

A TECHNIQUE WHICH CONSIDER THE CAPILLARY REFILL TIME CRT FOR SIMULATION OF SKIN DEFORMATION AND CHANGE OF SKIN COLOR CAUSED BY EXTERNAL FORCE

Nguyen Duc Hoang¹, Do Nang Toan^{2*}, Nguyen Tuan Minh¹, Pham Ngoc Toan³

¹Posts and Telecommunications Institute of Technology, ²Vietnam National University

³Vietnam National Children's Hospital

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 02/3/2021 Revised: 10/5/2021 Published: 24/5/2021	One of the most significant application of human skin simulation technique is in preclinical medical practice. In many 3D modelling methods used in present, skin color of simulated objects is oftens not change at the point human body got external force automatically. However, actual observation shown that, the human skin color is changed a bit slower than the skin deformation under pressure. The delay time between skin deformation and color is based on human health condition such as blood pressure, ages, heart rate,... This article demonstrates a technique for simulation of skin deformation and change of skin color caused by external force of solid objects. When being applied to a 3D model of a shocked emergency one-year old human, the proposed technique is proven to be effective and appropriate in representing capillary refill time (CRT) of human skin in real preclinical practices at medical training facilities in Vietnam.
KEYWORDS Skin simulation Skin deformation Capillary refill time Change of skin color Vietnamese children	

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

Nguyễn Đức Hoàng¹, Đỗ Năng Toàn^{2*}, Nguyễn Tuấn Minh¹, Phạm Ngọc Toàn³

¹Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, ²Đại học Quốc gia Hà Nội

³Bệnh viện Nhi Trung ương

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 02/3/2021 Ngày hoàn thiện: 10/5/2021 Ngày đăng: 24/5/2021	Việc mô phỏng bề mặt da người có nhiều ứng dụng, trong đó phải kể đến lĩnh vực thực hành tiền lâm sàng y tế. Trong các phương pháp xây dựng đối tượng 3D được sử dụng hiện nay, màu sắc da của các đối tượng được mô phỏng không thường thay đổi tại điểm tác động ngoại lực một cách tự động. Quan sát thực tế cho thấy, màu da của người sẽ biến đổi chậm hơn một chút so với hình dạng dưới lực ấn. Khoảng trễ giữa thay đổi về hình dạng và màu da dựa trên điều kiện sức khỏe của đối tượng như huyết áp, tuổi, nhịp tim,... Bài báo đề cập tới một kỹ thuật biến đổi hình dạng và màu sắc của da dưới tác động của ngoại lực do đối tượng rắn tạo ra. Kỹ thuật đề xuất được cài đặt trên mô hình 3D mô phỏng trẻ bị shock 01 tuổi và tỏ ra có hiệu quả và phù hợp trong việc thể hiện thời gian làm đầy mao mạch dưới da (CRT) trong thực tế thực hành tiền lâm sàng tại cơ sở đào tạo y tế Việt Nam.
TỪ KHÓA Mô phỏng da Biến đổi hình dạng da Thời gian làm đầy mao mạch Thay đổi màu sắc da Trẻ em Việt Nam	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.4077>

* Corresponding author. Email: donangtoan@gmail.com

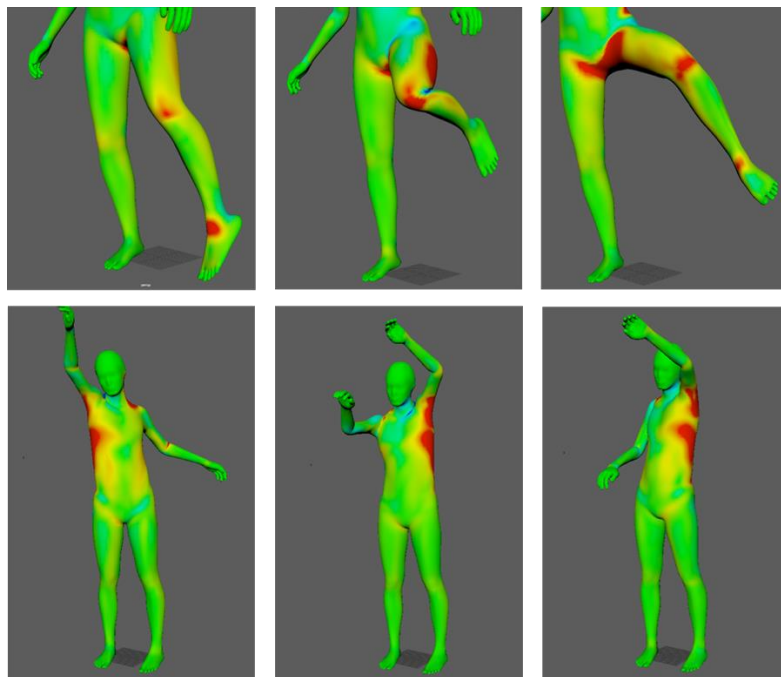
1. Giới thiệu

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 [1] như được mô tả trong *Hình 1* và mô phỏng các yếu tố tác động lên lớp da của đối tượng người trong môi trường ảo [2]. 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 [3] 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.



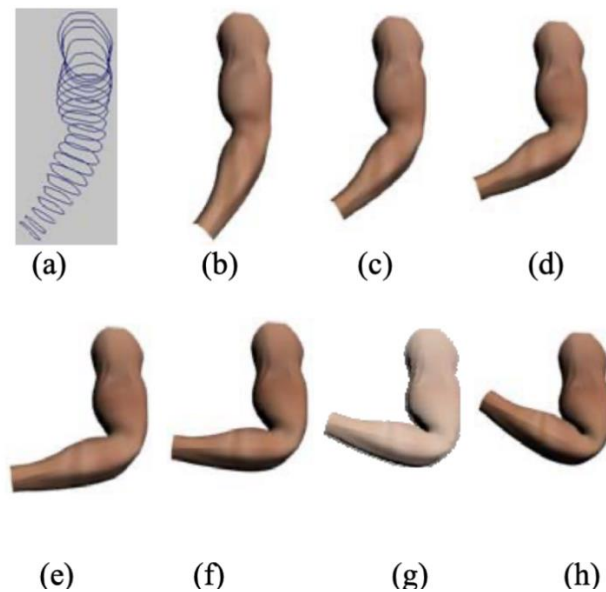
Hình 1. Một số tiến bộ trong việc mô phỏng lớp da người được thực hiện trong nghiên cứu của Eugene d'Eon (2007)

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 [4] hoặc 2006, Ben Jones [5] 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 (illumination 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 [6]. 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 [7] 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 như mô tả trong *Hình 2*, từ đó hỗ trợ việc thiết kế trang phục thể thao cho con người.



Hình 2. 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 [2], 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 phân 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 được mô tả trong Hình 3, L.H.You [3] 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 [8], 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 [9], [10], 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 khoẻ 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 là chưa có.

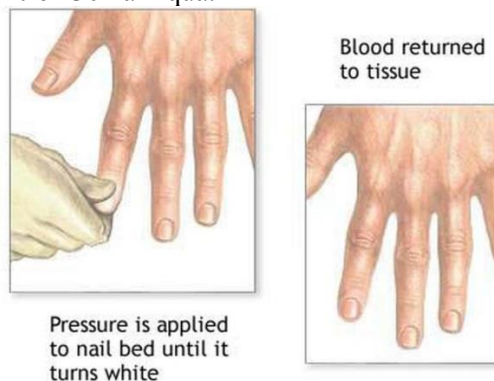


Hình 3. Một số phương pháp biểu diễn đường bao của da bằng các đường cong của L.H.You (2009)

Trong bài báo này, chúng tôi đưa ra một kỹ thuật mô phỏng hình dạng và màu sắc của da người dưới tác động của ngoại lực tác động vào lớp da. Các tham số sinh lý cơ bản dùng cho việc làm đầy mao mạch theo thời gian được rút ra thông qua kỹ thuật học máy. Phần còn lại của bài báo được thể hiện như sau: Phần 2 trình bày cơ sở khoa học của nghiên cứu. Phần 3 là thuật toán mô phỏng đề xuất. Tiếp theo là thử nghiệm và cuối cùng là kết luận về kỹ thuật đề xuất.

2. Cơ sở khoa học của kỹ thuật làm đầy mao mạch dưới da CRT

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 (Hình 4). 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.



Hình 4. Mô tả cho việc làm đầy mao mạch dưới da

Việc đánh giá CRT trên người chúng tôi 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 [9] và phương pháp được sử dụng để xây dựng máy đo CRT được thực hiện tại đại học Mugla Sitki Kocman, Thổ Nhĩ Kỳ [10]. Tổng hợp các đánh giá trên hai tài liệu trên, các yếu tố tác động đến CRT bao gồm:

- Tuổi: 2s là giới hạn bình thường đối với trẻ em, tăng 3,3% cho 10 tuổi, mức chênh lệch ở nữ cao hơn ở nam, có thể đạt tới 2,9s
- Nhiệt độ: Trung bình CRT giảm 1,2% mỗi °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: 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 được, ~3lux)
- Áp lực tác động vào da: 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. 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.

Như vậy có thể thấy, về mặt biến đổi lớp da được tác động, CRT chỉ ra thời gian biến đổi của hình dạng lớp da bị tác động ấn là không đồng bộ với thời gian biến đổi màu sắc. Thời gian biến đổi hình dạng lún xuống và trở về hình thái cũ là rất nhỏ so với thời gian biến đổi màu sắc và được đại diện bởi CRT. 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 [3]. Các tham số được xem xét tới ở đây là xét nghiệm máu của bệnh nhân. Đối với nhóm bệnh nhân này, CRT có liên quan đến huyết áp tâm trương. Tỷ lệ này được mô tả trong tài liệu [11] 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, 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. Kỹ thuật mô phỏng được xây dựng

- Xây dựng mô hình tính toán CRT

Các thử nghiệm về CRT thông thường được xác định ở ngón tay, ngực, gót chân. Do đó, trong bài báo việc mô phỏng sẽ không thực hiện trên toàn bộ cơ thể mà tập trung ở ngực và ngón tay của bệnh nhi ảo. Tuy nhiên do ngón tay của bệnh nhi 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 nhi gồm: Huyết áp trung bình của bệnh nhi được gọi là x; nhịp tim của bệnh nhi được gọi là y; CRT của bệnh nhi là T.

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

Theo khảo sát tại Bệnh viện Nhi Trung ương trên 168 bệnh nhi, 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 ở đây là 02

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

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

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

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

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

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

$$B_2 = [-0.17608438 \quad 2.35359258 \quad 0.58695556]$$

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

$$B_3 = [-0.94526942]$$

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

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

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

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

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

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

- 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 tứ 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.

Ta gọi chu trình này là **P_{CRT} - Chu trình 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**. Chu trình này 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:

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

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 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 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.

4. 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 5.

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 nhẵn bề mặt và nốt trên da có vùng ảnh hưởng toàn thân, hòa trộn chế độ hoàn 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 5. Thiết kế da bệnh nhi ảo 3D một tuổi

Khoảng thời gian giữ ngón tay, chúng tôi 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 của chúng tôi thiết lập 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 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, chúng tôi 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 trong *Hình 6* 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

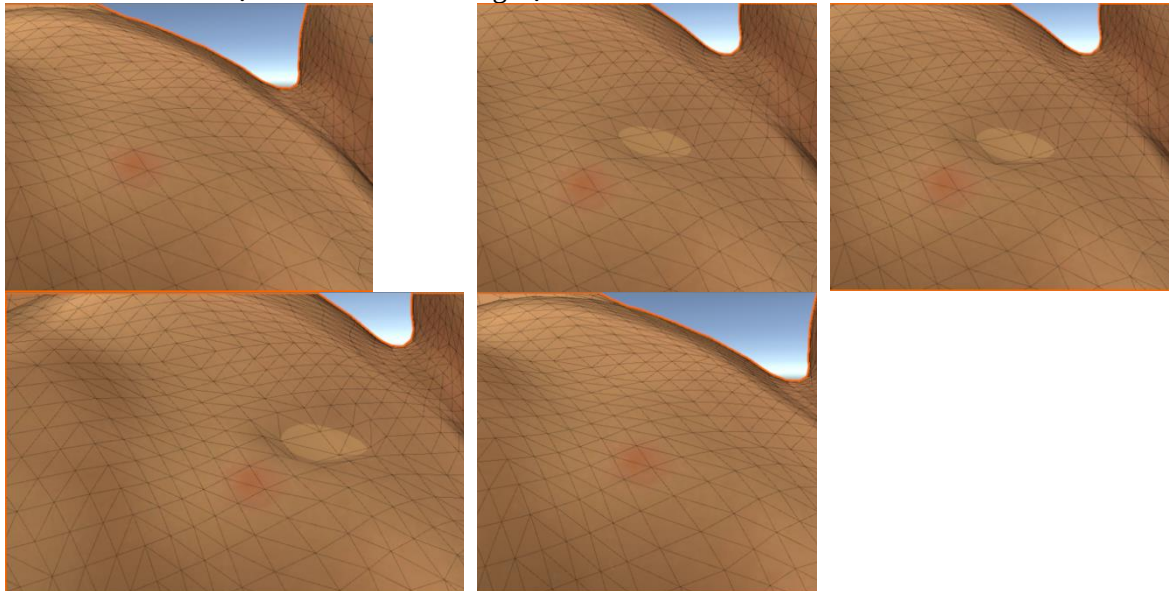
RAM: 16 GB

Hệ điều hành: Window 10 Pro 64 bit

Nhiệt độ môi trường thực hiện 20 – 25°C

Số lượng lần thực hiện test: 200 lần

Hình ảnh thu được khi tiến hành thử nghiệm:



Hình 6. Mô phỏng thay đổi hình dạng và màu sắc của da khi có tác động tại 0s; 0,5s; 1s; 1,5s; 2s

5. Kết luận

Trong bài báo đã nghiên cứu mối quan hệ của hai vấn đề trong kỹ thuật mô phỏng da người có tính toán đến thời gian làm đầy mao mạch dưới da: mô phỏng biến đổi hình dạng của phần da chịu tác động của ngoại lực và mô phỏng biến đổi của màu sắc tại phần da đó. Trong thực tế, khoảng thời gian để biến đổi hình dạng của da trở về vị trí ban đầu và khoảng thời gian để biến đổi màu sắc về giá trị ban đầu là không đồng bộ nhau. Bài báo đã đề xuất thuật toán mô phỏng lại quá trình biến đổi của da dưới tác động của ngoại lực P_{CRT} . Kỹ thuật đã được triển khai thử nghiệm trong việc mô phỏng biểu hiện của da trẻ bệnh nhi một tuổi và tỏ ra hiệu quả đối với việc mô phỏng thời gian phản ứng làm đầy mao mạch trong khám chữa bệnh nhi.

Trong các nghiên cứu tiếp theo, việc tính toán CRT cho đối tượng bệnh nhi dựa trên các dữ liệu về sức khỏe của bệnh nhi như huyết áp, nhịp tim sẽ được mở rộng thêm các tham số đầu vào khác nhằm tăng tính chính xác của thuật toán.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] E.d'Eon, D. Luebke, and E. Enderton, "Efficient Rendering of Human Skin," *Proceedings of the Eurographics Symposium on Rendering Techniques*, Grenoble, France, pp. 147-157, 2007.
- [2] E. Molinari, M. Fato, G. De Leo, D. Riccardo, and F. Beltrame "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 2005.
- [3] L. H. You, E. Chaudhry, X. Y. You, and J. J. Zhang, "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, 2009.
- [4] F. Struck, C.-A. Bohn, S. Schmidt, and V. Helzle, "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, 2004.
- [5] B. Jones, *Approximating the Appearance of Human Skin in Computer Graphics*, PSU University, 2006.
- [6] J. Jimenez, D. Whelan, V. Sundsted, and D. Gutierrez, "Real-Time Realistic Skin Translucency," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 30, no. 4, pp. 32-41, 2010.
- [7] A. Maejima, Y. Tonuma, Y. Kubo, and T. Yotsukura, "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, 2018.
- [8] W. Si, Z. Duan, C. Liu, X. Liao, Z. Yuan, and J. Zhao, "Simulation of Acupuncture Skin Deformation Using Mathematical-Physical Model," *2010 International Conference on Biomedical Engineering and Computer Science*, 2010, doi: 10.1109/ICBECS.2010.5462402.
- [9] B. A. Ufuk, "Capillary refill time measurement device," *Journal of Science and Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 37-40, 2018.
- [10] A. Pickard, W. Karlen, and J. M. Ansermino, "Capillary Refill Time: Is It Still a Useful Clinical Sign?", *International Anesthesia Research Society*, vol. 113, no. 1, pp. 120-123, 2011, doi: 10.1213/ANE.0b013e31821569f9.
- [11] S. Fleming, P. Gill, C. Jones, J. A. Taylor, A. V. den Bruel, C. Heneghan, and M. Thompson, "Validity and reliability of measurement of capillary refill time in children: a systematic review," *ADC*, vol. 100, no. 3, pp. 239-149, 2014, doi: 10.1136/archdischild-2014-307079.