

THIẾT BỊ HỖ TRỢ QUÉT CĂNG BÀN CHÂN BA CHIỀU VỚI MÁY QUÉT QUAY 360 ĐỘ SỬ DỤNG ÁNH SÁNG TRẮNG

THREE-DIMENSIONAL ANKLE FOOT SCANNING DEVICE WITH ROTATIONAL 360 DEGREE SCANNER USING WHITE-LIGHT

Lê Phan Hoàng Chiêu^{1,2}

¹Bộ môn Quá trình và Thiết bị, Khoa Kỹ thuật Hóa học,

Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

²DCSELab, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Kỹ thuật quét 3D vùng căng bàn chân là rất quan trọng để thiết kế và sản xuất nẹp cổ bàn chân (AFO) phù hợp với từng bệnh nhân. Nẹp không phù hợp là một trong những nguyên nhân gây đau và các bệnh liên quan đến chấn thương ở chân. Bài báo này tập trung trình bày một thiết bị mới để đo hình dạng 3D của vùng căng bàn chân sử dụng ánh sáng cấu trúc. Phần chính của thiết bị bao gồm một máy quét 3D, cụm cơ cấu cơ khí xoay 360 độ và cụm giá đỡ chân bệnh nhân. Các phép thử cũng đã được thực hiện để chứng minh hiệu quả khi sử dụng thiết bị hỗ trợ quét 3D.

Từ khóa: Máy quét 3D xoay 360 độ; Nẹp cổ bàn chân.

ABSTRACT

3D scanning of the ankle foot is crucial for the correct design and manufacture of an Ankle Foot Orthosis (AFO) for each patient. Not suitable orthosis are one of the major causes of pain and injuries relate to the legs. This paper focuses on presenting a new device to measure the 3D shape of the ankle foot region using structural-light. The main part of device includes a 3D scanner, a 360 degree rotating mechanical assembly and a supporting assembly for the patient. Tests have also been performed to demonstrate the effective of using the device that supports 3D scanning.

Keywords: 360 degree rotating scanner; Ankle Foot Orthosis.

1. TỔNG QUAN

Dụng cụ chỉnh hình cổ bàn chân (AFO) được sử dụng rộng rãi trong điều trị phục hồi chức năng ở người. Nẹp tác dụng lực lên chi thể của bệnh nhân giúp điều chỉnh và phục hồi tầm vận động và các hoạt động hàng ngày, đặc biệt là dáng đi [1].

Nẹp cổ bàn chân được sản xuất truyền thống bao gồm các bước chính như bó bột, đúc thạch cao, hút nhựa và tinh chỉnh, đòi hỏi kỹ năng và kinh nghiệm. Ngoài ra, toàn bộ quá trình sản xuất này phải được lặp lại nếu nẹp AFO bị hư hỏng hoặc tình trạng của bệnh nhân bị thay đổi [2]. Việc lặp lại quá trình sản xuất dẫn đến nhiều hạn chế như gây khó chịu cho bệnh nhân khi bó bột nhiều lần; việc lưu trữ

khuôn thạch cao khó khăn và ảnh hưởng môi trường.

Để giảm thiểu công việc bó bột nhiều lần và lưu trữ hình dạng chi thể của bệnh nhân, công nghệ quét 3D đã được ứng dụng để giải quyết vấn đề này.

Hình dạng 3D chính xác của vùng cẳng bàn chân là vô cùng quan trọng trong việc chế tạo nẹp AFO. Sự vừa vặn giữa nẹp AFO và chi thể của từng bệnh nhân là một yếu tố thoải mái quan trọng khi sử dụng [3].

Hiện nay, có nhiều loại máy quét 3D cầm tay có sẵn trên thị trường, sử dụng một số phương pháp phổ biến như máy chiếu và camera. Máy chiếu ánh sáng trắng được sử dụng để chiếu các điểm ảnh lên bề mặt cẳng bàn chân và thu thập hình dạng của chi thể bệnh nhân. Phương pháp này được gọi là phương pháp ánh sáng cấu trúc.

Máy quét cầm tay thường có độ chính xác cao, tốc độ thu thập dữ liệu tương đối nhanh và có tính linh hoạt cao. Tuy nhiên, đối với đối tượng quét là chi thể của bệnh nhân, việc sử dụng máy quét cầm tay cũng gặp một số hạn chế: (1) phạm vi và không gian quét bị giới hạn; (2) việc di chuyển máy quét xung quanh vùng cẳng bàn chân của bệnh gặp khó khăn; (3) trong một số trường hợp phụ thuộc vào kinh nghiệm của kỹ thuật viên, dữ liệu quét có thể không đạt chất lượng do bị rung động hoặc nhiễu.

Với những hạn chế như trên, tác giả Munan Yuan cùng cộng sự đã sử dụng 4 cảm biến camera Intel RealSense đặt xung quanh 4 góc của vật thể cần quét biên dạng [4]. Tuy nhiên, để giảm thiểu chi phí sản xuất, tác giả Ju-hwan Lee và cộng sự đã nghiên cứu thiết kế chế tạo thiết bị quét 3D bàn chân với cơ cấu

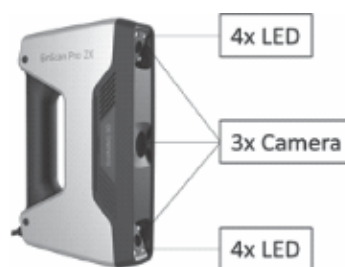
tĩnh tiến và xoay 360 độ sử dụng cảm biến laser [3]. Sau đó, một thiết bị bao gồm cả cảm biến laser và camera kết hợp với cơ cấu xoay 360 độ đã được nghiên cứu bởi tác giả Bostjan Novak và các cộng sự [5].

Nhiều nghiên cứu ở nước ngoài tập trung vào vùng bàn chân trong thiết kế giày dép. Việc phát triển thiết bị quét cho vùng cẳng bàn chân phục vụ cho sản xuất dụng cụ chỉnh hình cũng đang được nghiên cứu ở các nước phát triển. Tuy nhiên, tại Việt Nam, nhóm nghiên cứu chưa tìm thấy công bố nào về thiết bị quét này, cũng như đơn vị nghiên cứu thiết kế, chế tạo thiết bị này.

Bài báo này tập trung trình bày một thiết bị mới để đo hình dạng 3D của vùng cẳng bàn chân sử dụng ánh sáng cấu trúc. Phần chính của thiết bị bao gồm một máy quét 3D, cụm cơ cấu cơ khí xoay 360 độ và cụm giá đỡ chân bệnh nhân. Các phép thử cũng đã được thực hiện để chứng minh hiệu quả khi sử dụng thiết bị hỗ trợ quét 3D.

Bài toán thiết kế:

Thiết kế thiết bị hỗ trợ quét 3D vùng cẳng bàn chân giúp cho việc lấy hình dạng 3D dễ dàng và nhanh chóng. Thiết bị có thể điều chỉnh chiều cao sao cho phù hợp với từng bệnh nhân. Thời gian quét tối đa cho một bệnh nhân là 2 phút. Thiết bị có chế độ vận hành thủ công và tự động được thiết lập sẵn.



Hình 1. Máy quét 3D cầm tay, Model Einscan Pro 2X

2. THIẾT KẾ THIẾT BỊ HỖ TRỢ QUÉT 3D VÙNG CẢNG BÀN CHÂN

2.1. Máy quét 3D cầm tay

Phương pháp được đề xuất dựa trên máy quét 3D cầm tay, Model Einscan Pro 2X thuộc hãng Shining. Thiết bị, như hình 1, bao gồm 8 đèn LED và 3 camera.

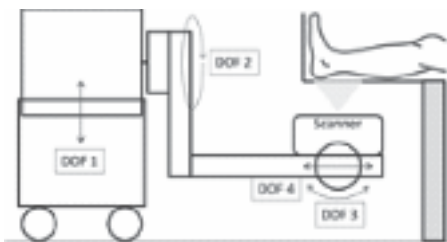
Máy quét này có thể cung cấp dữ liệu với độ chính xác tối đa là 0,05 mm, tốc độ quét là 30 fps hoặc 1,5 triệu điểm/giây trong diện tích quét tối đa là 225 x 170 mm. Khoảng cách hiệu dụng đạt 100 mm [6].

Để có thể điều chỉnh dữ liệu quét và xây dựng mô hình, nhóm nghiên cứu đã sử dụng phần mềm Einscan Pro.

Máy quét được kết nối tới máy tính thông qua phần mềm Einscan Pro đã được cài đặt.

2.2. Sơ đồ thiết bị

Sơ đồ thiết bị được thể hiện như hình 2, bao gồm nhiều cụm cơ cấu cơ khí với chức năng riêng biệt được lắp ráp thành thiết bị hoàn chỉnh.



Hình 2. Sơ đồ thiết bị

Trong đó, DOF 1 thể hiện bậc tự do điều chỉnh chiều cao; DOF 2 thể hiện bậc tự do xoay 360 độ; DOF 3 và DOF 4 thể hiện bậc tự do góc quét.

a. Cụm điều chỉnh chiều cao

Việc điều chỉnh chiều cao giúp cho thiết bị có thể quét nhiều đối tượng và điều chỉnh tiêu cự phù hợp với đối tượng quét.

Để dễ sử dụng và điều khiển, cơ cấu cơ khí được sử dụng cho cụm điều chỉnh chiều cao là xy lanh điện, như hình 3. Xy lanh điện sẽ phụ thuộc chủ yếu vào tải trọng của hệ.

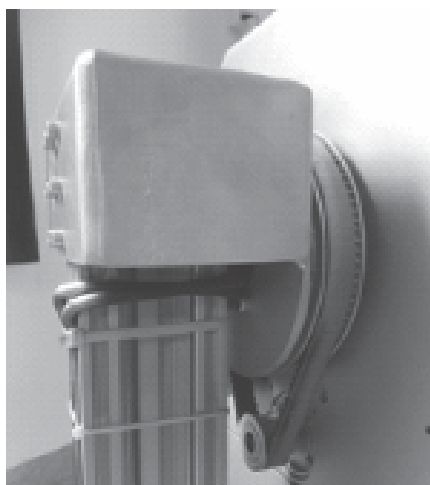
Xy lanh điện được điều khiển thủ công bằng nút nhấn. Kết hợp với các ổ bi trượt xung quanh, giúp cho hệ có thể di chuyển dễ dàng hơn trong quá trình làm việc.



Hình 3. Xy lanh điện

b. Cụm xoay 360

Như đã được đề cập về hạn chế trong phần Tổng quan, cụm xoay 360 sẽ khắc phục được hạn chế so với sử dụng máy quét bằng tay. Cụm xoay sử dụng động cơ servo và cơ cấu bánh đai giảm tốc để tăng mô-men xoắn và điều khiển chính xác vị trí của tay quay, như hình 4. Ngoài ra, tốc độ quay của tay quay có thể được điều chỉnh trong khoảng 1-3 vòng/phút. Khi chạy không tải, tốc độ quay sẽ đạt tối đa. Trong quá trình quét, tốc độ quay tùy thuộc vào mức độ ánh sáng trong môi trường làm việc.



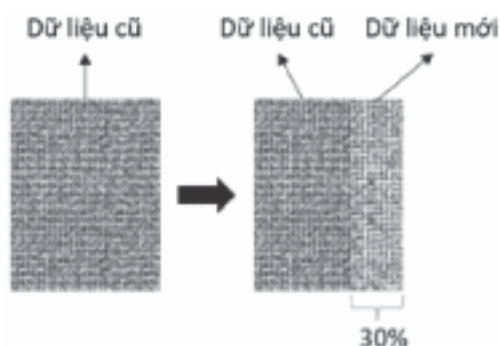
Hình 4. Cụm tay quay xoay 360

Công suất động cơ:

- Khối lượng máy quét là $m_s = 1,13$ kg.
- Khối lượng tay quay là $m_{tq} = 5$ kg.
- ⇒ Công suất động cơ (KW) là $P = 0,963$ KW.

Tốc độ quay của tay quay ảnh hưởng đến tốc độ di chuyển của máy quét xung quanh chi thể. Nguyên tắc chung khi di chuyển vùng lấy mẫu là phần trăm diện tích dữ liệu mới không nên vượt quá 30% so với tổng diện tích vùng lấy mẫu, biểu diễn như hình 5.

Trong một số trường hợp, việc di chuyển quá nhanh hoặc bị cản bởi vật cản, dữ liệu sẽ bị gián đoạn.

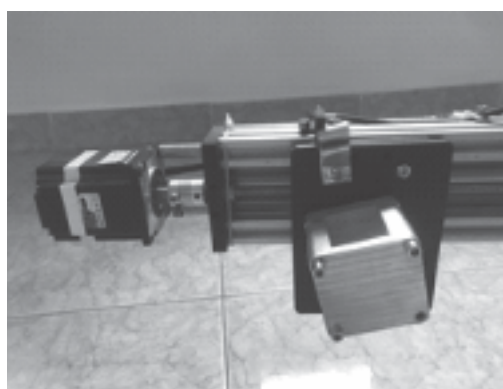


Hình 5. Nguyên tắc sử dụng máy quét

Tuy nhiên, khi sử dụng phần mềm Einscan Pro, dữ liệu có thể bổ sung tiếp tục nhưng vẫn theo nguyên tắc quét ở trên. Tính năng này chỉ có trên một số phần mềm của các hãng.

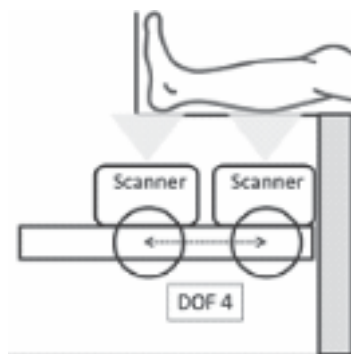
c. Cụm điều chỉnh góc quét

Đây là cụm quan trọng nhất của thiết bị. Cụm này sẽ được lắp đặt máy quét và có 2 bậc tự do bao gồm tịnh tiến và xoay, như hình 6.



Hình 6. Cụm điều chỉnh góc quét

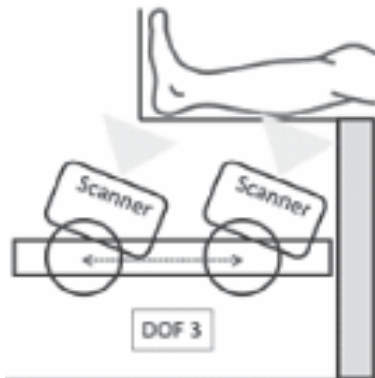
Bậc tự do tịnh tiến được thực hiện bằng trục vít me kết hợp với các cảm biến hành trình, giúp cho máy quét có thể di chuyển từ cẳng chân cho đến bàn chân.



Hình 7. Hành trình tịnh tiến của máy quét

Việc điều chỉnh hành trình của máy quét vẫn còn một số hạn chế nhất định. Do vậy, bậc

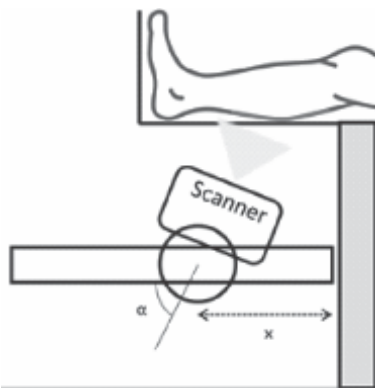
tự do xoay cũng được tích hợp. Khi đó, phạm vi quét có thể được điều chỉnh đến toàn bộ vùng cẳng bàn chân và mặt lòng bàn chân.



Hình 8. Góc xoay của máy quét

Do máy quét sử dụng ánh sáng trắng nên để có thể lấy được dữ liệu hình dạng 3D của mặt lòng bàn chân, tấm vật liệu thủy tinh đã được lắp đặt vào cụm hỗ trợ chi thể. Ánh sáng trắng sẽ xuyên qua tấm thủy tinh và lấy được hình dạng 3D của mặt lòng bàn chân.

Sau quá trình nghiên cứu thử nghiệm, 3 vị trí góc quét tối ưu nhất được sử dụng cho chương trình quét tự động như bảng 1.



Hình 9. Biến số góc quét

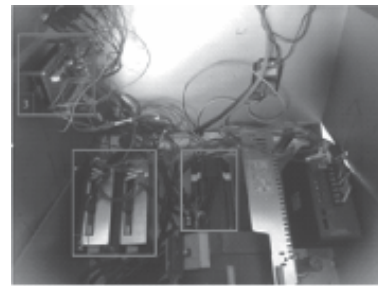
Trong đó: x là biến số khoảng cách tính từ đầu của tay quay; α là biến số góc nghiêng tính từ trục ngang của tay quay.

Bảng 1. Vị trí tối ưu góc quét

Vị trí	x (mm)	α (deg)
1	0	10
2	95	90
3	200	45

d. Bộ điều khiển

Mạch điều khiển sử dụng vi điều khiển STM32 series làm bộ xử lý trung tâm.

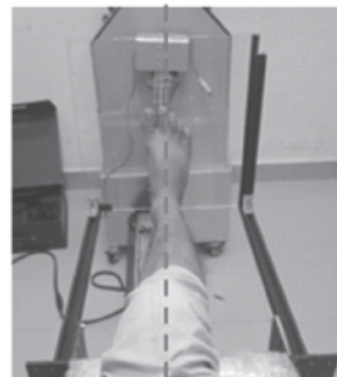


Hình 10. Sơ đồ bộ điều khiển

Trong đó: (1) là động cơ servo; (2) là driver cho động cơ; (3) là bộ xử lý STM32.

3. QUY TRÌNH QUÉT 3D KHI SỬ DỤNG THIẾT BỊ

Bước 1: Cho bệnh nhân ngồi vào ghế. Đặt chân bệnh nhân lên cụm gác chân sao cho chân bệnh nhân vào vị trí tâm máy.



Hình 11. Căn chỉnh vị trí

Bước 2: Sử dụng phần mềm quét 3D, tạo dự án mới với cấu hình như sau:

- Chế độ quét: Cầm tay – Handheld Rapid Scan.

- Không hiển thị màu – Non-texture.

- Chế độ ghép nối dữ liệu: đặc tính của vật – Feature.

- Chế độ sáng: Bình thường – Classic.

- Chế độ phân giải: Trung bình – Medium.

Bước 3: Nhấn nút Start trên phần mềm máy tính xem trước chế độ quét, vùng quét. Căn chỉnh vị trí chân người sao cho vùng quét được nhiều dữ liệu nhất.

Bước 4: Nhấn nút Start trên phần mềm máy tính để bắt đầu lấy dữ liệu quét.

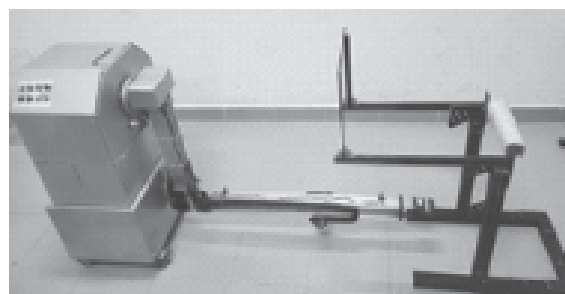
Bước 5: Nhấn nút Start trên thiết bị để tiến hành chạy chương trình tự động tại ba vị trí quét.

Bước 6: Kiểm tra dữ liệu quét trên phần mềm.

Trường hợp dữ liệu thể hiện đầy đủ, đạt khoảng 95% diện tích của vùng cẳng bàn chân, tiến hành lưu dữ liệu.

4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ

Thiết bị đã được chế tạo và kiểm tra tại DCSELab, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.



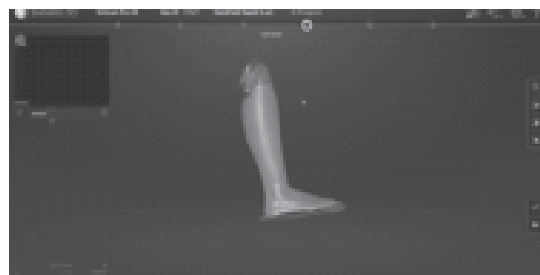
Hình 12. Thiết bị hỗ trợ quét 3D

Sau đó, thiết bị đã được thử nghiệm tại Xưởng Dụng cụ chỉnh hình thuộc Bệnh viện Phục hồi chức năng và Điều trị Bệnh Nghề nghiệp TP. Hồ Chí Minh.



Hình 13. Thử nghiệm thiết bị

Kết quả thời gian quét được cải thiện đáng kể, giảm chỉ còn 2 phút 22 giây so với cách quét cầm tay truyền thống. Dữ liệu quét được đảm bảo chất lượng đồng đều.



Hình 14. Dữ liệu quét cẳng bàn chân sau khi quét

5. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày một thiết bị mới hỗ trợ quét 3D vùng cẳng bàn chân, phục vụ cho quá trình thiết kế, chế tạo nẹp cổ bàn chân. Một số yêu cầu thiết kế đã được đặt ra để khắc phục các hạn chế đang tồn đọng. Ba vị trí góc quét tối ưu đã được xây dựng từ kết quả thực nghiệm. Bộ điều khiển của thiết bị bao gồm chế độ thủ công và chế độ tự động sử dụng ba vị trí góc quét đã tìm được. Thiết bị cũng đã được thử nghiệm trên một số chỉ thể khác nhau và đạt được một số kết quả nhất định.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Sở Khoa học và Công nghệ Thành phố Hồ Chí Minh trong khuôn khổ Đề tài “Nghiên cứu thiết kế, chế tạo nẹp cổ bàn chân bằng công nghệ in 3D”. ❖

Ngày nhận bài: **01/8/2023**

Ngày phản biện: **30/8/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Albert Shih et. al. (2017), *Cloud-based Design and Additive Manufacturing of Custom Orthoses*, Elsevier, Vol. 63, pp. 156-160.
- [2]. Yong Ho Cha et. al. (2017), *Ankle-Foot Orthosis Made by 3D Printing Technique and Automated Design Software*, Applied Bionics and Biomechanics, Vol. 2017, pp. 1-6.
- [3]. Ju-hwan Lee et. al. (2021), *Complete 3D Foot Scanning System Using 360 Degree Rotational and Translational Laser Triangulation Sensors*, Springer, pp. 1-13.
- [4]. Munan Yuan et. al. (2020), *3D Foot Scanning Using Multiple RealSense Cameras*, Springer.
- [5]. Bostjan Novak et. al. (2014), *Three-Dimension Foot Scanning System with a Rotational Laser-Based Measuring Head*, Journal of Mechanical Engineering.
- [6]. Shining 3D Company (2021), “*User Manual Einscan Pro 2X&HD Series*”.