ĐÁNH GIÁ ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA QUÁ TRÌNH CHUYỂN ĐỔI RẬP 2D SANG MÔ HÌNH TRANG PHỤC 3D TRÊN MA-NƠ-CANH KỸ THUẬT SỐ

PHẠM THU CÁT
NGUYỄN THỊ Y NGỌC
Đại học Công nghiệp Hà Nội

Nhận bài ngày 15/8/2026. Sửa chữa xong 19/9/2026. Duyệt đăng 20/10/2026.

Abstract

Three-dimensional garment design technology is transforming design, product development, and fit assessment in the apparel industry. Converting two-dimensional patterns into 3D garment models on digital mannequins enables designers to visualize garment silhouettes, assess design structures, and reduce reliance on physical prototypes. However, simulation accuracy depends on several factors, including pattern-data quality, the anthropometric measurements of digital mannequins, the mechanical properties of fabrics, and fabric-simulation algorithms. This article evaluates the accuracy of converting 2D patterns into 3D garment models on digital mannequins and identifies the principal factors affecting the reliability of the resulting simulations.

Keywords*: 2D patterns, 3D garment models, accuracy, digital mannequins, fashion design, simulation.*

1. Đặt vấn đề

Trong bối cảnh chuyển đổi số của ngành công nghiệp thời trang, công nghệ mô phỏng trang phục ba chiều (3D) ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong thiết kế, phát triển sản phẩm và kiểm tra độ vừa vặn. Việc chuyển đổi rập hai chiều (2D) sang mô hình trang phục 3D trên ma-nơ-canh kỹ thuật số cho phép trực quan hóa hình dáng sản phẩm, kiểm tra cấu trúc thiết kế và hỗ trợ điều chỉnh thông số kỹ thuật trước khi tiến hành may mẫu thực tế. Công nghệ này góp phần rút ngắn thời gian phát triển sản phẩm, giảm tiêu hao nguyên liệu và nâng cao hiệu quả trong quy trình thiết kế may mặc. Tuy nhiên, độ chính xác của mô hình trang phục 3D chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, bao gồm chất lượng dữ liệu rập 2D, thông số hình thể của ma-nơ-canh, đặc tính cơ học của vật liệu và điều kiện mô phỏng. Sai lệch giữa mô hình kỹ thuật số và sản phẩm thực tế có thể xuất hiện ở kích thước, hình dáng, độ vừa vặn, kết cấu đường may và đặc tính rủ vải. Do đó, việc đánh giá độ chính xác của quá trình chuyển đổi không chỉ có ý nghĩa về mặt kỹ thuật mà còn là cơ sở xác định khả năng ứng dụng mô phỏng 3D trong phát triển sản phẩm và sản xuất công nghiệp. Mặc dù công nghệ mô phỏng trang phục 3D đã có nhiều tiến bộ, việc xây dựng một hệ thống đánh giá tổng hợp, kết hợp các chỉ tiêu hình học, vật lý và độ vừa vặn vẫn là vấn đề cần được quan tâm.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Quá trình chuyển đổi rập 2D sang mô hình trang phục 3D trên ma-nơ-canh kỹ thuật số

2.1.1. Chuẩn bị và chuẩn hóa dữ liệu rập 2D

Quá trình chuyển đổi rập 2D sang mô hình trang phục 3D bắt đầu bằng việc chuẩn bị và kiểm tra dữ liệu rập. Rập 2D chứa thông tin hình học của các chi tiết trang phục, bao gồm đường biên, đường may, đường chiết, dấu bấm, điểm ráp nối và các thông số kích thước. Những dữ liệu này là cơ sở để xây dựng hình dạng trang phục trong không gian ba chiều. Trước khi nhập vào phần mềm mô phỏng cần kiểm tra tính khép kín của đường biên, sự tương thích giữa các cạnh ráp, tính chính xác của kích thước và sự thống nhất của hệ đơn vị đo. Các lỗi như sai lệch đường cong nách, chênh lệch chiều dài đường

Email: phamthucat79@gmail.com

ráp tay hoặc thiếu thông tin đường may có thể gây biến dạng mô hình trong quá trình mô phỏng. Do đó, chuẩn hóa dữ liệu rập là bước quan trọng nhằm hạn chế sai số từ đầu vào. Sau khi kiểm tra, các chi tiết rập được nhập vào phần mềm thiết kế có khả năng mô phỏng trang phục 3D. Trong quá trình này, mỗi chi tiết cần được xác định đúng vị trí, hướng sợi và quan hệ hình học với các chi tiết còn lại. Việc bảo toàn kích thước rập gốc có ý nghĩa đặc biệt quan trọng, bởi mọi thay đổi về tỷ lệ hoặc đường biên đều có thể ảnh hưởng đến độ vừa vặn và hình dáng sản phẩm. Yu, Cordier và Seo (2024) đã nghiên cứu phương pháp tái tạo đồng thời hình dạng trang phục 3D và rập 2D bằng bộ mô phỏng vải khả vi, trong đó quá trình tối ưu hóa được sử dụng để giảm sai lệch giữa hình dạng mô phỏng và hình dạng mục tiêu. Nghiên cứu cho thấy việc liên kết thông tin rập với hình học 3D là yếu tố quan trọng để tạo ra mô hình có khả năng mô phỏng và phục vụ tái tạo sản phẩm thực tế.

2.1.2. Xây dựng và chuẩn hóa ma-nơ-canh kỹ thuật số

Ma-nơ-canh kỹ thuật số là đối tượng hình học đại diện cho cơ thể người, được sử dụng làm cơ sở để mặc thử và đánh giá trạng thái trang phục trong môi trường mô phỏng. Các thông số quan trọng bao gồm chiều cao, vòng ngực, vòng eo, vòng hông, chiều dài thân, chiều rộng vai và các đặc điểm hình thể tại những vị trí tiếp xúc với trang phục. Tùy mục tiêu nghiên cứu, ma-nơ-canh có thể được xây dựng từ bảng số đo nhân trắc, mô hình cơ thể tham số hoặc dữ liệu quét ba chiều. Trong cả ba trường hợp, việc chuẩn hóa kích thước và tư thế là cần thiết để bảo đảm tính nhất quán khi so sánh kết quả mô phỏng.

Jin và Gu (2025) đã đề xuất phương pháp kết hợp đám mây điểm 3D với hình ảnh 2D để xây dựng rập nguyên mẫu nữ theo hình thể cá nhân. Nghiên cứu sử dụng 14 thông số cơ thể và mô hình hồi quy để dự đoán tọa độ của 20 điểm đo trên rập. Kết quả cho thấy hơn 80% mẫu có sai số không vượt quá 1cm ở một số thông số hình thể và kích thước đặc trưng; độ chính xác tổng thể của hệ thống tạo rập được báo cáo đạt 91% (Jin, S., & Gu, B., 2025). Những kết quả này cho thấy dữ liệu hình thể có thể hỗ trợ cải thiện quá trình xây dựng ma-nơ-canh và phát triển rập cá nhân hóa. Tuy nhiên, các tỷ lệ trên thuộc phương pháp và bộ dữ liệu của nghiên cứu được dẫn, không thể suy rộng trực tiếp thành độ chính xác của mọi ma-nơ-canh kỹ thuật số. Trong quá trình ứng dụng cần kiểm tra sự tương ứng giữa ma-nơ-canh số và đối tượng tham chiếu bằng cách so sánh các số đo cơ thể, đường bao mặt cắt và những điểm mốc giải phẫu quan trọng. Sai lệch về tư thế, phân bố thể tích hoặc hình dạng bề mặt có thể làm thay đổi khoảng cách giữa cơ thể và trang phục, từ đó ảnh hưởng đến kết quả đánh giá độ vừa vặn. Nghiên cứu của Guo, S. (2026) về so sánh độ vừa vặn ảo và thực tế trên trang phục may đo đã chỉ ra rằng sai lệch về tư thế avatar, phân bố mô mềm và khả năng mô tả vật liệu vẫn là những hạn chế của mô phỏng hiện nay. Vì vậy, độ chính xác của ma-nơ-canh cần được xem là một thành phần độc lập trong hệ thống kiểm định mô hình trang phục 3D.

2.1.3. Thiết lập đường may và liên kết các chi tiết rập

Sau khi nhập rập và chuẩn hóa ma-nơ-canh, các chi tiết được liên kết bằng cách xác định những cặp cạnh sẽ được may với nhau. Đây là bước chuyển đổi các chi tiết phẳng thành một cấu trúc trang phục có khả năng hình thành bề mặt ba chiều. Các đường ráp thường gặp bao gồm đường vai, đường sườn, đường ráp tay, đường vòng cổ và các đường ghép thân. Khi thiết lập cần bảo đảm đúng thứ tự điểm đầu, điểm cuối và chiều dài tương ứng của các cạnh. Nếu các cạnh được ghép sai hoặc có chiều dài không tương thích, mô hình có thể xuất hiện hiện tượng xoắn, kéo căng cục bộ hoặc biến dạng bất thường.

Domskiene và Ancutiene (2025) mô tả quy trình tạo mẫu ảo gồm xác định đặc tính vật liệu dệt, thiết lập đường may ảo, chuẩn bị ma-nơ-canh, mặc thử trang phục và đánh giá độ vừa vặn. Trong nghiên cứu này, dữ liệu vật liệu được xác định bằng hệ thống đo FAST và sử dụng trong phần mềm Modaris 3D; các cạnh may được xác định theo từng cặp đường ráp trước khi tiến hành mô phỏng. Quy trình trên cho thấy việc thiết lập kết cấu may và chuẩn hóa thông số vật liệu cần được thực hiện đồng bộ, thay vì xem mô phỏng 3D là thao tác trực quan hóa rập đơn thuần. Sau khi hoàn thành liên kết cần kiểm tra tính liên tục của đường may, sự đối xứng của các chi tiết và độ tương thích giữa cấu trúc thiết kế với

hình dạng cơ thể. Đối với trang phục nhiều lớp hoặc có các chi tiết phức tạp, việc xác định đúng thứ tự lắp ráp còn giúp hạn chế va chạm và hiện tượng các bề mặt xuyên qua nhau trong quá trình mô phỏng.

2.1.4. Thiết lập thông số vật liệu và mô phỏng biến dạng vải

Đặc tính cơ học của vật liệu là một trong những yếu tố ảnh hưởng đáng kể đến độ chính xác của mô hình trang phục 3D. Vải không phải là bề mặt cứng giữ nguyên hình dạng khi được mặc lên cơ thể mà có thể uốn, kéo giãn, biến dạng trượt và hình thành nếp gấp dưới tác động của trọng lực. Vì vậy, việc gán thông số vật liệu phù hợp có vai trò quan trọng trong việc tái hiện trạng thái thực tế của trang phục. Các thông số cần xem xét có thể bao gồm khối lượng trên đơn vị diện tích, độ dày, độ cứng uốn, độ giãn theo hướng sợi dọc và sợi ngang, độ cứng trượt và các đặc tính ma sát liên quan. Dai và Hong (2024), trong nghiên cứu tổng quan có hệ thống về các thông số cơ học vải sử dụng trong mô phỏng trang phục bằng hệ thống CAD chỉ ra rằng độ chính xác của mô phỏng còn bị hạn chế bởi sự khác biệt trong phương pháp đo, cách biểu diễn thông số và sự thiếu thống nhất về đơn vị giữa các hệ thống. Nghiên cứu phân biệt các thông số thu được từ phép đo khách quan của vật liệu với các thông số ảo được xác định thông qua mô phỏng thử nghiệm rủ vải, đồng thời nhấn mạnh nhu cầu xây dựng cơ sở dữ liệu vật liệu có tính nhất quán. Điều này cho thấy việc lựa chọn thông số mặc định của phần mềm mà không đối chiếu với vật liệu thực tế có thể làm giảm độ tin cậy của kết quả. Trong thực tế cần xác định thông số vải bằng phép đo hoặc sử dụng dữ liệu vật liệu đã được kiểm chứng, sau đó gán cho từng chi tiết trang phục trước khi mô phỏng. Nếu trang phục sử dụng nhiều loại vật liệu, chẳng hạn vải chính, lớp lót và vật liệu gia cường, mỗi loại cần được khai báo riêng. Khi tiến hành mô phỏng, hệ thống tính toán sự tương tác giữa bề mặt vải, ma-nơ-canh, đường may và trọng lực để tạo ra trạng thái cân bằng của trang phục. Kết quả đầu ra thể hiện hình dạng, vùng tiếp xúc, nếp gấp và mức độ biến dạng của vật liệu. Tuy nhiên, trạng thái ổn định của thuật toán không đồng nghĩa với việc mô hình đã phản ánh chính xác sản phẩm thực tế, điều này cần được xác minh bằng phép đo hoặc đối chiếu thực nghiệm.

2.1.5. Đánh giá độ vừa vặn và kiểm định mô hình 3D

Sau khi mô phỏng hoàn tất, trang phục được đánh giá theo các tiêu chí hình học, độ vừa vặn và đặc tính rủ vải. Các kích thước như vòng ngực, vòng eo, vòng hông và chiều dài trang phục có thể được đo trên mô hình số, sau đó so sánh với mẫu tham chiếu. Bên cạnh đó cần xem xét lượng dư cử động, khoảng cách giữa bề mặt cơ thể và bề mặt trang phục, vị trí các vùng tiếp xúc cũng như sự phân bố nếp gấp. Các phép đo nên được thực hiện tại những vị trí tương ứng và trong điều kiện tư thế thống nhất nhằm hạn chế sai số do cách đo. Một nghiên cứu được Guo công bố trực tuyến năm 2026 đã so sánh mô phỏng trang phục trên phần mềm Browzwear VStitcher với độ vừa vặn của trang phục thực tế. Nghiên cứu sử dụng bốn người mẫu và 21 người đánh giá có kinh nghiệm để xem xét mức độ tương đồng giữa hình ảnh mặc thử ảo và thực tế. Kết quả cho thấy công nghệ mô phỏng có hiệu quả trong hỗ trợ đánh giá độ vừa vặn nhưng vẫn tồn tại hạn chế liên quan đến tư thế avatar, phân bố hình thể và biểu diễn đặc tính vải; tác giả kết luận rằng việc thử mẫu thực tế vẫn cần thiết trong quá trình phát triển trang phục may đo. Do quy mô nghiên cứu còn hạn chế, kết quả này nên được hiểu là bằng chứng về khả năng và giới hạn của phương pháp trong điều kiện khảo sát cụ thể, không phải tỷ lệ chính xác áp dụng chung cho mọi phần mềm. Để nâng cao độ tin cậy, mô hình 3D nên được đối chiếu với mẫu may thật được tạo từ cùng bộ rập và loại vật liệu. Khi có điều kiện, có thể sử dụng thiết bị quét 3D để so sánh bề mặt, xác định khoảng cách hình học trung bình và phát hiện các vùng sai lệch cục bộ. Nếu không có dữ liệu quét, việc đo kích thước kết hợp chụp ảnh chính diện, mặt bên và mặt sau trong điều kiện chuẩn hóa vẫn có thể cung cấp thông tin hữu ích. Các kết quả cần được tổng hợp bằng những chỉ số định lượng như sai số tuyệt đối, sai số tương đối và độ lệch bề mặt, đồng thời kết hợp đánh giá chuyên gia về cấu trúc may và hình thái rủ vải.

2.2. Đánh giá độ chính xác của quá trình chuyển đổi rập 2D sang mô hình trang phục 3D trên ma-nơ-canh kỹ thuật số

2.2.1. Đánh giá độ chính xác hình học của rập và mô hình trang phục

Độ chính xác hình học là tiêu chí cơ bản để xác định mức độ bảo toàn thông tin thiết kế trong quá

trình chuyển đổi rập 2D sang mô hình trang phục 3D trên ma-nơ-canh kỹ thuật số. Nội dung đánh giá bao gồm sự tương đồng về kích thước, tỷ lệ, đường biên và vị trí các điểm đặc trưng của chi tiết rập trước và sau khi chuyển đổi. Các vị trí cần quan tâm gồm đường vai, vòng cổ, vòng nách, đường sườn, đường eo, đường hông và gấu trang phục. Nếu các đường biên hoặc điểm ráp nối bị sai lệch, mô hình có thể xuất hiện tình trạng mất cân đối, kéo căng cục bộ hoặc thay đổi hình dáng thiết kế. Vì vậy, cần phân biệt sai số phát sinh trong quá trình nhập dữ liệu rập với sai số hình học hình thành trong quá trình mô phỏng vật liệu.

Xác định sai số tuyệt đối và sai số tương đối của từng kích thước. Sai số tuyệt đối được tính bằng hiệu giữa kích thước mô phỏng và kích thước tham chiếu, trong khi sai số tương đối biểu thị mức sai lệch so với giá trị tham chiếu. Chẳng hạn, nếu chiều dài thân áo theo mẫu chuẩn là 600mm và chiều dài đo trên mô hình 3D là 606mm, sai số tuyệt đối bằng 6mm và sai số tương đối bằng 1%. Đây là ví dụ minh họa cho phương pháp tính toán, không phải kết quả thực nghiệm. Đối với các đường cong như vòng nách hoặc vòng cổ, chỉ so sánh chiều dài đường biên là chưa đủ, bởi hai đường cong có thể có chiều dài tương đương nhưng hình dạng khác nhau. Do đó, cần kết hợp đo khoảng cách giữa các điểm tương ứng hoặc so sánh đường biên sau khi đưa dữ liệu về cùng hệ tọa độ.

Các nghiên cứu gần đây cũng cho thấy sai số hình học có thể được sử dụng làm chỉ tiêu đánh giá hiệu quả của những phương pháp liên kết rập 2D với mô hình 3D. Guo và Sun (2025) đề xuất phương pháp tạo rập trang phục dựa trên mô hình khuếch tán và công nghệ tái tạo 3D. Trong thử nghiệm với một mẫu váy, sai số trung bình giữa rập 2D và mô hình 3D được báo cáo nhỏ hơn 5mm. Kết quả này cho thấy tiềm năng của các phương pháp tái tạo và tối ưu hóa hình học tự động. Tuy nhiên, giá trị sai số dưới 5mm chỉ áp dụng cho phương pháp, đối tượng và điều kiện thử nghiệm của nghiên cứu đó; không thể sử dụng trực tiếp làm ngưỡng chấp nhận chung cho mọi quy trình chuyển đổi rập.

2.2.2. Đánh giá độ chính xác về độ vừa vặn của trang phục

Độ vừa vặn (fit accuracy) phản ánh mức độ phù hợp giữa hình dạng trang phục mô phỏng và hình thể của ma-nơ-canh kỹ thuật số. Đây là tiêu chí có ý nghĩa thực tiễn vì mục tiêu của quá trình chuyển đổi rập không chỉ là tạo ra một mô hình có hình thức tương tự thiết kế ban đầu mà còn phải tái hiện được quan hệ giữa trang phục và cơ thể. Các yếu tố cần đánh giá gồm lượng dư cử động, khoảng cách giữa bề mặt trang phục và cơ thể, vùng tiếp xúc, vị trí xuất hiện nếp nhăn do căng kéo và sự cân đối của trang phục trên các bộ phận cơ thể. Những chỉ tiêu này cần được xem xét theo đặc điểm của từng kiểu trang phục, bởi áo ôm sát, áo sơ mi và váy rộng có yêu cầu về độ vừa vặn khác nhau.

Đối với đánh giá định lượng, lượng dư cử động theo chu vi có thể được xác định bằng hiệu giữa chu vi trang phục và chu vi cơ thể tại cùng vị trí đo. Ví dụ, nếu vòng ngực của ma-nơ-canh là 900mm và vòng ngực thành phẩm theo thiết kế là 960mm, lượng dư cử động danh nghĩa là 60mm. Nếu chu vi đo trên mô hình 3D đạt 966mm, lượng dư cử động mô phỏng là 66mm, tức cao hơn giá trị thiết kế 6mm. Kết quả này cho thấy có sai lệch giữa thông số thiết kế và mô hình cần được kiểm tra thêm. Tuy nhiên, không thể chỉ dựa vào phép đo chu vi để kết luận toàn bộ trang phục bị rộng, bởi sự phân bố lượng dư tại thân trước, thân sau và hai bên sườn cũng ảnh hưởng đến cảm nhận vừa vặn.

Guo (2026) đã thực hiện nghiên cứu so sánh độ vừa vặn của trang phục mô phỏng trên phần mềm Browzwear VStitcher với trang phục thực tế, sử dụng dữ liệu của bốn người mẫu và đánh giá của 21 người có kinh nghiệm. Nghiên cứu cho thấy mô phỏng 3D có khả năng hỗ trợ quá trình mặc thử ảo nhưng vẫn tồn tại sai lệch liên quan đến tư thế ma-nơ-canh, sự phân bố mô mềm và khả năng biểu diễn vật liệu. Kết quả này nhấn mạnh rằng việc sử dụng đúng số đo nhân trắc chưa chắc bảo đảm mô hình cơ thể có hình dạng và tư thế tương ứng với người mặc thực tế. Do đó, đánh giá độ vừa vặn cần kết hợp kiểm tra kích thước, hình dạng cơ thể và phân bố khoảng hở giữa trang phục với ma-nơ-canh, đồng thời đối chiếu với mẫu vật lý khi mục tiêu nghiên cứu yêu cầu độ tin cậy cao.

2.2.3. Đánh giá độ chính xác của hình dạng bề mặt và đặc tính rủ vải

Hình dạng bề mặt và đặc tính rủ vải là những yếu tố có ảnh hưởng đáng kể đến độ chân thực của

mô hình trang phục 3D. Khi được mặc lên ma-nơ-canh, vải chịu tác động của trọng lực, lực căng, độ uốn, lực trượt và sự tương tác với bề mặt cơ thể. Các yếu tố này quyết định vị trí, hướng và biên độ của nếp gấp, cũng như trạng thái tiếp xúc hoặc tách rời giữa vải và cơ thể. Vì vậy, hai mô hình có thể có kích thước gần tương đương nhưng vẫn khác biệt đáng kể về hình dáng nếu sử dụng thông số vật liệu hoặc thiết lập mô phỏng khác nhau. Để đánh giá độ tương đồng hình học, có thể sử dụng dữ liệu quét 3D của mẫu trang phục thực tế làm đối tượng tham chiếu. Sau khi căn chỉnh mô hình số và mô hình quét về cùng hệ tọa độ, khoảng cách giữa các điểm trên hai bề mặt được tính toán để xác định sai lệch trung bình, sai lệch lớn nhất và những vùng có khác biệt đáng kể. Chẳng hạn, khi mô hình 3D thể hiện bề mặt thân áo tương đối phẳng nhưng mẫu thật xuất hiện nếp nhăn rõ ở vùng eo và dưới nách, bản đồ sai số bề mặt có thể giúp xác định vị trí mô phỏng chưa phù hợp. Tuy nhiên, việc đối chiếu cần kiểm soát tư thế, lực tác động, trạng thái vải và thời điểm chụp hoặc quét, bởi những khác biệt này cũng có thể làm thay đổi hình dạng bề mặt.

Dai và Hong (2024), trong nghiên cứu tổng quan có hệ thống về các thông số cơ học vải sử dụng trong mô phỏng trang phục bằng hệ thống CAD đã chỉ ra rằng sự thiếu thống nhất trong phương pháp đo, đơn vị và cách biểu diễn thông số vật liệu là một trong những nguyên nhân khiến độ chính xác mô phỏng khác nhau giữa các hệ thống. Từ góc độ thực nghiệm, Koo, An và Yoon (2024) đã nghiên cứu sự khác biệt giữa vật liệu áo sơ mi ảo và thực, đồng thời phân tích ảnh hưởng của đặc tính vật liệu đến hình dạng và độ vừa vặn của trang phục mô phỏng. Những nghiên cứu này cho thấy độ chính xác bề mặt không thể được đánh giá tách rời khỏi chất lượng dữ liệu vật liệu. Vì vậy, cần kiểm tra đồng thời độ tương đồng hình học, đặc tính nếp gấp và thông số cơ học của vải để xác định nguyên nhân gây sai lệch.

2.2.4. Đánh giá độ chính xác kết cấu may và khả năng bảo toàn thiết kế

Độ chính xác kết cấu may thể hiện khả năng duy trì quan hệ giữa các chi tiết rập và các đường ráp nối trong mô hình trang phục 3D. Các nội dung cần kiểm tra gồm sự tương ứng giữa đường vai, đường sườn, vòng nách, đường ráp tay, đường cổ và những chi tiết ghép khác. Một mô hình có thể đạt độ tương đồng thị giác cao nhưng vẫn tồn tại lỗi kết cấu, chẳng hạn đường ráp không trùng khớp, chi tiết bị xoắn hoặc bề mặt xuyên qua nhau. Những sai lệch này có thể làm giảm độ tin cậy của mô hình khi sử dụng để đánh giá khả năng sản xuất. Do đó, việc kiểm tra kết cấu cần được thực hiện độc lập với đánh giá hình thức tổng thể.

Moskvin và Moskvina (2026) đã đề xuất khung đánh giá mức độ kiểm soát khách quan đối với các thông số của trang phục kỹ thuật số, sử dụng dữ liệu từ 20 bộ trang phục và 320 cặp thông số - mức độ phù hợp. Kết quả nghiên cứu ghi nhận tương quan giữa các thông số bề mặt với độ chính xác hình dạng ở mức R=0,89 *R*=0,89, giữa thông số đường may với tính toàn vẹn kết cấu ở mức R=0,82 *R*=0,82 và giữa thông số đường biên với độ chính xác tỷ lệ ở mức R=0,76 *R*=0,76. Các hệ số này phản ánh mối tương quan trong phạm vi dữ liệu và phương pháp nghiên cứu cụ thể, không phải tỷ lệ chính xác tuyệt đối của mô hình. Tuy nhiên, kết quả cung cấp cơ sở để xem xét việc kiểm soát thông số đường may và bề mặt như những thành phần quan trọng trong quy trình đánh giá. Ví dụ, khi mô phỏng áo sơ mi nếu đường ráp tay và vòng nách có chiều dài không tương thích, phần tay áo có thể xuất hiện nếp nhăn bất thường hoặc bị kéo lệch khỏi vị trí thiết kế. Trong trường hợp này, cần kiểm tra lại độ dài các cạnh rập, điểm đầu - cuối của đường may và thông số cấu trúc trước khi điều chỉnh vật liệu. Cách tiếp cận này giúp tránh việc sử dụng thông số vật liệu để bù trừ cho lỗi hình học hoặc kết cấu vốn phát sinh từ dữ liệu đầu vào.

Ví dụ, giả sử tiến hành đánh giá một mẫu áo sơ mi có vòng ngực thiết kế 960mm, chiều dài thân 600mm và được mô phỏng trên ma-nơ-canh có vòng ngực 900mm. Sau mô phỏng, vòng ngực đo được là 966mm và chiều dài thân là 606mm. Như vậy, sai số tương đối của vòng ngực là 0,625%, trong khi sai số tương đối của chiều dài thân là 1%. Nếu kết quả quét 3D cho thấy bề mặt vùng ngực tương đồng với mẫu thật nhưng vùng nách và sườn có sai lệch lớn cần tiếp tục kiểm tra đường ráp, tư thế ma-nơ-canh và thông số vật liệu. Các giá trị trên là dữ liệu giả định nhằm minh họa cách áp dụng hệ thống chỉ tiêu, không phải kết quả của một thử nghiệm thực tế.

Trên cơ sở đó, điểm đánh giá tổng hợp có thể được tính theo công thức: S=∑i=1nwisi, ∑i=1nwi=1S=i=1∑nwisi, i=1∑nwi=1.

Trong đó, S*S* là điểm tổng hợp, si*si* là điểm chuẩn hóa của từng tiêu chí và wi*wi* là trọng số tương ứng. Chẳng hạn, nếu nghiên cứu lựa chọn sáu nhóm tiêu chí gồm độ chính xác rập, hình học 3D, độ vừa vặn, rủ vải, kết cấu may và tương đồng với mẫu thật, tổng điểm có thể được tính theo trọng số xác lập trước. Tuy nhiên, hệ thống trọng số và ngưỡng chấp nhận cần được kiểm chứng bằng dữ liệu thực nghiệm, không nên sử dụng như tiêu chuẩn phổ quát khi chưa có bằng chứng xác nhận.

3. Kết luận

Đánh giá độ chính xác của quá trình chuyển đổi rập 2D sang mô hình trang phục 3D trên ma-nơ-canh kỹ thuật số có ý nghĩa quan trọng trong việc nâng cao chất lượng thiết kế và phát triển sản phẩm may mặc. Độ chính xác của mô hình không chỉ phụ thuộc vào khả năng bảo toàn kích thước và hình dạng của rập mà còn chịu ảnh hưởng bởi thông số hình thể của ma-nơ-canh, đặc tính cơ học của vật liệu, cấu trúc đường may và điều kiện mô phỏng. Vì vậy, việc đánh giá cần được thực hiện theo hướng tổng hợp, kết hợp các chỉ tiêu về hình học, độ vừa vặn, đặc tính rủ vải và kết cấu trang phục. Nghiên cứu đã đề xuất hệ thống chỉ tiêu định lượng, phương pháp phân tích sai số và quy trình đối chiếu mô hình kỹ thuật số với mẫu trang phục thực tế nhằm tạo cơ sở cho việc kiểm định chất lượng mô phỏng. Trong đó, sai số kích thước, độ lệch bề mặt 3D và lượng dư cử động là những chỉ tiêu có thể hỗ trợ xác định mức độ phù hợp của mô hình, trong khi đánh giá đặc tính rủ vải và kết cấu may giúp làm rõ khả năng tái hiện trạng thái thực tế của trang phục. Việc kết hợp các phương pháp đo lường khách quan với đánh giá chuyên gia có thể góp phần nâng cao tính toàn diện và độ tin cậy của kết quả. Tuy nhiên, các chỉ tiêu và trọng số đánh giá được đề xuất cần tiếp tục được kiểm chứng bằng thực nghiệm trên nhiều kiểu trang phục, loại vật liệu và điều kiện mô phỏng khác nhau. Việc xây dựng cơ sở dữ liệu sai số và xác lập ngưỡng chấp nhận phù hợp với từng nhóm sản phẩm sẽ là hướng nghiên cứu cần thiết trong thời gian tới. Qua đó, kết quả nghiên cứu có thể góp phần hoàn thiện quy trình kiểm soát chất lượng mô hình trang phục 3D, nâng cao hiệu quả ứng dụng công nghệ số và hỗ trợ giảm sự phụ thuộc vào may mẫu vật lý trong ngành công nghiệp may mặc.

Tài liệu tham khảo

Dai, X., & Hong, Y. (2024). *Fabric mechanical parameters for 3D cloth simulation in apparel CAD: A systematic review*. Computer-Aided Design, Article 103638. https://doi.org/10.1016/j.cad.2023.103638.

Domskiene, J., & Ancutiene, K. (2025). *Virtual prototyping and CMT production for smart clothing*. *Textile Research Journal*, March 2025. https://doi.org/10.1177/00405175241303533.

Guo, S. (2026). *A comparative study of virtual and real fit in customised garments*. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 19 (3). 442-456. https://doi.org/10.1080/17543266.2026.2618270.

Guo, Y., & Sun, L. (2025). *Garment pattern generation method based on Diffusion Model and 3D reconstruction technology*. *Textile Research Journal, 95*(23-24), 2866-2881. https://doi.org/10.1177/00405175251328296.

Jin, S., & Gu, B. (2025). An integrated 3D point cloud and 2D image-based approach for generating individualized female prototype pattern. *International Journal of Industrial Ergonomics, 107*, 103748. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2025.103748.

Koo, D. S., An, J. S., & Yoon, H. J. (2024). Classification and analysis of fabric types for shirts: A comparison between virtual and real fabrics. *Textile Research Journal*, Volume 19, pp. 1-14. https://doi.org/10.1177/15589250241262318.

Yu, B., Cordier, F., & Seo, H. (2024). *Inverse Garment and Pattern Modeling with a Differentiable Simulator*. Computer Graphics Forum. https://doi.org/10.1111/cgf.15249.