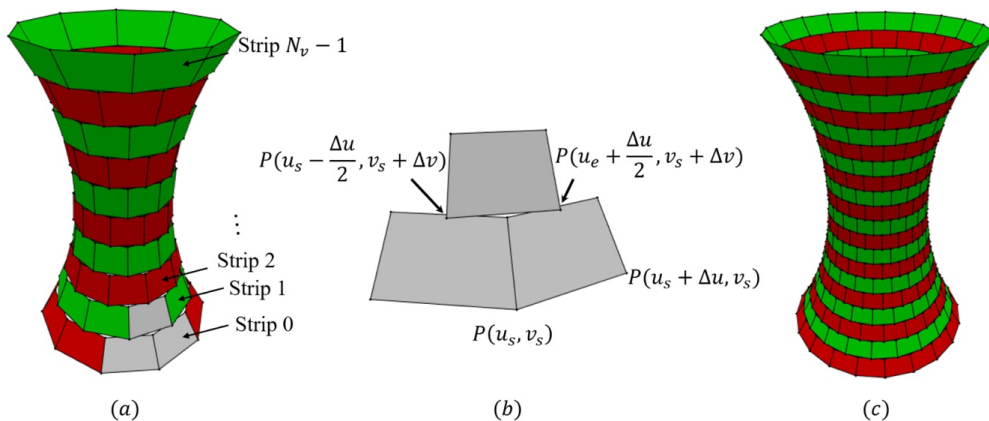
Kéo theo đó là các kỹ thuật mô hình hoá đối tượng trong y tế, các tương tác trong môi trường mô phỏng cũng được nghiên cứu và ứng dụng nhằm mang lại hiệu quả tốt hơn cho quá trình đào tạo. Việc mô phỏng các đối tượng được thực hiện ngày một phức tạp hơn, gần với thực tế hơn với sự phát triển chung của các thiết bị sử dụng cho việc mô hình hoá cũng như các thiết bị thể hiện. Tuy nhiên, để tái tạo một cơ thể bệnh nhân cùng các tương tác giống như trong thực tế vẫn là quá phức tạp cho bất kỳ một dự án hoặc quá nhiều bước tính toán cho các thiết bị mô hình hoá, thể hiện thông dụng. Phương pháp chung cho việc này vẫn là đơn giản hoá bằng việc xấp xỉ các đối tượng thực trong môi trường ảo tùy theo độ chi tiết, phức tạp và yêu cầu chung của các dự án. Các kỹ thuật mô phỏng bề mặt đối tượng 3D không phải là một kỹ thuật quá mới mẻ, các nghiên cứu về vấn đề này đã được đưa ra từ khá lâu, khởi đầu với các nghiên cứu cho phép xấp xỉ bề mặt đối tượng 3D từ đám mây điểm thu được từ

việc quét các đối tượng [20] (Hình 1.7). Tuy nhiên các ứng dụng cụ thể trong từng lĩnh vực, từng trường hợp vẫn liên tục được nghiên cứu và bổ sung.



Hình 1.7: Hình ảnh ống nghe điện thoại được tái tạo từ việc xấp xỉ đám mây điểm trong nghiên cứu của Chia-Wei Liao và Gerard Medioni (1994)

Đến nay, các kỹ thuật mô phỏng bề mặt đối tượng 3D đã được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực và sử dụng các phương pháp kết hợp tiên tiến hơn nhằm tạo ra các kết quả gần đúng nhất so với nguyên mẫu. Khoảng thập niên đầu của Thế kỷ 21, các nghiên cứu tập trung nhiều vào cải thiện thuật toán, kỹ thuật xử lý như Malcolm [24] nêu phương pháp mô phỏng các bề mặt trong xử lý ảnh 2D cũng như các đối tượng 3D trong y tế thông qua việc thiết lập các mức nhằm giữ được độ chính xác trong khi giảm bớt các gánh nặng tính toán. Đến thập niên thứ 2 của Thế kỷ 21, các nghiên cứu dần đi vào các sản phẩm chi tiết hơn hoặc mở rộng ứng dụng của những phương pháp mới như học máy, trí tuệ nhân tạo. Yan Zhao, 2018 [25], ứng dụng kỹ thuật mô phỏng gần đúng trong việc tính toán các bề mặt mục tiêu có độ cong thay đổi hoặc bất biến sử dụng một kỹ thuật đặc thù là origami với các bom nước để tạo ra các hình dạng 3D hấp dẫn về mặt hình học (Hình 1.8). Ludovico Minto, 2018 [26], ứng dụng mật độ thể tích và mô phỏng bề mặt nhằm phân loại hình dạng các đối tượng 3D sử dụng trong các ảnh có chiều sâu dựa trên các kỹ thuật học sâu, mạng nơ ron CNN.



Hình 1.8: Việc tạo thành bề mặt cơ sở cong bằng phương pháp bom nước origami [25]

Có thể thấy trong các lĩnh vực chuyên sâu, đòi hỏi phải có sự kết hợp liên ngành như mô phỏng các đối tượng và tương tác 3D trong y tế, các nghiên cứu cũng như các ứng dụng đã được quan tâm tuy nhiên vẫn còn nhiều vấn đề cần phải tiếp tục nghiên cứu và giải quyết. Từ thực tiễn thực hiện các ứng dụng liên quan đến mô phỏng trong y tế, cũng như các nghiên cứu về mô phỏng nói chung, một số giải pháp

mới được đưa ra nhằm cải thiện hiệu quả của các mô phỏng đối với cơ thể người nhằm tăng cường chất lượng của quá trình đào tạo dựa trên việc mô phỏng cơ thể người và các tương tác liên quan.

1.2. Mô phỏng bề mặt đối tượng 3D trong y tế

Như đã trình bày ở trên, bài toán mô phỏng y tế có rất nhiều vấn đề có thể giải quyết được bằng các kỹ thuật mô phỏng. Không chỉ mô phỏng bề mặt trong việc tạo thành, biểu diễn đối tượng mà trong cả các tương tác từ đơn giản đến phức tạp. Do thời gian nghiên cứu có hạn và bài toán thử nghiệm trong thực tế, nội dung của luận án giới hạn trong việc mô phỏng đối tượng không bao gồm các bộ phận bên trong cơ thể người cũng như các tương tác có độ phức tạp cao như các thủ thuật xâm lấn, phá vỡ bề mặt hay sự chuyển động của chất lỏng nên các vấn đề được trình bày sẽ được trình bày như sau:

1.2.1. Tính toán và chạm giữa các đối tượng 3D

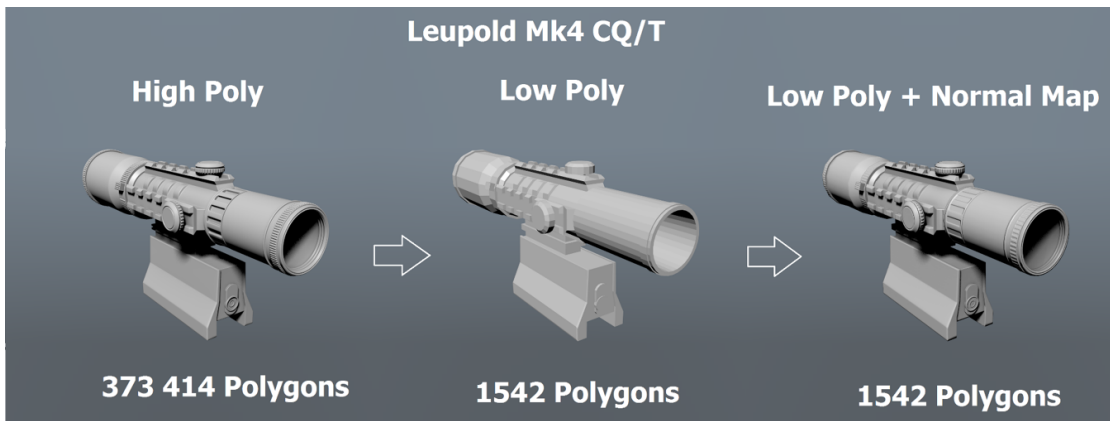
1.2.1.1. Bài toán tạo thành hệ lưới của đối tượng 3D.

Một đối tượng 3D trong không gian ảo được thể hiện dưới hai dạng chính: Đám mây các điểm hoặc tập hợp của các đa giác ghép thành một bề mặt kín. Đám mây các điểm thông thường được tạo ra bởi quá trình quét các đối tượng trong không gian thực với các thiết bị quét quang học hoặc quét laser. Mỗi điểm phản xạ được ghi nhận và thể hiện bằng một vị trí tọa độ trong không gian ảo. Với trường hợp đối tượng 3D được thể hiện bằng các đa giác, thông thường đây là phương pháp biểu diễn được tổ hợp lại từ việc nối các điểm quét sao cho các bề mặt tạo thành thể hiện một cách tương đối chính xác bề mặt thực tế của đối tượng.

Phương pháp cấu trúc đối tượng bởi các đa giác có lợi trong việc tính toán, lưu trữ và biểu diễn đối tượng trong các ứng dụng khác nhau. Phương pháp lưu trữ các đám mây điểm chỉ thích hợp nhất cho việc lưu giữ nguyên trạng đối tượng được quét. Trong các ứng dụng dựng hình 3D các đối tượng cũng được tạo ra theo phương pháp sử dụng các đa giác để mô tả đối tượng. Hệ các đa giác này được gọi là hệ lưới cấu tạo nên đối tượng 3D. Hiện nay có hai phương pháp chính để cấu trúc hệ lưới của một đối tượng 3D: Hệ lưới tam giác và hệ lưới tứ giác.

Trong các ứng dụng dựng hình 3D, hệ lưới tứ giác là hệ lưới chủ đạo được sử dụng do thuận tiện cho các họa sĩ trong việc so sánh, thêm, bớt và tạo hình bề mặt đối tượng 3D. Việc sử dụng hệ lưới tam giác mặc dù tối ưu hơn về lưu trữ và biểu diễn tuy nhiên không phù hợp cho việc tạo hình nên thông thường hệ lưới tam giác chỉ được sử dụng trong việc thể hiện cuối cùng của các đối tượng trong không gian.

Quá trình số hoá các đối tượng 3D, dù là được thực hiện bằng phương pháp lưu trữ dữ liệu bề mặt đối tượng bằng đám mây điểm hay hệ lưới của đối tượng nhìn chung đều có thể coi là rời rạc hoá bề mặt thực tế của đối tượng trong không gian thực và chuyển đổi vào miền số. Trong luận án này, giới hạn nghiên cứu cho cấu trúc bề mặt đối tượng 3D mô phỏng là hệ lưới.



Hình 1.9: So sánh giữa việc sử dụng các lớp Texture thể hiện bề mặt đối tượng 3D (Theo Pinterest.com)

Trong các ứng dụng khác nhau, việc mô phỏng bề mặt này được tính toán cho phù hợp. Ví dụ với các ứng dụng trò chơi trực tuyến trên thiết bị di động, trong đó các đối tượng 3D được đơn giản hoá và bề mặt của các đối tượng thông thường được biểu diễn dưới dạng lowpoly (sử dụng hệ lưới rất ít nhằm giảm độ nặng cho thiết bị chạy ứng dụng). Các chi tiết trên bề mặt đối tượng trong các ứng dụng này nhiều khi còn không được thể hiện bằng hình khối mà chỉ được xử lý màu sắc sao cho việc quan sát của người sử dụng với đối tượng trông có vẻ có đủ chi tiết bề mặt (Hình 1.9).

Ngược lại trong các ứng dụng cần độ chi tiết cao và tính thời gian thực thấp, bề mặt đối tượng được thiết kế với độ chi tiết cao nhất nhằm tạo ra sự chân thực tối đa cho đối tượng được thể hiện. Các ứng dụng này thông thường là các sản phẩm nghiên cứu, mô phỏng, kỹ xảo phim.

Việc thiết lập hệ lưới thủ công hiện nay chủ yếu do các họa sĩ tạo hình thực hiện, việc thiết lập tự động hệ lưới của các đối tượng 3D từ đám mây điểm được thực hiện thông qua các thuật toán. Hiện nay có một số thuật toán đang được sử dụng cho việc thiết lập hệ lưới cho các đối tượng 3D dựa trên các đám mây điểm của đối tượng như: thuật toán xây dựng lược đồ bề mặt lưới 3D theo sơ đồ Voronoi, sơ đồ Delaunay; thuật toán Delaunay cho phép tạo lưới tam giác cho đối tượng 3D; phương pháp chia nhỏ bề mặt lưới tam giác Loop... Các thuật toán này cũng được ứng dụng trong việc tái tạo lại bề mặt của đối tượng 3D thông qua việc lưu trữ tọa độ điểm của đối tượng.

Như đã phân tích ở trên, có thể thấy dù là trong việc chuyển đổi từ dạng đám mây điểm sang dạng lưới trong các ứng dụng hay lưu trữ dữ liệu của các đối tượng thông thường trong không gian ảo, các đối tượng 3D đều phải được cấu trúc thành các hệ thống các điểm, mặt mô tả lớp bề mặt của đối tượng sẽ được tạo thành từ các điểm này. Đây chính là một quá trình mô phỏng bề mặt đối tượng thực tế trong môi trường ảo.

1.2.1.2. Bài toán xác định va chạm của bề mặt đối tượng với các vật thể khác

Trong các tương tác giữa các vật thể trong môi trường ảo, việc xử lý va chạm quyết định một số đặc điểm của các đối tượng tham gia vào va chạm như tính chất của tương tác, chuyển động và biến dạng bề mặt của đối tượng. Có nhiều phương pháp, kỹ thuật xử lý va chạm trong các trường hợp nhưng nhìn chung sẽ có hai dạng

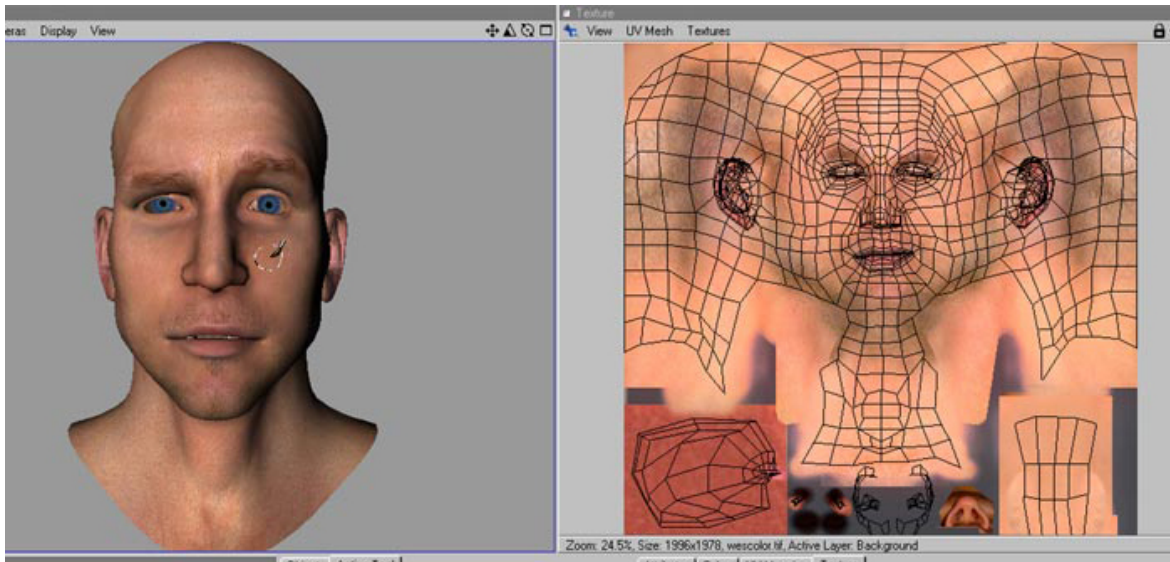
chính của các dạng va chạm là va chạm không phá vỡ bề mặt đối tượng và va chạm có phá vỡ bề mặt của đối tượng. Việc xử lý va chạm có phá vỡ bề mặt là một vấn đề khá phức tạp, liên quan đến tính chất và vật liệu của bề mặt, các vấn đề về động lực học nên hiện nay các nghiên cứu về vấn đề này trong môi trường ảo còn khá ít. Với các va chạm không phá vỡ bề mặt hoặc đơn thuần hơn là xác định có va chạm giữa các đối tượng trong môi trường ảo không thường thấy hơn và được ứng dụng trong nhiều bài toán nghiên cứu cũng như ứng dụng.

Đối với các bài toán xác nhận có va chạm hay không giữa các đối tượng thường thấy trong các ứng dụng thông thường ví dụ như trong các sản phẩm trò chơi điện tử. Khi một viên đạn ảo được bắn ra, chương trình cần xác định viên đạn có trúng đích hay không để đưa ra các kết quả tương ứng. Độ chính xác của các chương trình này không yêu cầu quá cao và có tính quy ước nên va chạm có thể tính toán bằng các phương trình chuyển động. Để nâng cao độ chính xác và phục vụ trong những trường hợp chuyển động của các đối tượng là không xác định được cố định nhưng độ chính xác không cần quá cao, người ta có thể bao quanh các đối tượng bằng một hệ các hộp bao, khi các hộp bao có giao cắt với nhau va chạm được xác định là xảy ra.

Trong các bài toán va chạm của đối tượng rắn việc này đã được nghiên cứu khá chi tiết, một số nghiên cứu, tổng hợp được trình bày chi tiết hơn ở chương 2 của luận án sẽ trình bày rõ hơn về vấn đề này. Tuy nhiên trong các bài toán va chạm không phá vỡ những liên quan đến các đối tượng có biến dạng bề mặt hoặc các đối tượng không phải dạng rắn như chất lỏng quá trình tính toán sẽ phức tạp hơn.

1.2.2. Thể hiện màu sắc trong mô phỏng bề mặt đối tượng

Với màu sắc của đối tượng 3D, có nhiều phương pháp để thể hiện trong môi trường ảo. Như đã biết, mỗi phân tử trong môi trường thực đều có màu sắc nhất định, tập hợp màu sắc của các điểm này sẽ tạo thành màu sắc của vật thể. Trong môi trường ảo cũng có thể cấu trúc từng phân tử của đối tượng có màu sắc và tập hợp thành màu sắc tổng thể của đối tượng. Tuy nhiên việc này không chỉ ảnh hưởng đến việc tạo thành lớp bề mặt của đối tượng như đã nói ở trên mà còn làm cho dung lượng lưu trữ tăng lên gấp nhiều lần. Trong kỹ thuật đồ họa 3D người ta không sử dụng phương pháp như vậy để tạo thành màu sắc của đối tượng 3D. Một lớp ảnh màu sẽ được trải lên trên bề mặt của đối tượng 3D, lớp này được gọi là texture của đối tượng (*Hình 1.10*).

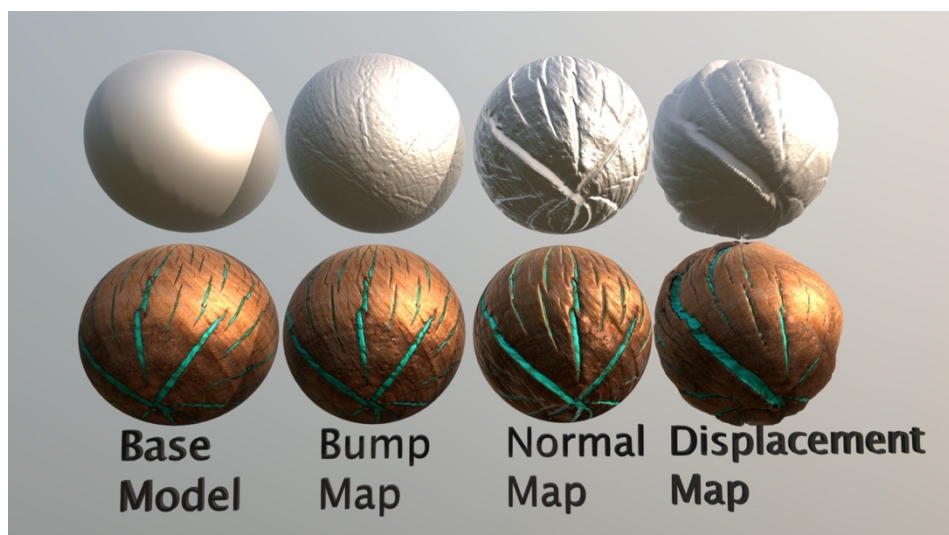


Hình 1.10: Lớp da người được tạo thành nhờ kỹ thuật UV Mapping (theo Andrew Moore 2015- andmoor1.wordpress.com)

Lớp màu sắc này nếu được trải và dán chính xác lên đối tượng 3D cũng có thể thể hiện gần chính xác màu sắc thực tế của đối tượng. Đây là quá trình biểu diễn gần đúng trong việc thể hiện màu sắc của đối tượng 3D. Các kỹ thuật liên quan đến việc tạo thành lớp màu dán được gọi là Texturing và việc gắn một số điểm neo giữa phần bề mặt đối tượng và tấm màu dán được gọi là UV Mapping. Hiện nay, có một số kỹ thuật cho phép gắn chính xác hơn lớp màu này lên đối tượng 3D.

Việc tính toán gần đúng được thực hiện tiếp trong việc thể hiện màu sắc bề mặt đối tượng 3D xảy ra khi bề mặt đối tượng được mô tả có độ gồ ghề, chi tiết không đầy đủ như mong muốn do nhiều lý do như độ nặng của đối tượng quá lớn khi thể hiện độ chi tiết quá cao nhưng kết quả hiển thị lại mong muốn ở mức chấp nhận được. Nhiều nghiên cứu và thực nghiệm chỉ ra rằng, việc thêm một lớp đen trắng có thể thể hiện độ gồ ghề hoặc chi tiết của đối tượng mà không cần phải thực sự cấu trúc lại bề mặt của đối tượng. Ngoài ra, có thể sử dụng các lớp màu sắc dạng này để thể hiện được nhiều hơn trong góc độ thị giác khi quan sát đối tượng như chất liệu, độ phản xạ, ... của đối tượng. Các lớp này được gọi là Transparency map, Bump map, Specular map, Normal map... (Hình 1.11). Các kỹ thuật này hiện nay được sử dụng tương đối phổ biến trên bất kỳ sản phẩm đồ họa 3D nào, do tính tiện dụng và khả năng điều chỉnh nhanh, phân tách rõ ràng. Hình ảnh thể hiện đạt được mức độ gần giống với việc sử dụng đối tượng 3D với độ chi tiết của bề mặt cao.

Trong một số trường hợp, một tấm ảnh ghi nhớ độ gồ ghề của đối tượng còn được sử dụng để tạo thành bề mặt thực của đối tượng đó. Đó là kỹ thuật sử dụng displacement map. Việc sử dụng displacement map tạm hiểu là chương trình chỉ cần lưu trữ đối tượng 3D cơ bản và một tấm ảnh mô tả sự gồ ghề của đối tượng đó thay vì phải lưu trữ toàn bộ đối tượng với từng chi tiết bề mặt. Chương trình phần mềm sẽ tự động thay đổi bề mặt của đối tượng trong từng trường hợp. Việc này đặc biệt hữu hiệu trong việc lưu trữ các đối tượng có bề mặt lớn như bản đồ trong các trò chơi có kích thước lớn.



Hình 1.11: Ví dụ so sánh về việc ứng dụng các lớp Texture khác nhau trên cùng một đối tượng 3D (theo GrumpyAlisonTeacher trên Sketchfab.com)

1.2.3. Thể hiện biến đổi hình dạng của đối tượng 3D

Như đã đề cập ở trên, khi một đối tượng 3D tác động lực lên một đối tượng 3D khác trong môi trường ảo, biến dạng có thể xảy ra. Quá trình này trong thực tế là luôn xảy ra, nhưng với đa số các ứng dụng ảo hiện nay người ta thường coi các vật thể này là rắn tuyệt đối. Tuy nhiên khi thiết bị chạy các ứng dụng ngày một mạnh lên và yêu cầu trong việc thể hiện các tương tác ảo cần phải càng ngày càng giống thật, việc xác định một cách chi tiết biến dạng của bề mặt đối tượng 3D ngày càng được quan tâm nhiều hơn.

Trong các sản phẩm ngày nay có ứng dụng kỹ thuật đồ họa 3D như kỹ xảo phim, phim hoạt hình, các hình ảnh 3D được sử dụng ngày một nhiều nhằm giảm bớt công sức của đội ngũ thực hiện. Có thể lấy ví dụ như trong một bộ phim “The life of Pi” có cảnh một con hổ trên một chiếc thuyền cứu hộ với một cậu bé trong thời gian quá nửa bộ phim, việc để một con hổ thật trên thuyền là một mạo hiểm lớn và rất khó thực hiện (Hình 1.12). Các kỹ xảo 3D đã được đưa vào nhằm tạo ra một con hổ như thật. Kéo theo đó là các chuyển động của đối tượng này cần phải làm ngày một giống thực hơn. Các bề mặt của đối tượng hổ 3D cần co duỗi theo đúng giải phẫu cơ thể của một đối tượng hổ trong đời thực. Việc này hiện đang được làm thủ công bởi các họa sĩ thông qua việc tạo ra bề mặt của đối tượng, tạo một hệ xương cho đối tượng, neo bề mặt của đối tượng theo hệ xương này. Trong các chuyển động, lớp bề mặt đối tượng sẽ bị biến dạng, người họa sĩ phải chỉnh sửa và thay đổi sự ảnh hưởng trên từng vùng bề mặt một cách thủ công dựa theo các tham chiếu thực tế. Việc này đòi hỏi khá nhiều công sức và thời gian.



Hình 1.12: Ứng dụng kỹ xảo tạo ra con hổ 3D trong phim “Life of Pi” (theo Bill Desowitz, 2012 trên VFXWorld)

Các biến dạng một cách tự động hiện cũng đã được nghiên cứu thành các thuật toán và áp dụng trong một số trường hợp. Ví dụ như hiện nay, các đối tượng như vải, chất lỏng, lông tóc đã được mô hình hoá để có thể tự động biến dạng trong môi trường ảo. Với mỗi hiệu chỉnh về độ chi tiết, biến dạng sẽ bị ảnh hưởng theo, và tùy theo yêu cầu cụ thể của sản phẩm, độ chi tiết được nâng lên hoặc giảm xuống cho phù hợp.

Trong việc phân tích biến dạng của một đối tượng 3D khi có tương tác cũng có nhiều vấn đề cần phải tính toán gần đúng. Ví dụ cụ thể có thể dễ dàng nhận ra là lực tác động thực tế vào một đối tượng gồm nhiều thành phần cấu thành, lớp bề mặt của một đối tượng trong thực tế cũng không đồng nhất về chất liệu, độ dày và các tính chất lý hoá khác. Do đó quá trình thiết lập biến dạng dưới các lực tác động của một lớp bề mặt bao giờ cũng rất phức tạp nếu không có quá trình quy ước. Thông thường hiện nay bề mặt của các đối tượng trong môi trường ảo đều được coi là đồng nhất về mặt chất liệu trong một phạm vi đủ hẹp. Ngoài ra, độ dày của bề mặt này chỉ được coi là một mặt phẳng không có độ dày, các biến dạng không phá vỡ chỉ làm cho

bề mặt này bị biến dạng về hình dạng. Các biểu diễn với độ chi tiết cao và phức tạp thông thường sẽ được các họa sĩ thực hiện thủ công hoặc quy ước về một số loại hình biến dạng nhất định. Ví dụ như trong các trò chơi oto có va chạm, các xe oto sau khi va chạm sẽ có các tổn hại trên lớp bề mặt, một số tổn hại thậm chí còn là dạng phá vỡ. Các tổn hại này thông thường được dựng sẵn và quy ước cho việc va chạm như thế nào thì sự phá vỡ sẽ được thực hiện ra sao. Việc này được làm kỹ công hơn trong các ứng dụng kỹ xảo đồ họa phim. Các biến dạng được thực hiện hoàn toàn bằng tay.

1.3. Một số hướng nghiên cứu được đề xuất trong luận án

1.3.1. Thực trạng nghiên cứu ứng dụng mô phỏng da bệnh nhân dưới tác động ngoại lực

Trong bài toán đào tạo nhi khoa, việc thực hiện trực tiếp trên cơ thể người có chi phí đắt đỏ, không đảm bảo về mặt y đức và không thể mở rộng đào tạo nên yêu cầu mô phỏng bệnh nhân Nhi giống như bệnh nhi thực được đặt ra. Như đã đề cập ở trên, việc mô phỏng bề mặt đối tượng 3D được ứng dụng trong rất nhiều bài toán ứng dụng thực tế có liên quan đến thể hiện hình dạng, trạng thái của đối tượng trong môi trường ảo. Tuy nhiên do lĩnh vực ứng dụng quá rộng, nên việc lựa chọn bài toán tiếp cận nhằm nâng cao hiệu quả của việc mô phỏng bề mặt đối tượng 3D cũng rất phong phú và đa dạng. Trong quá trình thực hiện nghiên cứu về mô phỏng da bệnh nhi ảo trong các trường hợp cấp cứu thường gặp thuộc đề tài cấp Nhà nước “Nghiên cứu phát triển hệ thống hỗ trợ thực hành tiền lâm sàng Nhi khoa dựa trên công nghệ thực tế ảo.” KC-4.0/19-25, một số vấn đề liên ngành liên quan đến biểu diễn lớp da của người nảy sinh: việc thể hiện màu sắc và biến đổi hình dạng của lớp da người dưới các thao tác y khoa như ấn, sờ, cầm, nắm. Các biểu hiện thông thường được thể hiện trên các bề mặt đối tượng 3D được xây dựng bởi các công cụ dựng hình 3D và các Engine hỗ trợ lập trình ứng dụng không còn đáp ứng đủ cho công việc mô phỏng. Thực tế việc này cũng có thể được thực hiện thủ công giống như các sản phẩm đồ họa thường thấy, nhưng kết quả mô phỏng với nhiều trường hợp sẽ tốn nhiều công sức và phụ thuộc vào các họa sĩ.

Lớp da người trong thực tế có tính trong suốt nhất định. Hình ảnh của lớp da mô tả không chỉ có các đặc điểm về hình dạng, màu sắc, lớp lông, lỗ chân lông trên bề mặt da mà nó còn thể hiện một phần các lớp bên dưới. Khi có tương tác bởi ngoại lực lên lớp da người, các lớp này biến đổi về mặt hình dạng không như một mặt đồng nhất về chất liệu và có sự biến đổi màu sắc theo tình trạng sức khỏe của cơ thể người. Các tham số sự sống như nhịp tim, huyết áp, nhiệt độ của bệnh nhân, nhiệt độ, độ ẩm và ánh sáng của môi trường cũng ảnh hưởng đến các quá trình biến đổi này. Trong bài toán mô phỏng da người cho thực hành y khoa, một số vấn đề về môi trường có thể được xác định như hằng số và bất biến trong suốt quá trình thực hành, tuy nhiên các yếu tố về tình trạng sức khỏe của bệnh nhân ảo cần phải thể hiện rõ ràng thông qua lớp da của bệnh nhân lại là một yêu cầu không thể bỏ qua. Thậm chí một số tiêu chí về thể hiện của da người như độ hồng hào, giãn, nảy, khả năng hồi phục màu sắc, các đốm màu bất thường còn được giới y khoa sử dụng để chẩn đoán và đưa ra phương pháp điều trị thích hợp.

Hiện nay, các nghiên cứu thể hiện màu sắc của da bệnh nhân có tính toán đến tham số thời gian làm đầy mao mạch dưới tác động của thủ thuật y khoa trong bài toán mô phỏng trong không gian ảo là chưa có. Đối với việc tăng độ chi tiết trong thể hiện biến dạng của da bệnh nhân dưới tác động ẩn đã có các nghiên cứu nhưng vẫn gặp hạn chế về việc tăng dung lượng lưu trữ chung của mô hình hay phụ thuộc vào khối lượng thủ công.

Do đó, việc phân tích các đặc điểm của lớp bề mặt đối tượng bệnh nhi ảo, đề xuất một số kỹ thuật mới nhằm nâng cao chất lượng hiển thị của đối tượng trong các bài toán thực hành y khoa trong môi trường ảo được thực hiện.

1.3.2. Các bài toán đề xuất giải quyết

Như đã trình bày ở mục **Error! Reference source not found.**, bài toán mô phỏng da người trong môi trường thực hành ảo Nhi khoa được lựa chọn nghiên cứu sâu nhằm nâng cao chất lượng. Tuy nhiên đây không phải là một bài toán đơn thuần liên quan đến xây dựng đối tượng 3D hay thể hiện màu sắc mà gồm một tập các bài toán. Trong đó chúng được chia thành hai loại chính: một số bài toán chỉ liên quan tới mô phỏng đối tượng 3D trong môi trường ảo như:

- Bài toán xác định va chạm của các đối tượng 3D nói chung và bài toán xác định va chạm cho các dạng ứng dụng phổ thông.
- Bài toán thể hiện màu sắc da của đối tượng người biến đổi theo thời gian dưới tác động của ngoại lực.
- Bài toán gia tăng độ chi tiết của việc thể hiện biến đổi hình dạng da của đối tượng người dưới tác động của ngoại lực .

Ngoài ra, để giải quyết được các bài toán mô phỏng cũng cần nghiên cứu các vấn đề liên ngành để hỗ trợ bao gồm:

- Vấn đề về thời gian làm đầy mao mạch liên quan đến các tham số sự sống của da người và sự biến đổi màu sắc da theo tình trạng bệnh lý của bệnh nhân dưới tác động của các thủ thuật y khoa
- Vấn đề về sức bền vật liệu, biến dạng của bề mặt dưới tác động của ngoại lực
- Vấn đề về học máy trong việc đưa ra các chỉ số dự kiến mô tả trạng thái của bệnh nhân ảo dựa trên tập dữ liệu ban đầu.

Nội dung được trình bày trên đây là những vấn đề luận án đã giải quyết có tính thay đổi phương thức biểu diễn hoặc giải quyết theo hướng đề xuất phương án đánh đổi một số tham số để đạt được một số tham số khác. Trong thực tế mô phỏng, để đạt được tới độ chính xác ngày càng tiệm cận tới như da người thật, còn nhiều vấn đề khác sẽ được nghiên cứu mở rộng sau. Ngoài ra, trong luận án các vấn đề liên ngành sẽ không được trình bày thành các mục riêng rẽ mà tùy theo từng bài toán mô phỏng mà được giới thiệu nhằm hỗ trợ cho quá trình nghiên cứu.

1.4. Kết luận chương 1

Mô phỏng trong y tế là một hướng nghiên cứu đang được quan tâm và phát triển hiện nay, tuy nhiên do nhiều lý do khách quan và chủ quan, kinh tế và kỹ thuật nên việc mô phỏng trong thực hành y tế hiện nay không cho phép có thể tái hiện một cách đủ chi tiết các đối tượng mô phỏng cũng như các tương tác giữa chúng. Nhiều kỹ

thuật đã được áp dụng trong mô phỏng nhằm nâng cao hiệu quả thể hiện, độ chính xác của tương tác trong đó các kỹ thuật xấp xỉ bề mặt nhằm mô phỏng gần đúng được sử dụng thông dụng nhất.

Trong chương này, đã trình bày tổng quan về bài toán mô phỏng trong thực hành y khoa: Sự phát triển từ mô phỏng bằng các nguyên mẫu mô hình (manakin) dịch chuyển dần sang mô phỏng trên môi trường ảo 3D và sự liên quan giữa mô phỏng trong môi trường ảo với các kỹ thuật mô phỏng bề mặt. Sau đó, luận án đi sâu vào phân tích các vấn đề mô phỏng bề mặt cần giải quyết thực tế mà mình gặp phải trong khi phát triển sản phẩm. Từ đó, các hướng nghiên cứu chính của luận án và phương pháp thực hiện được đề xuất.

Trong chương 2 và chương 3, việc áp dụng các kỹ thuật mô phỏng bề mặt vào giải quyết các vấn đề với đối tượng kiểm thử là sản phẩm đang được triển khai thực tế tiếp tục được làm rõ. Điều này không chỉ làm sáng tỏ tính ứng dụng của sản phẩm mà còn củng cố quan điểm đã được nêu ra tại chương 1.

Trong chương 1, nghiên cứu tổng quan về mô phỏng trong y tế và ứng dụng kỹ thuật tính toán gần đúng bề mặt trong mô phỏng y tế được công bố: [JN03].

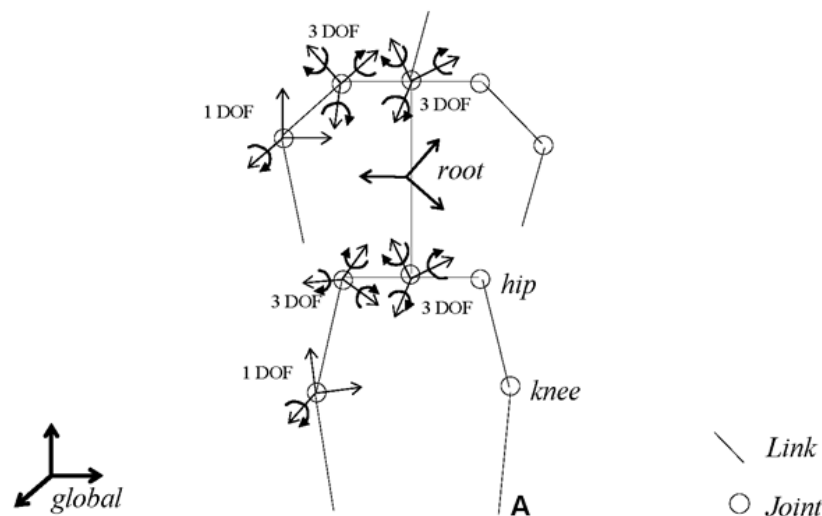
CHƯƠNG 2. MỘT SỐ KỸ THUẬT TÍNH TOÁN GẦN ĐÚNG TRONG XÂY DỰNG VÀ XÁC ĐỊNH TƯƠNG TÁC BỀ MẶT ĐỐI TƯỢNG 3D

2.1. Biểu diễn đối tượng 3D trong không gian ảo

2.1.1. Kỹ thuật tạo hình đối tượng 3D trong không gian ảo

2.1.1.1. Giới thiệu

Tạo hình 3D dạng người trong môi trường ảo có khá nhiều phương pháp nhưng đều được gọi chung là phương pháp tạo hình 3D Humanoid. Phương thức này ban đầu được thực hiện bằng việc phân chia cơ thể 3D thành các khối trụ hoặc khối hộp cùng các khớp nối mô tả các khớp chuyển động tự do của cơ thể người. Trong thực tế hiện nay, phương thức tạo hình này vẫn được sử dụng tuy nhiên lớp vỏ bề mặt đã có những cải tiến nhằm thể hiện cơ thể người một cách chính xác hơn. Các khối trụ hoặc khối hộp được thay thế bằng hệ lưới phức tạp nhằm mô tả chính xác bề mặt của lớp da người. Các khớp nối không chỉ được hiểu là một điểm quay với một số chiều quay nhất định mà được cấu trúc lại nhằm thể hiện sinh động hơn chuyển động tại các khớp của cơ thể người (Hình 2.1). Màu sắc của bề mặt các đối tượng 3D dạng người ban đầu không được quá quan tâm đã có sự thay đổi thông qua việc tạo ra nhiều lớp thể hiện.



Hình 2.1: Các khớp của cơ thể người (22 DOF) được thể hiện trong môi trường ảo (theo Delamarre and Faugeras - 2001)

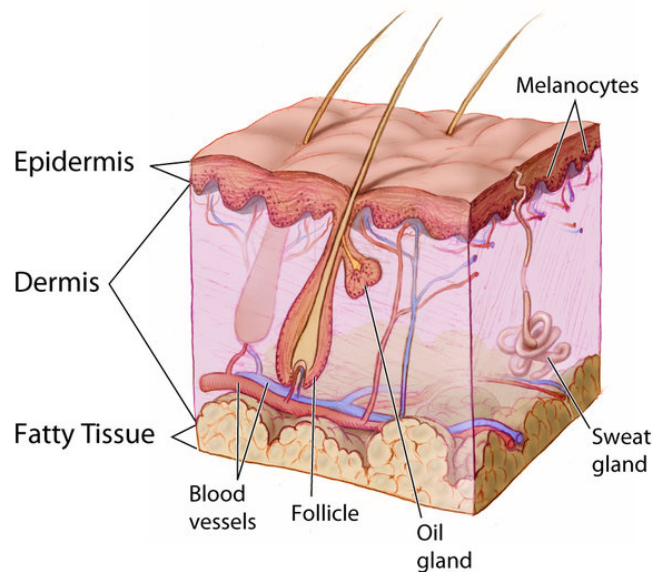
Phương thức tạo ra đối tượng 3D hiện nay thông thường được hiểu là tạo ra hình dạng đối tượng 3D chứ không phải tạo ra từng thành phần nhỏ bên trong đối tượng 3D. Do đó, hầu hết các đối tượng 3D trong không gian ảo hiện nay là một đối tượng rỗng ruột. Các thuật toán, kỹ thuật nhằm làm cho đối tượng 3D trông gần giống với đối tượng gốc được gọi chung là các kỹ thuật tạo hình 3D. Phương thức này không chỉ áp dụng cho đối tượng nghiên cứu trong luận án là cơ thể bệnh nhân ảo và được áp dụng cho hầu hết các đối tượng 3D trong các môi trường ảo nói chung. Cũng cần phải nói thêm là trong kỹ thuật dựng hình 3D mặc dù có khái niệm về vật liệu của đối tượng, tuy nhiên đây không phải là khái niệm vật liệu như trong vật lý thông thường.

Vật liệu trong dựng hình 3D chỉ có ý nghĩa trong việc mô phỏng lại sự phản xạ ánh sáng trên bề mặt của đối tượng được xây dựng. Thông qua đó, đối tượng trông có vẻ như được tạo thành bởi một số chất liệu trong thực tế.

Chính vì vậy, sự biến đổi của các đối tượng 3D trong không gian ảo hiện nay đều là một quá trình xấp xỉ đối tượng trong thực tế. Những nội dung được trình bày dưới đây sẽ củng cố thêm cho luận điểm này.

2.1.1.2. Việc thể hiện tạo hình của da người trong môi trường ảo

Việc thể hiện tạo hình lớp da người, hay được coi là lớp vỏ của đối tượng 3D người trong môi trường ảo sẽ được quy chung về việc xây dựng hệ lưới của đối tượng này. Một số bộ phận của lớp da sẽ không được xem xét biểu diễn trong phạm vi nghiên cứu của luận án như: lớp lông bên trên da, các lớp bám dính, lớp biểu bì chết bám dính trên da, mồ hôi trên da.



Hình 2.2: Mặt cắt ngang lớp da người (theo Don Bliss)

Da người được tạo thành từ nhiều lớp (Hình 2.2) và được biểu diễn trong một minh họa về một mặt cắt ngang của da người bởi Don Bliss, Viện Ung thư Quốc gia. Lớp dưới da được ký hiệu là S, lớp hạ bì được ký hiệu là 1 và lớp biểu bì được ký hiệu là lớp số 2. Biểu bì gồm nhiều lớp con. Tương tự như vậy, trong khi lớp hạ bì được cấu tạo chủ yếu bởi collagen và các mô đàn hồi, nó cũng chứa nhiều thành phần khác, chẳng hạn như mạch máu, cơ quan thụ cảm và tuyến mồ hôi. Mặc dù được cấu tạo từ nhiều thành phần, có thể đưa ra giả định chung rằng một mô hình cơ học liên tục có thể được xác định một cách thích hợp cho mỗi lớp và có thể sử dụng một mô hình vỏ mỏng cho lớp da người. Lớp da và lớp biểu bì có thể khá khác nhau trên cơ thể (ví dụ: mi mắt so với bàn tay). Nhưng trong việc sử dụng mô hình lớp vỏ mỏng, có thể coi các đặc tính cơ học tổng thể tương ứng với các đặc tính cục bộ và cũng có thể điều chỉnh các đặc tính không đồng nhất của da bằng cách cho phép các thông số thay đổi trên các mô hình lớp.

Giả định rằng sự biến dạng của lớp S được cung cấp dưới dạng hình dạng tổng hợp, do đó chỉ cần mô phỏng mô hình hai lớp dựa trên lớp hạ bì và biểu bì cho việc

mô phỏng da. Việc ghép các lớp lân cận được thực hiện bằng các ràng buộc cục bộ với tần số không gian tương ứng với các đặc tính cơ học của chúng. Điều này tuân theo một cấu trúc tương tự như nghiên cứu được nhúng trong lớp vỏ mỏng của Remillard và Kry [27]. Trong nghiên cứu đó đã áp dụng một mô hình đơn giản mô tả đặc tính cơ học của một vật mỏng nằm trên nền tảng đàn hồi mềm [28]. Mô hình này cung cấp bước sóng quan trọng của lớp trên cùng như một hàm của độ dày và đặc tính đàn hồi của da. Nói cách khác, một khi các thông số này đã được xác định, bước sóng của nếp nhăn có thể được dự đoán. Da người cũng có thể được coi là một vật liệu tổng hợp nhiều lớp, nơi một lớp biểu bì mỏng và tương đối cứng được gắn với một lớp hạ bì mềm. Trong trường hợp này, các tần số nhăn có thể được mô tả bằng cách sử dụng một mô hình vật lý đơn giản, hơi khác so với mô hình lớp đơn. Một dạng tổng quát của chu kỳ nếp nhăn cũng được đưa ra bởi Cerda và Mahadevan [29]. Với độ dày của lớp trên h_k và lớp dưới h_{k-1} , và module Young cho mỗi lớp (E_k và E_{k-1} tương ứng), bước sóng tới hạn được cho bởi công thức:

$$\lambda_k \sim (h_k * h_{k-1})^{\frac{1}{2}} * \left(\frac{E_k}{E_{k-1}}\right)^{1/6} \quad (2.1)$$

Khi đã biết bước sóng tạo độ lồi lõm tới hạn, có thể xác định một tập hợp các ràng buộc cục bộ được phân bố theo không gian để mô hình vỏ mỏng nhiều lớp tạo ra các nếp nhăn với các bước sóng mong muốn. Lưu ý rằng khi các lớp da có độ đàn hồi và độ dày khác nhau, giá trị gần đúng của bước sóng tới hạn này sẽ là cục bộ và phải cân nhắc điều này khi xây dựng các ràng buộc cho phép sự biến đổi thích hợp của bước sóng mô tả sự lồi lõm.

Các ràng buộc

Sử dụng một lược đồ tương tự như các lớp vỏ mỏng, để mô phỏng da cần xây dựng các ràng buộc để ghép nối giữa các cặp lớp vỏ mỏng mô phỏng trong các lớp khác nhau. Một tập hợp các ràng buộc phải được xác định giữa mỗi cặp lớp liền kề. Các ràng buộc là cục bộ và chồng lên nhau theo cách đảm bảo rằng lớp cao hơn sẽ theo lớp dưới với tần số thấp hơn so với bước sóng của độ lồi lõm chính của nó. Hình dạng lớp dưới cùng được xác định thông qua các ràng buộc về vị trí, điều này cũng được áp dụng cho lớp đầu tiên của lớp vỏ.

Sử dụng $k \in \{1, 2, \dots\}$ làm chỉ số lớp, coi một lớp bên trên được xác định bởi vị trí $h_k \in \mathbb{R}^m$ và lớp bên dưới có vị trí $x_k \in \mathbb{R}^n$. Về tổng thể, số lượng đỉnh ở lớp trên sẽ nhiều hơn lớp dưới, và các vị trí sẽ tương ứng với sự tùy biến khác nhau theo vật liệu. Các ràng buộc bao gồm một số hạng thông thường để tính độ dày của lớp:

$$H_k x_k = H_{k-1} (x_{k-1} + t_k n_{k-1}) \quad (2.2)$$

Trong đó n_{k-1} cung cấp các chỉ số đỉnh của lớp dưới, t_k là độ dày của lớp, và $H_k: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^c$ và $H_{k-1}: \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}^c$ tạo thành một ma trận ràng buộc trên tất cả các bậc tự do. Sự kết hợp có trọng số của các vị trí đỉnh được xác định bởi các ràng buộc phải được tính toán để giải quyết các sai lệch của lưới lớp khác nhau nảy sinh trong việc sử dụng các mắt lưới thích ứng cho các lớp. Đối với các vật liệu không đồng nhất, độ dày của một lớp là không đổi, có thể thay thế đại lượng t_k bằng một ma trận đường chéo để tính độ dày tại các đỉnh khác nhau. Độ dày phải được lấy mẫu từ bản đồ thuộc

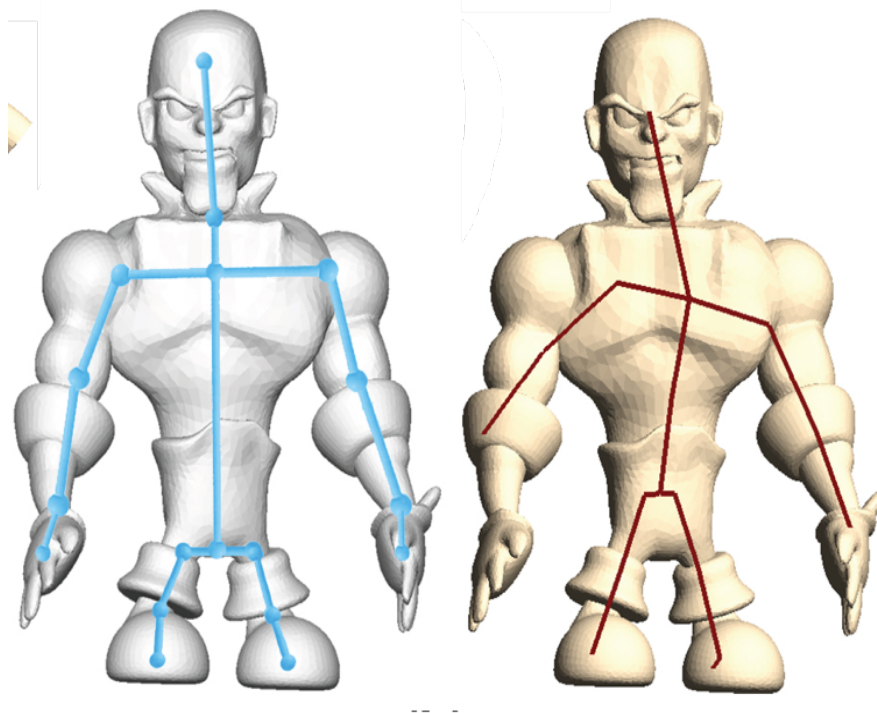
tính dựa trên các tùy chọn của lớp hiện tại, và tương tự như vậy các giá trị normal phải được tính toán.

Các phương pháp hiện tại để sản xuất hình ảnh động của da trên máy tính có thể hiện chi tiết độ biến dạng của bề mặt có thể được phân loại thành ba nhóm. Các nghệ sĩ có thể vẽ các mẫu nếp nhăn trong bản đồ texture để thay đổi bề mặt normal trong quá trình tính toán đổ bóng [30], [31] và thiết kế các đường cong nhăn để sửa đổi hình học lưới theo hướng nghệ thuật [32]. Ngoài ra, các phương pháp tiếp cận theo cách tính toán có thể tạo ra các biến dạng lưới gần giống với biến dạng vật lý thực tế [33]. Loại thứ ba là các kỹ thuật dựa hoàn toàn vào mô phỏng dựa trên các định luật vật lý để làm sinh động lưới bề mặt theo một tập hợp các thuộc tính vật liệu được ấn định [34], [35]. Bất kể kỹ thuật nào được sử dụng, những điểm lồi, lõm trên bề mặt của da là những chi tiết hình ảnh quan trọng được sử dụng để thiết kế các nhân vật cho cảm giác về độ thực tế, biểu cảm cho cả khuôn mặt và cơ thể (Hình 2.3).



Hình 2.3: Hình dạng của da cho phép thể hiện biểu cảm, độ thực tế của nhân vật và hệ lưới của chúng [31]

Một vùng da, khi chịu tác động của một ngoại lực như thao tác ấn, ngoài việc màu sắc bị thay đổi do lượng máu trong các mao mạch tại vùng tác động được đẩy ra ngoài thì hình dạng cũng bị kéo dãn theo hướng tác động của ngoại lực. Có hai cách tiếp cận trong việc mô phỏng biến đổi hình dạng này. Thứ nhất, là diễn họa thủ công bởi các họa sĩ tạo hình 3D hoặc các họa sĩ hoạt hình [36]. Thứ hai, là bằng các mô phỏng vật lý, gọi là skin slide, thông qua việc làm cho các điểm nút trên lưới biểu diễn da trượt đi [36], [38], một số hàm số được tích hợp vào các điểm nút cho phép tăng độ trung thực và sát với chuyển động của cơ hơn [39], [40].



*Hình 2.4: Thuật toán sinh lưới tự động cho đối tượng chuyển động của Shaojun
Bian 2018 [42]*

Năm 2017, trong nghiên cứu của mình [41], Jun Saito đã đề xuất một kỹ thuật mô phỏng skin slide dựa vào đặc điểm hiệu ứng chỉ xảy ra cục bộ trong một khoảng thời gian nhỏ, tức là các điểm trong khu vực bị tác động sẽ trượt sang một điểm nào đó trên một trong các mặt lân cận. Tuy nhiên, khi các điểm trong vùng chịu tác động bị trượt đi, với xu thế chung là dẫn ra. Độ chi tiết của phần da chịu tác động đa phần sẽ “xấu” hơn những vùng da lân cận, do mật độ điểm nút, hay lưới trên một đơn vị diện tích thể hiện là nhỏ hơn. Độ chi tiết của vùng da bị tác động sẽ gặp những vấn đề trong thể hiện đối tượng nếu bề mặt biểu diễn vùng da chịu tác động không tròn, số lượng lưới tại vùng da ít.

Việc sinh lưới cho các đối tượng da động trong không gian ba chiều có nhiều phương pháp nhưng chung nhất có hai phương pháp chính là sinh lưới cho đối tượng dạng tứ giác và sinh lưới cho đối tượng dạng tam giác. Việc sinh lưới cho đối tượng dạng tứ giác dễ dàng hơn cho việc xử lý, hiệu chỉnh nhưng không tối ưu về mặt lưu trữ và thể hiện. Đã có nhiều nghiên cứu trong việc tạo ra các hệ lưới cho đối tượng 3D nhanh, chi tiết mà không ảnh hưởng tới thẩm mỹ [36], [42] (Hình 2.4). Việc mô phỏng lớp da đối tượng với nhiều lớp cũng đã được nghiên cứu nhằm mô tả độ nhăn của da thông qua việc chồng nhiều lớp màu trên cùng một bề mặt ba nhưng mới chỉ cải thiện về hiệu ứng hình ảnh mà không thay đổi về bản chất lớp da đối tượng [43]. Việc thay đổi cấu trúc của lớp vỏ đối tượng đa số được thực hiện với các bài toán liên quan đến cơ khí và khí động học [44]. Do đó, hiện nay định dạng chuẩn cho việc lưu trữ và xử lý đối tượng 3D là dạng lưới tam giác.

Trong mô phỏng y tế sử dụng cho mục đích đào tạo, các kỹ thuật tạo hình đối tượng 3D chủ yếu vẫn được thực hiện theo phương pháp thủ công bởi các họa sĩ. Việc

sử dụng các kỹ thuật tự tái tạo đối tượng 3D dựa trên dữ liệu đám mây điểm tạo ra đối tượng với độ chi tiết quá lớn (dữ liệu đám mây điểm của một đối tượng thông thường tính bằng GB trở lên), không phù hợp cho việc xây dựng các ứng dụng hoạt động trên các thiết bị đầu cuối của người học.

2.1.2. Kỹ thuật tạo màu đối tượng 3D trong không gian ảo

2.1.2.1. Một số kỹ thuật tạo màu cho đối tượng trong môi trường ảo

Để tạo ra màu sắc cho một đối tượng 3D có hai phương pháp chung: (1) quy định màu sắc cho lớp bề mặt của đối tượng, (2) dán lên bề mặt của đối tượng một số lớp hình ảnh theo đặc điểm bên ngoài mong muốn của đối tượng. Trong trường hợp 1, đây chỉ là biện pháp kiểm thử màu sắc của đối tượng, thực tế hiện nay rất ít dự án được thực hiện theo cách này. Các đối tượng trong các sản phẩm ba chiều hiện nay hầu hết đều được phủ lên một đến nhiều lớp hình ảnh với các đặc điểm khác nhau. Những tổng hợp về kỹ thuật tạo màu cho đối tượng 3D được gọi chung là các kỹ thuật texturing, mapping và painting cho đối tượng 3D.

Có thể tạm phân biệt các dạng hình ảnh lớp vỏ của đối tượng 3D thành 2 dạng kết cấu: kết cấu rắn và kết cấu hình học [36], trong đó kết cấu rắn cho phép hiển thị vật liệu và màu sắc của đối tượng, các kết cấu hình học cho phép thể hiện một số hiệu ứng độ sâu của lớp vỏ đối tượng. Vật liệu của đối tượng trong trường hợp này không mang nhiều ý nghĩa về độ cứng của đối tượng ảo mà dùng để mô tả tính chất phản xạ của ánh sáng khi đến bề mặt của đối tượng. Các nghiên cứu việc tạo thành lớp màu sắc thể hiện đối tượng 3D vẫn tiếp tục được nghiên cứu nhưng hướng dẫn theo các mảng chuyên sâu hơn như tái tạo lớp màu sắc của đối tượng, hồi quy hình ảnh lớp vỏ đối tượng thành bề mặt hình học của đối tượng với sai số thấp, xử lý hình ảnh lớn, ...

Trong phạm vi nghiên cứu của luận án này, luận án sẽ tập trung vào việc biểu diễn màu sắc của lớp da cơ thể người. Thành phần được quan tâm thể hiện chỉ bao gồm phần hình ảnh kết cấu rắn. Các hiệu ứng chỉ được xử lý trong tương lai khi việc thể hiện màu sắc cơ bản của đối tượng thoả mãn các yêu cầu đầu vào của bài toán mô phỏng.

2.1.2.2. Việc thể hiện màu sắc của da người trong môi trường ảo

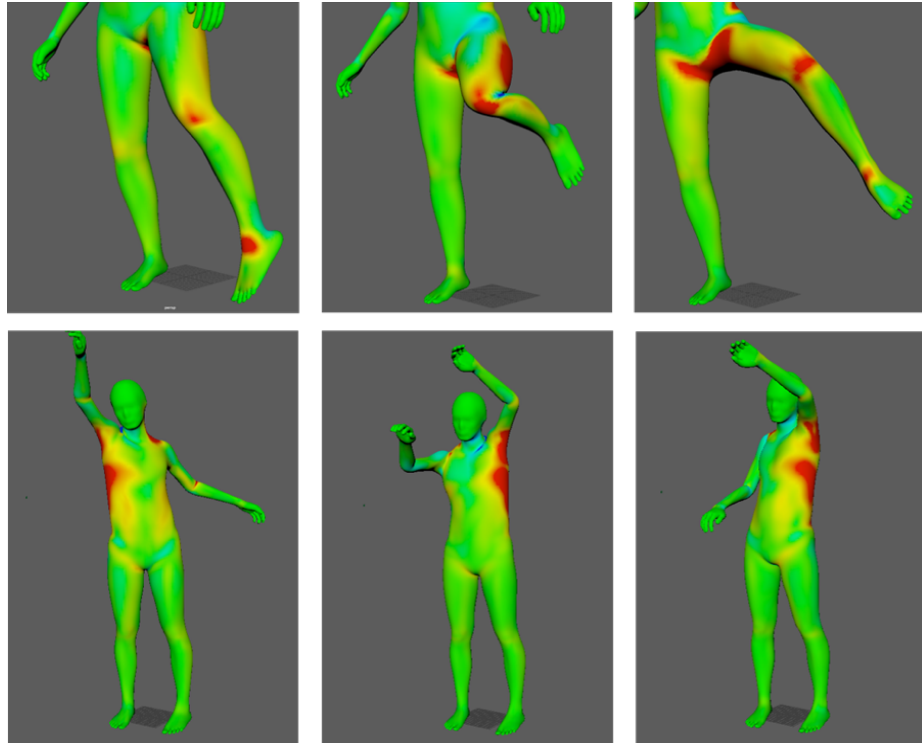
Việc mô phỏng da người trong môi trường ảo có thể chia thành hai hướng chính, đó là: Xây dựng lớp da của đối tượng người trong môi trường ảo như được mô tả trong [45] và mô phỏng các yếu tố tác động lên lớp da của đối tượng người trong môi trường ảo [46] (*Hình 2.5*). Trong đó, việc tạo thành lớp da người hiện nay được chia thành hai trường phái chính, mô phỏng lớp bên ngoài của da thông qua việc dán các lớp hình ảnh lên bề mặt đối tượng 3D và mô phỏng toàn bộ hoặc một phần các thành phần của da người theo cấu trúc thực tế. Loại mô phỏng thứ nhất thường được ứng dụng trong các trò chơi hoặc các sản phẩm ứng dụng mang tính chất minh họa, còn loại mô phỏng thứ hai thì khó hơn và được sử dụng trong các nghiên cứu chuyên sâu và cũng rất khó để thực hiện một cách đầy đủ. Các tương tác thời gian thực với da hiện nay chỉ có một số nghiên cứu [47] đã phân tích đến việc biến đổi hình dạng của

da theo các chuyển động và được mô tả thông qua việc rời rạc hoá các lớp da thành các boundry curves. Đa số các nghiên cứu về mô phỏng trong không gian 3D mới chỉ đề cập đến việc xử lý lớp bề mặt của đối tượng với các tham số được đưa trực tiếp vào bề mặt mà chưa có bộ dữ liệu mô phỏng bề mặt da.



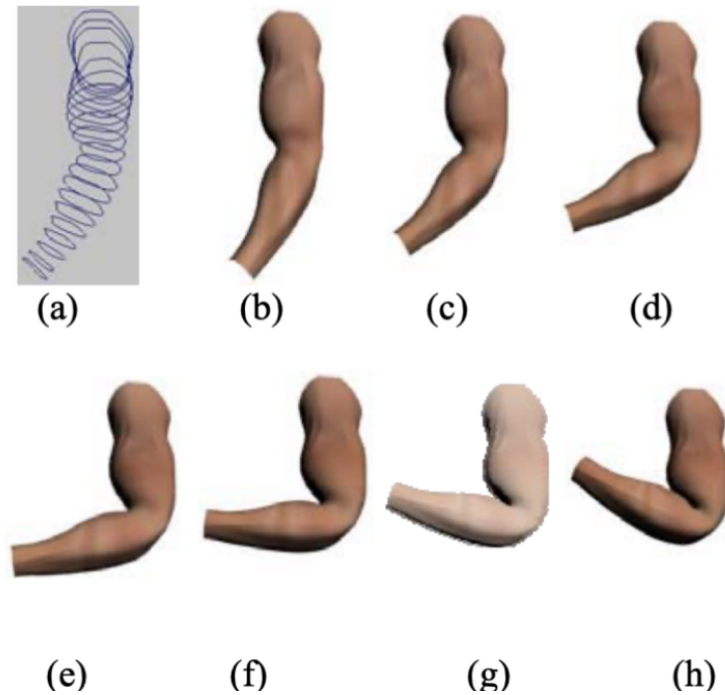
Hình 2.5: Một số tiến bộ trong việc mô phỏng lớp da người được thực hiện trong nghiên cứu của Eugene d'Eon (2007)

Các nghiên cứu chi tiết về việc tạo thành lớp da của đối tượng người trong môi trường ảo như sau: Việc tách texture của da thành nhiều lớp để xử lý được đề cập đến bởi 2004, Florian Struck [48] hoặc 2006, Ben Jones [49] bao gồm các lớp cơ bản trong việc xây dựng mô phỏng da thông qua Shading: các lớp cơ bản (lưới tạo hình, texture, normal maps và bumped maps), các lớp thể hiện rọi sáng (illumiation skin: bao gồm các lớp bóng và rọi sáng), các lớp hấp thụ ánh sáng (ambient occlusion), các lớp phản xạ ánh sáng và tán xạ ánh sáng. Trong các nghiên cứu sau đó, các đặc tính của da như độ trong suốt, việc render thời gian thực cũng được nghiên cứu thông qua việc phân tích sự phản xạ và xuyên thấu của ánh sáng qua nhiều lớp da của đối tượng với kỹ thuật ánh xạ photon hoặc xấp xỉ khuếch tán bởi 2010, Jorge Jimenez [50]. Hiện nay, việc mô phỏng da đã được nghiên cứu theo các hướng chuyên sâu hơn như y tế, thời trang, ... kết hợp với các phương pháp như học máy, dữ liệu lớn. Trong tài liệu 2018, Akinobu Maejima [51] phân tích dữ liệu hình ảnh của da người thật nhằm xác định độ căng của da người và áp dụng để xây dựng lớp da của mô hình 3D (Hình 2.6), từ đó hỗ trợ việc thiết kế trang phục thể thao cho con người.



Hình 2.6: Sử dụng học máy ghi nhận độ căng của da trong việc mô phỏng lớp da người trong môi trường 3D trong nghiên cứu của Maejima (2018)

Các nghiên cứu chi tiết về mô phỏng các yếu tố tác động lên lớp da của đối tượng người trong môi trường ảo như sau: Hành vi cơ sinh học của da cũng được đề cập đến trong tài liệu của Elisa Molinari [46] trong đó đề ra một phương pháp mô phỏng và mô hình hoá mô mềm trong việc lập kế hoạch phẫu thuật dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn. Nghiên cứu phân tích các hành vi của da vùng đầu khi bị kéo căng. Trong nghiên cứu đưa ra giải pháp cho phép xác định động lực của một điểm trên da vùng đầu sau khi tác động một lực; dự đoán lực cần thiết để dịch chuyển một điểm; sự biến dạng của các điểm trên da vùng đầu dựa trên lực tác động. Việc xác định biến dạng cho da do các lực tác động vật lý cho nhân vật hoạt hình được đề xuất theo một số hướng như: biểu diễn bề mặt da bằng hệ thống lưới và tính toán biến dạng trên hệ thống lưới này – đây là phương pháp phổ biến nhất; biểu diễn bề mặt da và các biến dạng bằng các đường cong bởi 2009 (Hình 2.7), L.H.You [47] thông qua một phương trình vi phân bậc 4, nhằm giảm hao phí tính toán theo phương pháp thông thường. Việc mô phỏng da người trong y tế cũng đề cập đến trong tài liệu 2010, Weixin Si [52], trong đó mô phỏng sự sụt lún và chuyển động quay của da bằng mô hình lò xo, tích hợp Verlet để cập nhật vị trí các điểm của da và vẽ biến dạng của da. Qua khảo sát thực tế và các tài liệu y khoa [53], [54] da người khi chịu tác động của ngoại lực sẽ biến đổi về cả hình dạng lẫn màu sắc, tuy nhiên quá trình phục hồi lại của hình dạng và màu sắc không đồng bộ với nhau mà chênh lệch bởi một khoảng thời gian được định nghĩa là thời gian làm đầy mao mạch (CRT). Khoảng thời gian này biến thiên dựa theo các tham số về sức khỏe của con người. Hiện nay các nghiên cứu về mô phỏng da ảo trong y tế biến đổi về hình dạng và màu sắc có tính toán tới thời gian làm đầy mao mạch còn khá hạn chế.



Hình 2.7: Một số phương pháp biểu diễn đường bao của da bằng các đường cong của L.H.You (2009) a: đường cong bề mặt; b,e,h: tư thế đích; c,d,f,g: tư thế thu được từ phương pháp của You

2.2. Xử lý va chạm giữa đối tượng 3D trong không gian ảo

Mô phỏng các đối tượng trong không gian ảo hiện nay không chỉ bao gồm việc thể hiện tĩnh các đối tượng này. Nhu cầu mô phỏng các hoạt động của các đối tượng, hiện tượng có tương tác lẫn nhau ngày trở thành một xu thế tất yếu, không chỉ trong nghiên cứu mà trong các ứng dụng phổ thông cũng ngày một phổ biến. Việc thực hiện thủ công mô tả các tương tác giữa các đối tượng mất quá nhiều công sức và thời gian của họa sĩ. Các phương pháp bán thủ công hoặc tự động đã được ứng dụng ngày một nhiều hơn nhằm tăng hiệu suất công việc trong môi trường ảo.

Trong các phương pháp xác định va chạm hiện nay, các phương pháp được sử dụng nhiều nhất và có tính phổ biến nhất là phương pháp phát hiện sự giao cắt giữa các thực thể hình học đơn giản, như hình cầu, hình hộp. Các đa giác và hình hình học có độ phức tạp cao cần được tính toán cẩn thận trước khi sử dụng. Lý do của việc này là hao phí tính toán không chỉ phụ thuộc vào độ phức tạp của các phép kiểm thử giao thoa giữa các đối tượng mà còn phụ thuộc vào số lần phép thử này được áp dụng đi áp dụng lại trên đối tượng theo dõi. Do đó, việc xác định được lúc nào va chạm xảy ra và va chạm xảy ra tại đâu để áp dụng các phép kiểm thử trên đối tượng rất quan trọng trong cơ chế hoạt động của việc xử lý va chạm của các đối tượng. Có nhiều chiến lược được đặt ra nhằm phục vụ cho mục đích này: (1) Tìm ra khoảng thời gian đủ nhỏ cho lần va chạm đầu tiên. (2) Giảm các cặp đối tượng tham gia vào va chạm, bài toán sẽ là đơn giản nhất khi chỉ có 2 đối tượng tham gia vào một va chạm và được xem xét cục bộ trong đó. Thông thường các chiến lược này dựa trên các thuật toán tính toán khoảng cách, biểu diễn đối tượng phân cấp, tiêu chí cắt giảm các nhánh có định hướng và lược đồ phân vùng không gian.

Có thể nói rằng việc xác định đúng, chính xác và xác định nhanh va chạm giữa các đối tượng trong miền ảo là bước đầu tiên cho phép biểu diễn các trạng thái tiếp theo của các đối tượng hoạt động trong đó. Các bài toán các đối tượng rắn va chạm với nhau, các đối tượng có thể biến dạng va chạm với nhau, đối tượng dạng lỏng hoặc quá trình tự va chạm trong một đối tượng đều dựa trên cơ sở của việc phát hiện ra va chạm. Tuy nhiên quá trình này nếu không được phân tách một cách độc lập và xử lý đơn giản hoá thì bài toán sẽ trở nên quá phức tạp cho việc tính toán và thể hiện. Việc chấp nhận phải hy sinh một khía cạnh nào đó: thời gian tính toán, công cụ tính toán, khối lượng dữ liệu lưu trữ thông thường sẽ phải được chấp nhận ở một mức độ nhất định để phục vụ cho bài toán tổng thể.

2.2.1. Xác định va chạm giữa các đối tượng 3D trong không gian ảo

Các kỹ thuật phát hiện va chạm trong không gian ảo được nhóm thành bốn cách tiếp cận chính: Giao thoa thể tích không gian, thời gian; Quét giao thoa thể tích; Xác định nhiều giao thoa và tham số hoá quỹ đạo. Dựa trên các phương thức tiếp cận này, hiện nay kỹ thuật xác định va chạm cũng có thể chia làm hai nhánh chính: sử dụng các hộp bao quanh đối tượng nhằm xác định giao thoa của đối tượng với đối tượng khác và phương pháp bắn ra một tia từ đối tượng, dựa trên giao cắt của tia này có thể xác định được va chạm của đối tượng với các đối tượng khác có giao cắt với tia được bắn ra.

Nhận dạng va chạm đặt ra vấn đề kiểm tra các giao thoa có thể xảy ra giữa các mô hình hình học chuyển động trong không gian. Cho một môi trường với n đối tượng $\{O_1, O_2, \dots, O_n\}$ trong đó mỗi đối tượng được biểu diễn là một tập hợp của các hình tam giác, $O_i = \{t_{i1}, t_{i2}, \dots\}$, mục đích là tìm ra đối tượng nào bị trùng, O_i giao $O_j \neq \emptyset$ với $i \neq j$ và tính toán các hình tam giác trùng lặp, $t_{i\alpha}$ giao $t_{j\beta} \neq \emptyset$.

Không xét đến phương thức chuyển động, nhận dạng va chạm đặt ra vấn đề: tại nơi biểu diễn của đối tượng được ánh xạ trong thông tin hình học nhằm mục đích kiểm tra tính lân cận của nó với các đối tượng khác. Trong một số ứng dụng sử dụng các giải thuật nhất định khai thác thông tin được cung cấp bởi:

- Mô hình đối tượng biến dạng - sử dụng linear blend skinning để xác định va chạm trong các mô hình có khung xương biến dạng,
- Các đối tượng, tại các vị trí đỉnh là các kết hợp lồi của các tập hợp do các lưới tham chiếu tạo nên để xác định va chạm giữa các mô hình biến dạng bởi việc biến đổi morph lưới. Trong đó Morph là một hiệu ứng đặc biệt trong hình ảnh động hoặc chuyển động cho phép biến đổi một hình thành hình khác thông qua phép biến đổi liền mảnh - seamless.

Các nhân tố thiết kế khi xây dựng một giải thuật nhận dạng va chạm bao gồm biểu diễn hình học, các dạng khác nhau của các truy vấn, các mối quan hệ với cơ chế chuyển động, sự tương hợp ngoại lệ trong việc thực hiện và sử dụng. Giải thuật nhận dạng va chạm hướng tới các kết quả nhanh và chính xác. Để giảm bớt việc tính toán, một số khu vực của giải thuật có thể được cải thiện để loại bỏ các thành phần cơ bản không cần thiết của đối tượng. Đối với các đối tượng biến dạng, các cấu trúc dữ liệu

được sử dụng có thể cần phải tính toán lại để đảm bảo các truy vấn của sự giao thoa hiệu quả vẫn khả dụng ngay cả sau khi hình dạng bị thay đổi. Độ chính xác được xác định thông qua các tiếp điểm của va chạm: ví dụ như cặp hình cơ bản chính xác của va chạm.

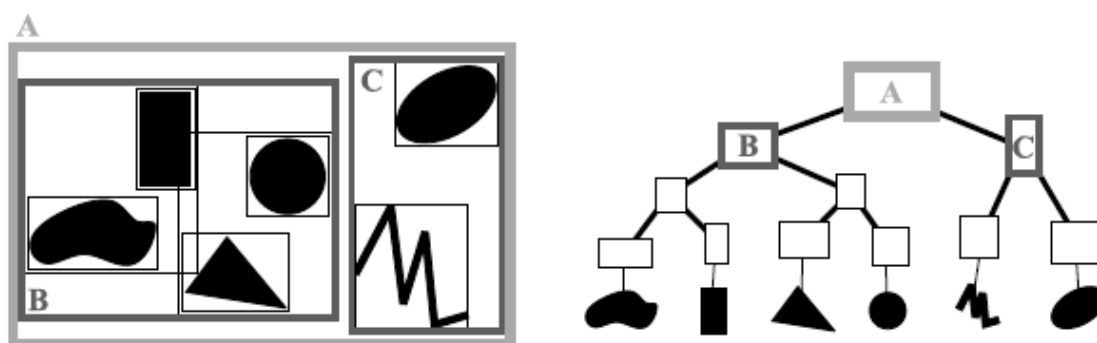
Các dạng truy vấn có thể được tính toán, theo cách đơn giản nhất để nhận dạng được nếu hai đối tượng đang va chạm. Để chi tiết hơn, thông tin liên quan đến các phần của những đối tượng này trong va chạm cần phải xem xét, trong khi tại các trường hợp khác khoảng cách phân biệt giữa các đối tượng là đủ để tính toán. Đối với một số dạng đối tượng, ứng dụng, penetration distance hay khoảng cách nhỏ nhất có thể diễn tả là tham số cần xác định để tách biệt hai đối tượng. Cuối cùng, đối với mỗi một khung chuyển động, một tác vụ để xác định đối tượng gần nhất và các hình cơ bản gần nhất giữa các đối tượng này cần phải được thực hiện.

Một dạng của các phương pháp đi lên từ hình học sử dụng máy tính được chấp nhận bởi hội đồng đồ họa máy tính. Điều này đầu tiên được cố gắng áp dụng cho cơ thể cứng của robot và đồ họa máy tính (computational geometry), đặc biệt sử dụng cho các đối tượng lồi. Sau đó các giải thuật được sử dụng cho các mô hình biến dạng, bao gồm các phương thức nhận dạng va chạm chung như Hệ bao, không gian phân mảnh, khoảng giữa các trường, các kỹ thuật dựa trên Bộ xử lý đồ họa.

Hệ bao BVH [55] đóng vai trò quan trọng trong việc biểu diễn các vật thể, cho phép giải quyết nhiều vấn đề trong lý thuyết và ứng dụng của nhận dạng va chạm, dò tia. Các kỹ thuật này cho phép giải các bài toán trong nhiều lĩnh vực như robotic, đồ họa máy tính, đồ họa động, trò chơi điện tử, thực tế ảo, mô phỏng và biểu diễn có khả năng tương tác (Hình 2.8).

BVH hiện nay là một trong những phương pháp tiếp cận thành công nhất trong các hệ thống hiện hành [56]. Thời gian tính toán cho các hệ thống này thể hiện độ ưu việt của BVH [57]:

$$T = N_v \times C_v + N_p \times C_p$$



Hình 2.8: Ví dụ về một hệ bao sử dụng hình chữ nhật làm khối bao

T: Tổng thời gian tính toán

N_v: Số các phép thử của một cặp hệ bao chồng lấn

C_v: Thời gian của phép thử cho một cặp các hệ bao

N_p: Số các phép thử của một cặp hình cơ bản chồng lấn

C_p: Thời gian của phép thử cho một cặp các hình cơ bản.

Điều này chứng tỏ một hệ thống hoạt động sẽ dựa trên hai yếu tố: độ khít của hệ bao so với đối tượng (Nv, Np) và độ đơn giản của phép thử chồng lấn trên một cặp hệ bao (Cv).

Hệ bao khối cầu (Sphere) [59] và khối lập phương (AABB) [58] tạo ra phép thử chồng lấn đơn giản nhất. Trong khi đó, hệ bao khối chữ nhật (OBB) [57] và khối đa diện rìi rạc có hướng (k-DOP) [60] cho biểu diễn khít nhất. Trong báo cáo này sẽ trình bày về việc ứng dụng hai loại khối biểu diễn để tối ưu cả về mặt độ khít của hệ bao và độ đơn giản của phép thử chồng lấn.

Beckmann [58] đưa ra giải thuật cho cây AABB, Palmer [61] và Hub-bard [59] đưa ra giải thuật cho cây khối cầu để giải quyết vấn đề đơn giản hóa. Trong khi đó Gottschalk [57] đưa ra giải thuật cho khối OBB còn Klosowski [60] đưa ra giải thuật cho khối đa diện k-DOP để giải quyết vấn đề về độ khít của hộp bao. Van den Bergen [62] đưa ra một phương thức đơn giản để phân tách các hộp chữ nhật OBB được biết đến với tên SAT lite. Giải thuật này chỉ sử dụng 6 trong số 15 hệ trục tọa độ so với giải thuật gốc.

Có nhiều phương thức nhận dạng va chạm: Lin phân loại các phương thức thông qua dạng hình học của mô hình, trong khi Jimenez tính toán đến quá trình giao thoa của chúng. Teschner khảo sát và tổng kết nhận dạng va chạm cho các đối tượng biến dạng và đưa ra năm phương pháp cùng các ứng dụng thực tế.

Một dạng của các phương pháp đi lên từ hình học sử dụng máy tính được chấp nhận bởi hội đồng đồ họa máy tính. Điều này đầu tiên được cố gắng áp dụng cho cơ thể cứng của robot và đồ họa máy tính (computational geometry), đặc biệt sử dụng cho các đối tượng lồi. Sau đó các giải thuật được sử dụng cho các mô hình biến dạng, bao gồm các phương thức nhận dạng va chạm chung như Hệ bao, không gian phân mảnh, khoảng giữa các trường, các kỹ thuật dựa trên Bộ xử lý đồ họa.

Hệ bao (BVH).

Các giải thuật nhận dạng va chạm hiệu quả được tăng tốc bởi các cấu trúc dữ liệu không gian ví dụ như BVH hoặc không gian phân mảnh. Các biểu diễn đối tượng thường được xây dựng tại tầng tiền xử lý và hoạt động tốt với các đối tượng cứng và biến dạng. Tác dụng của BVH là một cách để biểu diễn các đối tượng ảo trên một cảnh được sử dụng lần đầu năm 1976 khi Clark đưa ra giải thuật nhằm tăng tốc xuất các đối tượng. Mặc dù vậy, thời gian cần thiết để tiền xử lý là cần thiết để xây dựng các cấu trúc này, làm cho chúng không phù hợp với các thiết lập động. Việc xây dựng lớp bao được sử dụng trong rất nhiều ứng dụng vì khả năng thể hiện hình dạng của vật thể, tạo ra bởi việc giảm thiểu kiểm tra lớp vỏ so với kiểm tra toàn bộ vật thể. Các hình cầu được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng do khả năng biểu diễn dễ, chồng lấn nhanh và bất biến khi xoay. Hộp có đường trục thẳng hàng cũng có quá trình kiểm tra chồng lấn nhanh, được thực hiện thông qua một phép so sánh các giá trị tọa độ. Hệ hộp Oriented Bounding có thể bao đối tượng chặt chẽ hơn AABB do nó được chỉ hướng thẳng hàng với hình học lớp dưới. Nó cũng mất nhiều công sức hơn để tính toán chồng lấn. Ngoài ra hệ bao có thể sử dụng các hình đa diện có hướng riêng biệt, đường cong, hình cầu và các vỏ lồi.

Hệ phân mảnh không gian.

Các giải thuật phân mảnh không gian là những sự thay đổi độc lập với các mô hình của đối tượng bao gồm. Thay vì việc chia đối tượng thành các phần, giải thuật tiếp cận việc phân chia cảnh thành các phần và kiểm tra nếu các đối tượng chồng lấn trên cùng một khu vực trong không gian. Có ba dạng cấu trúc: lưới, cây, phân loại không gian. Sử dụng lưới thường thấy nhất nhưng sẽ gặp vấn đề khi số lượng xuất hiện quá lớn làm tăng yêu cầu lưu trữ. Để giảm yêu cầu lưu trữ, bộ nhớ được chia nhỏ có thể được sử dụng để mở rộng vô hạn số lưới.

Các đối tượng động có thể được phân bố trong các cell bằng cách dựng các cây theo hướng tiếp cận từ trên xuống, độ chính xác được tăng cường khi mở rộng đến các nhánh. Hướng tiếp cận này thích hợp cho việc loại trừ các phần của cảnh nếu chúng trống, mặc dù vậy, khi độ chính xác được yêu cầu, một chiến lược khác cần được sử dụng để định vị các vùng riêng biệt trong một đối tượng.

Các giải thuật dựa trên tính năng

Các giải thuật này hoạt động dựa trên tính năng của đối tượng. Đối với các lưới đa giác các thuộc tính này là đỉnh, góc, và mặt. Một giải thuật nhận dạng va chạm nổi tiếng dựa trên việc lần theo các thuộc tính gần nhất là giải thuật Voronoi-Clip, hoạt động trên một cặp đa diện và lần theo các thuộc tính gần nhất. Ba giải thuật được thể hiện làm việc với đa diện cứng lồi như sau: Đầu tiên, một phương pháp tăng cường dựa trên chức năng được áp dụng trên bề mặt của đa diện. Thứ hai, giải thuật Dobkin-Kirkpatrick bắt đầu từ các lớp sâu bên trong của hệ thống và lần theo cặp tính năng gần nhất theo từng lớp một. Thứ ba, H-walks bắt đầu từ đường bao bề mặt đa diện, đi theo cùng trên các lớp trong một vài bước, sau đó đi vào các lớp trong để tạo ra các mặt cắt.

Ray casting

Trong việc xác định va chạm của các đối tượng người ta cũng có thể sử dụng một kỹ thuật cho phép bắn một tia về phía vô cực. Tia này thông thường sẽ xuất phát từ điểm tương tác của người sử dụng hoặc tại tâm đối tượng được kiểm tra va chạm. Hướng của tia này sẽ chỉ về hướng mong muốn kiểm tra va chạm. Dựa trên khoảng cách từ điểm phát ra tia đến đối tượng mà tia đâm xuyên qua, có thể xác định được đối tượng có va chạm hay không.

Trong các bài toán mô phỏng thông thường, hệ hộp bao (BVH) hoặc thuật toán Ray Casting sẽ được sử dụng để xác định va chạm có xảy ra hay không. Hệ hộp bao được sử dụng nhiều trong trường hợp mô tả chuyển động của các vật thể trong không gian ảo, tọa độ của các hệ hộp được so sánh liên tục để xác định xem có va chạm xảy ra hay không. Ray casting chủ yếu để xác định khoảng cách giữa một vật với các vật thể khác trong không gian ảo. Chủ thể xem xét, cũng như hướng khảo sát cần được xác định trước để tránh tiêu tốn tài nguyên của thiết bị. Các giải thuật khác chỉ được xem xét trong một số trường hợp đặc thù, trong các ứng dụng phổ thông hiếm khi các giải thuật này được áp dụng.

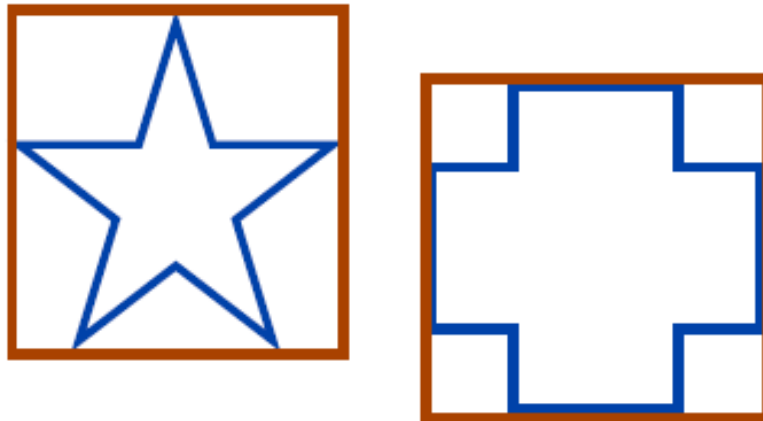
2.2.2. Đặc điểm của hệ hộp bao và một số kỹ thuật xây dựng hệ hộp bao tự động

2.2.2.1. Một số đặc điểm của hệ hộp bao

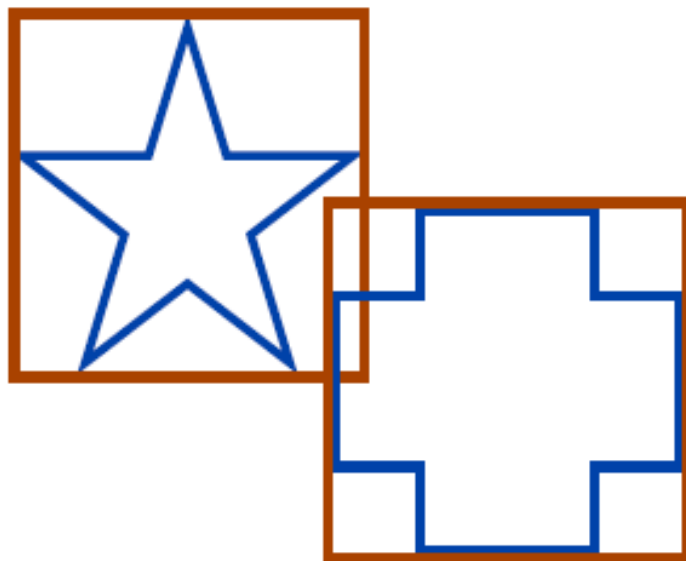
Đối với các đối tượng 3D, việc giải quyết các bài toán như nhận dạng va chạm, dò tia, ... cần phải xem xét đến bề mặt cũng như phần thể tích bên trong của đối tượng. Việc này trở nên phức tạp và rất tốn tài nguyên nếu đối tượng xem xét có hình dạng phức tạp. Để phân tích các tác động lên các đối tượng này, hộp bao được sử dụng. Thay vì việc cần phải xem xét toàn bộ đối tượng, hộp bao cho phép việc chỉ cần tính toán dựa trên các hình học đơn giản (*Hình 2.9* và *Hình 2.10*). Đối với các bài toán không yêu cầu độ chính xác quá cao, việc xem xét giới hạn ở phân tích bề mặt (3D) hoặc đường bao (2D) của hộp bao.

Tuy nhiên, cùng với độ đơn giản tính toán được giảm xuống, các bài toán có sử dụng hộp bao cần thừa nhận:

- Các phép tính chỉ dừng lại ở mức gần đúng
- Tính chính xác của các phép tính sẽ dựa trên độ khít của đường bao

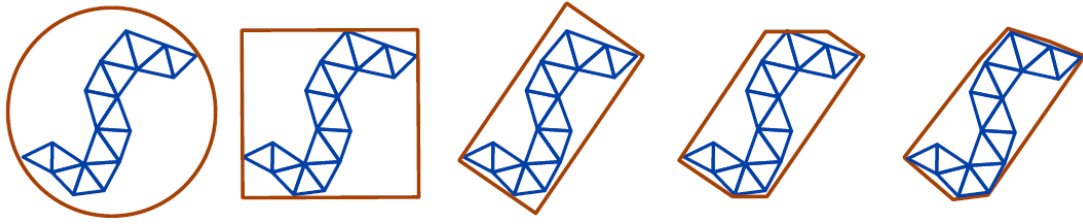


Hình 2.9: Không có chồng lấn hộp bao - Không có va chạm



Hình 2.10: Chồng lấn hộp bao - Có thể có va chạm

Hiện nay, để xây dựng hệ bao cho đối tượng, các dạng hộp bao thường được sử dụng gồm (*Hình 2.11*):

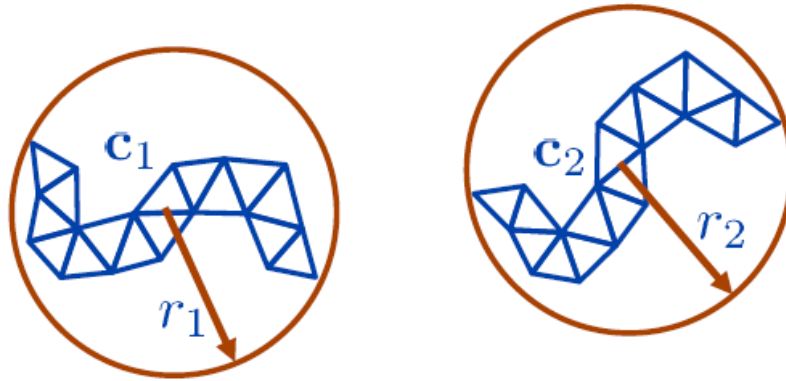


Hình 2.11: Một số dạng hộp bao

- Hộp bao khối cầu: Sphere
- Hộp bao khối lập phương: AABB
- Hộp bao khối chữ nhật có hướng: OBB
- Hộp bao khối đa diện rời rạc có hướng: k-DOP
- Hộp bao khối lồi: convex hull

Hộp bao khối cầu (Hình 2.12): được biểu diễn bởi tâm (C) và bán kính khối cầu (R). Hai khối cầu không chồng lấn lên nhau khi:

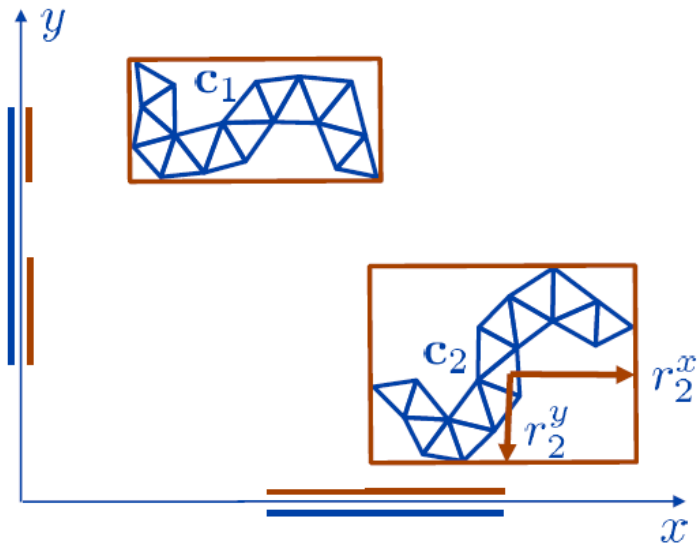
$$(C_1 - C_2) \cdot (C_1 - C_2) > (R_1 - R_2)^2 \quad (2.3)$$



Hình 2.12: Va chạm giữa hai khối cầu

Hộp bao khối chữ nhật AABB (Hình 2.13): được biểu diễn bởi tâm hộp (C) và tham số chiều dài các cạnh (Rx, Ry, Rz). Hai khối hộp lập phương không chồng lấn lên nhau khi (xét trong miền không gian 2D):

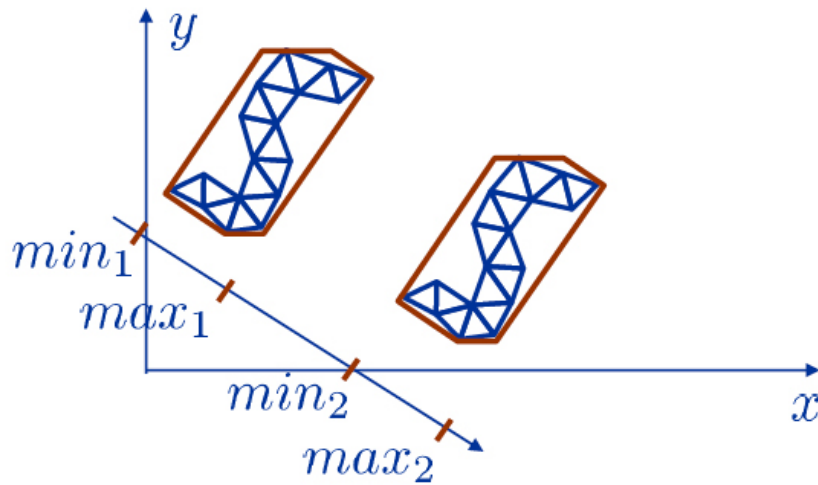
$$\begin{aligned} |(C_1 - C_2) \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}| &> R_1^x + R_2^x \\ |(C_1 - C_2) \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}| &> R_1^y + R_2^y \end{aligned} \quad (2.4)$$



Hình 2.13: Va chạm giữa hai khối hộp AABB

Hộp bao khối đa diện rời rạc có hướng được xác định bởi hai tham số (Hình 2.14): $k/2$ trung bình; $k/2$ khoảng cách lớn nhất - nhỏ nhất. Như vậy nếu trong miền không gian 2D có thể coi AABB là 4-DOP, trong miền không gian 3D có thể coi AABB là 6-DOP. Hai cặp hộp đa diện sẽ không chồng lấn lên nhau khi (xét trong miền không gian 2D):

$$\exists \text{direction} : \max_1 < \min_2 \vee \min_1 < \max_2$$



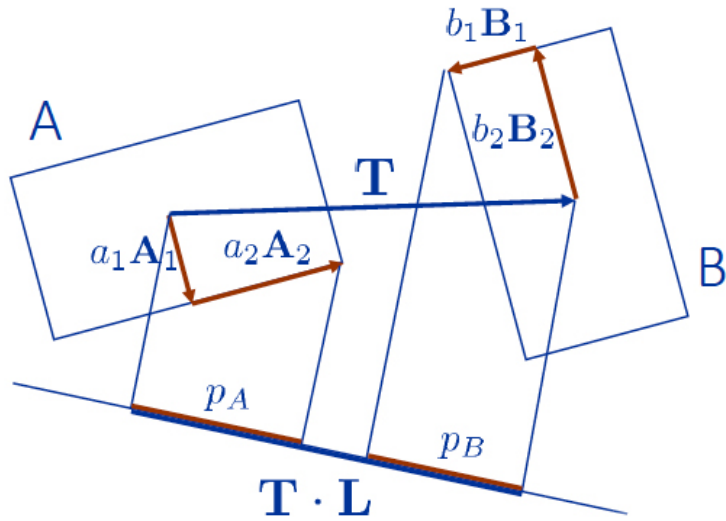
Hình 2.14: Biểu diễn khối đa diện

Hộp bao khối chữ nhật có hướng OBB (Hình 2.15): Giống như khối hộp lập phương AABB nhưng có khả năng xoay. Bài toán xác định không chồng lấn đối với khối hộp OBB đã được nghiên cứu khá chi tiết:

- Trong miền không gian 2D: OBB được biểu diễn bởi các tham số:
 - A1, A2, B1, B2: pháp tuyến vuông góc của hai đối tượng A và B
 - a1, a2, b1, b2: số đo các cạnh của hai hộp
 - L: pháp tuyến chỉ hướng
 - T: Khoảng cách giữa A và B

- $p_A = a_1A_1L + a_2A_2L$
- $p_B = b_1B_1L + b_2B_2L$
- A và B không chồng lấn nhau khi:

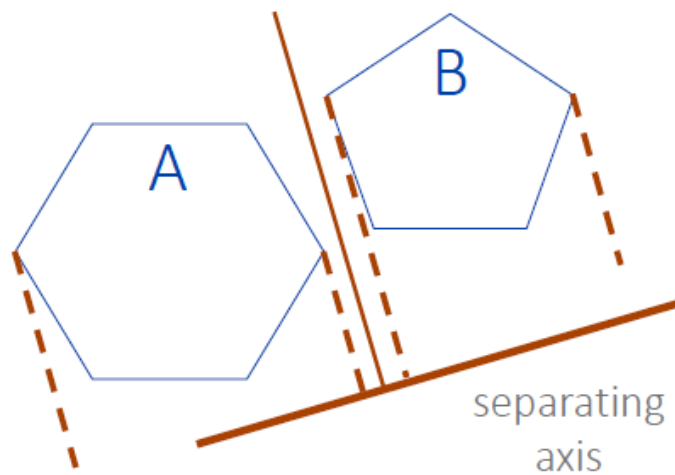
$$\exists L: T \cdot L > p_A + p_B \quad (2.5)$$



Hình 2.15: Xác định va chạm giữa hai khối OBB

Để xét hai đối tượng lồi có chồng lấn lên nhau hay không, một trục tọa độ phân tách sẽ được xác định giữa hai đối tượng. Đối với các đối tượng này một số các trục cần xem xét (Hình 2.16) như sau:

- Trục song song với mặt trung bình của A
- Trục song song với mặt trung bình của B
- Trục song song với mặt cắt tại các góc của A và B

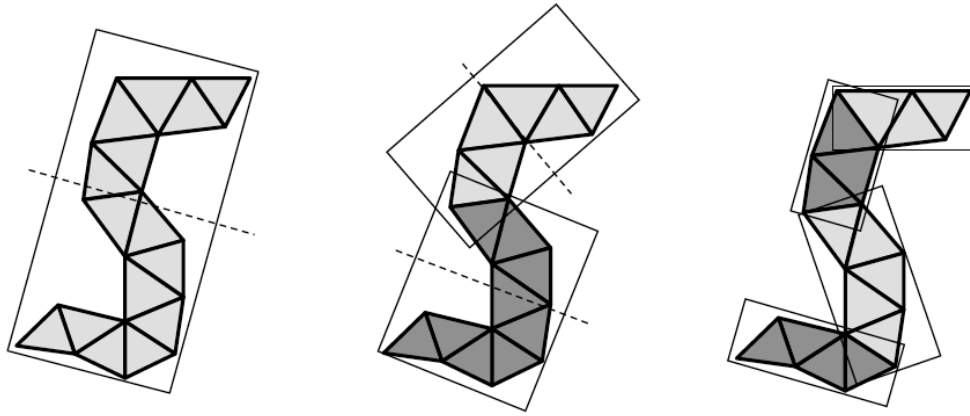


Hình 2.16: Xác định va chạm giữa hai khối đa diện

- Trong miền không gian 3D: Để xác định chồng lấn các trục cần xem xét gồm 15 trục để xác định được trục tọa độ phân tách.

Hệ bao

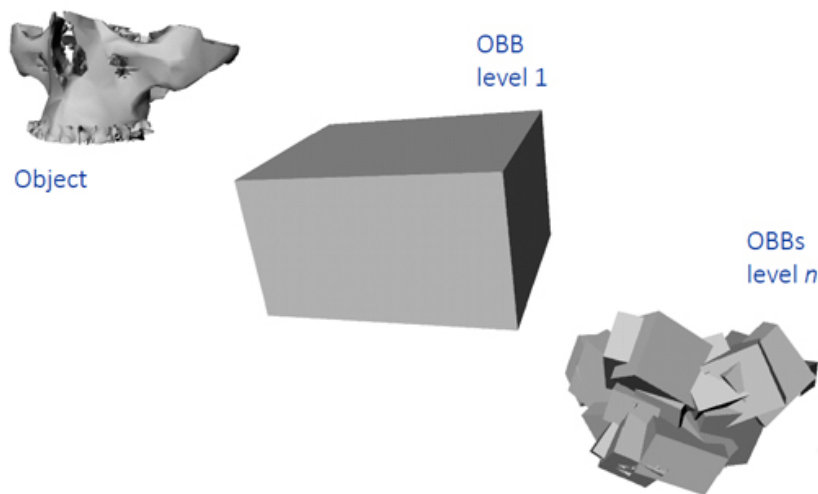
Là một cấu trúc dữ liệu dạng cây được xây dựng trên cơ sở phân tích các đối tượng được xem xét dựa trên cơ sở các hộp bao hình học. Tại các lá chứa các hình hình học cơ bản (Hình 2.17).



Hình 2.17: Hệ bao xây dựng bởi các hộp bao

Đặc điểm của Hệ bao:

- Các nút trong một nhánh phải gần nhau hơn so với các nút khác. Càng xuống thấp thì các nút càng phải gần nhau hơn.
- Mỗi nút trong BVH cần có thể tích nhỏ nhất
- Tổng của các khối bao cần phải tối giản
- Các nút càng gần gốc thì càng quan trọng. Việc loại bỏ một nút gần gốc sẽ ảnh hưởng lớn hơn nhiều lần so với các nút ở xa.
- Thể tích trùng nhau của các nút đồng cấp phải tối giản.



Hình 2.18: Hệ bao xây dựng bởi hộp bao OBB

- Độ khít: Độ khít có thể tính toán qua thể tích.

$$\tau = \frac{\text{volume}(B)}{\sum_{C \in \mathcal{C}(B)} \text{volume}(C)} \quad (2.6)$$

- $\mathcal{C}(B)$ là tập các nhánh con tại nút B
- $\text{volume}(B)$ là thể tích của hệ bao tại B
- τ là độ khít
- Giá trị của hệ bao
 - H là hệ bao
 - $\mathcal{C}(n)$ là tập các nhánh con tại nút n

- cost là giá trị hệ bao

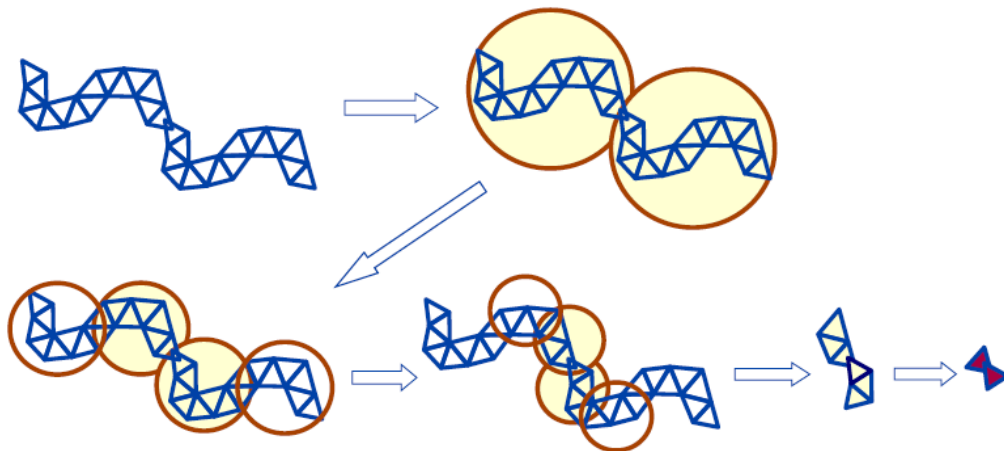
$$cost(H) = \sum_{n \in H} (C(n).volume(n)) \quad (2.7)$$

Phương thức thiết lập cây:

- Từ trên xuống: Chia đầu vào thành hai (hoặc nhiều) nhánh, bao chúng lại, sau đó tiếp tục chia nhỏ các nhánh đến khi mỗi nhánh chỉ chứa một hình cơ bản. Phương pháp này cho phép tạo ra cây đơn giản nhưng không được ứng dụng nhiều trong thực tế.
- Từ dưới lên: Bắt đầu với các hình cơ bản tại các nhánh, sau đó cộng gộp dần để xây dựng thành đối tượng ban đầu. Phương pháp này khó thực hiện nhưng nhìn chung có thể tập hợp thành cây tốt hơn.
- Thêm vào: Hai phương pháp trên sử dụng tất cả các hình cơ bản trước khi tổ hợp thành cây. Phương pháp thêm vào cho phép không cần sử dụng tất cả các hình cơ bản. Cây ban đầu được xây dựng là một cây rỗng và được xây dựng dần bằng việc xác định cây nhỏ nhất.

Phương thức kiểm tra đối với cây (Hình 2.19):

- Nếu hộp bao trên một tầng nào đó của hệ bao bị chồng lấn, các nhánh con của nó cần được kiểm tra
- Tại các lá, việc kiểm tra thực hiện đối với các hình hình học cơ bản
- Loại bỏ các phần đối tượng không chịu tác động



Hình 2.19: Phân tích và chạm ảnh hưởng tới các phần tử của hệ bao

Giới hạn cho việc thực hiện kỹ thuật này như sau:

- Việc thực hiện được thực hiện trên hai vật thể rắn. Tính ưu việt của kỹ thuật được thể hiện qua việc cho hai vật thể rắn giống hệt nhau va chạm với nhau. Thời gian tính toán va chạm là tiêu chí để xem xét.
- Việc biểu diễn hệ bao đối tượng với nhiều dạng hộp bao sẽ giới hạn ở hai dạng hộp bao thuộc về mỗi phương hướng tối ưu.
- Một hệ bao với hai dạng hộp bao được lựa chọn, trong đó mỗi nút hộp bao thuộc hướng khác sẽ được tăng cường bởi một hộp bao hướng đơn giản.

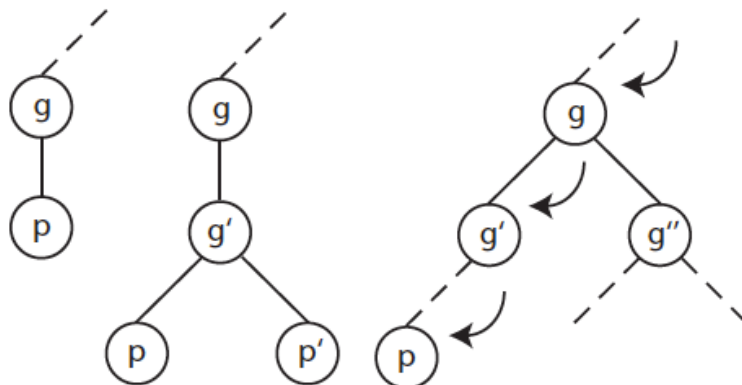
- Phép thử với hộp bao hướng đơn giản sẽ được thực hiện trước để loại trừ các đối tượng ở xa.

2.2.2.2. Một số kỹ thuật xây dựng hệ hộp bao tự động

Việc xây dựng tự động hệ bao có thể được coi là tự động xây dựng cấu trúc dữ liệu hình cây mô tả hệ bao [63] (Hình 2.20). Phương thức chung để xây dựng một hệ bao có thể được miêu tả như sau: hệ bao được xây dựng trên cơ sở một cây dữ liệu các hộp bao. Trong đó các hộp bao là các hình đơn giản được sắp xếp khít quanh nhau, bao phủ đối tượng cần xem xét. Các hộp này được đề cập đến ở phần sau.

Một số giải thuật xây dựng hệ bao tự động đã được nghiên cứu:

- Thêm dần: Giải thuật được đưa ra bởi Goldsmith. Giải thuật được thiết lập dựa trên việc tính toán giá trị nhỏ nhất của cây khi thêm các hình cơ bản vào trong hệ. Khi một hình cơ bản p được thêm vào trong một hệ được phân chia, giải thuật sẽ sử dụng 3 luật:
 - p có thể là nhánh con của một nhóm g
 - p có thể kết hợp với một hình cơ bản p' nhóm g' , g' sẽ là một nhánh con của g
 - p có thể được thêm vào một nhóm g' thuộc nhóm đệ quy của g

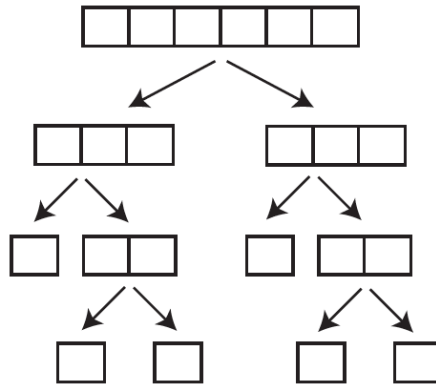


Hình 2.20: 3 Luật của thuật toán thêm vào. [63]

Phương pháp này có thể được sử dụng để tạo một hệ bao gần đúng tuy nhiên nó có một số hạn chế: hệ được tạo ra dựa trên yêu cầu thêm vào của các nút. Và yêu cầu này là không mong muốn do phải dựa trên cảm quan của người xây dựng hệ bao. Trong một số trường hợp giá trị của cây sẽ không tối ưu và mỗi nhóm mới chỉ chứa hai hình cơ bản. Điều này được cải thiện hơn trong thuật toán được đưa ra bởi Haber: sử dụng hai cách tiếp cận:

- Thêm lại thành công: Loại bỏ những nút không tốt và thêm lại chúng vào hệ bao
- Giới hạn các nhóm xấu: Tìm các nhóm không tốt và cố gắng chia chúng ra.
- Chia nhỏ: Thuật toán này được xây dựng bởi Muller [64]. Thuật toán chia nhỏ một tập hợp các hình cơ bản một cách đệ quy thành hai tập con không trùng phần tử. Việc này được dừng lại khi đạt đến ngưỡng. Thuật toán sẽ thực hiện như sau: Cây hệ bao được xây dựng bởi việc sắp xếp

các hình cơ bản theo các trục tọa độ chính và lấy gốc là tâm của các hình cơ bản. Sau đó chức năng lựa chọn giá trị nhỏ nhất của cây hoạt động trên việc xem xét tất cả các điểm phân chia có thể. Thuật toán sẽ tiếp tục chia đến khi các cây chứa toàn các hình cơ bản tại các lá.

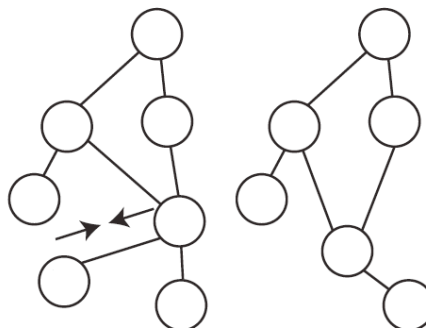


Hình 2.21: Xây dựng cây bằng cách phân chia dọc theo một trong 3 trục tại các điểm có giá trị nhỏ nhất. [65]

Giải thuật này cũng được Gottschalk [65] sử dụng cho hệ bao sử dụng hộp bao OBB. Trong đó, việc chia nhỏ sẽ tiến hành dọc theo trục dài nhất, sử dụng các điểm trung tâm (Hình 2.21).

Điểm hạn chế duy nhất của giải thuật này là chỉ xây dựng được các hệ bao nhị phân. Tuy nhiên có thể khắc phục bằng cách chia nhiều lần tại cùng mỗi cấp. Độ cân bằng của cây phụ thuộc và chức năng giá trị được sử dụng.

- Kết hợp: Giải thuật được xây dựng bởi Erleben [66] và có thể thấy được áp dụng trong OpenTissue [67]. Giải thuật này bắt đầu với việc xây dựng cấu trúc đồ thị dữ liệu, trong đó mỗi nút thuộc đồ thị liên quan đến các hình cơ bản và các đỉnh có quan hệ lân cận. Một đỉnh trong đồ thị nghĩa là hai nút trong hệ bao có thể kết hợp tốt với nhau. Các đỉnh được xác định bằng một chức năng phỏng đoán trong đó phỏng đại hộp bao cơ bản và ghi nhận va chạm. Một va chạm có nghĩa là một đỉnh giữa hai đồ thị nút vừa va chạm cần được thêm vào đồ thị.



Hình 2.22: Một đỉnh sụp đổ thành một nút

Việc này được lặp đi lặp lại cho đến khi một nút duy nhất tồn tại. Sau khi một đỉnh sụp đổ trong đồ thị (Hình 2.22), các nút thuộc hệ bao được kết hợp thành một nhóm mới khi một trong hai điều kiện sau thỏa mãn:

- Đồ thị nút bao phủ lượng lớn hơn một nhánh cố định.

- Có ít đỉnh hơn trong một đồ thị so với một nhánh cố định.

2.2.3. Kỹ thuật xác định va chạm đề xuất và đánh giá

2.2.3.1. Kỹ thuật xác định va chạm đề xuất

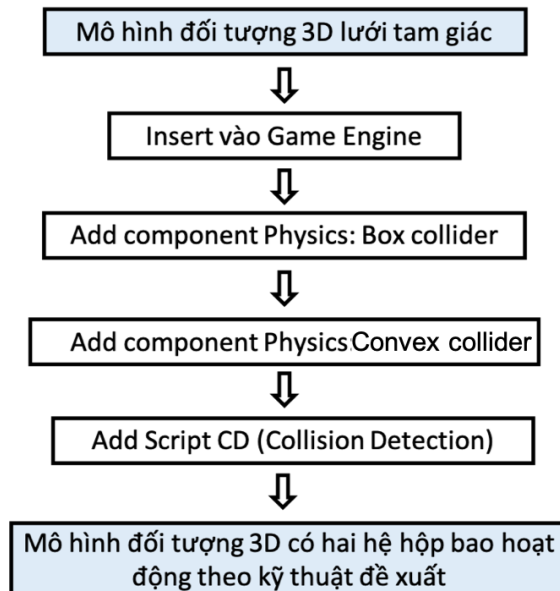
Có rất nhiều phương pháp xác định va chạm cho các đối tượng 3D trong không gian ảo như đã trình bày tại 2.2.1, tuy nhiên trong thực tế việc xác định va chạm giữa các đối tượng trong không gian ảo trong các ứng dụng cung cấp cho người dùng hiện nay đa phần được thực hiện thông qua phương pháp BVH. Việc xây dựng hộp bao cho một đối tượng thông thường cũng chỉ được thực hiện với một loại hộp bao. Tuy nhiên việc lựa chọn dạng hộp bao nào sẽ ảnh hưởng đến độ chính xác trong xác định va chạm giữa các đối tượng. Đề xuất trong luận án là sử dụng cùng lúc hai hệ hộp bao trên một đối tượng. Hệ hộp bao thường trực là hệ hộp bao đơn giản, thời gian tính toán nhanh. Khi có va chạm xảy ra đối với hệ hộp bao thường trực, hệ hộp bao phức tạp mới được xem xét tiếp để xác thực lại va chạm có xảy ra hay không.

Giải thuật:

Đầu vào: Mô hình 3D dưới dạng lưới tam giác.

- Mô hình 3D được insert vào Engine dưới dạng *.fbx; *.obj
- Add component Physics 2 dạng hộp bao cho mô hình 3D: AABB (Box collider) và Convex (Convex collider): Tạo 2 hệ hộp bao trên đối tượng
- Add component là script CD: hiển thị collider hiện hành của đối tượng là dạng AABB, khi có va chạm xảy ra, kiểm tra collider Convex có xảy ra va chạm không. Nếu có, bật trạng thái va chạm của mô hình = 1.

Đầu ra: Mô hình 3D có hai hệ hộp bao hoạt động theo kỹ thuật đề xuất như sau (Hình 2.23):



Hình 2.23: Giải thuật tạo thành đối tượng 3D có hai hệ hộp bao hoạt động theo kỹ thuật đề xuất

Nhằm kiểm tra hiệu quả của việc sử dụng hai hệ hộp bao, các bước thực hiện như sau:

Bước 1: Sử dụng kỹ thuật xác định va chạm mà công cụ mô phỏng cung cấp để thực hiện, ở đây cụ thể là Engine Unity.

Bước 2: Phân tích kỹ thuật sau đó đề xuất một kỹ thuật xác định va chạm mới nhằm tìm kiếm giải pháp tối ưu.

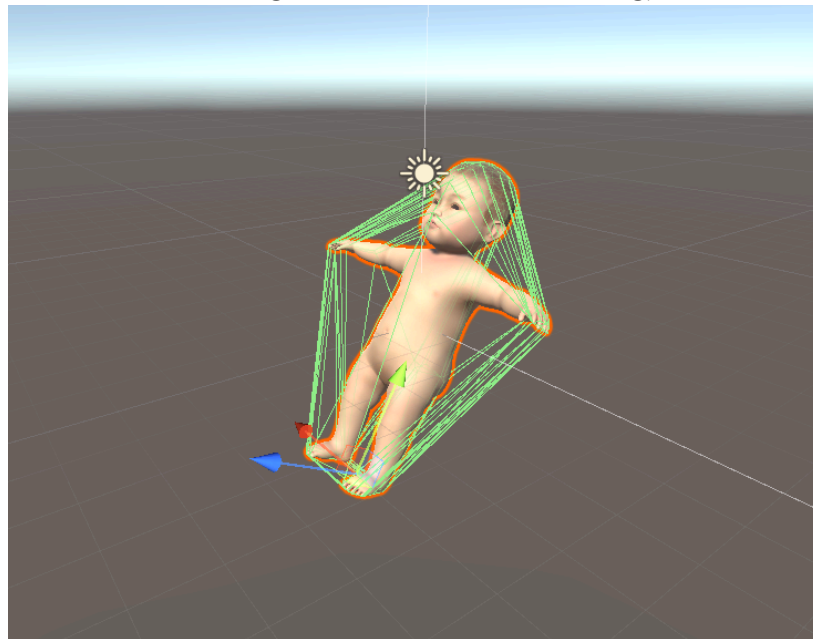
Bước 3: So sánh các giải pháp nhằm có giải pháp có lợi nhất cho việc thực hiện mô phỏng.

Thực hiện:

Bước 1: Thực hiện xác định va chạm trên công cụ mô phỏng

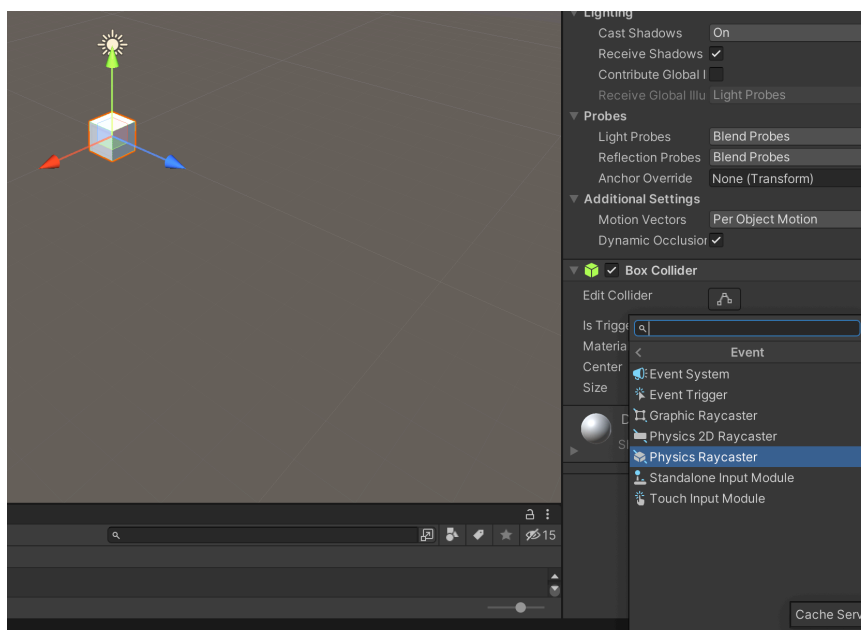
Như đã trình bày ở trên, các phương pháp xác định va chạm rất phong phú, trong các công cụ mô phỏng các phương pháp có tính phổ dụng nhất cũng được sử dụng. Ví dụ như trong công cụ mô phỏng được sử dụng – Unity, các kỹ thuật có thể lựa chọn áp dụng được thể hiện gồm (Hình 2.24 và Hình 2.25):

- Hệ hộp bao BVH: Trong đó hình dạng hộp bao của đối tượng có thể tùy chỉnh: Dạng cầu, dạng khối hộp lập phương AABB, hoặc chi tiết hơn là dạng khối hộp tương ứng với bề mặt của đối tượng Mesh. Hình mô tả nhằm thể hiện hộp bao dạng Convex (số lượng lưới không quá lớn nhưng vẫn biểu diễn đường bao khá sát với đối tượng)



Hình 2.24: Hộp bao dạng đa giác (Convex Collider) xác định cho một đối tượng trong Unity Engine (kiểm thử)

- Ray casting: Cho phép lập trình viên bắn một tia từ một điểm xác định theo một vector cho trước. Thuật toán kiểm tra việc tia này có giao cắt với bề mặt của đối tượng hay không nhằm xác định có va chạm xảy ra.



Hình 2.25: Khởi tạo thuật toán cho phép ghi nhận sự kiện tia (Raycast) gặp giao cắt (kiểm thử)

Bước 2: Phân tích kỹ thuật và đề xuất kỹ thuật mới nhằm cải thiện một yếu tố nhất định so với kỹ thuật cũ.

Trong kỹ thuật được công cụ mô phỏng đề xuất, hầu hết các phương thức xác định va chạm đã được liệt kê, tuy nhiên với kỹ thuật xác định va chạm nhờ hộp bao, việc xây dựng hộp bao được thực hiện với từng hộp bao đơn lẻ. Từ thực tế này, đặt ra giả thuyết về việc sử dụng cùng lúc hai hệ hộp bao nhằm tăng độ chính xác của việc xác định va chạm.

Việc xây dựng hệ bao đối tượng có thể thông qua các phương pháp chính là: sử dụng hệ bao cầu (Sphere); hệ bao hộp chữ nhật (AABB); hệ bao hộp chữ nhật có hướng (OBB); hệ bao đa diện (Convex); và hệ bao đa diện có hướng rời rạc (k-DOP). Để tận dụng lợi thế của hai dạng hộp bao: AABB, Sphere - đơn giản; OBB, Convex, k-DOP - chính xác, có thể xây dựng một cây hệ bao được xây dựng bằng nhiều dạng hộp bao trên mỗi nút. Trong đó, tại mỗi nút sẽ có 1 hộp bao dạng đơn giản và 1 hộp bao dạng chính xác.

Trong luận án này sẽ lựa chọn sử dụng hai dạng hộp bao: AABB và Convex để xây dựng cây hệ bao cho đối tượng. Với mỗi nút trên cây Convex được xây dựng, cấu trúc hai hộp bao sẽ được xây dựng bao gồm thêm một hộp bao AABB bao các thành tố của mặt phẳng tại nút đó.

Có hai phương thức để xây dựng hộp bao AABB trong trường hợp này. Phương thức thứ nhất sẽ tìm ra hộp bao AABB nhỏ nhất cho đối tượng. Phương thức thứ hai sẽ đặt tâm của hộp AABB trùng với tâm của hộp Convex. Phương thức thứ hai sẽ cho giải thuật đơn giản hơn và việc tính toán sẽ nhanh hơn. Trong khi đó phương án thứ nhất sẽ cho hộp bao AABB khít hơn đối với đối tượng. Theo một số thực nghiệm việc chọn khối hộp AABB khít sẽ cho kết quả của các phép thử tốt hơn.

Bài kiểm tra cho việc phân tách nút đối với cây hệ bao hai dạng hộp bao sẽ được thực hiện như sau: Hệ hộp bao AABB sẽ được kiểm tra trước, nếu chúng cần

phải chia nhỏ thì hệ bao chung sẽ chia nhỏ. Nếu hệ hộp bao AABB bị chồng lấn, khi đó hệ hộp bao Convex sẽ được xem xét tiếp theo.

Những ưu điểm của phương pháp xây dựng hộp bao này gồm:

- Tăng cường độ khít của hộp bao so với các phương pháp AABB đơn lẻ. Điều này đạt được do độ khít của hộp Convex tốt hơn so với hộp AABB
- Độ phức tạp của phép thử được giảm bớt so với phương pháp sử dụng hộp bao khác do chỉ phải thực hiện phép thử với hệ hộp AABB trước, nếu xảy ra chồng lấn thì mới cần xét tiếp đến hệ hộp Convex nên số lượng tính toán của phương pháp hai hệ hộp bao sẽ giảm thiểu

Ưu điểm và hạn chế

Ưu điểm chính của kỹ thuật là việc không làm giảm độ chính xác của các phép thử do sử dụng hệ bao đảm bảo chính xác (Convex) làm cơ sở và khả năng tính toán nhanh do sử dụng hệ bao đơn giản (AABB) để tính toán trước, khi va chạm xảy ra tại nhánh nào thì mới khoanh vùng để tính chính xác.

Hạn chế của kỹ thuật là khi xây dựng hộp bao cho đối tượng: số lần thực hiện xây dựng hộp bao là 02 so với phương pháp sử dụng hệ bao một dạng hộp bao: 01 lần. Ngoài ra, do có hai dạng hộp bao trên một vật thể nên kích thước lưu trữ của đối tượng được xem xét cũng sẽ tăng lên.

Xây dựng giải thuật:

Các bước xây dựng giải thuật có thể được mô tả như sau:

- Bước 1: Xây dựng cây dữ liệu hệ bao theo phương pháp xây dựng hệ bao tự động sử dụng cho dạng hộp bao là AABB theo giải thuật của Gottschalk
- Bước 2: Tại mỗi nút trên cây đã xây dựng tái tạo một cây mới, có cấu trúc cây giống cây cũ. Dạng hộp bao được sử dụng sẽ được thay thế bằng Convex.
- Bước 3: Giải thuật được xây dựng sẽ tính toán dựa trên cơ sở việc phát hiện va chạm xảy ra với hệ bao
 - Nếu không xảy ra va chạm. Hệ bao cho đối tượng sẽ là hệ bao sử dụng dạng hộp bao là AABB
 - Nếu xảy ra va chạm tại một nút nào đó thuộc hệ bao. Hệ bao cho đối tượng sẽ là hệ bao sử dụng dạng hộp bao là Convex

2.2.3.2. Thực nghiệm và đánh giá

Trong thực tế thử nghiệm, công cụ thử nghiệm được lựa chọn là Game Engine Unity. Kỹ thuật được kiểm thử với đối tượng: Khối hình trụ cơ bản và mô hình bệnh nhi ảo 3D. Việc kiểm thử đối với khối hình trụ cơ bản nhằm kiểm tra kết quả tương tác đối với các đối tượng có lượng lưới nhỏ, đơn giản và mô hình bệnh nhi ảo 3D nhằm kiểm tra kết quả tương tác với các đối tượng 3D có độ phức tạp cao, số lượng lưới lớn. Trong một số kết quả nghiên cứu đã được công bố trước đây, việc thực nghiệm được xây dựng với các công cụ giải thuật cơ bản như RAPID, QuickCD, SAT Lite. Trong đó, RAPID là giải thuật cho phép xác định va chạm với hệ hộp bao là OBB, QuickCD là công cụ cho phép xác định va chạm với hệ hộp bao là k-DOPs,

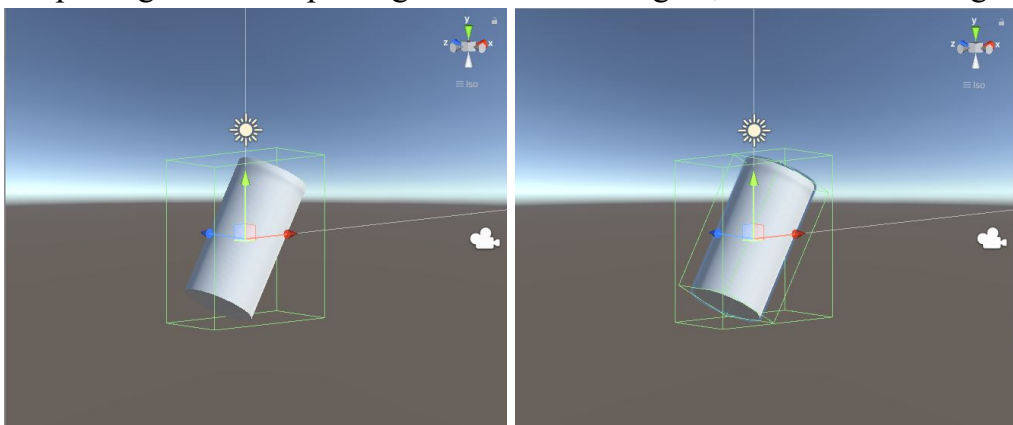
SAT là công cụ xác định va chạm với hệ hộp bao là cầu. Theo tài liệu công bố các công cụ này được lưu trữ tại <https://www.cs.unc.edu/~geom/OBB/OBBT.html> và <http://www.ams.sunysb.edu/~jklosow/quickcd/QuickCD.html> tuy nhiên các địa chỉ này hiện nay không khả dụng do đó, quá trình kiểm thử được tái tạo lại với các công cụ hiện đại hơn có sự trợ giúp của Game Engine.

Kịch bản thử nghiệm được mô tả như sau:

Cấu hình các vật va chạm với đối tượng là các khối cầu (được gọi là đạn) được bắn ra ngẫu nhiên từ một mặt cầu theo các hướng ngẫu nhiên. Các vị trí bắn và hướng bắn được lưu lại cho việc kiểm thử với các loại hộp bao khác nhau. Số lượng quả cầu bắn ra: 1.000.000 quả cầu. Số lượng kiểm thử được chia thành 05 lần mỗi lần 1000 phép thử và lấy trung bình để theo dõi. Đối tượng kiểm thử được đặt nghiêng một góc 30 độ so với trục toạ độ nhằm tránh tạo ra các điều kiện trùng cho các phép thử.

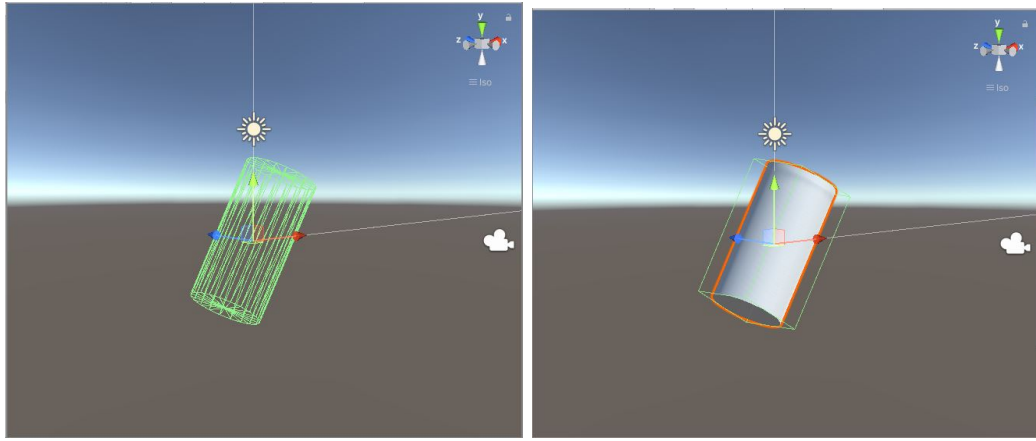
Đối tượng kiểm thử:

- Khối trụ cơ bản: <500 lưới tam giác (coi là giá trị rất nhỏ)
 - Mô hình nhĩ ảo 3D: 64.004 lưới tam giác
- Hệ hộp bao kiểm thử gồm 04 hệ hộp bao:
- Hệ hộp bao AABB: trong công cụ kiểm thử được gọi là Box collider
 - Hệ hộp bao OBB: trong công cụ kiểm thử là Box collider nhưng được xoay 1 góc 30 độ theo phương nghiêng của đối tượng kiểm thử
 - Hệ hộp bao k-DOPs: trong công cụ kiểm thử là Mesh collider cung cấp hộp bao trùng khít với bề mặt của đối tượng kiểm thử. Ground truth cho việc phát hiện va chạm dựa trên hệ hộp bao k-DOPs.
 - Hệ hai hộp bao (hay viết tắt là Dual): trong công cụ kiểm thử thiết lập 2 hộp bao trên một đối tượng, va chạm được xác định khi cả hai hệ hộp bao đều có sự giao cắt. Va chạm được xác định là không xảy ra khi đạn không giao cắt với hệ hộp ngoài hoặc giao cắt với hệ hộp ngoài nhưng không giao cắt với hệ hộp trong. Hai hệ hộp bao gồm AABB nằm ngoài, Convex nằm trong.



(a)

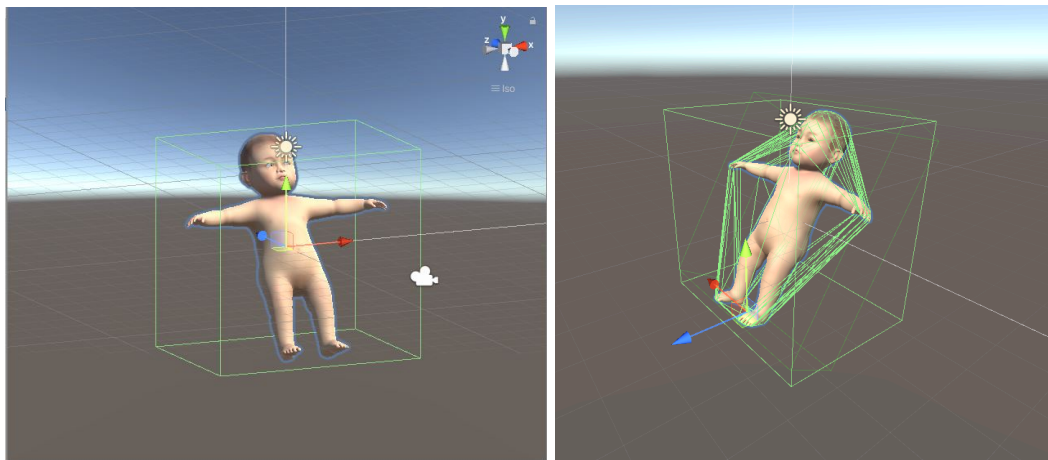
(b)



(c)

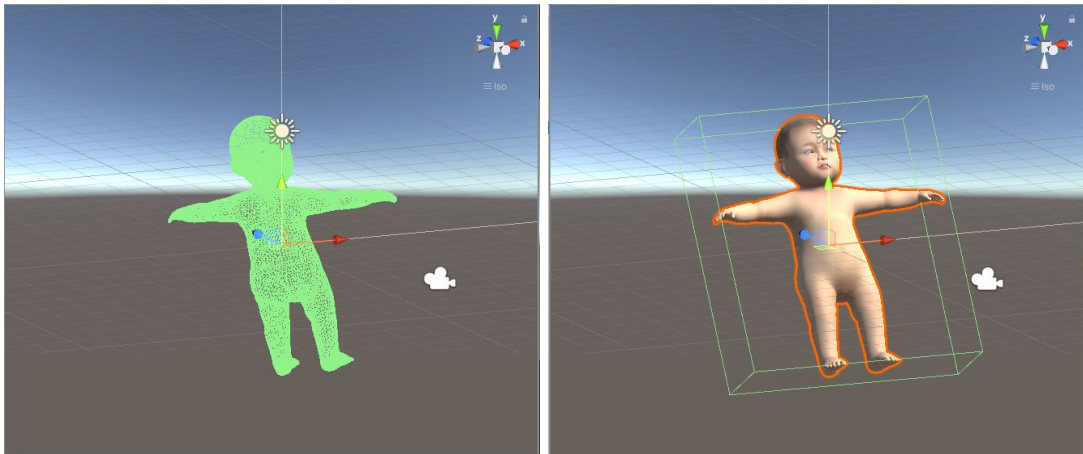
(d)

Hình 2.26: Khối trụ được bao bởi các hệ hộp bao (a) AABB (b) Song hệ hộp bao (c) k -DOPs (d) OBB



(a)

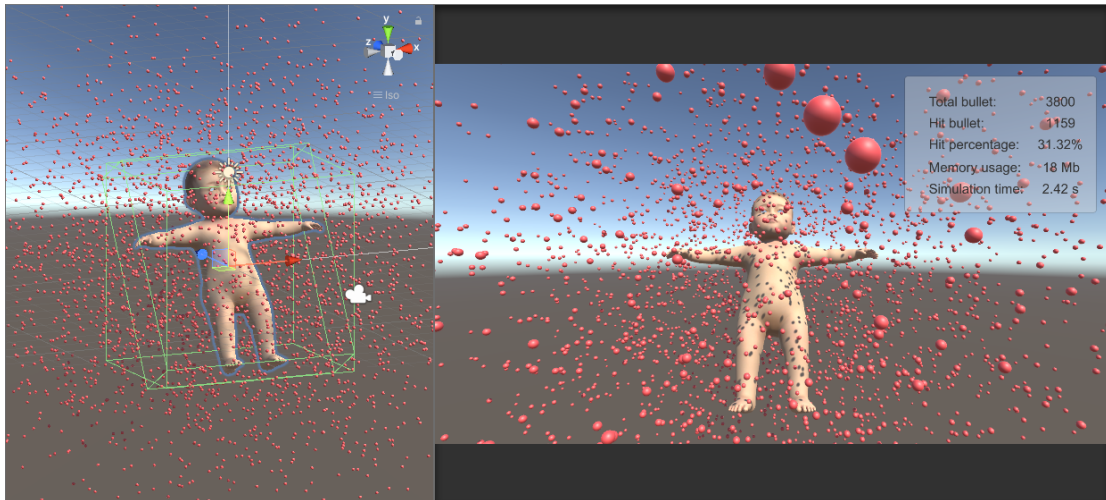
(b)



(c)

(d)

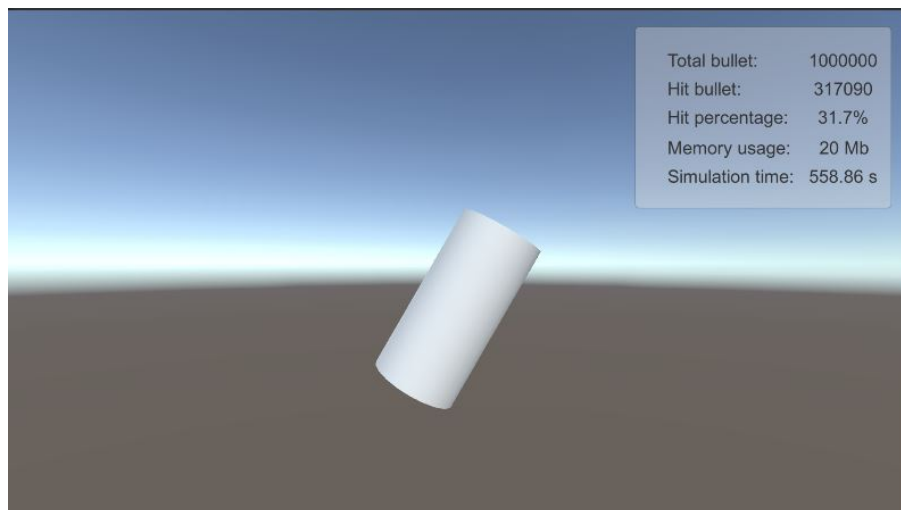
Hình 2.27: Mô hình cơ thể bệnh nhi 3D được bao bởi các hệ hộp bao (a) AABB (b) Song hệ hộp bao (c) k -DOPs (d) OBB



Hình 2.28: Mô phỏng bắn đạn nhằm xác định và chạm

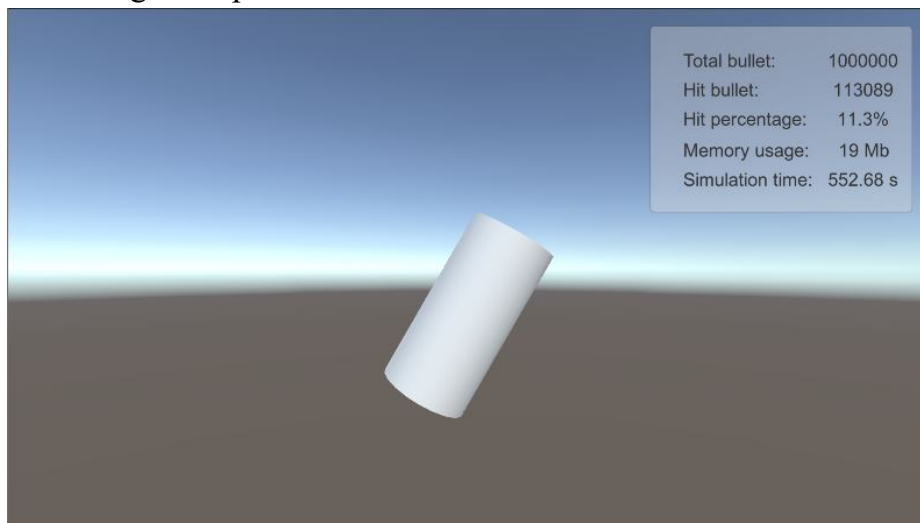
Trường hợp 01: Thử nghiệm với khối trụ cơ bản

Kiểm thử 01: AABB



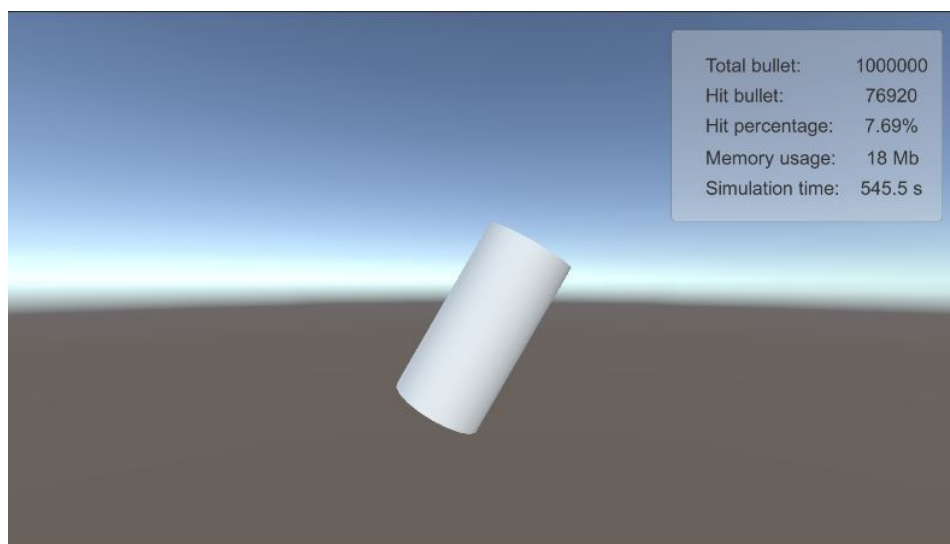
Hình 2.29: Kết quả kiểm thử va chạm với khối trụ với hệ hộp bao AABB

Kiểm thử 02: Song hệ hộp bao



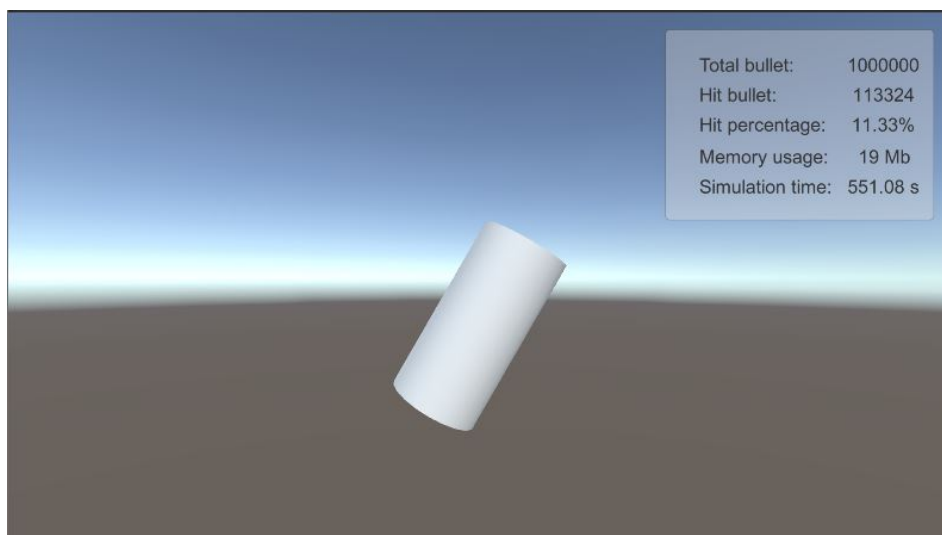
Hình 2.30: Kết quả kiểm thử va chạm với khối trụ với Song hệ hộp bao AABB, OBB

Kiểm thử 03: k-DOPs



Hình 2.31: Kết quả kiểm thử va chạm với khối trụ với hệ hộp bao k-DOPs

Kiểm thử 04: OBB



Hình 2.32: Kết quả kiểm thử va chạm với khối trụ với hệ hộp bao OBB

Trường hợp 02: Thử nghiệm với mô hình cơ thể bệnh nhân ảo 3D

Kiểm thử 01: AABB



Hình 2.33: Kết quả kiểm thử va chạm với mô hình cơ thể bệnh nhân ảo với hệ hộp bao AABB

Kiểm thử 02: Song hệ hộp bao



Hình 2.34: Kết quả kiểm thử va chạm với mô hình cơ thể bệnh nhân ảo với Song hệ hộp bao AABB, Convex

Kiểm thử 03: k-DOPs



Hình 2.35: Kết quả kiểm thử va chạm với mô hình cơ thể bệnh nhân ảo với hệ hộp bao k-DOPs

Kiểm thử 04: OBB



Hình 2.36: Kết quả kiểm thử va chạm với mô hình cơ thể bệnh nhân ảo với hệ hộp bao OBB

Bảng 1: Bảng so sánh thời gian xử lý (s)

		AABB	Dual	k-DOPs	OBB
Mẫu thử 01		558,86	552,68	545,5	551,08
Mẫu thử 02	1	443,26	456,1	426,42	428,43
	2	442,35	454,3	426,93	440,84
	3	443,55	450,32	431,63	440,53
	4	448,97	451,04	439,25	421,8
	5	443,99	451,72	443,92	432,28

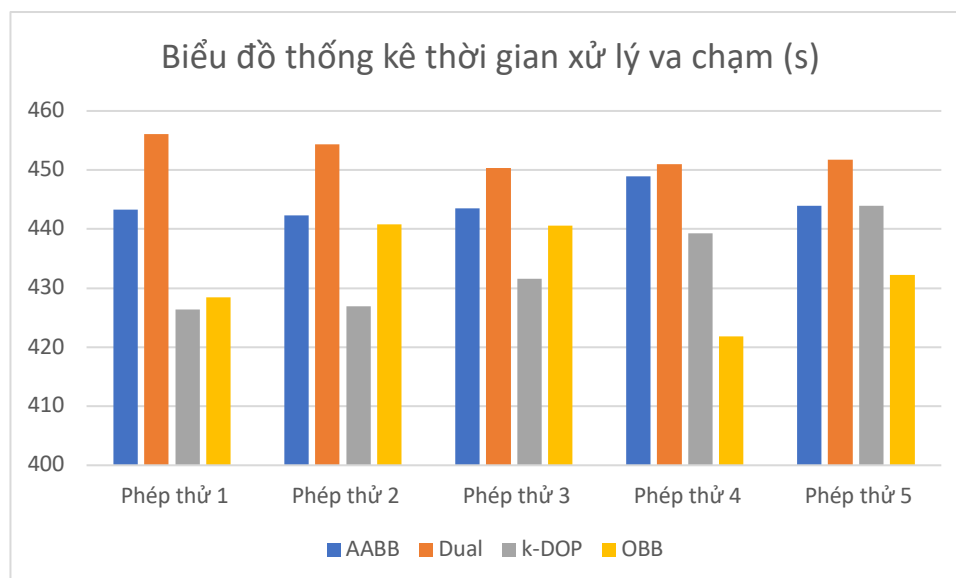
Bảng 2: Bảng so sánh dung lượng RAM tiêu tốn

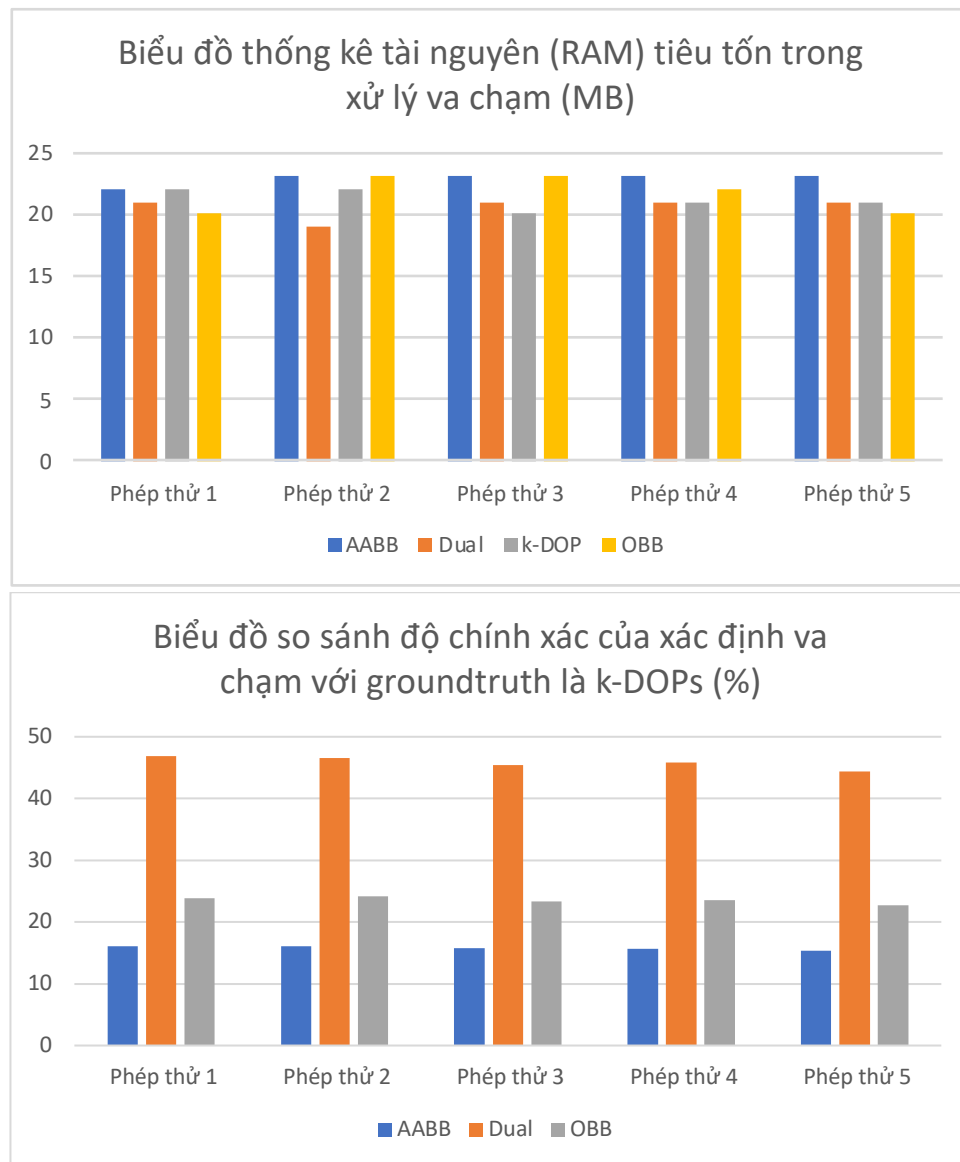
		AABB	Dual	k-DOPs	OBB
Mẫu thử 01		20	19	18	19
Mẫu thử 02	1	22	21	22	20
	2	23	19	22	23
	3	23	21	20	23
	4	23	21	21	22
	5	23	21	21	20

Bảng 3: Bảng so sánh % ghi nhận và chạm xảy ra

		AABB	Dual	k-DOPs	OBB
Mẫu thử 01		31,7	11,3	7,69	11,33
Mẫu thử 02	1	5,96	2,05	0,96	4,02
	2	5,97	2,06	0,96	3,97
	3	5,95	2,07	0,94	4,02
	4	6	2,05	0,94	4
	5	5,92	2,05	0,91	4

Từ đó ta có các biểu đồ so sánh sau:





Hình 2.37: Biểu đồ so sánh hiệu quả xử lý va chạm của hệ song hộp bao (Dual)

Dựa trên kết quả thử nghiệm trong Hình 2.37 ta có thể thấy rằng:

- Độ chính xác: Trong ba phương án: Sử dụng một hệ hộp bao AABB, sử dụng một hệ hộp bao OBB và sử dụng hai hệ hộp bao Dual, phương án sử dụng hai hệ hộp bao có độ chính xác cao nhất. (>40% so với ground truth, 2 phương án còn lại <25% so với ground truth)
- Thời gian tính toán: Trong ba phương án: Sử dụng một hệ hộp bao AABB, sử dụng một hệ hộp bao OBB và sử dụng hai hệ hộp bao Dual, thời gian xử lý của phương án Dual là lớn nhất nhưng chênh lệch ba phương án là không nhiều. (lớn nhất là chênh lệch khoảng 30s/450s tương đương 6,5%)
- Tài nguyên bộ nhớ tiêu tốn: Trong ba phương án: Sử dụng một hệ hộp bao AABB, sử dụng một hệ hộp bao OBB và sử dụng hai hệ hộp bao Dual phương án sử dụng một hệ hộp bao AABB và OBB tiêu tốn bộ nhớ lớn nhất, phương án sử dụng hai hệ hộp bao tiêu tốn nhỏ hơn. Tuy nhiên mức chênh lệch lớn nhất chỉ đạt 3MB/23MB tương đương 13%.

Từ kết quả thực nghiệm có thể thấy: ứng dụng song hệ hộp bao đánh đổi thời gian xây dựng hộp bao và dung lượng lưu trữ để có độ chính xác cao hơn. Việc ứng dụng đề xuất có thể thực hiện khi cần độ chính xác cao hơn so với một hệ hộp bao AABB, OBB và trường hợp sử dụng không yêu cầu lợi về thời gian xử lý. Tuy nhiên trong bài toán biểu diễn một va chạm với bề mặt da của một đối tượng bệnh nhi ảo của luận án, để đạt độ chính xác cao nhất cho các thử nghiệm, thuật toán xác định va chạm giữa các đối tượng được lựa chọn là hệ hộp bao k-DOPs tương đương với Mesh Collider trên công cụ mô phỏng và không quan tâm đến tài nguyên tiêu tốn cũng như thời gian thực hiện.

So sánh với các nghiên cứu khác với hai hệ hộp bao trước đây, thời gian thử nghiệm giảm xuống đáng kể. Lý do thời gian giảm xuống đáng kể như vậy là do việc tính toán va chạm đối với bề mặt của hộp bao phức tạp không cần phải thực hiện trong trường hợp va chạm không xảy ra. Tuy nhiên các thử nghiệm này sử dụng các công cụ mô phỏng với cấu hình thấp và được thực hiện khi công nghệ thiết bị đầu cuối chưa có nhiều tiến bộ như hiện nay.

		RAPID	QuickCD	SAT lite	Dual
Scenario I	0%	27.2540	50.5709	25.3296	20.6053
	1%	14.0696	36.4444	13.2419	10.1924
	2%	8.6457	26.2898	8.1142	5.8939
	3%	6.2860	19.6893	5.8670	4.0741
	4%	4.9193	15.4700	4.5779	3.0381
	5%	4.0032	12.7353	3.7149	2.3816
Scenario II	10^{-1}	0.0012	0.0112	0.0010	0.0013
	10^{-2}	0.0138	0.4909	0.0113	0.0131
	10^{-3}	0.1754	0.8663	0.1418	0.1653
	10^{-4}	0.9418	0.9339	0.7621	0.7074
	10^{-5}	1.1858	0.9409	0.9682	0.8973
Scenario III		0.9640	0.5816	0.9935	0.8690

Hình 2.38: Kết quả thời gian thực hiện thử nghiệm song hệ hộp bao của J.-W.Chang (đơn vị là giây)

2.3. Kết luận chương 2

Trong chương này đã trình bày một số kỹ thuật tính toán gần đúng trong việc tạo thành đối tượng 3D và xác định va chạm giữa các đối tượng 3D trong môi trường mô phỏng. Hiện nay các kỹ thuật nhằm nâng cao khả năng xác định tương tác va chạm giữa các đối tượng trong không gian ảo vẫn liên tục được nghiên cứu cải thiện. Một kỹ thuật mới được giới thiệu nhằm cải thiện một số khía cạnh trong xác định va chạm giữa hai đối tượng: sử dụng song song hai hệ hộp bao trên cùng một đối tượng 3D với một hệ hộp bao có cấu trúc đơn giản nhưng khả năng xác định va chạm nhanh, một hệ hộp bao có cấu trúc phức tạp hơn nhằm nâng cao khả năng xác định va chạm chính xác. Các thử nghiệm được thực hiện và tổng hợp so sánh về độ hiệu quả và sai của phương pháp đề xuất với các phương pháp truyền thống. Các nội dung trình bày

là cơ sở cho các nghiên cứu chuyên biệt hơn được trình bày trong chương 3 của luận án.

Kỹ thuật xử lý va chạm sử dụng nhiều hộp bao, công bố một nghiên cứu về Nhằm minh chứng cho các đánh giá và lựa chọn giải pháp phù hợp cho nghiên cứu,: [JN01]

CHƯƠNG 3. MỘT SỐ ỨNG DỤNG CỦA KỸ THUẬT MÔ PHỎNG BỀ MẶT TRONG THỂ HIỆN DA NGƯỜI DƯỚI TÁC ĐỘNG CỦA NGOẠI LỰC

Như đã phân tích ở Chương 2, việc tạo thành đối tượng 3D hay xử lý tương tác của các đối tượng này trong không gian ảo ở mức cơ bản đã được nghiên cứu và ứng dụng không chỉ trong các sản phẩm mà đã được tạo thành các bộ công cụ khá mạnh trong việc hỗ trợ các họa sĩ trong việc tạo hình đối tượng, mô tả các chuyển động, tương tác và các lập trình viên hiện thường ứng dụng các tương tác đã được xây dựng thành thư viện nhằm tạo ra các sản phẩm ứng dụng. Tuy nhiên đối với các bài toán chuyên ngành sâu, các thư viện hay công cụ có sẵn vẫn chưa đảm bảo cho việc mô phỏng một cách chính xác các hiện tượng, biến đổi mong muốn. Một minh chứng cụ thể trong trường hợp các mô phỏng trong y tế đang thực hiện, các công cụ dựng hình và mô phỏng tương tác chỉ cho phép xây dựng các đối tượng 3D ở mức cơ bản, các biểu diễn có tính đặc thù của cơ thể người như sự thay đổi cục bộ của màu da, sự biến dạng tự động theo các tương tác chuyên môn của y tế không được các công cụ mô phỏng thông dụng xây dựng. Muốn biểu diễn các mô phỏng này, đội ngũ phát triển buộc phải lựa chọn xây dựng thủ công hoặc tự xây dựng các công cụ tự động biểu diễn. Các biểu diễn thủ công mặc dù đơn giản về mặt kỹ thuật nhưng đòi hỏi nhân lực lớn và không thể áp dụng một cách thống nhất trong đội ngũ thực hiện do sự chênh lệch về kỹ năng của các đội ngũ phát triển. Trong việc thể hiện trạng thái của một bề mặt của một đối tượng 3D trong không gian ảo hai trong số nhiều bài toán cần giải quyết được lựa chọn là thể hiện màu sắc của đối tượng và thể hiện hình dạng của đối tượng để nghiên cứu và đề xuất các giải pháp mới. Trong các bài toán hẹp hơn, có nhiều vấn đề cần quan tâm như việc biến đổi lớp vỏ nhưng không làm phá vỡ bề mặt của đối tượng dưới tác động của ngoại lực; thiết lập các lớp màu sắc của đối tượng 3D; thiết lập hệ lưới hoặc hệ điểm của các đối tượng 3D. Trong chương này, sẽ làm rõ hơn về hai bài toán, cũng như đưa ra các nghiên cứu nhằm cải thiện chất lượng biểu diễn, phục vụ trực tiếp cho sản phẩm trong thực tế.

3.1. Kỹ thuật tính toán thời gian làm đầy mao mạch

3.1.1. Thời gian làm đầy mao mạch của da

Da của con người được cấu tạo từ các lớp khác nhau, mỗi lớp có những đặc điểm và chức năng riêng. Có ba lớp cơ bản với biểu bì là lớp ngoài cùng. Độ dày và màu sắc của lớp da này phụ thuộc một phần vào sự tương tác vật lý của da trong quá trình hoạt động hàng ngày (trở nên trong suốt một phần nếu bị căng mạnh). Ở gò má hoặc mí mắt, da mỏng hơn, trong khi xung quanh môi dày hơn và có màu vàng hơn. Các phần mỏng hơn có vẻ hơi đỏ hơn do các mạch máu nhỏ ở lớp sâu tiếp theo của da - lớp hạ bì. Lớp dưới biểu bì chứa các kho collagen và chất béo xác định tính nhất quán và tính linh hoạt của da. Nhiều lỗ chân lông tự nhiên có khối lượng thay đổi trên bề mặt là một phần của da. Một số chúng bảo vệ da khỏi bị khô và bệnh tật bằng cách tạo ra chất béo giống như chất lỏng. Các lỗ chân lông khác tiết ra mồ hôi để hạ nhiệt cơ thể.

Ngoài cấu trúc, còn có các thuộc tính trội khác như quốc tịch và giới tính, dẫn đến các biến thể tổng thể của lớp da. Các lớp khác nhau của da thay đổi trong quá trình lão hóa: Hạ bì mất khả năng lưu trữ chất béo, do đó, các mô liên kết mất đi sức mạnh của nó và da trở nên khô. Nó trở nên kém mịn và nhăn nheo, lớp biểu bì trở nên mỏng hơn và trông giống như giấy.

Capillary refill time (CRT) là một thuật ngữ được sử dụng rộng rãi trong Y khoa cho phép đánh giá nhanh tình trạng tim mạch của bệnh nhân nặng. Khái niệm này lần đầu được đưa ra vào năm 1947 bởi Beecher và được định lượng ở ba mức bình thường, chậm và rất chậm. Để đo lường CRT người ta sử dụng áp lực để làm trống mao mạch, thông thường là bằng cách ấn ngón tay vào phần da của bệnh nhân trong ít nhất 5s để toàn bộ máu tại phần da bị ấn được bơm ra ngoài các mao mạch. Sau đó, bác sĩ bỏ ngón tay ấn trên da và ghi nhận thời gian máu được bơm đầy vào các mao mạch. Đặc điểm để nhận diện quá trình này là màu sắc của vùng da bị ấn chuyển từ màu trắng (máu được bơm ra ngoài mao mạch) về lại màu sắc tương tự các vùng da bên cạnh (máu được làm đầy trong các mao mạch). Giới hạn trên bình thường của CRT là 2s dựa theo các quan sát của nhân viên y tế làm việc với Bác sĩ Champion và các tham số của việc đo lường CRT được tranh luận trên 30 năm qua.

Việc đánh giá CRT trên người được xác định dựa theo các tài liệu mô tả về CRT trên đánh giá thực nghiệm quan sát tại bệnh viện Nhi đại học British Columbia, Vancouver, Canada [46] và phương pháp được sử dụng để xây dựng máy đo CRT được thực hiện tại đại học Mugla Sitki Kocman, Thổ Nhĩ Kỳ [45]. Tổng hợp các đánh giá trên hai tài liệu trên, các yếu tố tác động đến CRT bao gồm:

- Tuổi:

Biểu đồ 1: Bảng giới hạn bình thường của CRT:

Stt	Tuổi	Giới hạn CRT bình thường
1	Trẻ sơ sinh	3s không phân biệt giới tính, cân nặng, tuổi
2	Trẻ em	2s
3	Người lớn	Tăng 3,3% cho 10 tuổi, mức chênh lệch ở nữ cao hơn ở nam, có thể đạt tới 2.9s
4	Người già	4.5s

- Nhiệt độ

Nhiệt độ môi trường, da và nhiệt độ cơ thể cũng ảnh hưởng đến phép đo CRT. Trung bình CRT giảm 1,2% mỗi độ C khi tăng nhiệt độ môi trường. CRT giảm 5% cho mỗi lần tăng nhiệt độ của tâm vị.

- Ánh sáng môi trường xung quanh

Điều kiện ánh sáng kém gây khó khăn cho việc đánh giá CRT. Trong điều kiện ánh sáng ban ngày (~4000 lux), CRT được đánh giá chính xác khoảng 94,2% so với 31,7 % trong điều kiện ánh sáng yếu (ánh sáng trắng, đèn đường, ...)

- Áp lực tác động vào da

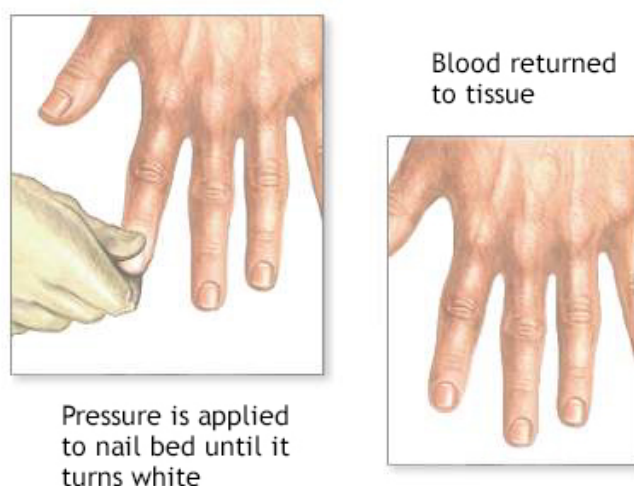
Hiện nay không có tham số chính xác cho thời gian tác động áp lực vào da để đo CRT hoặc vị trí tối ưu để đánh giá CRT. Áp lực tác động vào da hiện tại được xác

định ở mức lực ấn bình thường của người và thời gian tác động từ 3 đến 5 giây (thông thường được khuyến nghị áp dụng). Không có ghi nhận nào về sự khác biệt nhiều trong việc tác động vào da từ 3 – 7s.

- Sai số do người thực hiện phép đo

Việc tính toán CRT chủ yếu thực hiện bởi con người, do đó độ tin cậy của kết quả tính toán là một hạn chế của phép đo. Ngoài ra, việc tác động không đồng đều của người thực hiện lên bệnh nhân khi thực hiện phép đo cũng là một lý do dẫn tới kết quả đo không chính xác.

Sốc là một yếu tố tử vong chính cho cả trẻ em và người lớn. Người ta ước tính rằng 8.000 trẻ em dưới 5 tuổi tử vong mỗi ngày do sốc giảm thể tích. Tỷ lệ tử vong ở trẻ em bị sốc nhiễm trùng là khoảng 25%. Tầm quan trọng của việc theo dõi Thời gian nạp đầy mao mạch (CRT) được nhấn mạnh trong các hướng dẫn chẩn đoán và điều trị sốc (Hình 3.1). Nó được đưa vào hướng dẫn đánh giá và điều trị tam giác khản cấp (ETAT) của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO).



ADAM.

Hình 3.1: Mô tả cho việc làm đầy mao mạch dưới da qua kiểm tra độ trắng móng tay (theo ssi.adam.com)

Các cách tiếp cận khác nhau tồn tại trong các tài liệu về đánh giá CRT. Vì vậy cần chuẩn hóa các phép đo CRT. Bằng cách đánh giá các tài liệu hiện tại về CRT, có thể kết luận rằng các thông số chính ảnh hưởng đến thời gian nạp đầy mao quản là: độ lớn và thời gian của lực tác dụng, nhiệt độ môi trường và nhiệt độ bề mặt cực đại. Không có bất kỳ thiết bị thương mại nào chuẩn hóa cả độ lớn và khoảng thời gian của lực tác dụng để cảm nhận sự tưới máu của các mao mạch.

Một phương pháp sử dụng các tham số cơ bản để tính toán CRT một cách chính xác trên cơ thể người hiện nay là chưa thể xác định. Tuy nhiên một số nghiên cứu hiện nay đã ghi nhận một tập các giá trị CRT được khảo sát trên các bệnh nhân. Các tham số được xem xét tới ở đây là xét nghiệm máu của bệnh nhân. Theo nghiên cứu trước đó, tập các bệnh nhân được xem xét gồm các lứa tuổi 18 – 45; trên 45 và trên 65. Tập bệnh nhân có chỉ số tương đối gần với đối tượng mô phỏng là bệnh nhi sẽ được tham chiếu là tập các bệnh nhân tuổi từ 18 – 45. Đối với nhóm bệnh nhân này,

CRT có liên quan đến huyết áp tâm trương. Tỷ lệ này được mô tả trong tài liệu là 1s CRT cho 10 lần giảm áp lực máu.

Có thể tạm hiểu là Nhịp tim thông thường của bệnh nhân là 120 – 130 huyết áp thông thường là 60 thì nếu huyết áp của bệnh nhân ở dưới mức trung bình (<60), nhịp tim 140 – 150 thì CRT của bệnh nhân sẽ là 3s; nhịp tim 160 – 170 thì CRT của bệnh nhân là 4s; nhịp tim 170 trở lên thì CRT của bệnh nhân là 5s; với trường hợp ngừng tim CRT của bệnh nhân là trên 5s.

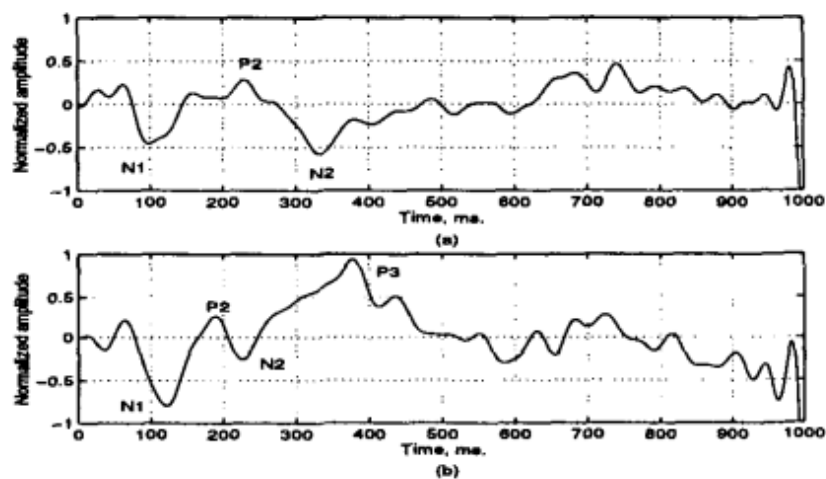
3.1.2. Tính toán tham số sức khỏe của bệnh nhân ảo dựa tập dữ liệu có sẵn

Trong việc thể hiện các trạng thái của một bệnh nhân ảo, các tham số đầu vào được cung cấp theo từng trường hợp cụ thể theo bài thực hành dựa trên đầu bài của giảng viên là rất phổ biến. Tuy nhiên các trạng thái đầu ra của bệnh nhân ảo không tuân theo một công thức cố định mà có sự tùy biến nhất định như trường hợp đã nêu ở trên. Do đó, việc vận dụng học máy trong trường hợp này có ý nghĩa quan trọng trong việc giúp thể hiện một cách gần với thực tế nhất các trạng thái đầu ra của các đối tượng.

3.1.2.1. Lựa chọn mạng nơ ron lan truyền ngược là công cụ tính toán

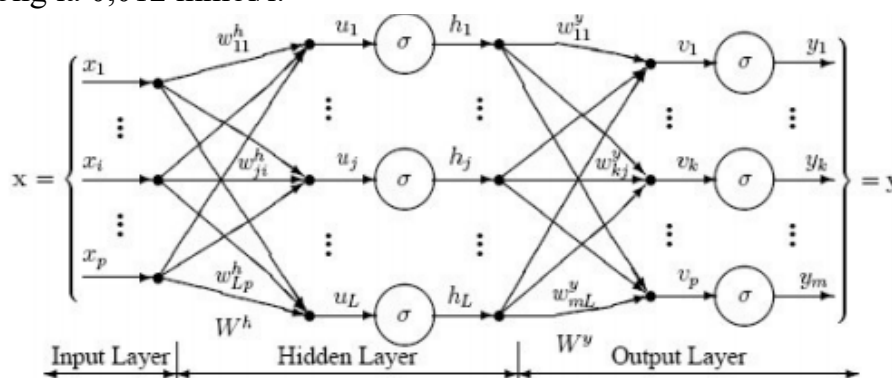
Mạng nơ ron nhân tạo được ứng dụng trong lĩnh vực y khoa từ rất sớm và vẫn đang tiếp tục phát triển đến ngày nay. Một số nghiên cứu được thực hiện từ những năm cuối thế kỷ 20 đến nay:

Vào năm 1997, R. Polikar và các cộng sự đã thực hiện nghiên cứu để chẩn đoán bệnh nhân Alzheimer [70] dựa trên mạng nơ ron (*Hình 3.2*). Phương pháp đề xuất là huấn luyện một mạng nơ ron nhân tạo bằng các sơ đồ ERP của 2 nhóm bệnh nhân: một nhóm mắc bệnh Alzheimer và một nhóm không bị Alzheimer. Mô hình cho ra kết quả tương đối khả quan với độ chính xác lên đến 79%, tuy nhiên thử nghiệm mới được áp dụng cho 14 dữ liệu kiểm thử.



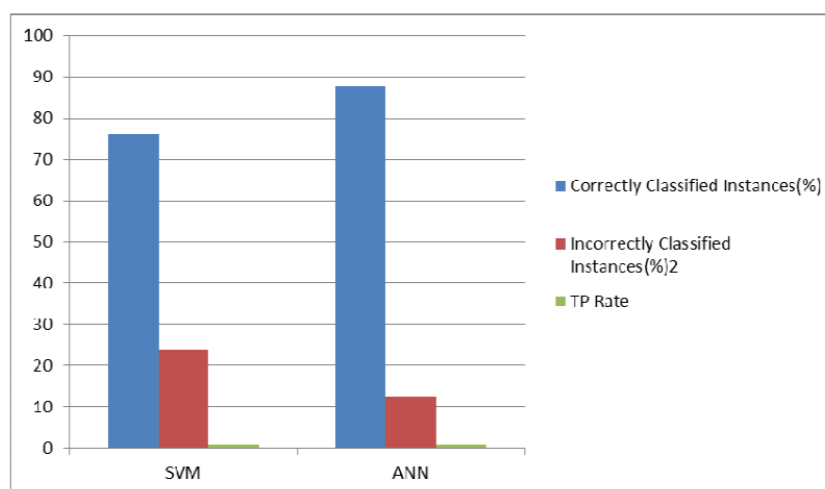
Hình 3.2: Sơ đồ ERP của hai nhóm bệnh nhân bị Alzheimer và không bị Alzheimer [70]

Vào năm 2007, Golnaz Baghdadi và Ali Motie Nasrabadi đã thực hiện việc kiểm soát mức độ đường huyết trong máu khi bị tiểu đường dựa vào mạng nơ ron nhân tạo [71]. Trong nghiên cứu này, các nhà khoa học đã sử dụng các số liệu: mức độ tập luyện thể chất, stress, lượng đồ ăn hấp thụ, lượng insulin được tiêm và mức độ đường huyết của chu kỳ trước làm đầu vào và dự đoán một cách chính xác mức độ đường huyết sau một chu kỳ. Kết quả thu được là mạng nơ ron dự đoán với sai số bình phương là 0,012 mmol/l.



Hình 3.3: Mô hình mạng nơ ron đa lớp được sử dụng trong hệ thống chuẩn đoán bệnh tim 2014 [72]

Vào năm 2014, Sonawane J. S. và Patil D. R. đã xây dựng một mạng nơ ron đa lớp (Hình 3.3) để chẩn đoán xem bệnh nhân có bệnh tim hay không với độ chính xác lên đến 98% [72]. Mạng nơ ron trong hệ thống này sử dụng 13 đặc điểm lâm sàng làm đầu vào và được huấn luyện bằng thuật toán lan truyền ngược. Vào năm 2015, tiến sĩ Vijayarani cùng với Dhayanand đã công bố một nghiên cứu chẩn đoán bệnh thận dựa trên trí tuệ nhân tạo [69]. Mục đích của nghiên cứu này là thực hiện chẩn đoán bệnh thận thông qua hai phương pháp SVM (Support Vector Machine) và ANN (Artificial Neural Network) và so sánh hiệu năng giữa hai phương pháp này. Thông qua thử nghiệm, tác giả thấy rằng ANN có độ chính xác cao hơn so với phương pháp còn lại.



Hình 3.4: So sánh độ chính xác của SVM và ANN theo Vijayarani và Dhayanand 2015

Như vậy đối với bài toán mô phỏng trong luận án, kỹ thuật tính toán tự động CRT dựa trên kỹ thuật mạng nơ ron đa lớp được huấn luyện bằng thuật toán Lan

truyền ngược được lựa chọn là hoàn toàn khả thi. Các tham số tính được này cho phép mô phỏng các biến đổi dưới lực tương tác trên da người một cách tự động dựa trên các thông số về sức khỏe thông thường của bệnh nhân, đảm bảo gần đúng với thực tế.

3.1.2.2. Kỹ thuật tính toán thời gian làm đầy mao mạch sử dụng học máy

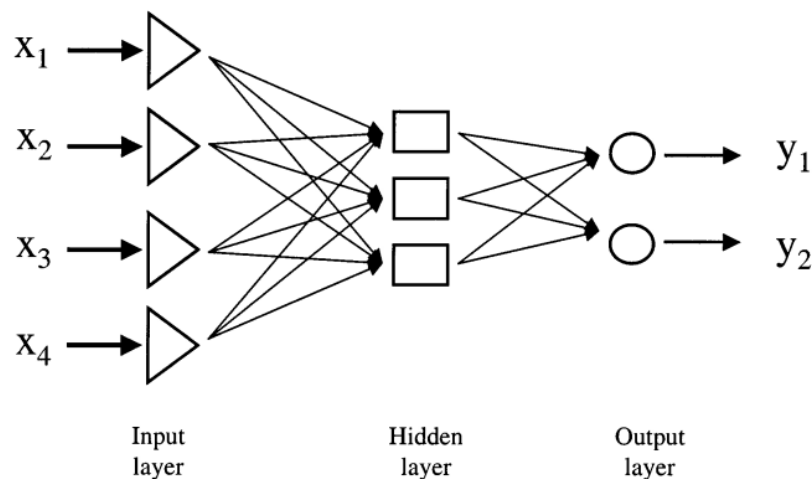
Thiết kế mạng nơ ron tính toán

Để đáp ứng với đa dạng các bài toán, mạng nơ ron nhân tạo đã xuất hiện rất nhiều biến thể nhưng vẫn luôn đảm bảo cấu trúc gồm ba thành phần như trên. Phụ thuộc vào đặc điểm của bài toán, ta sẽ lựa chọn loại mạng nơ ron phù hợp:

- Mạng feedforward (Multi-layer perceptron)
- Mạng tích chập
- Mạng hồi quy

MLP là mô hình mạng ANN cơ bản và thường được sử dụng nhất trong các bài toán dự đoán và nhận dạng. Các nơ ron của MLP được kết nối với nhau bằng các liên kết tịnh tiến, nên nó còn có tên gọi khác là mạng tịnh tiến (mạng feedforward). Mỗi nơ ron trong mạng sẽ đóng vai trò tổng hợp và xử lý đầu ra của các nơ ron trước nó. Trên liên kết giữa các nơ ron sẽ có một trọng số tương ứng để điều chỉnh giá trị đầu vào. Đầu ra của nơ ron được tính bằng công thức sau:

$$y = f\left(\sum x_i w_i\right)$$



Hình 3.5: Các lớp thành phần của mạng nơ ron

Cấu trúc mạng nơ ron bao gồm n đầu vào tương ứng với các tham số sức khỏe đầu vào của bệnh nhân (Hình 3.5). Hàm số biểu diễn giá trị của thời gian làm đầy mao mạch CRT được xác định là một hàm với nhiều điểm cực trị địa phương do đó số lớp ẩn được xác định là m với $m \geq 2$. Số lượng nơ ron thành phần của của một lớp ẩn i được xác định với $n \leq i$ nhưng i không quá lớn để giảm độ phức tạp của thuật toán.

- Thành phần gồm có một lớp đầu vào, một lớp đầu ra và hai lớp ẩn.
- Lớp đầu vào gồm n nơ ron, ứng với giá trị sức khỏe của bệnh nhân.
- Lớp đầu ra có 1 nơ ron, ứng với thời gian làm đầy mao mạch (CRT).

- Lớp ẩn thứ nhất gồm i nơ ron thành phần.
- Lớp ẩn thứ hai gồm i' nơ ron thành phần.
- Các nơ ron trong mạng, ngoại trừ lớp đầu vào đều sử dụng hàm Sigmoid làm hàm kích hoạt

Cấu trúc của mạng nơ ron này sẽ được xác định chính xác thông qua quá trình thực nghiệm, đồng thời xem xét nhằm cực tiểu hoá sai số của thuật toán.

Thuật toán lan truyền ngược

Đây là phương pháp huấn luyện phổ biến nhất cho MLP. Các bước thực hiện thuật toán được mô tả như sau:

Bước 1: Tính sai số của mạng theo công thức sai số bình phương

$$C = \frac{1}{2} \|y - a^L\|^2 \quad (3.1)$$

Trong đó, C là sai số

y là kết quả mong muốn

a^L là kết quả của mạng nơ ron

Bước 2: Tìm đạo hàm của sai số đầu ra đối với trọng số của từng nơ ron dựa vào quy tắc chuỗi

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial c}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial x} \quad (3.2)$$

Bước 3: Cập nhật lại tất cả trọng số trong mạng

$$w_{ij} = w_{ij} - \alpha \Delta_{ij} \quad (3.3)$$

Trong đó, w_{ij} là trọng số

α là tốc độ học

Δ_{ij} là đạo hàm của sai số đầu ra đối với trọng số

Bước 4: Cập nhật lại sai số đầu ra và xét điều kiện kết thúc huấn luyện

$$C = C - \alpha \|y - a^L\| \quad (3.4)$$

Do khi càng gần điểm hội tụ $C = 0$, giá trị đạo hàm của sai số càng gần với 0 nên dần dần sẽ không có sự thay đổi lớn đối với trọng số khi được cập nhật nên ta cần một điều kiện để kết thúc huấn luyện. Điều kiện này được mô tả như sau:

$$C < C_{\min} \text{ or } n < n_{\max}$$

Trong đó, C là sai số đầu ra của mạng

C_{\min} là sai số thỏa mãn bài toán

n là số lần đã thực hiện huấn luyện

n_{\max} là số lần huấn luyện tối đa

Bước 5: Nếu chưa thỏa mãn điều kiện kết thúc huấn luyện, lặp lại bước 2.

Thu thập dữ liệu huấn luyện

Dữ liệu huấn luyện được thu thập tại bệnh viện nhi TW với đối tượng là trẻ em khoảng 1 năm tuổi. Do yếu tố nguồn lực và thời gian giới hạn, giới hạn các dữ liệu thu thập gồm có huyết áp trung bình, nhịp tim và thời gian làm đầy mao mạch. Hiện nay, cơ sở dữ liệu đã thu thập được khoảng 150 mẫu, và sử dụng 100 mẫu để huấn luyện và 50 mẫu để tiến hành kiểm thử.

Bảng 4: Mẫu bảng thống kê dữ liệu huấn luyện CRT

	Nhịp tim	Huyết áp trung bình	CRT
1	50	180	5
2	53	160	3
3	60	120	2
...
150	55	140	3

Tổng hợp mô phỏng biến đổi màu sắc của da dựa trên kỹ thuật tính toán tự động thời gian làm đầy mao mạch

Kỹ thuật tính toán tự động thời gian làm đầy mao mạch CRT được xác định như sau:

Bước 1: Khởi tạo mạng với các lớp, nơ ron và hàm kích hoạt như trên

Bước 2: Khởi tạo ngẫu nhiên trọng số

Bước 3: Thiết lập tốc độ học và điều kiện kết thúc huấn luyện

Bước 4: Tính giá trị đầu ra của mạng nơ ron với đầu vào

Bước 5: Tính sai số của đầu ra với giá trị mong muốn

Bước 6: Áp dụng thuật toán lan truyền ngược để cập nhật lại trọng số

Bước 7: Lặp lại bước 4 đến khi thỏa mãn điều kiện kết thúc huấn luyện.

Tổng hợp mô phỏng biến đổi màu sắc của da được đề xuất như sau:

Bước 1: Tính toán lực tác động

Áp dụng thuật toán Raycast bắt đầu từ vị trí con trỏ chuột để xác định tọa độ điểm đặt ngón tay và hướng của lực tác dụng. Các tham số này được dùng trong việc mô phỏng hiện tượng da bị lõm xuống khi đặt tay vào. Điểm xuất phát lực được tạo ra bằng việc dịch điểm đặt tay ra khỏi bề mặt da theo hướng của lực tác dụng. Hình dạng của vùng tác động được thực hiện bằng cách lấy đường bao của vật rắn gây ra ngoại lực.

Bước 2: Tính toán vùng ảnh hưởng

Độ lõm sâu của vùng da bị tác động bị giới hạn bởi tham số Boundary, tham số này giúp đảm bảo các vertex sẽ không bị dịch xuống quá một độ sâu nhất định trong khi bề mặt da bị biến dạng.

Khi nhấc ngón tay ra khỏi người bệnh nhân, bề mặt da của bệnh nhân sẽ phục hồi lại hình dạng ban đầu trong một khoảng thời gian ngắn. Thời gian vùng da khôi phục lại hình dạng ban đầu (Recover Duration) theo thời gian được thiết lập và có thể tùy chỉnh khi cần thiết. Màu sắc da tại vùng bị ấn xuống sau khi nhấc tay ra sẽ trở nên nhợt nhạt và dần hồng hào trở lại khi sau một thời gian.

Bước 3: Thực hiện việc biến đổi theo thời gian

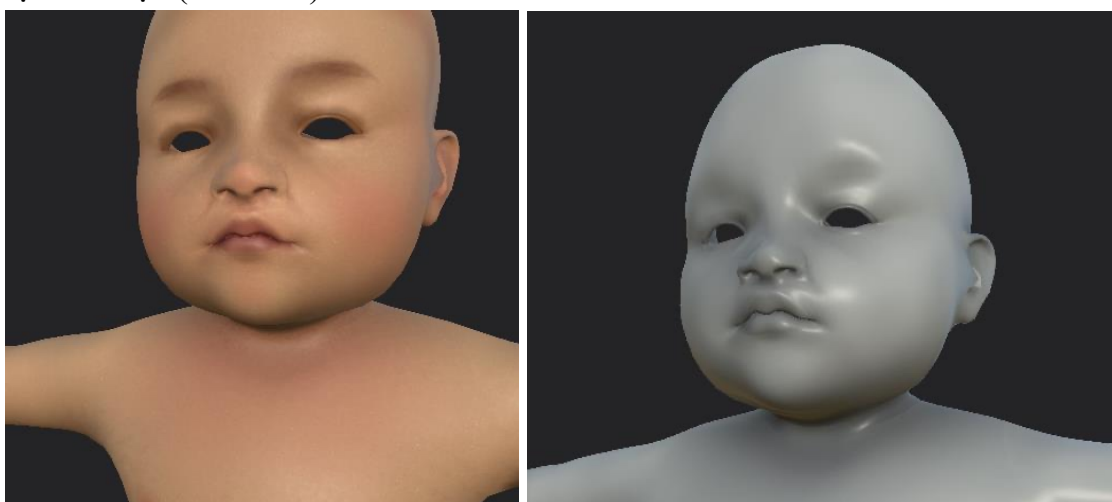
Thời gian để da hồng hào trở lại là giá trị CRT được xây dựng thông qua kỹ thuật đề xuất ở trên. Giá trị này sẽ được tính toán khi thiết lập chỉ số nhịp tim (Heart rate) và huyết áp (Blood Pressure) cho bệnh nhân.

Mao mạch sẽ làm đầy theo hướng từ ngoài vào trong và từ dưới lên. Hiện tượng làm đầy từ ngoài vào trong được mô phỏng lại bằng cách scale dần vùng đổi màu trên da theo thời gian. Mô phỏng hiện tượng làm đầy từ dưới lên bằng cách điều chỉnh opacity của vùng đổi màu trên da giảm dần theo thời gian.

3.1.2.3. Kết quả thực nghiệm

Dựa trên kết quả của bước thực nghiệm, mô phỏng lực tác động ngoài lên lớp da của mô hình 3D đã được cài đặt thuật toán. Tham số đầu vào của mô hình 3D là huyết áp và nhịp tim của một bệnh nhân thực tế và đầu ra là lớp da bị ấn có thời gian làm đầy mao mạch. Sau khi huấn luyện với 100 mẫu, kỹ thuật sử dụng 50 mẫu khác để tiến hành kiểm thử độ chính xác của phương pháp. Dưới đây là kết quả thu được sau khi thử nghiệm. Đường đồ thị màu xanh ứng với giá trị CRT được cung cấp bởi các bác sĩ, còn đường màu cam ứng với giá trị CRT thu được sau khi áp dụng mạng nơ ron nhân tạo.

Việc mô phỏng đối với bệnh nhi ảo được thực hiện với nguyên mẫu là bệnh nhi 1 tuổi người Việt Nam. Bệnh nhi ảo được khởi tạo trong môi trường ảo có các tham số thiết kế như sau: Số lưới (Tris): 64004; Chiều cao tham chiếu: 80cm; Chiều dài đầu: 20 cm; Chiều dài sải tay: 63cm. Mô hình được thiết kế dựa trên đặc điểm sinh lý của trẻ em Việt Nam 1 tuổi. Hình ảnh bệnh nhi ảo sử dụng trong nghiên cứu được thể hiện (Hình 3.6).



Hình 3.6: Mô hình bệnh nhi ảo 3D 1 tuổi (kiểm thử)

Khoảng thời gian giữ ngón tay được thiết lập ở đây là 5 giây thông qua tham số Deformation Duration. Thời gian vùng da khôi phục lại hình dạng ban đầu (Recover Duration) trong mô phỏng được thiết lập là 0.5s. Màu sắc da tại vùng bị ấn xuống sau khi nhấc tay ra sẽ trở nên nhợt nhạt và dần hồng hào trở lại khi sau một thời gian. Màu sắc của vùng da này được thể hiện bằng cách vẽ lên texture da của bệnh nhân tại vị trí bị nhấn một vùng màu sắc khác thông qua shader.

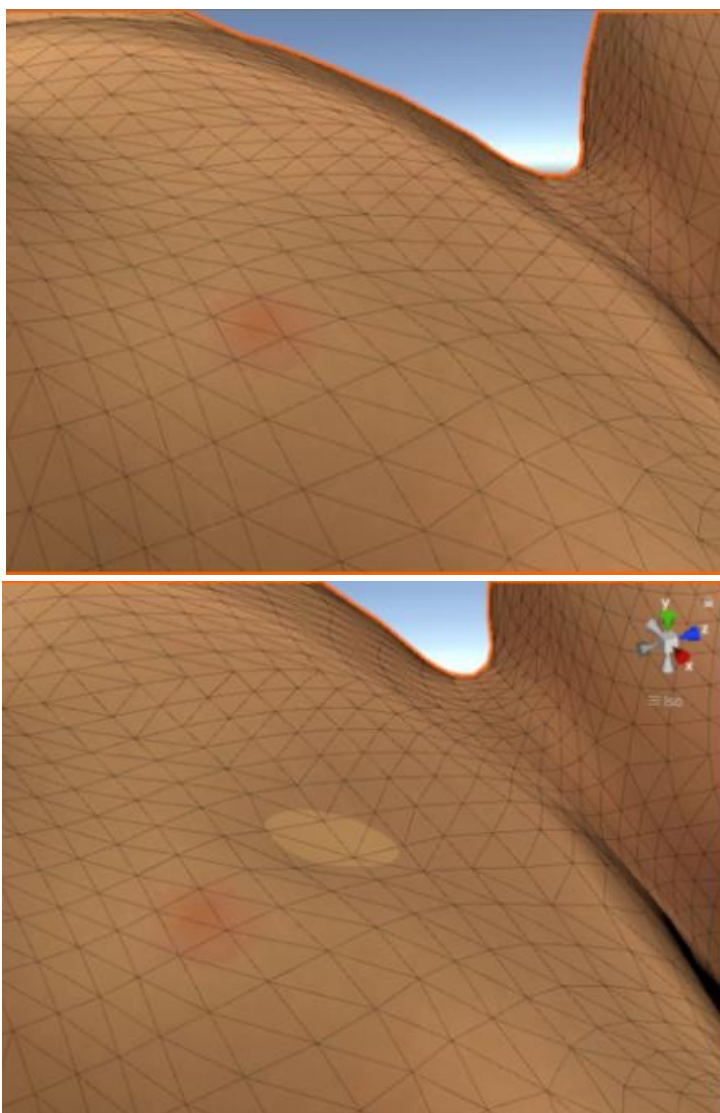
Cấu hình máy tính thực hiện mô phỏng:

Vi xử lý: Intel® Xeon® CPU E5-2630 v2 @ 2.60GHz 2.60GHz

RAM: 16 GB

Hệ điều hành: Window 10 Pro 64 bit

Nhiệt độ môi trường thực hiện 20 – 25 độ C



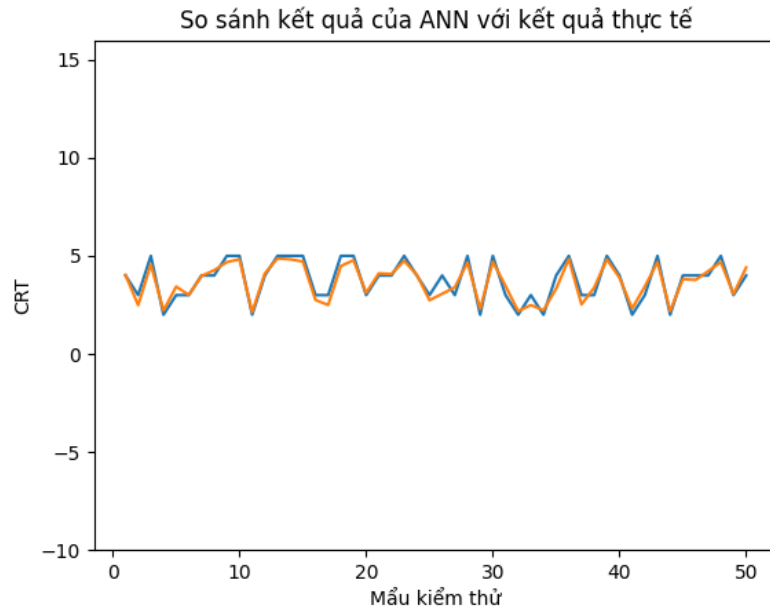
Hình 3.7: Mô phỏng biến đổi màu sắc da trên cơ thể bệnh nhi ảo 3D 1 tuổi (kiểm thử)

Với dữ liệu thu thập đầu vào, mô hình mạng MLP được đề xuất sử dụng có cấu trúc như sau:

- Lớp đầu vào gồm 2 nơ ron, ứng với giá trị huyết áp trung bình của bệnh nhân và nhịp tim.
- Lớp đầu ra có 1 nơ ron, ứng với thời gian làm đầy mao mạch.
- Lớp ẩn thứ nhất gồm 5 nơ ron thành phần.
- Lớp ẩn thứ hai gồm 3 nơ ron thành phần.

Kết quả mô phỏng được thể hiện cho 50 mẫu thử (*Hình 3.8*).

Để kiểm tra tính đúng của mô phỏng, phép so sánh với các kết quả thực nghiệm trên tập dữ liệu kiểm thử và đánh giá của các bác sĩ Bệnh viện Nhi Trung ương. Kết quả thử nghiệm được thực hiện đánh giá chuyên gia thông qua thống kê bảng hỏi được thực hiện với 10 bác sĩ. Kết quả so sánh với tập dữ liệu kiểm thử được thể hiện như sau:



Hình 3.8: Kết quả thử nghiệm ANN với 50 mẫu (kiểm thử)

Việc tính toán giá trị sai số của mạng nơ ron theo công thức sau:

$$C = \frac{1}{2} \|y - a^L\| \quad (3.5)$$

$$C_m = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n C_i \quad (3.6)$$

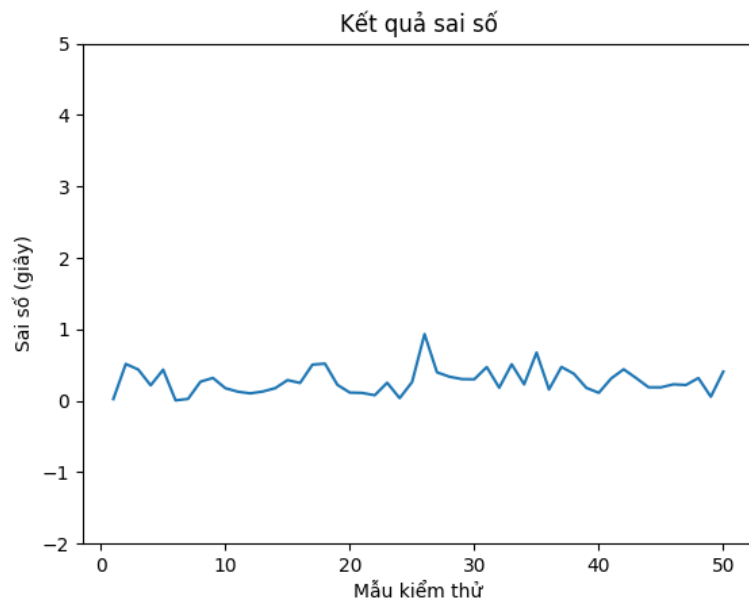
Trong đó, C là sai số

C_m là sai số trung bình

y là kết quả mong muốn

a^L là kết quả của mạng nơ ron

n là tổng số mẫu dữ liệu kiểm thử



Hình 3.9: Kết quả sai số thử nghiệm ANN với 50 mẫu (kiểm thử)

Sai số trung bình của phương pháp (Hình 3.9) trong thử nghiệm này là 0,28 giây với sai số lớn nhất là 0,93 giây và sai số nhỏ nhất khoảng 0,005 giây.

3.2. Biểu diễn lớp da đối tượng 3D có tương tác trong mô phỏng y tế

3.2.1. Kỹ thuật biến đổi màu sắc của lớp vỏ đối tượng 3D dưới tác động ngoại lực

3.2.1.1. Giới thiệu

Trong việc mô phỏng phép đo CRT trên cơ thể bệnh nhân ảo, một khó khăn gặp phải là màu da của bệnh nhân không biến đổi theo tương tác của người thực hành trong thao tác ấn vào bề mặt da để kiểm tra thời gian làm đầy mao mạch tương ứng với tình trạng sức khỏe của bệnh nhân. Nếu thực hiện việc này bằng các kỹ thuật diễn họa đồ họa thì tiêu tốn thời gian là quá lớn và cũng không bao trùm được hết tất cả các tình huống xảy ra. Ngoài ra như trong bài toán về học máy có nêu ở trên, thời gian làm đầy mao mạch của bệnh nhân không phải là một con số cố định theo một công thức chuẩn. Do đó nhu cầu về việc xây dựng một kỹ thuật giúp cho việc mô phỏng lại phép đo CRT trên cơ thể bệnh nhân ảo mà cụ thể là việc thể hiện màu sắc của lớp da bệnh nhân theo đặc điểm thực tế của da người cần được giải quyết.

Ý tưởng chính để xây dựng kỹ thuật này như sau: Trong thực tế, lớp da của con người sẽ bị mất màu hồng tự nhiên khi có lực ấn vào (thủ thuật kiểm tra CRT), khi lực ấn biến mất (ngón tay nhấc ra), máu sẽ bơm lại vào các mao mạch dưới da tại nơi bị ấn và làm da hồng trở lại. Quá trình bơm này là từ ngoài vào trong, từ dưới lên trên. Do đó, ý tưởng chung của kỹ thuật là xác định vùng tác động của ngón tay ảo, tại vùng tác động này, khi lực tác động diễn ra, màu của lớp da được làm trắng, khi lực tác động biến mất, màu của lớp da được làm hồng dần lên một cách tự động. Chi tiết của kỹ thuật sẽ được mô tả ở các phần sau.

3.2.1.2. Phương pháp tính toán thời gian làm đầy mao mạch CRT

Các thử nghiệm về CRT thông thường được xác định ở ngón tay, ngực, gót chân. Do đó, trong luận án việc mô phỏng sẽ không thực hiện trên toàn bộ cơ thể mà tập trung ở ngực và ngón tay của bệnh nhân ảo. Tuy nhiên do ngón tay của bệnh nhân ảo thường được đặt các thiết bị đo SpO₂, kim truyền tĩnh mạch nên việc đo CRT sẽ thực hiện tại phần ngực.

Các điều kiện chủ yếu ảnh hưởng đến CRT của bệnh nhân gồm: Huyết áp trung bình của bệnh nhân được gọi là x ; nhịp tim của bệnh nhân được gọi là y ; CRT của bệnh nhân là T .

Điều kiện biên: huyết áp bằng 0 CRT = vô cùng

Theo khảo sát tại Bệnh viện Nhi Trung ương trên 168 bệnh nhân, bảng thông số về x , y và T được lấy mẫu

Hàm số dựa được xây dựng cho T dựa trên ứng dụng mạng nơron lan truyền ngược đa lớp với số lớp ẩn ở đây là 02. Việc lựa chọn số lượng lớp ẩn nhỏ giúp thời gian huấn luyện nhanh hơn nhưng độ chính xác vẫn đảm bảo (lớn hơn 1 lớp ẩn). Kỹ thuật này được trình bày chi tiết tại 3.1: Sử dụng dữ liệu thu thập về huyết áp, nhịp tim và CRT làm đầu vào cho MLP nhằm tính toán CRT cho đối tượng bệnh nhân ảo có huyết áp và nhịp tim xác định.

$$X = x / (\max(x) + 1)$$

$$Y = y / (\max(y) + 1)$$

$$\text{Input} = \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}$$

$$W_1 = \begin{bmatrix} 0.32422353 & -0.05110842 & 0.12191785 & -1.3876337 & -0.69105127 \\ -1.21640765 & -0.16265489 & -0.23517743 & 1.97950055 & -1.30505081 \end{bmatrix}$$

$$B_1 = [-0.95928808 \quad 0.27223396 \quad 1.30599414 \quad -0.6886827 \quad -0.5166293]$$

$$W_2 = \begin{bmatrix} -1.80774069 & 0.20668852 & -1.25494885 \\ -1.13879382 & -1.15811616 & -0.36092524 \\ -0.51860212 & 0.40749863 & -0.11655671 \\ -0.53091182 & 3.08650312 & -1.40884999 \\ -0.09172276 & 2.40834059 & -1.51453333 \end{bmatrix}$$

$$B_2 = [-0.17608438 \quad 2.35359258 \quad 0.5869556]$$

$$W_3 = \begin{bmatrix} -0.01816311 \\ 3.75916594 \\ -0.2066619 \end{bmatrix}$$

$$B_3 = [-0.94526942]$$

Trong đó:

W_1, W_2, W_3 là ma trận trọng số của MLP được tính toán theo mô tả tại 3.1.2.2

B_1, B_2, B_3 là hằng số quán tính của các lớp tương ứng

$\text{OutputLayer1} = \text{Tanh}(\text{Input} * W_1 + B_1)$

$\text{OutputLayer2} = \text{Sigmoid}(\text{OutputLayer1} * W_2 + B_2)$

$\text{OutputLayer3} = \text{Sigmoid}(\text{OutputLayer2} * W_3 + B_3)$

$$\text{Sigmoid}(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

$$\text{Tanh}(x) = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1}$$

$$\text{Refill} = \text{OutputLayer3} * (\max(t) + 1) \quad (3.7)$$

3.2.1.3. Kỹ thuật mô phỏng biến đổi hình dạng và màu sắc da dưới tác động ngoại lực

Phép đo CRT được thực hiện như sau: Đối tượng mô phỏng – người được xây dựng trong môi trường ảo với các lớp da được tạo thành từ các lưới tam giác thông qua dựng hình. Vùng da được ấn để xác định thời gian CRT được lựa chọn ngẫu nhiên trên vùng ngực của đối tượng ảo. Thời gian CRT của bệnh nhân được xác định thông qua tập dữ liệu đầu vào là các tham số của bệnh nhân thực và thời gian CRT tương ứng. Mô phỏng được thực hiện gồm các bước: mô phỏng sự biến dạng của vùng da được tác động tương ứng với hình dạng của vật tác động; quá trình biến đổi màu của vùng da được tác động tương ứng với quá trình rút máu ra ngoài mao mạch da của bệnh nhân thực tế; quá trình phục hồi lại hình dạng ban đầu của vùng da được tác động sau khi lực tác động biến mất; thời gian biến đổi màu của vùng da được tác

động trở lại màu bình thường tương ứng với thời gian làm đầy mao mạch của bệnh nhân thực tế.

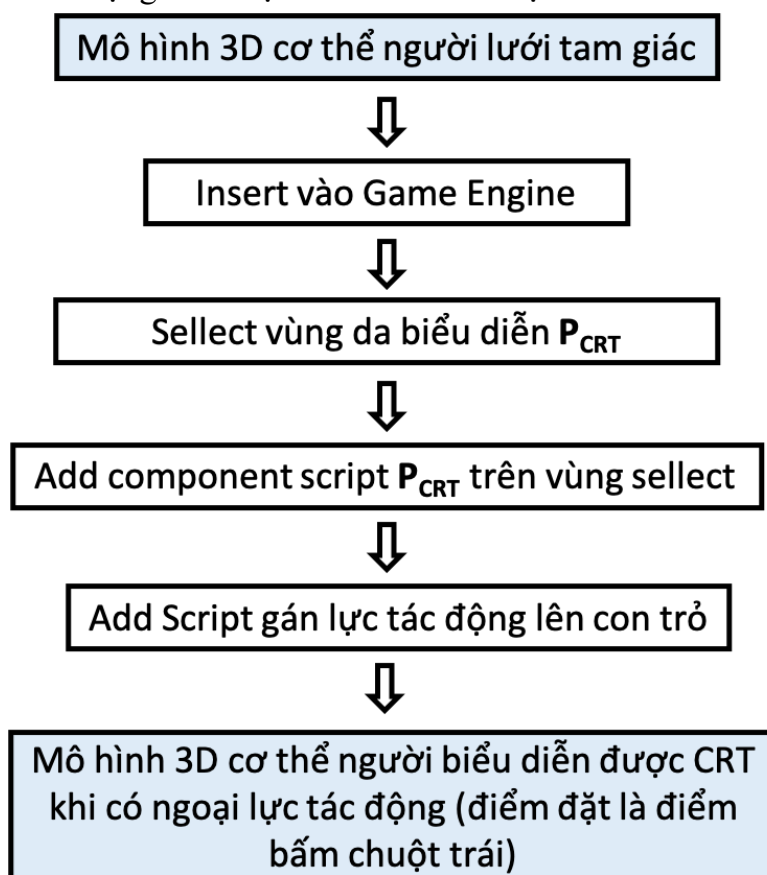
Giải thuật này được gọi là P_{CRT} – **Giải thuật mô phỏng biến đổi hình dạng và màu sắc da dưới tác động của ngoại lực có tính toán đến quá trình làm đầy mao mạch ở người – Skin simulation process with capillary refill time.**

Giải thuật (Hình 3.10):

Đầu vào: Mô hình 3D cơ thể người được dựng thủ công và lưu dưới dạng lưới tam giác.

- Mô hình 3D cơ thể người được insert vào Game Engine dưới dạng *.fbx; *.obj
- Lựa chọn khu vực da cho phép biểu diễn P_{CRT} (chú ý không lựa chọn các vùng da có độ gấp khúc phức tạp như mặt, nách, bẹn, ngón tay, ngón chân, ... hoặc có tóc, râu)
- Add component script P_{CRT} cho khu vực được lựa chọn
- Add component script gán lực tác động vuông góc lên con trỏ chuột khi bấm chuột trái

Output: Mô hình 3D cơ thể người cho phép biểu diễn thời gian CRT trên bề mặt với thao tác ấn sử dụng điểm đặt là điểm bấm chuột trái.



Hình 3.10: Sơ đồ giải thuật tạo thành Mô hình 3D cơ thể người có thể tính toán CRT khi có ngoại lực tác động

Phương thức xây dựng Script tính toán P_{CRT} và gán lực tác động vuông góc lên con trỏ chuột khi bấm chuột trái được mô tả chi tiết như sau:

Bước 1: Tính toán lực tác động

Áp dụng thuật toán Raycast bắt đầu từ vị trí con trỏ chuột để xác định tọa độ điểm đặt ngón tay và hướng của lực tác dụng. Các tham số này được dùng trong việc mô phỏng hiện tượng da bị lõm xuống khi đặt tay vào. Điểm xuất phát lực được tạo ra bằng việc dịch điểm đặt tay ra khỏi bề mặt da theo hướng của lực tác dụng. Hình dạng của vùng tác động được thực hiện bằng cách lấy đường bao của vật rắn gây ra ngoại lực.

Lực tác dụng lên các vertex trong vùng bị ảnh hưởng được xác định theo công thức:

$$F_i = F_0 * \cos^2(x_i) \quad (3.8)$$

Trong đó

F_0 là lực tác dụng lên điểm đặt tay

F_i là lực tác dụng lên điểm i

x_i là góc tạo bởi vector F_0 và F_i

Công thức trên đảm bảo lực tác dụng lên điểm i sẽ càng nhỏ khi điểm i nằm càng xa điểm đặt tay.

Bước 2: Tính toán vùng ảnh hưởng

Độ lõm sâu của vùng da bị tác động bị giới hạn bởi tham số Boundary, tham số này giúp đảm bảo các vertex sẽ không bị dịch xuống quá một độ sâu nhất định trong khi bề mặt da bị biến dạng. Khi nhấc ngón tay ra khỏi người bệnh nhân, bề mặt da của bệnh nhân sẽ phục hồi lại hình dạng ban đầu trong một khoảng thời gian ngắn. Thời gian vùng da khôi phục lại hình dạng ban đầu (Recover Duration) theo thời gian được thiết lập và có thể tùy chỉnh khi cần thiết.

Màu sắc da tại vùng bị ấn xuống sau khi nhấc tay ra sẽ trở nên nhợt nhạt và dần hồng hào trở lại khi sau một thời gian. Màu sắc của vùng da này được thể hiện bằng cách vẽ lên texture da của bệnh nhân tại vị trí bị nhấn một vùng màu sắc khác thông qua shader.

Bước 3: Thực hiện việc biến đổi theo thời gian

Trong shader trên, Print Shape là hình ảnh đầu vào sẽ được dùng để lấy hình dạng cần vẽ, Print Color là màu sắc nhợt nhạt khi da bị ấn. Tham số hit chính là giá trị uv tại vị trí ấn ngón tay, có thể lấy được bằng thuật toán Raycast. Chiều dài và chiều rộng của vùng da bị đổi màu được điều chỉnh thông qua RadiusX và RadiusY.

Thời gian để da hồng hào trở lại chính là giá trị CRT được đề cập ở trên. Giá trị này sẽ được tính toán khi thiết lập chỉ số nhịp tim (Heart rate) và huyết áp (Blood Pressure) cho bệnh nhân.

Mao mạch sẽ làm đầy theo hướng từ ngoài vào trong và từ dưới lên. Hiện tượng làm đầy từ ngoài vào trong được mô phỏng lại bằng cách scale dần vùng đổi màu trên da theo thời gian. Mô phỏng hiện tượng làm đầy từ dưới lên bằng cách điều chỉnh opacity của vùng đổi màu trên da giảm dần theo thời gian. Tốc độ làm đầy mao mạch từ dưới lên và tốc độ làm đầy từ ngoài vào có thể được thiết lập qua công cụ.

3.2.1.4. Kết quả thực nghiệm

Việc mô phỏng đối với bệnh nhi ảo được thực hiện với nguyên mẫu là bệnh nhi 1 tuổi người Việt Nam. Bệnh nhi ảo được khởi tạo trong môi trường ảo có các tham số thiết kế như sau: Số lưới (Tris): 64004; Chiều cao tham chiếu: 80cm; Chiều dài đầu: 20 cm; Chiều dài sải tay: 63cm. Mô hình được thiết kế dựa trên đặc điểm sinh lý của trẻ em Việt Nam 1 tuổi. Hình ảnh bệnh nhi ảo được thể hiện trong *Hình 3.11*. Lớp da được xây dựng bao gồm ba lớp chính: lớp lưới mô tả hình dạng đối tượng; lớp texture mô tả màu sắc đối tượng và lớp map để mô tả độ sâu của đối tượng. Việc mô hình hoá đối tượng được thực hiện trên phần mềm Maya. Vật liệu là Base Skin để xác định lớp da gốc, đồ màu đơn sắc R: 0.639 - G: 0.364 - B: 0.197. Toàn bộ phần da không có tính kim loại setup Metallic =0, độ bóng bề mặt Roughness = 0.36. Chi tiết nhăn bề mặt và nốt trên da có vùng ảnh hưởng toàn thân, sử dụng chế độ hoà trộn Overlay để giữ được màu sắc giữa các lớp. Lông mày và tóc sử dụng các texture thực tế và dùng công cụ Brush kết hợp Projection để áp lên vị trí chính xác trên khuôn mặt, chế độ hòa trộn cộng dồn sắc tối Multiply. Một layer được phủ trên cùng bằng màu đỏ tập trung vào các vùng có nhiều mạch máu như 2 bên má, đầu mũi, 2 tai, môi, phần cổ và vùng trước ngực, lòng bàn tay, bàn chân...



Hình 3.11: Thiết kế da bệnh nhi ảo 3D một tuổi (kiểm thử)

Khoảng thời gian giữ ngón tay được thiết lập ở đây là 5 giây thông qua tham số Deformation Duration. Thời gian vùng da khôi phục lại hình dạng ban đầu (Recover Duration) trong mô phỏng được thiết lập là 0.5s. Màu sắc da tại vùng bị ấn xuống sau khi nhấc tay ra sẽ trở nên nhợt nhạt và dần hồng hào trở lại khi sau một thời gian. Màu sắc của vùng da này được thể hiện bằng cách vẽ lên texture da của bệnh nhân tại vị trí bị nhấn một vùng màu sắc khác thông qua shader.

Trong shader trên, Print Shape là hình ảnh đầu vào sẽ được dùng để lấy hình dạng cần vẽ, Print Color là màu sắc nhợt nhạt khi da bị ấn. Tham số hit chính là giá

trị uv tại vị trí ấn ngón tay, có thể lấy được bằng thuật toán Raycast. Chiều dài và chiều rộng của vùng da bị đổi màu được điều chỉnh thông qua RadiusX và RadiusY. Tốc độ làm đầy mao mạch từ dưới lên cao hơn so với tốc độ làm đầy từ ngoài vào. Sau quá trình hiệu chỉnh và đối chiếu, phép thử đạt kết quả đầu ra tốt nhất khi tỉ lệ giữa 2 đại lượng này là 4 lần. Hình ảnh thể hiện kết quả thực nghiệm được thể hiện (*Hình 3.12*) với các khoảng thời gian lấy mẫu là nửa giây 1 lần.

Cấu hình máy tính thực hiện mô phỏng:

Vi xử lý: Intel® Xeon® CPU E5-2630 v2 @ 2.60GHz 2.60GHz

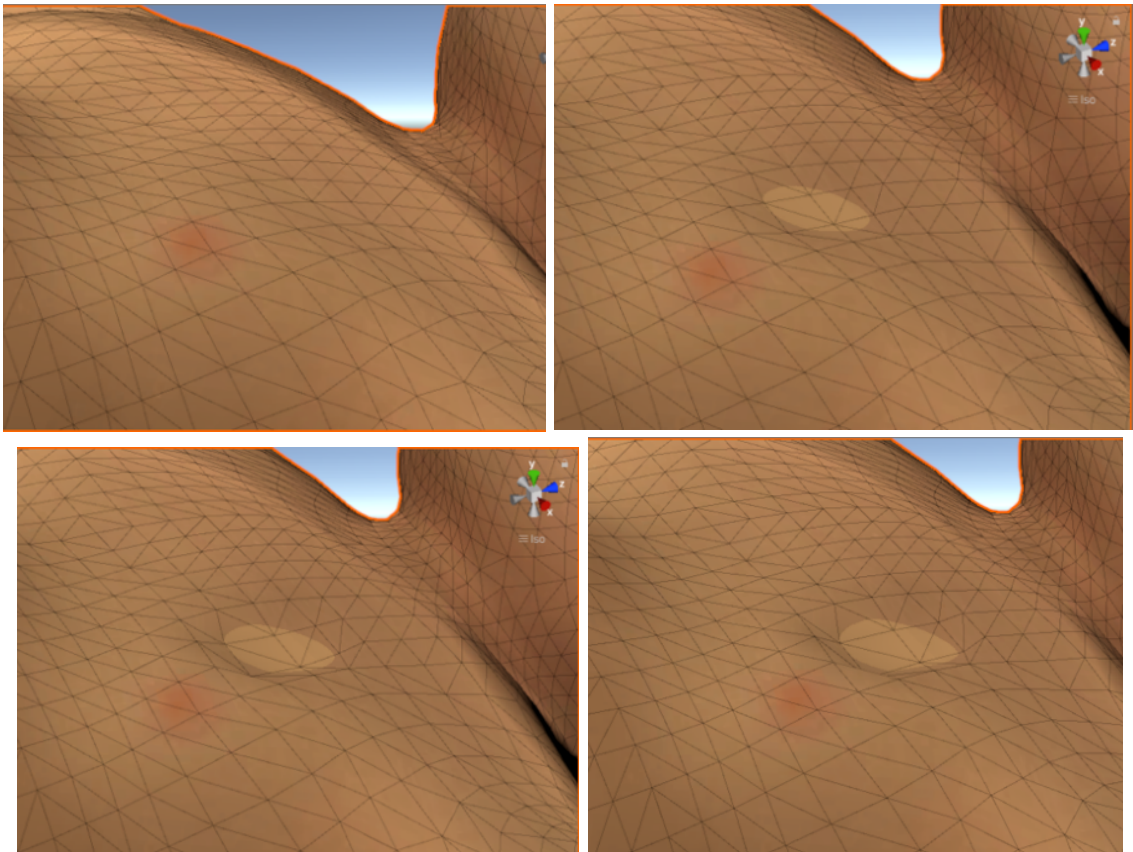
RAM: 16 GB

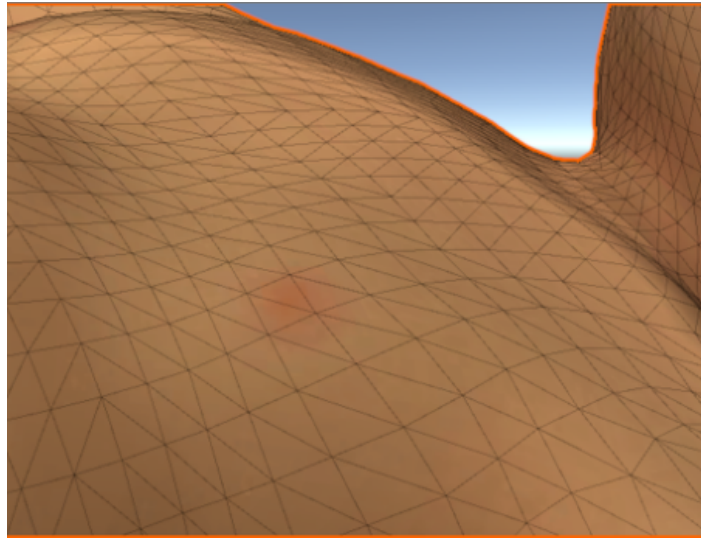
Hệ điều hành: Window 10 Pro 64 bit

Nhiệt độ môi trường thực hiện 20 – 25 độ C

Số lượng lần thực hiện test: 200 lần

Hình ảnh thu được khi tiến hành thử nghiệm:



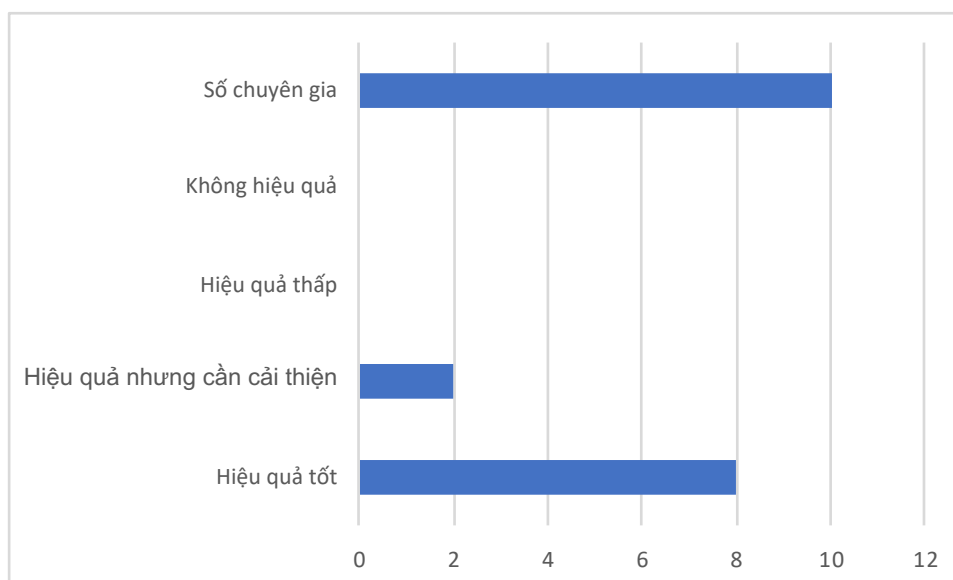


Hình 3.12: Mô phỏng thay đổi hình dạng và màu sắc của Da khi có tác động tại 0s; 0.5s; 1s; 1.5s; 2s

Đây là một kết quả có tính mới do hiện nay rất hạn chế có công cụ mô phỏng nào cung cấp giải pháp mô tả sự biến đổi màu sắc của lớp da dưới áp lực ấn trong các thủ thuật y khoa. Để đánh giá việc thực nghiệm, một mẫu đánh giá được phát cho các bác sĩ, chuyên gia để đo lường hiệu quả. Kết quả tổng hợp đánh giá được thể hiện trong bảng dưới,

Bảng 5: Bảng đánh giá chất lượng thể hiện màu sắc da bệnh nhi ảo thực hiện bởi 10 chuyên gia y tế

	Thể hiện thời gian làm đầy mao mạch CRT	Thể hiện màu sắc da khi thực hiện thủ thuật ấn	Thể hiện màu sắc da khi thủ thuật ấn kết thúc	Vết tay ấn trên da đối tượng
Giống thực tế	7	5	6	8
Giống thực tế nhưng cần cải thiện hơn	3	5	4	2
Giống về logic nhưng không thể hiện chính xác	0	0	0	0
Không giống	0	0	0	0



Hình 3.13: Biểu đồ đánh giá hiệu quả thể hiện màu sắc da dưới thủ thuật CRT trong đào tạo Nhi khoa

3.2.2. Kỹ thuật biến đổi hình dạng của lớp vỏ đối tượng 3D dưới tác động ngoại lực

3.2.2.1. Giới thiệu

Bài toán cần giải quyết

Một vấn đề gặp phải trong khi mô phỏng tương tác giữa các đối tượng trong môi trường ảo là: đối tượng không tự biến đổi hình dạng bề mặt theo các tác động của thủ thuật y khoa. Để giải quyết vấn đề này, ban đầu phương pháp mô tả thủ công được sử dụng. Tuy nhiên khi tương tác của người học là bất kỳ trên bề mặt đối tượng, việc làm thủ công không phù hợp để áp dụng. Dựa theo các nghiên cứu được công bố và các hỗ trợ của công cụ mô phỏng, giải pháp cho việc tạo ra biến đổi bề mặt đối tượng có thể được biểu diễn. Tuy nhiên khi áp dụng thực tế một số khó khăn gặp phải đã nảy sinh:

- Thuật toán của các nghiên cứu chuyên sâu khác không phù hợp áp dụng trên tất cả các công cụ mô phỏng thông thường.
- Hệ thống lưới của đối tượng khi áp dụng thư viện biểu diễn thay đổi hình dạng bề mặt dưới lực tác động biểu diễn hình ảnh không đủ chi tiết (do số lưới tại điểm tương tác không thay đổi), hay tạm gọi là biểu diễn chưa “đẹp”.
- Nếu hệ thống lưới này biến đổi để biểu diễn chi tiết hơn tương tác thì số lượng lưới của đối tượng được tự động tăng lên, làm tăng dung lượng nói chung của toàn bộ đối tượng.

Do đó, luận án đề xuất việc tự xây dựng một số công cụ cho phép giải quyết bài toán mô phỏng cụ thể trong sản phẩm và tiếp tục nâng cấp để có thể xây dựng thành thư viện có thể ứng dụng rộng rãi.

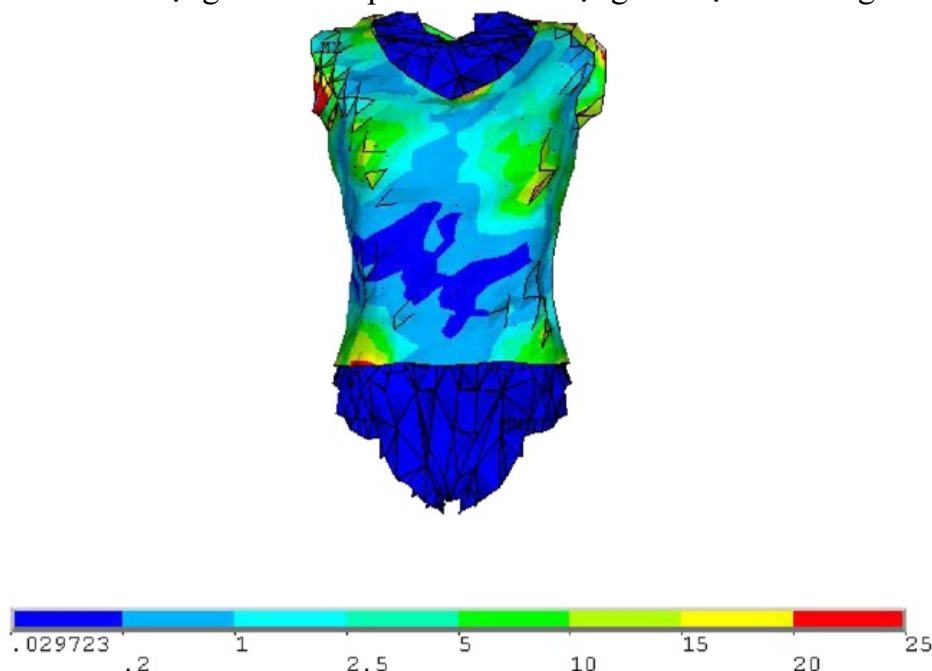
Vấn đề biến đổi hình dạng lớp vỏ đối tượng

Các cơ sở lý thuyết về biến đổi hình dạng lớp vỏ được trình bày trong luận án này bao gồm thuật toán tính toán biến dạng của lớp vỏ đối tượng đã được sinh lưới

tứ giác trong quá trình tạo hình thủ công và thuật toán sinh lưới tự động thành dạng tam giác từ các đỉnh cho trước trên bề mặt đối tượng. Đặc điểm chung của tạo hình đối tượng bằng phương pháp thủ công là hệ lưới của đối tượng thường là lưới tứ giác. Tuy nhiên để thể hiện một cách chi tiết và lưu trữ tối ưu nhất lớp vỏ đối tượng, lưới tam giác thường được áp dụng.

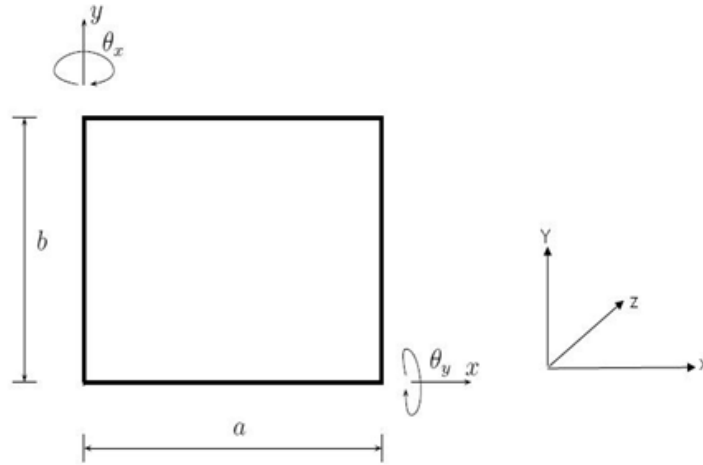
Để mô phỏng sự biến dạng của lớp da dưới ngoại lực tác động, ta coi lớp da là một lớp vỏ dạng tấm đồng nhất về thành phần cấu tạo, từ đó độ cứng của lớp da cũng được coi là đồng nhất. Lý thuyết trong việc xác định biến dạng của lớp vỏ cứng của đối tượng đã được nghiên cứu trong các ngành chế tạo máy, trong các nghiên cứu sau đó, lý thuyết này cũng được ứng dụng cho các bài toán mô phỏng đối tượng 3D do tính ứng dụng thực tiễn cao như mô tả biến đổi cơ học của cơ thể người và lớp quần áo phủ lên trong mô phỏng đối tượng có quần áo trong [73].

Phương pháp phần tử hữu hạn được đưa ra năm 1972 bởi Babuska, I., Rosenzweig, M. [74], và việc áp dụng trong tính toán độ uốn cong của tấm Reissner (Hình 3.14) được đề xuất vào năm 1991 [75]. Trong luận án này **Lý thuyết Mindlin và Reissner và phương pháp phần tử hữu hạn** mở rộng [76] được ứng dụng trong việc tính toán biến dạng của các lớp vỏ của đối tượng với hệ lưới tam giác.



Hình 3.14: Mô phỏng lực ấn trên chất liệu cotton trên cơ thể người [75]

Mặt phẳng pháp tuyến đối với mặt phẳng giữa trước khi biến dạng sẽ không còn bình thường nữa sau biến dạng. Theo lý thuyết Mindlin và Reissner, biến dạng cắt ngang có thể tính được.



Hình 3.15: Tấm, hình dạng và bậc tự do [76]

Biến dạng này được xác định cho tấm hình học cùng với các tham số hình dạng hình học và bậc tự do của nó (Hình 3.15). Tấm được đặt trên mặt phẳng xy, θ_x và θ_y lần lượt thể hiện các phép quay dọc theo trục Y và trục X. Một tấm có bề dày t và có mặt giữa cách mỗi mặt bên một khoảng t/2. Ta xác định vị trí giữa mặt phẳng dọc theo mặt phẳng xy, $z=0$ là mặt giữa của tấm. Chiều dài của tấm là 'a' và chiều rộng của nó là 'b'.

Giả định rằng biến dạng ngang xảy ra trong tấm, các biến dạng và kéo giãn sẽ được xác định bởi:

$$\begin{aligned}
 u = z\theta_y \quad \varepsilon_x = z \frac{\partial \theta_y}{\partial x} \quad \gamma_{xy} = z \left[\frac{\partial \theta_y}{\partial y} - \frac{\partial \theta_x}{\partial x} \right] \\
 v = -z\theta_x \quad \varepsilon_y = -z \frac{\partial \theta_x}{\partial y} \quad \gamma_{yz} = \frac{\partial w}{\partial y} - \theta_x \\
 \gamma_{xz} = \frac{\partial w}{\partial x} - \theta_y
 \end{aligned} \tag{3.9}$$

Quan hệ độ cong của mô men dành cho biến dạng uốn và cắt được xác định bởi:

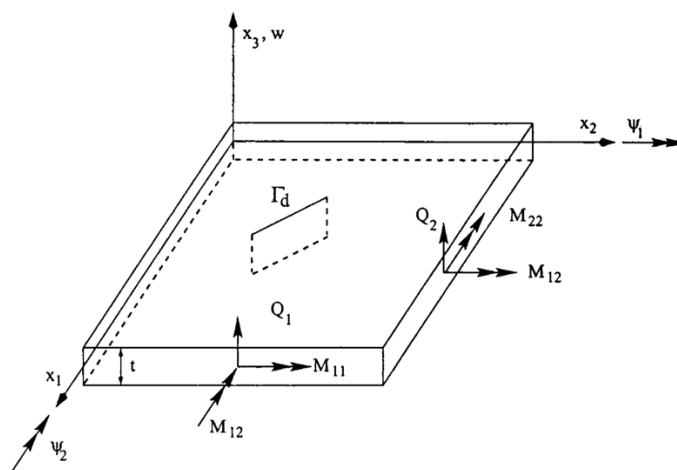
$$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = D \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix} \tag{3.10}$$

Cho việc uốn và

$$\begin{Bmatrix} Q_x \\ Q_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} Gt & 0 \\ 0 & Gt \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \gamma_x \\ \gamma_y \end{Bmatrix} \tag{3.11}$$

Cho biến dạng cắt ngang. Trong đó Q_x và Q_y là lực cắt ngang.

Ứng suất trên mặt cắt ngang của tấm được thể hiện (Hình 3.16):



Hình 3.16: Ứng suất và phân bố lực trên tấm

Phương pháp phần tử hữu hạn cho tấm

Lý thuyết Mindlin cho tấm được tính toán trong các phần tử hữu hạn của các tấm.

Nội suy chuyển vị cho các tấm được cho bởi:

$$\begin{Bmatrix} w \\ v \\ \theta_y \end{Bmatrix} = \sum_{i=1}^n \begin{bmatrix} N_i & 0 & 0 \\ 0 & N_i & 0 \\ 0 & 0 & N_i \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} w_i \\ \theta_{xi} \\ \theta_{yi} \end{Bmatrix} = N_d \quad (3.12)$$

Trong đó N_i là hàm hình dạng liên kết với tấm. Hầu hết các chức năng hình dạng phổ biến được sử dụng là Q4 và Q8.

3.2.2.2. Kỹ thuật mô phỏng được xây dựng

Phân tích kỹ thuật

Một đối tượng 3D trong môi trường mô phỏng được tạo thành bởi một hệ lưới, khi gặp một ngoại lực tác động lên bề mặt, đối tượng sẽ bị biến dạng. Nếu không có sự can thiệp tới vùng lưới bị tác động, có thể dễ dàng thấy được độ chi tiết của vùng biến dạng tương đương với số lưới cấu tạo nên đối tượng 3D. Để tăng cường độ chi tiết cho vùng biến dạng có thể sử dụng phương pháp: tăng số lưới của đối tượng 3D lên. Tuy nhiên, việc này làm tăng độ nặng của chương trình mô phỏng, đặc biệt nếu sử dụng hệ thống tăng lưới tự động và đối tượng gặp nhiều tác động liên tục, đối tượng sẽ bị tăng số lưới không kiểm soát.

Kỹ thuật đề xuất nhằm tăng chất lượng hiển thị cho đối tượng trong không gian ảo chịu biến đổi hình dạng bởi các lực tác động lên bề mặt. Cơ sở của việc cải thiện chất lượng hiển thị là gia tăng số lượng lưới tức thời tại vùng chịu tác động. So với các kỹ thuật được đề xuất trước đó, kỹ thuật này chỉ tăng số lượng lưới cục bộ tại vùng chịu tác động mà không ảnh hưởng lan rộng ra toàn bộ bề mặt đối tượng.

Các vấn đề chính cần xử lý khi thực hiện việc này bao gồm: xác định điểm đặt của lực và vùng chịu tác động chính trên bề mặt đối tượng, xác định biến dạng trên vùng chịu tác động chính và thể hiện.

Tại điểm chịu lực tác động, tìm điểm nút gần nhất và đặt lực tác động lên đó với phương và chiều tương tự lực tác động. Xác định vùng chịu tác động chính và

tăng số lượng đỉnh tại vùng này lên nhằm chi tiết hoá biến dạng xảy ra. Chuyển vị của hệ đỉnh mới được tính toán thông qua phương pháp phần tử hữu hạn đã trình bày ở trên. Từ vị trí của hệ đỉnh mới được tạo ra, hệ lưới mới được xây dựng và diễn hoạ. Hệ lưới này sẽ được xoá khỏi đối tượng khi biến dạng trở về vị trí cũ (đặc tính đàn hồi của da) nên không làm nặng đối tượng mô phỏng.

Tại điểm chịu tác động, khoanh vùng khu vực chính bị tác động (biến dạng xảy ra lớn nhất trong vùng này). Đối với da người, với lực tác động được xem xét không làm phá vỡ cấu trúc cơ thể người, biến dạng của da là không quá 10cm, đối với các đối tượng 3D phân cấp theo số lượng lưới cấu thành tối thiểu:

Bảng 6: Bảng biểu diễn số lượng lưới với bán kính mắt lưới chịu tác động tương ứng

Số lượng lưới	5000	10.000	30.000	50.000	100.000
Bán kính mắt lưới chịu tác động chính	1	2	3	4	5

Tìm điểm gần nhất: Lực tác động vào một điểm bất kỳ trên đối tượng 3D sẽ gây biến dạng, tuy nhiên nếu xét lực này ngay tại điểm tiếp xúc sẽ khó khăn cho việc tính toán ma trận chuyển vị của các điểm nút trên hệ lưới của đối tượng. Có một số trường hợp ngoại lệ trong việc tìm điểm tác động này đối với hệ da người như các nếp gấp, mặt phức tạp của hệ da. Tuy nhiên các trường hợp này sẽ được xử lý với điều kiện riêng, luận án sẽ chỉ tập trung giải quyết các bài toán chung, lớp da được coi là tương đối phẳng và có dạng tâm.

Có nhiều phương pháp để sinh lưới tự động, như Delaunay, Earclipping, ... tuy nhiên xét về độ gọn nhẹ trong việc thực nghiệm, earclipping thường được sử dụng hơn. Thao định nghĩa, một đa giác đơn giản là một dãy có thứ tự gồm n điểm, V_0 đến V_{n-1} . Các đỉnh liên tiếp được nối với nhau bằng một cạnh (V_0, V_{i+1}) , $0 \leq i \leq n - 2$ và một cạnh (V_{n-1}, V_0) nối điểm đầu và điểm cuối. Mỗi đỉnh chia sẻ đúng hai cạnh. Điểm duy nhất các cạnh được phép cắt nhau là các đỉnh.

3.2.2.3. Mô tả chi tiết kỹ thuật

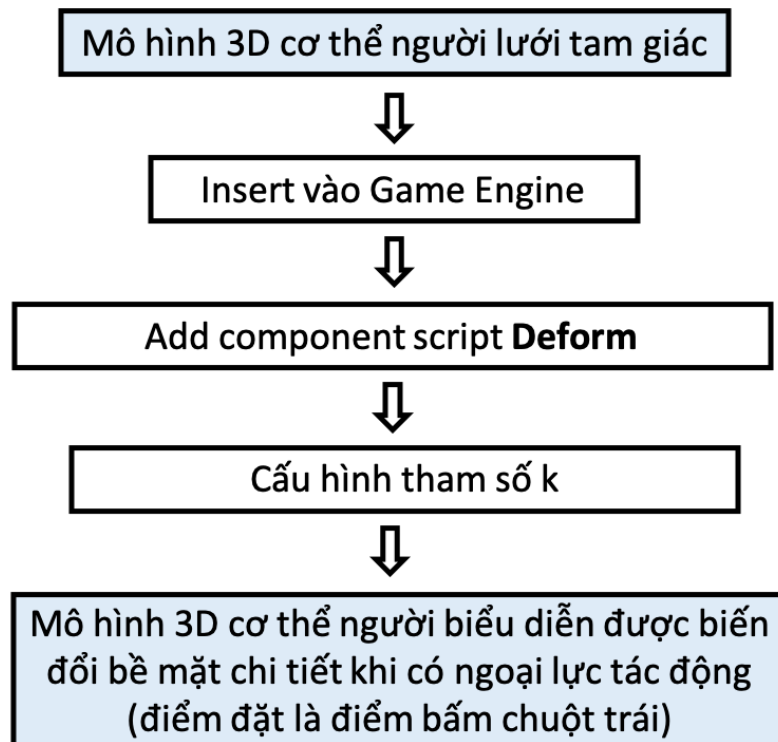
Giải thuật (Hình 3.17):

Đầu vào: Mô hình 3D cơ thể người được dựng thủ công và lưu dưới dạng lưới tam giác.

- Mô hình 3D cơ thể người được insert vào Game Engine dưới dạng *.fbx; *.obj
- Add component script Deform cho đối tượng
- Cấu hình tham số k trên giao diện của script để xác định độ chi tiết mong muốn

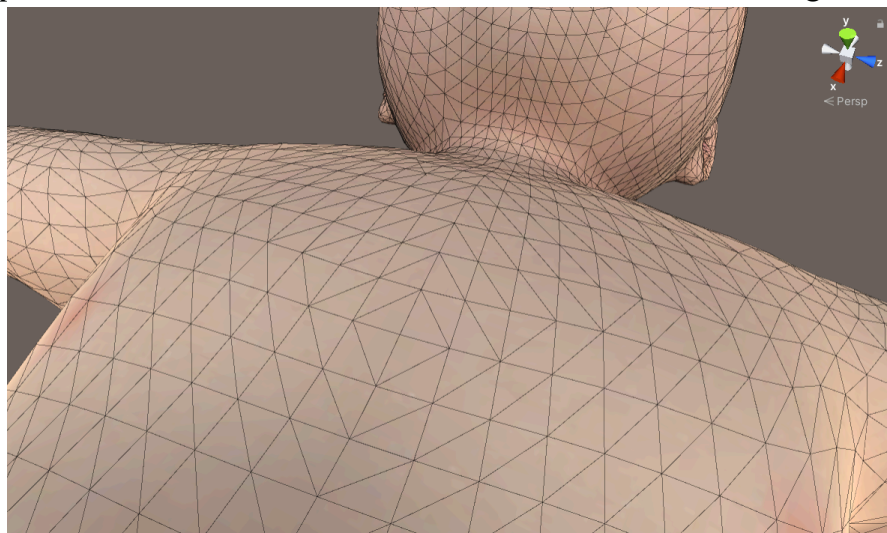
Output: Mô hình 3D cơ thể người cho phép biểu diễn biến đổi hình dạng với thao tác ấn sử dụng điểm đặt là điểm bấm chuột trái.

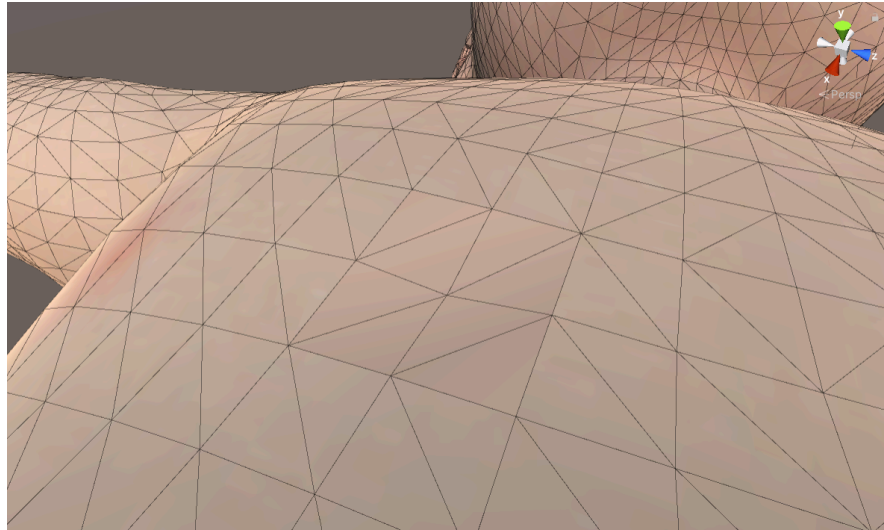
Lưu ý: Không lựa chọn các vùng da có độ gấp khúc phức tạp như mắt, nách, bẹn, ngón tay, ngón chân, ... để thực hiện kiểm thử việc ẩn)



Hình 3.17: Sơ đồ giải thuật tạo thành Mô hình 3D cơ thể người có thể biểu diễn chi tiết biến đổi bề mặt khi có ngoại lực tác động

Bề mặt đối tượng chịu tác động được thiết kế dạng lưới tam giác. Thuật toán được cài đặt trên hệ đỉnh của các lưới tam giác trên mô hình. Lực tác động được sinh ra thông qua việc đặt một vector lực tại 1 điểm trên bề mặt đối tượng.





Hình 3.18: Bề mặt đối tượng biến dạng khi chịu lực tác động sử dụng thuật toán phần tử hữu hạn không sinh thêm lưới

Để chứng minh kỹ thuật mới có hiệu quả vượt trội so với việc sử dụng phương pháp cũ, thuật toán biến dạng nhưng không sinh lưới mới lên đối tượng được cài đặt để kiểm thử. Kết quả bề mặt biến dạng khi không áp dụng sinh lưới được thể hiện (Hình 3.18).

Phương pháp xây dựng script Deform:

Bước 1: Từ điểm đặt lực trên mặt lưới tìm node gần nhất và đặt lực tác động lên node đó

Bước 2: Xác định vùng chịu tác động của lực trên hệ lưới và tăng số lượng node.

Ở đây bài toán xác định các điểm là 2 node lân cận. Sinh các node mới với mật độ tùy chọn theo độ chi tiết mong muốn. $k=1, 2, 3, \dots$ Để tăng độ chi tiết dễ dàng nhận thấy bằng mắt thường chọn $k = 4$

Bước 3: Tìm ma trận chuyển vị của các node lân cận dưới tác động của lực theo phương pháp phần tử hữu hạn

Các bước thực hiện tính toán thông qua phương pháp phần tử hữu hạn trên tấm phẳng theo lý thuyết Mindlin được thực hiện như sau:

B1: Rời rạc hóa đối tượng tấm thành các hình tam giác xếp cạnh nhau.

B2: Thực hiện lặp đối với từng phần tử:

- Tìm ma trận độ cứng chống uốn của phần tử

$$K_b = \frac{h^3}{12} \int_{A_e} B_b^T D_B B_b dA \tag{3.13}$$

Trong đó:

h là chiều dày tấm

B_b là ma trận quan hệ biến dạng và chuyển vị

D_b là ma trận hệ số uốn

A_e là diện tích của phần tử

- Tìm ma trận độ cứng chống cắt của phần tử

$$K_c = \frac{5}{6} h \int_{A_e} B_s^T D_s B_s dA \tag{3.14}$$

Trong đó:

h là chiều dày tấm

B_s là ma trận quan hệ biến dạng và chuyển vị

D_s là ma trận hệ số cắt

- Tìm ma trận độ cứng phần tử

$$K_e = K_b + K_c$$

B3: Ghép nối ma trận độ cứng phần tử, thu được ma trận độ cứng tổng thể của cả hệ

B4: Tìm ma trận lực nút của hệ

Ở đây để đơn giản cho việc tính toán, quy đổi lực tác dụng lên bề mặt thành lực tập trung tác dụng lên nút chịu lực

B5: Tìm ma trận chuyển vị

Dựa nguyên lý cực tiểu thế năng: *Đối với một hệ bảo toàn, trong tất cả các di chuyển khả dĩ, di chuyển thực ứng với trạng thái cân bằng sẽ làm thế năng đạt cực trị. Khi thế năng đạt cực tiểu thì vật ở trạng thái cân bằng ổn định.* Ta xây dựng được phương trình như sau:

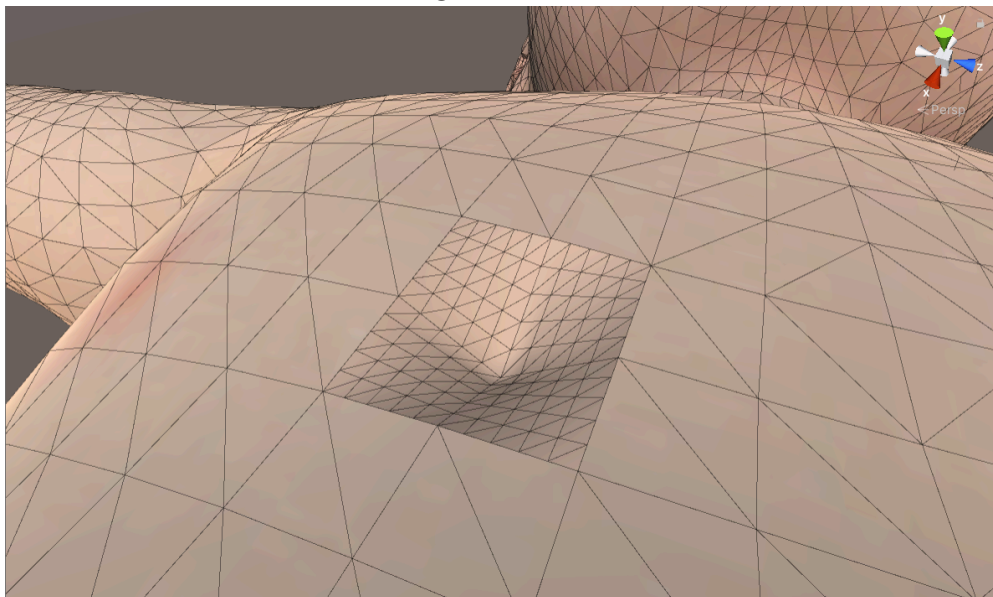
$$Q = K^{-1} F \tag{3.15}$$

Trong đó:

Q là ma trận chuyển vị

K là ma trận độ cứng tổng thể

F là ma trận lực nút tổng thể



Hình 3.19: Bề mặt đối tượng biến dạng khi chịu lực tác động sử dụng thuật toán phần tử hữu hạn $k = 4$

Bước 4: Xây dựng hệ lưới mới trên hệ các node mới bằng kỹ thuật Earclipping

B1: Tìm kiếm đỉnh M có giá trị x lớn nhất trong đa giác

B2: Giao tia $M=t(1,0)$ với tất cả các cạnh (V_0, V_{i+1}) của đa giác ngoài mà M nằm bên trái đường chứa cạnh (M nằm trong đa giác ngoài). Gọi I là điểm nhìn thấy gần M nhất trên tia này

B3: Nếu I là một đỉnh của đa giác bên ngoài, thì M và I là đồng biến và thuật toán kết thúc

B4: Ngược lại, I là điểm bên trên cạnh (V_i, V_{i+1}). Chọn P là điểm cuối của giá trị x lớn nhất cho cạnh này.

B5: Tìm kiếm các đỉnh đối xứng của đa giác ngoài (không bao gồm P nếu nó xảy ra đối xứng). Nếu tất cả các đỉnh này nằm ngoài tam giác (M,I,P) thì M và P có thể nhìn thấy lẫn nhau và thuật toán kết thúc.

B6: Nếu không, ít nhất một đỉnh lại nằm trong (M,I,P). Tìm giá trị nguyên R mà góc nhỏ nhất giữa (1,0) và đoạn thẳng (M,R). Khi đó M và R có thể nhìn thấy lẫn nhau và thuật toán kết thúc. Trong bước này, có thể có nhiều đỉnh lại làm giảm góc, trong trường hợp đó chúng cùng nằm trên một tia với M là gốc tọa độ. Chọn đỉnh lại của tia này gần nhất với M.

Bước 5: Render hình dạng của đối tượng dựa trên hệ lưới mới được xây dựng

Quá trình render sử dụng trình render tự động của các phần mềm hiển thị đối tượng 3D.

Đầu ra:

Đầu ra của thuật toán là hệ thống lưới mới của đối tượng biến dạng dưới lực tác động của ngoại lực. Hệ thống lưới này có thể được lưu giữ lại sau quá trình da chịu tác động của lực tuy nhiên khuyến nghị là hồi phục lại hệ thống lưới cũ của đối tượng để giảm tải cho hệ thống.

3.2.2.4. Kết quả thực nghiệm

Việc mô phỏng được thực hiện trên mô hình 3D cơ thể trẻ em 1 tuổi có số lượng lưới là: 64.004 (tris); chiều cao tham chiếu: 80cm; chiều dài đầu: 20 cm; Chiều dài sải tay: 63cm.

Lực tác động được đặt vào 1 vị trí bất kỳ trên mô hình. Trong luận án này thực hiện đặt lực tác động vào các điểm dễ lún như bụng, bắp chân, bắp tay để hiệu quả có thể được thấy rõ ràng nhất. Các vùng da ngay bên dưới là xương như hộp sọ có độ lún nhỏ hoặc các vùng khớp có độ biến thiên về độ lún tùy theo vị trí hiện thời của cơ thể khó cho thấy kết quả hơn.

Bước 1: Xác định node đặt lực

Đầu tiên, ta áp dụng thuật toán Raycast lên bề mặt đối tượng để tìm được tọa độ giao điểm của tia với bề mặt và vị trí của lưới đã giao với tia.

Sau đó, lần lượt tính khoảng cách từ giao điểm đến từng nút của lưới tìm được và chọn nút có khoảng cách nhỏ nhất là nút đặt lực.

Bước 2: Xác định vùng tác động và sinh các nút mới

Tìm các điểm lân cận với nút chịu lực, ở đây ta tìm các nút trong phạm vi một mắt lưới tính từ điểm đặt lực. Chọn $k=4$ (Hình 3.19)

Bước 3: Tìm chuyển vị của các nút mới bằng phương pháp phần tử hữu hạn

Thiết lập các thông số của vật liệu:

Ứng với mỗi loại vật liệu sẽ có một hệ số Poisson ν và Modun Young đàn hồi E tương ứng. Dưới đây là một số vật liệu thường gặp:

Bảng 7: Bảng dữ liệu vật liệu và hệ số Poisson và Modun Young tương ứng

	Cao su	Đồng	Nhôm	Magie
--	--------	------	------	-------

V	0.49	0.33	0.34	0.35
E	0.01 GPa	117GPa	69GPa	45GPa

Với vật liệu là da người, chưa có nghiên cứu chi tiết về hệ số Poisson và Module đàn hồi do tính phức tạp và đa dạng của vật liệu. Để phục vụ cho thử nghiệm của luận án, hệ số Poisson và Module đàn hồi được chọn như sau (gần với dạng vật liệu là cao su):

$$V = 0.4$$

$$E = 1\text{GPa}$$

$$h = 0.1f \text{ (độ dày của tấm)}$$

$$\text{length} = 6 \text{ (kích thước của tấm } 6 \times 6)$$

Bước 4: Sinh lưới cho tập node mới bằng các thuật toán sinh lưới. Ở đây ta sử dụng thuật toán EarClipping

Bước 5: Cập nhật tập node mới, tập lưới mới cho đối tượng để render

Kết quả thực nghiệm:

Bề mặt mô phỏng sử dụng kỹ thuật mới có độ biến dạng chi tiết hơn so với bề mặt ban đầu. Kết quả của kỹ thuật có thể được thống kê định lượng: Tại một điểm tác động, số lượng lưới tam giác mô tả biến dạng của đối tượng gốc là 8 (*Hình 3.20 a*), số lượng lưới tam giác biến dạng của đối tượng sau khi áp dụng kỹ thuật mới là $8 \times 4 \times 4 = 128$ trong phép thử với $k=4$ trong đó k có thể tăng tùy độ chi tiết mong muốn. Với mỗi chỉ số k tăng lên, độ chi tiết tăng lên k^2 lần. Theo định tính, ta có thể dễ dàng thấy bề mặt biến dạng khi sử dụng kỹ thuật mới mềm mại hơn bề mặt ứng dụng kỹ thuật cũ (*Hình 3.20 b*). Công thức cho phép xác định số lưới tứ giác của vùng tác động mới theo tham số k như sau:

$$P' = k^2 * P \quad (3.16)$$

P' : số lưới tứ giác của vùng tác động mới

P : số lưới tứ giác của vùng tác động ban đầu

k : độ chi tiết tăng lên của kỹ thuật

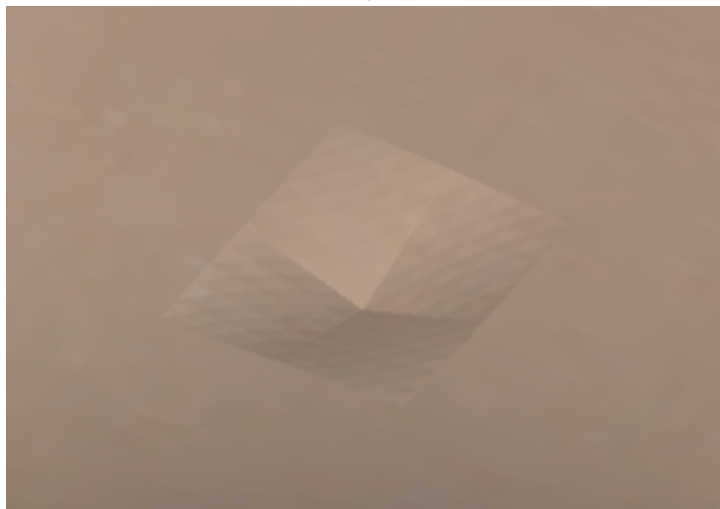
Bề mặt ban đầu:



Bề mặt so sánh khi sử dụng kỹ thuật gốc và kỹ thuật mới:



a)



b)

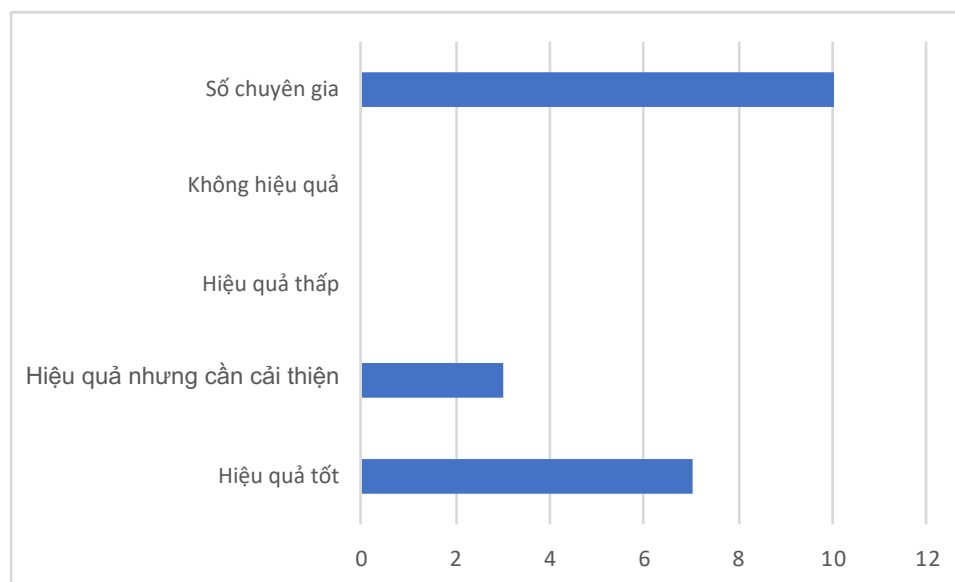
Hình 3.20: Bề mặt biểu diễn đối tượng biến dạng khi chịu lực tác động a) sử dụng kỹ thuật gốc b) sử dụng kỹ thuật được đề xuất

Đây là một kết quả có tính mới do hiện nay rất hạn chế có công cụ mô phỏng nào cung cấp giải pháp mô tả sự biến đổi màu sắc của lớp da dưới áp lực ấn trong các thủ thuật y khoa. Để đánh giá việc thực nghiệm, một mẫu đánh giá được phát cho các bác sĩ, chuyên gia để đo lường hiệu quả. Kết quả tổng hợp đánh giá được thể hiện trong bảng dưới,

Bảng 8: Bảng đánh giá chất lượng thể hiện hình dạng da thực hiện bởi 10 chuyên gia y tế

	So sánh khi quan sát toàn bộ quá trình thực hiện thủ thuật (k=0 vs k = 4)	So sánh khi quan sát tại điểm tác động sâu nhất quá trình thực hiện thủ thuật (k=0 vs k = 4)	So sánh khi quan sát toàn bộ quá trình thực hiện thủ thuật (k=2 vs k = 4)
Có thể nhận biết từ xa	7	4	3

Có thể nhận biết ở khoảng cách dưới 1m	3	5	4
Có thể nhận biết khi quan tâm kỹ	0	1	3
Không thể nhận biết	0	0	0



Hình 3.21: Biểu đồ đánh giá hiệu quả thể hiện hình dạng da dưới thủ thuật CRT trong đào tạo Nhi khoa

3.3. Kết luận chương 3

Trong chương này, đã trình bày hai vấn đề thể hiện biến đổi màu sắc và hình dạng của bề mặt đối tượng 3D dưới tác động của ngoại lực. Phạm vi thử nghiệm được giới hạn trong việc thể hiện trên lớp da của bệnh nhân ảo được sử dụng làm đối tượng cài đặt các kỹ thuật. Hiệu quả của các kỹ thuật nhằm cải tiến chất lượng hiển thị được xác định bằng các tham số định tính (đối với kỹ thuật lần đầu được áp dụng) và định lượng (đối với kỹ thuật cải thiện chất lượng hiển thị so với kỹ thuật cũ).

Như vậy, dựa trên phương hướng được xác định từ chương 1, các kỹ thuật được khảo sát, nghiên cứu và phân tích ở chương 2, việc đề xuất một số kỹ thuật mới áp dụng trên một đối tượng cụ thể ở chương 3 đã được cài đặt và đánh giá thông qua các kết quả thử nghiệm. Bài toán biểu diễn bề mặt da của một đối tượng bệnh nhi ảo 3D dưới tác dụng của ngoại lực đã được phân tích và đề xuất phương hướng phát triển nhằm tăng cường chất lượng hiển thị: thay đổi màu sắc của da và thay đổi hình dạng của da.

Ngoài ra, trong chương này cũng đề cập đến một số nội dung liên ngành nhằm hỗ trợ cho nghiên cứu mô phỏng: vấn đề thời gian làm đầy mao mạch trên da người (y khoa) và xác định thời gian làm đầy mao mạch dựa trên cơ sở dữ liệu là các tham số sự sống của con người được thu thập tại Bệnh viện Nhi Trung ương (kỹ thuật học máy).

Để minh chứng cho các kết quả thực tiễn áp dụng, các công bố đã được thực hiện: [CF01]; [CF02]; [JN02]; [JN04].

Trong đó công bố [CF01] nhằm thể hiện việc áp dụng kỹ thuật học máy trong giải quyết tính toán tham số cần xác định của nghiên cứu. Công bố [CF02] và [JN02] là kết quả áp dụng các đề xuất vào giải pháp mô phỏng y tế thực tế. [JN04] là ứng dụng của kỹ thuật mô phỏng trong đào tạo y khoa trong đó có thể hiện tính hiệu quả trong việc đào tạo y khoa trên môi trường ảo.

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

1. Các nội dung đã thực hiện và kết quả đạt được

Trên đây là một số nghiên cứu của nghiên cứu sinh về các kỹ thuật biểu diễn bề mặt đối tượng bệnh nhân trong môi trường ảo và ứng dụng việc giải quyết bài toán mô phỏng trong y tế. Các nghiên cứu được đề xuất đã giải quyết được một số vấn đề trong các kỹ thuật trên lý thuyết và ứng dụng vào thực tế. Kết quả của nghiên cứu được công bố trên các tạp chí, hội thảo khoa học cũng như áp dụng vào sản phẩm triển khai thực tế tại một số bệnh viện cấp Trung ương và địa phương tại Việt Nam.

Trong nghiên cứu của luận án, nghiên cứu sinh đã thực hiện nghiên cứu tổng quan về bài toán mô phỏng trong môi trường ảo, đặc biệt là mô phỏng trong đào tạo y tế nhằm xác định vấn đề đang tồn tại cần giải quyết. Từ đó, nghiên cứu sinh lựa chọn hướng nghiên cứu là các kỹ thuật biểu diễn bề mặt trong mô phỏng ảo để đề xuất các phương hướng phát triển mới nhằm cải thiện chất lượng biểu diễn của mô phỏng. Đối tượng của các nghiên cứu là lớp vỏ bề mặt (lớp da) của bệnh nhân ảo và các tương tác trên bề mặt lớp vỏ của đối tượng. Các bài toán cụ thể trong luận án đề cập đến được chia thành hai bộ phận: (1) Tăng cường chất lượng của mô phỏng ở mức cơ sở thông qua các kỹ thuật xây dựng và xử lý tương tác giữa các đối tượng trong môi trường ảo; (2) Tăng cường chất lượng hiển thị của đối tượng nghiên cứu trong các bài toán ứng dụng thông qua việc đề xuất các kỹ thuật biểu diễn tại một số trường hợp cụ thể.

Các kết quả của luận án ngoài ý nghĩa đóng góp vào lý thuyết chung của các thuật toán, kỹ thuật biểu diễn bề mặt đối tượng da người trong môi trường ảo, mục tiêu chính sẽ là áp dụng được các kỹ thuật này vào trong các sản phẩm thực tế ứng dụng tại các cơ sở đào tạo y, bác sĩ của Việt Nam. Cụ thể ở đây là quá trình mô phỏng bệnh Nhi ảo trong các tình huống cấp cứu thông thường phục vụ cho công tác đào tạo tiền lâm sàng tại Việt Nam.

Chi tiết luận án đã thực hiện được một số nội dung như:

- Nghiên cứu, khảo sát tổng quan về mô phỏng trong y tế, đặc biệt là mô phỏng các đối tượng bệnh nhân cùng các tương tác trong môi trường ảo. Từ đó, chỉ ra mối liên hệ và sự cần thiết nghiên cứu sâu các kỹ thuật biểu diễn bề mặt nhằm giải quyết các bài toán ứng dụng cụ thể.
- Nghiên cứu các vấn đề xây dựng bề mặt đối tượng 3D và xác định va chạm giữa các đối tượng 3D trong môi trường ảo sử dụng các kỹ thuật mô phỏng bề mặt. Trong đó đề xuất một kỹ thuật xác định va chạm dựa trên việc sử dụng hai hệ hộp bao.
- Nghiên cứu và đề xuất kỹ thuật biểu diễn màu da bệnh nhân ảo có tính toán thời gian làm đầy mao mạch dưới tác động thủ thuật y khoa kiểm tra thời gian refill nhằm xác định tình trạng sức khỏe của bệnh nhân ảo. Lớp da dưới tác động ngoại lực đã thể hiện màu sắc tương tự da người thật tùy theo đặc điểm sức khỏe.

- Nghiên cứu và đề xuất kỹ thuật biểu diễn biến dạng da bệnh nhân ảo dưới tác động của thủ thuật y khoa không xâm lấn (ấn), trong đó tại vùng da được tương tác, mật độ lưới biểu diễn được tăng lên theo tham số cấu hình. Kỹ thuật cho phép tăng độ chi tiết cục bộ tại vùng da chịu ngoại lực tác động.

2. Những đóng góp mới của luận án

Các đóng góp mới của luận án được nêu ra đã đề xuất các kỹ thuật mới về mặt lý thuyết và một số kỹ thuật trong đó đã được ứng dụng phát triển thành hệ thống sản phẩm phục vụ cho công tác đào tạo y, nhi khoa tại Việt Nam. Các đóng góp có thể kể đến như sau:

- Đề xuất kỹ thuật xác định va chạm giữa hai vật thể rắn thông qua việc sử dụng song song hai hệ hộp bao. Kỹ thuật cho phép xác định nhanh và chính xác va chạm giữa hai đối tượng.
- Đề xuất kỹ thuật xác định thời gian làm đầy mao mạch (CRT) dựa trên mạng nơ ron lan truyền ngược. Bộ dữ liệu sử dụng là các tham số sự sống được thu thập tại Bệnh viện Nhi Trung ương. Kỹ thuật cho phép mô phỏng gần chính xác CRT trên bệnh nhân ảo dựa trên các tham số sự sống đầu vào.
- Đề xuất kỹ thuật biểu diễn thay đổi màu da của bệnh nhân ảo khi thực hiện thủ thuật kiểm tra thời gian refill. Kỹ thuật cho phép thể hiện việc bơm máu ra ngoài các mao mạch và làm đầy lại với thời gian xác định bởi các tham số sự sống đầu vào
- Đề xuất kỹ thuật biểu diễn biến dạng bề mặt da của bệnh nhân ảo khi thực hiện thủ thuật y khoa ấn trên bề mặt da. Kỹ thuật cho phép thể hiện chi tiết hơn biến dạng bề mặt thông qua việc tăng mật độ lưới biểu diễn bề mặt cục bộ tại khu vực chịu tác động của ngoại lực

Một số tồn tại:

- Kết quả của luận án mới giải quyết các bài toán trong phạm vi giới hạn, việc xem xét các kết quả mở rộng cần thêm nghiên cứu và đánh giá.
- Một số thử nghiệm lấy đánh giá chuyên gia y tế mới thực hiện với một cơ sở y tế tại Việt Nam.

3. Ý nghĩa thực tiễn của nghiên cứu

Các kỹ thuật đề xuất có các ưu điểm sau:

- Lớp da của bệnh nhân ảo có khả năng thể hiện các tình huống thực hành linh động theo tình trạng được xác lập thay cho việc chỉ mô phỏng cứng bệnh nhi ảo dựa trên các tham số sự sống cấu hình thủ công và diễn họa của họa sĩ thiết kế
- Kỹ thuật xây dựng hệ hai hộp bao song song cho phép xác định va chạm giữa các vật thể cứng một cách tự động, không làm giảm độ chính xác và thời gian phát hiện. Tuy nhiên do làm tăng nặng khối lượng lưu trữ của các đối tượng, cấu hình của các thiết bị hiện tại cho phép xử lý các bề mặt phức tạp với hiệu suất không có nhiều khác biệt, ngoài ra yêu cầu chi tiết của bài toán thực tế

không cần đến mức độ chính xác quá cao nên cấu hình chỉ được thực hiện trong phạm vi thực nghiệm.

- Kỹ thuật biến đổi màu sắc da bệnh nhân dưới tác động ngoại lực và kỹ thuật biến đổi hình dạng da bệnh nhân dưới tác động của ngoại lực đã được áp dụng vào mô phỏng, cho phép thể chính xác hơn thủ thuật y khoa “kiểm tra thời gian refill” trong việc khám chữa bệnh cho bệnh nhân ảo. Kết quả được kiểm thử bởi các bác sĩ, giảng viên và học viên y khoa thuộc Bệnh viện Nhi Trung ương và 04 bệnh viện tỉnh.

Dựa trên các nghiên cứu của luận án, sản phẩm thuộc đề tài cấp Nhà nước: “Nghiên cứu phát triển hệ thống hỗ trợ thực hành tiền lâm sàng Nhi khoa dựa trên công nghệ thực tế ảo.” KC-4.0/19-25 đã được bổ sung các tính năng cho phép thể hiện chính xác hơn mô phỏng bệnh Nhi ảo trong các môi trường thực hành phục vụ công tác đào tạo thực tế. Đánh giá hiệu quả của kỹ thuật đề xuất ngoài việc sử dụng phương pháp đo lường định lượng, bảng khảo sát chuyên gia cũng được sử dụng với các chuyên gia là các bác sĩ thuộc bệnh viện Nhi. Hệ thống đã được triển khai thực tế tại Bệnh viện Nhi trung ương Việt Nam và 04 bệnh viện Nhi cơ sở.

4. Hướng nghiên cứu tiếp theo

Từ các hạn chế và tính mới của luận án, hướng nghiên cứu tiếp theo của việc mô phỏng da người và các tác động lên da người là rất tiềm năng. Một số nghiên cứu dự kiến có thể triển khai sau luận án này gồm:

- Xây dựng các kỹ thuật biểu diễn biến đổi màu da và hình dạng đối tượng thành các thư viện.
- Xây dựng mô hình biểu diễn tương tác với bề mặt da người với nhiều hơn các tham số sự sống đầu vào.
- Xây dựng mô hình thể hiện bệnh nhân ảo và phản hồi y khoa dựa trên học máy.
- Mở rộng đánh giá sản phẩm bởi đội ngũ chuyên gia y tế trong và ngoài nước.
- Tìm kỹ thuật mô phỏng da người tự động khi gặp các thủ thuật y khoa có xâm lấn, có phá vỡ lớp bề mặt.
- Nghiên cứu ảnh hưởng của lớp da người trong thực tế với các đặc tính vật lý, hoá học, sinh học không đồng đều đến thể hiện trong không gian ảo.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA NGHIÊN CỨU SINH LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

- [JN01]. Nguyễn Đức Hoàng, Về phương pháp xây dựng phân hệ vùng bao tự động cho đối tượng 3D, Tạp chí Khoa học Công nghệ Thông tin và truyền thông, số 01, 2019, ISSN 2525-2224.
- [JN02]. Nguyễn Đức Hoàng, Đỗ Năng Toàn, Nguyễn Tuấn Minh, Phạm Ngọc Toàn, Một kỹ thuật mô phỏng sự biến đổi hình dạng và màu sắc của da dưới tác động của ngoại lực có tính toán đến thời gian làm đầy mao mạch CRT, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Thái Nguyên, 2021, 226(07): 50-58
- [JN03]. Nguyễn Đức Hoàng, Đỗ Năng Toàn, Lê Ngọc Duy, Mô phỏng cấp cứu nhi khoa dựa trên kỹ thuật xấp xỉ bề mặt đối tượng 3D, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Thái Nguyên, 2022, 227(11): 255 – 264
- [JN04]. Le Ho Thi Quynh Anh, Le Van Chi, Huynh Van Minh, Martin Valcke, Nguyen Vu Quoc Huy, Nguyen Thi Thanh Huyen, Duong Quang Tuan, Ho Duc Truong An, Che Thi Len Len, Johan Wens, Peter Pype, Wim Peersman, Nguyen Thi Cuc, Vo Duc Toan, Nguyen Duc Hoang, Nguyen Minh Tam, Debriefing in Virtual Reality as a Catalyst for Clinical Reasoning Development in Diabetes Primary Care Training for Medical Students, International Journal of Environmental Research and Public Health, 2023, (ISI Q2, Submitted)
- [CF01]. Nguyễn Đức Hoàng, Đỗ Năng Toàn, Nguyễn Tuấn Minh, Ngô Đức Vĩnh, Kỹ thuật tính toán tự động thời gian làm đầy mao mạch trong mô phỏng thực hành cấp cứu y khoa tại Việt Nam, Kỷ yếu Hội nghị KH-CN Quốc gia lần thứ XIV về Nghiên cứu cơ bản và ứng dụng Công nghệ thông tin (FAIR), TP. HCM, 23-24/12/2021 DOI: 10.15625/vap.2021.0048
- [CF02]. Nguyen Duc Hoang; Do Nang Toan; Nguyen Tuan Minh, A technique to improve the displaying quality of skin deformation caused by external force, ICACT, 2022, DOI: 10.23919/ICACT53585.2022.9728945

DANH MỤC CÁC TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. J. L. McGrath, J. M. Taekman, P. Dev, D. R. Danforth, D. Mohan, N. Kman, A. Crichlow, and W. F. Bond. (2018). Using Virtual Reality Simulation Environments to Assess Competence for Emergency Medicine Learners. *Acad. Emerg. Med.*, vol. 25, no. 2, pp. 186-195.
- [2]. R. J. Scalese, V. T. Obeso, and B. Issenberg. (2008). Simulation Technology for Skills Training and Competency Assessment in Medical Education. *J. Gen. Intern. Med.*, vol. 23, pp. 46-49.
- [3]. C. Sun-Ju, K. Eun-Ok, K. Young-Ok, and H. Kwon. (2010). The Effects of Simulation Training for New Graduate Critical Care Nurses on Knowledge, Self-efficacy, and Performance Ability of Emergency Situations at Intensive Care Unit. *Korean Journal of Adult Nursing*, vol. 22, no. 4, pp. 375-383,.
- [4]. U. Theilen, P. Leonard, P. Jones, R. Ardill, J. Weitz, D. Agrawal, and D. Simpson. (2013). Regular in situ simulation training of pediatric medical emergency team improves hospital response to deteriorating patients, *Resuscitation*, vol. 84, no. 2, pp. 218-222.
- [5]. M. Bearman, D. Nestel, and P. Andreatta. (2013). Simulation-based medical education, in Oxford Textbook of Medical Education, K. Walsh (ed.), *Oxford University Press*, pp. 186–197 .
- [6]. K. Walsh. (2015). The future of simulation in medical education, *The Journal of Biomedical Research*, vol. 29, no. 3, pp. 259-260.
- [7]. B. M. Kyaw and N. Saxena. (2019). Virtual Reality for Health Professions Education: Systematic Review and Meta-Analysis, *Digital Health Education Collaboration*, vol. 21, no. 1, Art. no. e12959.
- [8]. M. S. Bracq, E. Michinov, and P. Jannin. (2019). Virtual Reality Simulation in Nontechnical Skills Training for Healthcare Professionals: A Systematic Review, *Simulation in Healthcare: The Journal of the Society for Simulation in Healthcare*, vol. 14, no. 3, pp. 188–194, doi:10.1097/SIH.0000000000000347.
- [9]. S. L. Farra, S. J. Smith, and D. L. Ulrich. (2017). The Student Experience With Varying Immersion Levels of Virtual Reality Simulation, *Nursing Education Perspectives*, vol. 39, no.2, pp.99-101, doi: 10.1097/01.NEP.0000000000000258.
- [10]. Vozenilek, J., Huff, J. S., Reznick, M., & Gordon, J. a. (2004). See one, do one, teach one: advanced technology in medical education. *Academic emergency medicine: official journal of the Society for Academic Emergency Medicine*, 11(11), 1149-54. doi: 10.1197/j.aem.2004.08.003
- [11]. Reznick, M., Harter, P., & Krummel, T. (2002). Virtual reality and simulation: training the future emergency physician. *Academic emergency medicine official journal of the Society for Academic Emergency Medicine*, 9(1), 78-87. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11772675>
- [12]. Lin, Yiqun; Cheng, Adam; Hecker, Kent; Grant, Vincent; Currie, Gillian R. (2017). “Implementing economic evaluation in simulation-based medical education: challenges and opportunities”. *Medical Education*. doi:10.1111/medu.13411
- [13]. Murphy, J. G., Cremonini, F., Kane, G. C., & Dunn, W. (2007). Is simulation based medicine training the future of clinical medicine? *European*

- review for medical and pharmacological sciences*, 11(1), 1-8. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17405343>
- [14]. Ziv, A., Wolpe, P.R., Stephen, S., Shimon, (2003). Simulation-Based Medical Education: An Ethical Imperative. *Academic Medicine* 78(8): 783-788
- [15]. Fritz, P. Z., Gray, T. and Flanagan, B. (2008), Review of mannequin-based high-fidelity simulation in emergency medicine. *Emergency Medicine Australasia*, 20: 1–9. doi: 10.1111/j.1742-6723.2007.01022
- [16]. Persky, S. & McBride, C.M. (2009). Immersive virtual environment technology: A promising tool for future social and behavioral genomics research and practice. *Health Commun.*; 24(8): 677-682.
- [17]. W. C. McGaghie, S. B. Issenberg, E. R. Petrusa và cộng sự (2016). Revisiting 'A critical review of simulation-based medical education research: 2003-2009'. *Med Educ*, 50 (10), 986-991.
- [18]. Taylor Sawyer, Megan M. Gray, Rachel Umoren (2022) The Global Healthcare Simulation Economy: A Scoping Review. *Cureus*, 14(2): e22629. doi:10.7759/cureus.22629
- [19]. Farra, Sharon L.; Gneuchs, Matthew; Hodgson, Eric; Kawosa, Burhan; Miller, Elaine T.; Simon, Ashley; Timm, Nathan; Hausfeld, Jackie (2019). Comparative Cost of Virtual Reality Training and Live Exercises for Training Hospital Workers for Evacuation. *CIN: Computers, Informatics, Nursing*, 37(9), 446–454. doi:10.1097/CIN.0000000000000540
- [20]. Chia-Wei Liao, ; Medioni, G. (1994). Surface approximation of a cloud of 3D points. . [IEEE 1994 IEEE 2nd CAD-Based Vision Workshop - Champion, PA, USA (8-11 Feb. 1994)] *Proceedings of 1994 IEEE 2nd CAD-Based Vision Workshop*, (), 274–281. doi:10.1109/cadviz.1994.284492
- [21]. Yang, Y., Cheng, G., Xing, X. et al. (2022). Application of a multimedia-supported manikin system for preclinical dental training. *BMC Med Educ* 22, 693. <https://doi.org/10.1186/s12909-022-03757-1>
- [22]. Torkshavand G, Khatiban M, Soltanian. (2020). AR Simulation-based learning to enhance students' knowledge and skills in educating older patients. *Nurse Educ Pract.*;42:102678. doi: 10.1016/j.nepr.2019.102678. Epub 2019 Nov 22. PMID: 31812785.
- [23]. Huang, Ta-Ko; Yang, Chi-Hsun; Hsieh, Yu-Hsin; Wang, Jen-Chyan; Hung, Chun-Cheng (2018). Augmented reality (AR) and virtual reality (VR) applied in dentistry. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, 34(4), 243–248. doi:10.1016/j.kjms.2018.01.009
- [24]. Malcolm, James; Rathi, Yogesh; Yezzi, Anthony; Tannenbaum, Allen; Reinhardt, Joseph M.; Pluim, Josien P. W. (2008). Fast approximate surface evolution in arbitrary dimension. *SPIE Proceedings [SPIE Medical Imaging - San Diego, CA (Saturday 16 February 2008)] Medical Imaging 2008: Image Processing*, 6914(), 69144C–69144C-9. doi:10.1117/12.771080
- [25]. Zhao, Yan; Endo, Yuki; Kanamori, Yoshihiro; Mitani, Jun (2018). Approximating 3D Surfaces using Generalized Waterbomb Tessellations. *Journal of Computational Design and Engineering*,(), S2288430017300556–. doi:10.1016/j.jcde.2018.01.002
- [26]. Ludovico Minto; Pietro Zanuttigh; Giampaolo Pagnutti (2018). Deep Learning for 3D Shape Classification based on Volumetric Density and

- Surface Approximation Clues. *Conference: International Conference on Computer Vision Theory and Applications*. doi: 10.5220/0006619103170324
- [27]. Rémilliard, O., and Kry, P. G. (2013) Embeddes thin shells for wrinkle simulation. *ACM Trans. Graph.* 32, 4(July), 50:1-50:8.
- [28]. Timoshenko, S. P., Gere, J. M. (2009). *Theory of Elastic Stability. Dover Civil and Mechanical Engineering Series.*
- [29]. Cerda, E., and Mahadevan, L. (2003). Geometry and Physics of wrinkling. *Phys. Rev. Lett.* 90 (Feb), 074302:1-4.
- [30]. Blinn, J.F (1978). Simulation of wrinkled surfaces. *SIGGRAPH computer. Graph.* 12, 3 (Aug.), 286-292
- [31]. Jimenez, J., Echevarria, J.I., Oat, C., và Guitierrez, D. (2011)., ch. Practical and Realistic Facial Wrinkles Animation, *GPU Pro 2 AK Peters Ltd.* 15-27
- [32]. Cutler, L. D., Gershbein, R., Wang, X. C., Curtis, C., Mairret, E. Prasso, L., và Farson, P. (2007). An art-directed wrinkle system for CG character clothing and skin. *Graphical Models.* 69, 5-6, 219-230. Special issue on SCA2005
- [33]. Rohmer, D., Popa, T., Cani, M.-P., Hahmann, S., and Sheffer, A. (2010). Animation wrinkling: Augmenting coarse cloth simulations with realistic-looking wrinkles. *ACM Trans. Graph.* 29, 6 (Dec.), 157:1-157:8.
- [34]. Rémilliard, O., and Kry, P. G. (2013) Embeddes thin shells for wrinkle simulation. *ACM Trans. Graph.* 32, 4 (July), 50:1-50:8
- [35]. Chen, Z., Feng, R., and Wang, H. (2013). Modeling friction and air effects between cloth and deformable bodies. *ACM Trans. Graph.* 32, 4(July), 88:1-88:8.
- [36]. Dmitriy Pinskiy. (2010), Sliding Deformation: Shape Preserving Per-Vertex Displacement.. *In Eurographics (Short Papers)*, Hendrik P. A. Lensch and Stefan Seipel (Eds.). Eurographics Association, 1-4. <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/eurographics/eg-ghort2010/html#Pinskiy10>
- [37]. Xiaosong Yang, Richard Southern, Jian Jun Zhang. (2009). Fast simulation of skin sliding. *Computer Animation and Virtual Worlds* 20, 2-3 (2009), 333-342.
- [38]. Dou Li, Shinjiro Sueda, Debanga R Neog, Dinesh K Pai. (2013). Thin Skin Elastodynamics. *ACM Trans. Graph.* (Proc. SIGGRAPH) 32, 4 (July 2013), 49:1-49:9.
- [39]. Sean Comer, Jacob Buck, Brice Criswell. (2015). Under the Scalpel – ILM’s Digital Flesh Workflow. *ACM SIGGRAPH 2015 Talks (SIGGRAPH ’15)*. ACM, New York, NY, USSA, Article 10, 1 pages. <http://doi.org/10.1145/2775280.2792584>
- [40]. Andy Milne, Mark McLaughlin, Rasmus Tamstorf, Alexey Stomakhin, Nicholas Burard, Mitch Counsell, Jesus Canal, David Komorowski, Evan Goldberg. (2016). Flesh, Flab, and Fascia Simulation on Zootopia. *ACM SIGGRAPH 2016 Talks (SIGGRAPH ’16)* ACM, New York NY, USA, Article 34, 2pages. <https://doi.org/10.1145/2897839>
- [41]. Saito, Jun; Simon . (2017). Efficient and robust skin slide simulation . *ACM Press the ACM SIGGRAPH Digital Production Symposium – Los Angeles, California, Proceedings of the ACM SIGGRAPH Digital Production Symposium on – DigiPro’17*, , 1-6.

- [42]. Shaojun Bian, Anzong Zheng, Ehtzaz Chaudhry, Lihua You and Jian J. Zhang. (2018). Automatic Generation of Dynamic Skin Deformation for Animated Characters, *Symmetry*, 10(4), 89.
- [43]. Pengbo Li, Paul G.Kry. (2014). Multi-layer skin simulation with adaptive constraints, *MIG '14: Proceedings of the Seventh International Conference on Motion in Games*, Pg 171- 176
- [44]. A.V. Struchkov, A.S. Kozelkov, K.N. Volkov, A.A. Kurkin, R.N. Zhuckov, A.V. Sarazov. (2020). Numerical simulation of aerodynamic problems based on adaptive mesh refinement method. *Acta Astronautica*, Vol 172, July, Pg 7–15
- [45]. E.d'Eon, D. Luebke, and E. Enderton. (2007). Efficient Rendering of Human Skin. *Proceedings of the Eurographics Symposium on Rendering Techniques*, Grenoble, France , pp. 147-157.
- [46]. E. Molinari, M. Fato, G. De Leo, D. Riccardo, and F. Beltrame. (2005). Simulation of the Biomechanical Behavior of the Skin in Virtual Surgical Applications by Finite Element Method. *IEEE, IEEE transactions on biomedical*, vol. 52, no. 9, pp. 1514-1521, September.
- [47]. L. H. You, E. Chaudhry, X. Y. You, and J. J. Zhang. (2009). Physics and example based skin deformations for character animation. *2009 11th IEEE International Conference on Computer-Aided Design and Computer Graphics*, Huangshan, China, pp. 62-67.
- [48]. F. Struck, C.-A. Bohn, S. Schmidt, and V. Helzle. (2004). Realistic Shading of Human Skin in Real time. *Proceedings of the 3rd international conference on Computer graphics, virtual reality, visualisation and interaction in Africa*, pp. 93-97.
- [49]. B. Jones. (2006). Approximating the Appearance of Human Skin in Computer Graphics, *PSU University*.
- [50]. J. Jimenez, D. Whelan, V. Sundsted, and D. Gutierrez. (2010). Real-Time Realistic Skin Translucency. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 30, no. 4, pp. 32-41.
- [51]. A. Maejima, Y. Tonuma, Y. Kubo, and T. Yotsukura. (2018). Creating a virtual human that visualizes skin strain distribution for apparel wearing simulation. *ACM Press SIGGRAPH, Asia 2018 Technical Briefs - Tokyo, Japan*, pp. 1-4.
- [52]. W. Si, Z. Duan, C. Liu, X. Liao, Z. Yuan, and J. Zhao. (2010) Simulation of Acupuncture Skin Deformation Using Mathematical-Physical Model. *2010 International Conference on Biomedical Engineering and Computer Science*, doi: 10.1109/ICBECS.2010.5462402.
- [53]. B. A. Ufuk. (2018). Capillary refill time measurement device. *Journal of Science and Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 37-40.
- [54]. A. Pickard, W. Karlen, and J. M. Ansermino. (2011). Capillary Refill Time: Is It Still a Useful Clinical Sign?. *International Anesthesia Research Society*, vol. 113, no. 1, pp. 120-123, doi: 10.1213/ANE.0b013e31821569f9.
- [55]. Herman J. Haverkort. (2004). Introduction to bounding volume hierarchies. *PhD Thesis Chapter 1*.
- [56]. Akenine-Moller. T, Hains. E, Hoffman. N. (2008). Real-Time Rendering, Third Edition. *CRC Press*, ISBN: 9781439865293

- [57]. Gottschalk, S., Lin, M.C., Manocha, D. (1996). OBB-Tree: a hierarchical structure for rapid interference detection. *ACM SIGGRAPH 1996*, pp. 171–180.
- [58]. Beckmann, N., Kriegel, H.-P., Schneider, R., Seeger, B. (1990). The R*-Tree: an efficient and robust access method for points and rectangles. *ACM SIGMOD Conf. on the Management of Data*, pp. 322–331.
- [59]. Hubbard, P.M. (1995). Collision detection for interactive graphics applications. *IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics* 1(3), 218–230.
- [60]. Klosowski, J.T., Held, M., Mitchell, J.S.B., Sowizral, H., Zikan, K. (1998). Efficient collision detection using bounding volume hierarchies of k-DOPs. *IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics* 4(1), 21–37.
- [61]. Palmer, I., Grimsdale, R. (1995). Collision detection for animation using sphere-trees. *Computer Graphics Forum* 14(2), 105–116.
- [62]. Van den Bergen, G. (1997). Efficient collision detection of complex deformable models using AABB trees. *J. Graphics Tools* 2(4), 1–14.
- [63]. Goldsmith, Jeffrey and Salmon, John. (1987). Automatic Creation of Object Hierarchies for Ray Tracing. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 7(5), pp.14-20. ISSN0272-1716. doi:10.1109/MCG.1987.276983.
- [64]. J.Haber, M. Stamminger and H. . -P. Seidel, (2000). Enhanced automatic creation of multi-purpose object hierarchies. *Proceedings the Eighth Pacific Conference on Computer Graphics and Applications*, pp. 52-437, doi: 10.1109/PCCGA.2000.883881.
- [65]. G. Müller, S. Schafer, and D. W. Fellner. (1999). Automatic Creation of Object Hierarchies for Radiosity Clustering . *Technical Report TUBS-CG-1999-06*, TU Braunschweig.
- [66]. Gottschalk, S., Lin, M.C., Manocha, D. (1996). OBB-Tree: a hierarchical structure for rapid interference detection. *ACM SIGGRAPH 1996*, pp. 171–180.
- [67]. K. Erleben, J. Sparring, K. Henriksen, and H. Dohmann. (2005). Physics-Based Animation. *Charles River Media, INC*, ISBN: 1-58450-380-7
- [68]. Opentissue: Opensource Project, Physics-Based Animation and Surgery Simulation. <http://www.opentissue.org>.
- [69]. Vijayarani, S., Dhayanand, S., & Phil, M. (2015). Kidney disease prediction using SVM and ANN algorithms. *International Journal of Computing and Business Research (IJCBR)*, 6(2), 1-12
- [70]. Polikar, R., Greer, M. H., Udpa, L., & Keinert, F. (1997, October). Multiresolution wavelet analysis of ERPs for the detection of Alzheimer's disease. In *Proceedings of the 19th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 'Magnificent Milestones and Emerging Opportunities in Medical Engineering'*(Cat. No. 97CH36136) (Vol. 3, pp. 1301-1304). IEEE.
- [71]. Baghdadi, G., & Nasrabadi, A. M. (2007, August). Controlling blood glucose levels in diabetics by neural network predictor. In *2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (pp. 3216-3219). IEEE.

- [72]. Sonawane, J. S., & Patil, D. R. (2014, February). Prediction of heart disease using multilayer perceptron neural network. *In International conference on information communication and embedded systems (ICICES2014)* (pp. 1-6). IEEE.
- [73]. Wang, R., Liu, Y., Luo, X., Li, Y., & Ji, S. (2011). A finite-element mechanical contact model based on Mindlin–Reissner shell theory for a three-dimensional human body and garment. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 236(5), 867-877.
- [74]. Babuška, I., & Rosenzweig, M. B. (1972). A finite element scheme for domains with corners. *Numerische Mathematik*, 20(1), 1-21.
- [75]. Joseph, P. F., & Erdogan, F. (1991). Bending of a thin Reissner plate with a through crack.
- [76]. Dolbow, J., Moës, N., & Belytschko, T. (2000). Modeling fracture in Mindlin–Reissner plates with the extended finite element method. *International journal of solids and structures*, 37(48-50), 7161-7183.
- [REF]. Đề tài cấp Nhà nước: “Nghiên cứu phát triển hệ thống hỗ trợ thực hành tiền lâm sàng Nhi khoa dựa trên công nghệ thực tế ảo.” KC-4.0/19-25.