

Nghiên cứu công nghệ thiết kế ngược, kết hợp công nghệ CAD/CAM trong kỹ thuật cơ y sinh

Applying reverse engineering technology and CAD/CAM technology in biomechanics

Nguyễn Thiên Bách*, Trương Hoàng Sơn

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

**Email: thienbach.bk2008@gmail.com*

Tel: +84-979015929; Mobile: 0979015929

Tóm tắt

Từ khóa:

Ảnh cắt lớp vi tính; Khôi phục hình dạng; Làm mượt bề mặt; Mật độ lưới; Tạo mẫu nhanh.

Trong giai đoạn hiện nay, cùng với sự phát triển của công nghệ thông tin, vật liệu mới, máy móc và thiết bị hiện đại, công nghệ thiết kế ngược không chỉ được ứng dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp mà còn được ứng dụng trong lĩnh vực y tế. Ở đó, nó đã giúp chúng ta có thể phục hồi và thay thế các bộ phận trên cơ thể, các công cụ hỗ trợ thích hợp với từng cá nhân. Bài báo giới thiệu quá trình ứng dụng công nghệ thiết kế ngược và công nghệ CAD/CAM để khôi phục lại phần đầu xương ống chân của một bệnh nhân từ dữ liệu hình ảnh chụp cắt lớp vi tính (chụp CT). Đây là công nghệ mới, đã bắt đầu được ứng dụng ở các nước có nền y học phát triển, đáp ứng được nhu cầu lớn của bệnh nhân, khôi phục lại các khả năng vốn có của con người khi không may nó bị mất đi do tai nạn hay bệnh tật, góp phần vào sự thành công của các ca phẫu thuật và giảm thời gian quá trình điều trị.

Abstract

Keywords:

Computer tomography; form restoration; surface smoothing; Density of mesh; Rapid prototyping.

Nowadays, with the development of information technology, new materials, modern of machinery and equipment, reverse engineering is not only widely applied in the industries but also in the medical field. In that respect, it has helped us restore and replace the body parts, creating tools that are tailored to each individual. This article introduces the application of reverse engineering technology and CAD/CAM technology to restore a patient's tibiabased on computerized tomography (CT) data. This is a new technology that has started to be used in countries with developed medicine to meet the needs of patients, to restore the inherent capabilities of humans when they are unfortunately lost by accident or illness, contributing to the success of the surgery and reduces the length of the course of treatment.

Ngày nhận bài: 30/06/2018

Ngày nhận bài sửa: 04/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. GIỚI THIỆU

Tái tạo các bộ phận trên cơ thể người từ hình ảnh chụp cắt lớp vi tính (CT) để phục vụ điều trị và thay thế đã được ứng dụng nhiều ở các nước có nền y học phát triển. Cùng với nó là việc ứng dụng ngày càng rộng rãi của công nghệ CAD/CAM trong lĩnh vực y sinh học [1].

Ứng dụng công nghệ thiết kế ngược kết hợp với công nghệ CAD/CAM và công nghệ tạo mẫu nhanh, được sử dụng để xây dựng các mô hình giải phẫu cho các chẩn đoán và điều trị, do đó cải thiện hiệu quả và độ chính xác của phân tích y học và chẩn đoán.

Phương pháp tái tạo mô hình 3D bao gồm 4 giai đoạn chính: Chọn loại dữ liệu đầu vào; Thu thập dữ liệu đầu vào; Phân tích và xử lý dữ liệu; Sử dụng kết quả xử lý dữ liệu để ứng dụng vào y học bằng cách chế tạo mô hình thay thế. Kỹ thuật xử lý dữ liệu là việc xây dựng lại mô hình giải phẫu từ dữ liệu đầu vào, điều này đòi hỏi kỹ năng sử dụng phần mềm và các yêu cầu đặc biệt liên quan tới y học. Trong kỹ thuật dựng hình bề mặt, bề mặt của mô hình giải phẫu được dựng lại từ hình ảnh chụp cắt lớp (CT), hình ảnh chụp X-quang, hình ảnh quét 3D. Phương pháp biểu diễn bề mặt là dạng lưới tam giác, đa giác hoặc dạng NURBS (Non - Uniform Rational B-Spline) [2].

Do đó, trong nghiên cứu này đã sử dụng các phần mềm CAD chuyên dụng để xây dựng lại mô hình giải phẫu xương ống chân ở một bệnh nhân từ hình ảnh chụp cắt lớp vi tính (CT). Mô hình 3D thu được qua việc xử lý dữ liệu chụp CT được dùng làm dữ liệu ban đầu. Sau đó, sử dụng các phần mềm thiết kế 3D thông dụng hiện nay để xây dựng lại, làm mượt bề mặt và tái tạo lại để đạt được độ chính xác cho phép. Cuối cùng, từ mô hình đã được xử lý sẽ làm đầu vào để lập trình CAM cho công nghệ tạo mẫu nhanh. Vật liệu dùng cho tạo mẫu nhanh cũng được lựa chọn phù hợp với đặc điểm hoạt động của xương đảm bảo điều kiện có thể thay thế được trong cơ thể người.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT/PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Công nghệ thiết kế ngược

Quá trình sao chép một chi tiết, một cụm hoặc sản phẩm hiện có, mà không có bản vẽ, tài liệu hoặc mô hình máy tính được gọi là thiết kế ngược. Thiết kế ngược cũng được định nghĩa là quá trình lấy mô hình CAD hình học từ các điểm 3D thu được bằng cách quét, số hóa các bộ phận, sản phẩm hiện có. Quá trình thu thập dữ liệu số các thực thể vật lý của một thành phần, được gọi là kỹ thuật đảo ngược [3]. Công nghệ thiết kế ngược hiện nay đã được ứng dụng rất rộng rãi trong mọi lĩnh vực như: trong công nghiệp; trong hội họa; trong y tế [2].

2.2. Công nghệ thiết kế ngược trong cơ y sinh

Với sự đột phá của cơ thể con người đã đưa thiết kế ngược vào ứng dụng trong khoa học đời sống và trong các ngành công nghiệp thiết bị y tế, đặc biệt là trong việc cấy ghép các bộ phận nhân tạo vào cơ thể con người. Áp dụng hình ảnh được quét với phân tích phần tử hữu hạn trong kỹ thuật ngược giúp các kỹ sư xây dựng chính xác các phần tùy chỉnh phù hợp nhất với từng bệnh nhân. Các yêu cầu cơ bản cho công nghệ thiết kế ngược trong y tế là đặc điểm sinh lý của tế bào sống, cơ quan trên cơ thể con người và thông tin liên hệ giữa chúng. Trong công nghệ thiết kế ngược, các kỹ sư trước tiên phải xác định các vật liệu được sử dụng cho phần cần thay thế và thiết bị y tế đặc trưng, sau đó phải số hóa chính xác hình dạng hình học của bộ phận cơ thể và xác định quy trình chế tạo. Thiết kế ngược được sử dụng trong một số lĩnh vực y tế: nha khoa, máy trợ thính, đầu gối nhân tạo và tim, dụng cụ phẫu thuật và cây mô như cột sống, hông và đầu gối[3], đào tạo y học, khoa học thị giác và đo thị lực; chỉnh hình; xương giả; dụng cụ hỗ trợ điều trị và các vấn đề kỹ thuật khác [2].

2.3. Các bước ứng dụng thiết kế ngược trong cơ y sinh

Quá trình xây dựng lại mô hình trong cơ y sinh qua 4 giai đoạn cơ bản: (i). Chọn dạng dữ liệu đầu vào; (ii). Thu thập dữ liệu; (iii). Phân tích và xử lý dữ liệu; (iv). Tái tạo lại mô hình.

2.3.1. Chọn dạng dữ liệu

Dữ liệu đầu vào cho thiết kế ngược trong cơ y sinh có một số dạng cơ bản sau: hình ảnh mặt cắt 2D (dạng chụp cắt lớp vi tính - CT, hình ảnh chụp cộng hưởng từ - MRI) và hình ảnh dạng đám mây điểm (Point Cloud) [2].

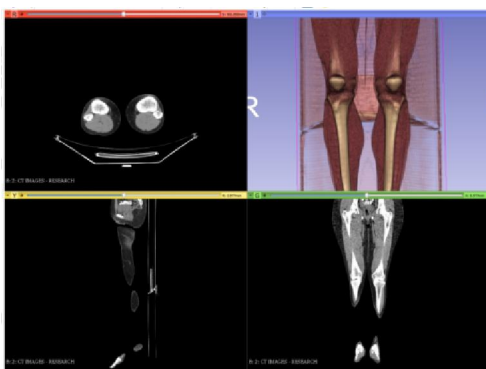
2.3.2. Thu thập dữ liệu

Có 2 phương pháp lấy dữ liệu là: phương pháp tiếp xúc và phương pháp không tiếp xúc. Phương pháp tiếp xúc có thể dùng máy CMM và máy CNC để số hóa bề mặt. Đối với phương pháp không tiếp xúc, hình dạng của đối tượng được thể hiện bằng hình ảnh mặt cắt ngang 2D, hình ảnh 3D dạng đám mây điểm. Trong hầu hết các ứng dụng y học phương pháp không tiếp xúc được sử dụng phổ biến hơn phương pháp tiếp xúc. Trong đó cũng có nhiều trường hợp bắt buộc phải sử dụng phương pháp không tiếp xúc như việc điều trị và nghiên cứu các bộ phận bên trong da như xương, tim mạch. Tuy nhiên, đối với ứng dụng mà yêu cầu độ chính xác cao, phương pháp tiếp xúc lại được sử dụng [2]. Một số thiết bị được sử dụng đối với phương pháp không tiếp xúc là: Máy chụp cắt lớp vi tính, máy chụp cộng hưởng từ, các dòng máy scan 3D hiện nay.

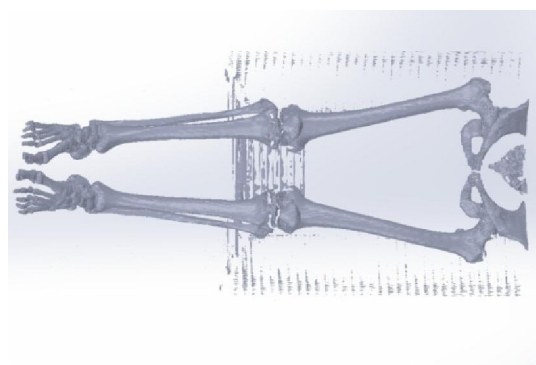
2.3.3. Phân tích và xử lý dữ liệu

Quá trình chế tạo các bộ phận thay thế trong y tế luôn yêu cầu xử lý ảnh đó là việc chuyển đổi ảnh CT thành các mô hình bề mặt 3D. Các mô hình bề mặt 3D này có thể được lưu trong một loạt các định dạng khác nhau. Hiện nay, định dạng phổ biến nhất được sử dụng là dạng *.STL. Mặc dù, về mặt lý thuyết có thể chuyển đổi hình ảnh CT thành các định dạng lát sau đó vẫn có thể sử dụng được cho việc tái tạo mô hình, nên có thể bỏ qua quá trình chuyển đổi sang định dạng *. STL [5]. Tuy nhiên việc này sẽ cho ra một mô hình không chính xác và các phần mềm CAD hiện nay sử dụng cho việc chế tạo vẫn yêu cầu định dạng *.STL. Bước quan trọng nhất trong quy trình này là xử lý mô hình 3D. Vì vậy, mục tiêu của nghiên cứu này là tìm hiểu và ứng dụng linh hoạt các tài liệu và phần mềm hiện có để xử lý hình ảnh CT để tái tạo lại mô hình xương ống chân ở người.

- Từ dữ liệu chụp cắt lớp vi tính (CT) sử dụng phần mềm chuyên dụng 3D-Slicer để dựng lại mô hình 3D từ các mặt cắt 2D (Hình 1-a,b). Vì đây là hình ảnh 3D được tạo lên từ các lát cắt 2D cho nên bề mặt của nó không được nhẵn, mịn (Hình 1-c) cho nên mô hình này cần phải được đem đi xử lý bề mặt.



a)



b)

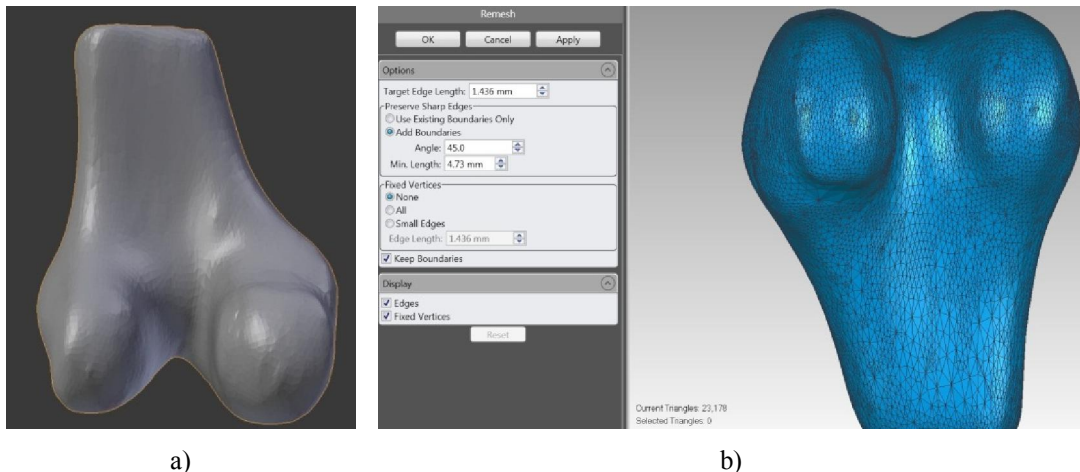


c)

Hình 1. Mô hình 3D lấy từ ảnh chụp CT

a) Hình ảnh qua phần mềm 3D-Slicer; b) Mô hình dạng file *.stl lấy trực tiếp từ ảnh cắt lớp CT qua phần mềm 3D-Slicer. c) Chất lượng bề mặt mô hình.

- Để làm mượt bề mặt, đầu tiên sử dụng phần mềm Blender để chỉnh sửa thô bên mặt. Ở đây, có thể cắt bỏ các phần không cần thiết, và các bề mặt hở. Cuối cùng sử dụng phần mềm Geomagic Studio 2012 để chỉnh sửa lại kích thước các mắt lưới, dạng lưới tam giác hay đa giác, để có thể ra một bề mặt gần giống nhất tinh bề mặt trước khi in 3D (Hình 2).



a)

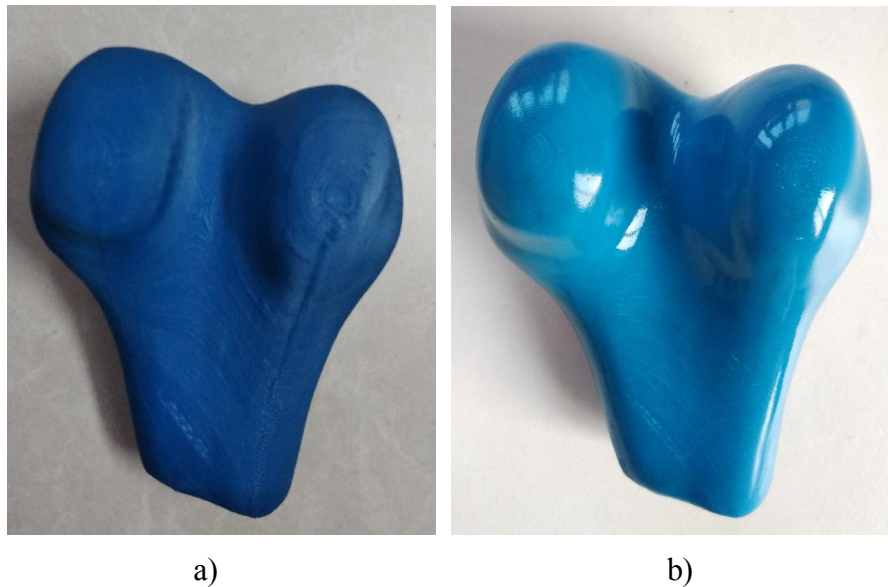
b)

Hình 2. Bề mặt của xương được xử lý qua các phần mềm.

a) Xử lý thô qua phần mềm Blender; b) Chỉnh sửa kích thước lưới qua phần mềm Geomagic Studio 2012

2.3.4. Chế tạo mô hình thay thế

Sau khi xử lý, mô hình thay thế có thể được chế tạo bằng phương pháp in 3D sau đó tùy vào yêu cầu về độ chính xác của bề mặt và giới hạn của phương pháp in 3D có thể phải xử lý lại bằng giấy mài, bột đánh bóng, sơn hoặc gia công lại trên máy CNC. Tuy nhiên, với công nghệ in 3D hiện đại như ngày nay và đặc biệt đối với những máy in 3D phục vụ trong lĩnh vực cơ y sinh thì sản phẩm in 3D có thể sử dụng trực tiếp mà không cần phải qua bước xử lý trên máy CNC [6]. Máy CNC có thể được sử dụng khi vật liệu chế tạo không cho phép in 3D hay sử dụng máy CNC để làm khuôn sau đó đúc ra mô hình thay thế [7].



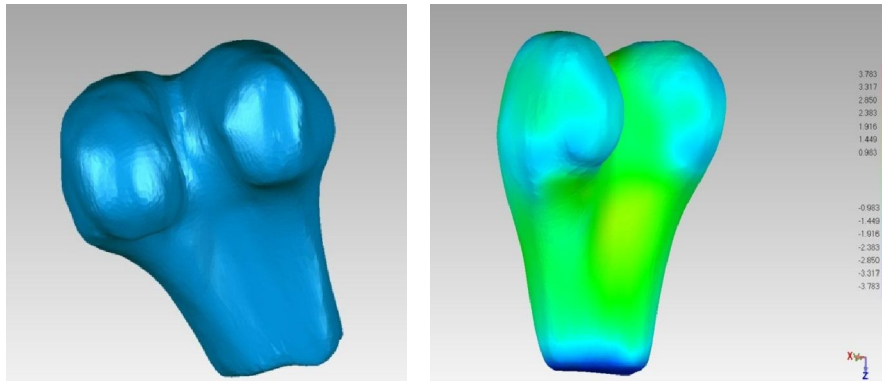
Hình 3. Mô hình sau khi chế tạo bằng phương pháp in 3D
a) Mẫu sau khi in 3D; b) Mẫu sau khi xử lý bề mặt

Mô hình thực sau khi chế tạo xong cần phải được kiểm tra độ chính xác so với mô hình 3D bằng cách scan lại bề mặt trên máy scan 3D, sau đó xử lý số liệu thu được để đánh giá sai số.

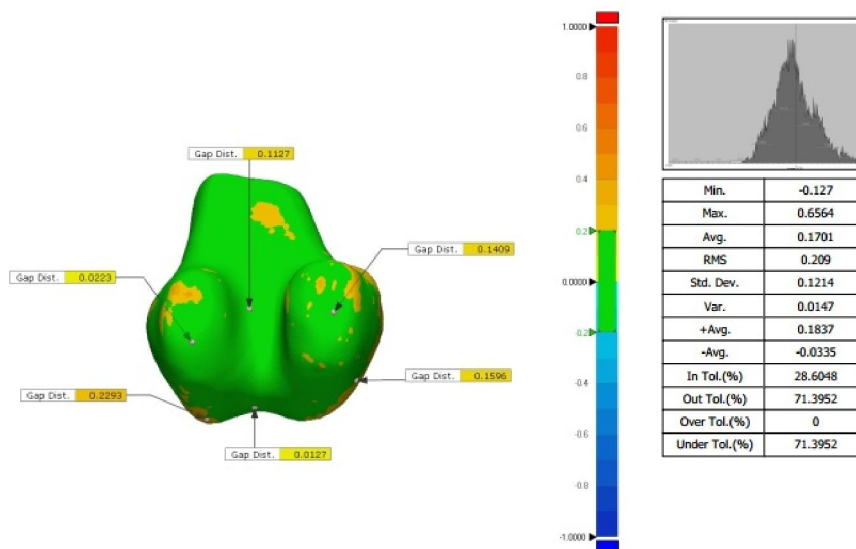
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trong 4 giai đoạn chính của quá trình ứng dụng công nghệ thiết kế ngược trong cơ y sinh thì giai đoạn 3 - giai đoạn xử lý dữ liệu - là quan trọng nhất. Ở giai đoạn này người dùng có thể linh hoạt sử dụng các phần mềm khác nhau để xử lý. Trong bài báo này, tác giả sử dụng 3 phần mềm chuyên dụng để xử lý một dữ liệu chụp CT đó là phần mềm 3D - Slicer chuyên dùng để đọc và dựng 3D trọng y học; phần mềm Blender là phần mềm xử lý thô đơn giản trong thiết kế đồ họa và cuối cùng dùng phần mềm Geomagic Studio là một công cụ mạnh được ứng dụng rộng rãi trong thiết kế ngược không chỉ trong y học mà còn trong hội họa và kỹ thuật. Sau khi xử lý xong, chất lượng bề mặt được cải thiện hơn rất nhiều. Sai số của mô hình sau xử lý so với mô hình được xây dựng lại từ ảnh chụp CT nằm trong khoảng $-1,25 \div +1,25\text{mm}$ (Hình 4). Sai số này phù hợp với kích thước của các lát cắt khi chụp CT, chiều dày các lát cắt thường từ 0,3mm đến hàng chục mm tùy vào chế độ chụp và thể hệ máy [8-9]. Tùy theo các chế độ chụp CT mà sai số của nó sẽ khác. Sai số trong quá trình xử lý ảnh hưởng không đáng kể trong trường hợp này. Tuy nhiên về cơ bản mô hình sau xử lý được khôi phục trên cơ sở hình ảnh CT nên yêu cầu về độ nhẵn, mịn của mô hình là quan trọng nhất trong bước này.

Mô hình 3D sau khi được chế tạo bằng phương pháp in 3D và xử lý bề mặt bằng phương pháp đánh giấy ráp và sơn bề mặt, kết quả sau khi so sánh với mô hình 3D thể hiện trong hình 5 và bảng 1. Các kết quả đó cho thấy sai số khá nhỏ miễn dung sai màu xanh nằm trong khoảng 0,04 - 0,06mm. Một số vị trí có hình dạng bề mặt phức tạp có sai số lớn hơn (khoảng 0,15 - 0,6mm). Hình 5 và bảng 1 có thể được sử dụng làm cơ sở để đánh và đưa ra các khuyến cáo khi sử dụng hoặc lựa chọn phương pháp chế tạo mẫu hợp lý hơn trong từng trường hợp áp dụng.



Hình 4. Sai số của mô hình sau xử lý



Hình 5. Kết quả so sánh mẫu sau chế tạo và mô hình 3D

Bảng 1. Sai số một số điểm trên mô hình

| Name | Reference Pos. | | | Measured Pos. | | | Gap Dist. | Tolerance |
|----------------|----------------|----------|----------|---------------|----------|----------|-----------|-----------|
| | X | Y | Z | X | Y | Z | | |
| 3D Compare1: 1 | 0 | -50 | 398.6396 | 0.0199 | -49.9869 | 398.5833 | 0.0611 | ±0.2 |
| 3D Compare1: 2 | -15 | -45 | 395.3863 | -15.0133 | -44.98 | 395.3338 | 0.0578 | ±0.2 |
| 3D Compare1: 3 | -15 | -10 | 406.6187 | -14.9949 | -9.9968 | 406.5693 | 0.0498 | ±0.2 |
| 3D Compare1: 4 | -25 | 15 | 409.2257 | -25.1212 | 15.0308 | 409.1182 | 0.1649 | ±0.2 |
| 3D Compare1: 5 | 37.7595 | -0.2484 | 419.5974 | 37.9738 | -0.3021 | 419.449 | 0.2661 | ±0.2 |
| 3D Compare1: 6 | 35 | 10 | 412.6763 | 35.4301 | 9.8704 | 412.3036 | 0.5836 | ±0.2 |
| 3D Compare1: 7 | 1.3335 | 18.0334 | 437.0328 | 1.329 | 17.9991 | 437.0425 | -0.0359 | ±0.2 |
| Min. | -25.0000 | -50.0000 | 395.3863 | -25.1212 | -49.9869 | 395.3338 | -0.0359 | |
| Max. | 37.7595 | 18.0334 | 437.0328 | 37.9738 | 17.9991 | 437.0425 | 0.5836 | |

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày phương pháp ứng dụng công nghệ thiết kế ngược trong cơ y sinh. Cụ thể là sử dụng một mô hình giải phẫu xương người để làm đối tượng ứng dụng và nghiên cứu. Bằng việc thu thập dữ liệu dạng hình ảnh CT, qua 3 phần mềm: 3D - Slicer; Blender; Geomagic

Studio đã cho ra một mô hình 3D với chất lượng bề mặt tốt, đảm bảo độ nhẵn, mịn. Kết quả nghiên cứu được sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho quá trình in 3D và làm cơ sở để so sánh độ chính xác của sản phẩm in 3D, từ đó đưa ra các kết luận để có hay không đạt tiêu chuẩn thay thế lên cơ thể người.

DANH MỤC DANH PHÁP/KÝ HIỆU

| | |
|-------|------------------------------------------------------------------------|
| CT | : Chụp cắt lớp vi tính (Computed Tomography) |
| CAD | : Thiết kế có sự hỗ trợ của máy tính (Computer-Aided Design) |
| CAM | : Chế tạo có sự trợ giúp của máy tính (Computer-Aided Manufacturing) |
| NURBS | : Dạng tổng quát của đường và mặt cong (Non-uniform Rational B-Spline) |
| MRI | : Hình ảnh chụp cộng hưởng từ (Magnetic Resonance Imaging) |
| CMM | : Máy đo tọa độ (Coordinate Measuring Machine) |

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Binkai Zhang, Xiang Wang , Xiao Liang, Jinjin Zheng, 2016. *3D Reconstruction of human bones based on dictionary learning*.
- [2]. L.C.Hieu, J.V.Sloten, L.T.Hung, L.Khanh, S.Soe, N.Zlatov, L.T.Phuoc, P.D.Trung, 2010. *Medical reverse engineering applications and methods*.
- [3]. Vinesh Raja and Kiran J.Fernandes (Eds.), 2008. *Reverse Engineering an Industrial Perspective*. Chapter 1: Introduct to Reverse Engineering, 2-3.
- [4]. Information in <https://www.embodi3d.com>.
- [5]. Maureen van Eijnatten, Roelof van Dijk, Johannes Dobbe, Geert Streekstra, Juha Koivisto, Jan Wolff., 2017. *CT image segmentation methods for bone used in medical additive manufacturing*.
- [6]. Kuang-Hua Chang., 2015. *e-Design: Computer-Aided Engineering Design*. Chapter 14: Rapid Prototyping, pp 743-786.
- [7]. Lê Quang Bình, Đặng Văn Nghin, Trần Đại Nguyên, Huỳnh Hữu Nghị, Bùi Anh Quốc. *Gia công khuôn đúc cho mảnh cấy ghép y học trên máy phay CNC từ dữ liệu chụp hình cắt lớp*.
- [8]. <http://www.benhvien103.vn/vietnamese/bai-giang-chuyen-nganh/xquang/bai-giang-tin-chi-cat-lop-vi-tinh/1188/>
- [9]. Hà Hoàng Kiệm, *Nguyên lý của chụp cắt lớp vi tính*. <http://hahoangkiem.com/tu-van-va-chia-se-thong-tin/nguyen-ly-cua-chup-cat-lop-vi-tinh-ctscanner-334.html>.