

MÔ PHỎNG PHẦN MỤC RUỖNG TRONG THÂN CÂY BẰNG KỸ THUẬT SIÊU ÂM

Nguyễn Văn Quý¹, Nguyễn Hồng Hải², Phạm Thanh Hà²,
Li Meng³, Nguyễn Thanh Tuấn¹, Nguyễn Văn Hợp¹

¹Trường Đại học Lâm nghiệp – Phân hiệu Đồng Nai

²Trường Đại học Lâm nghiệp

³Trường Đại học Nông Lâm Tây Bắc, Trung Quốc

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.2022.6.068-078>

TÓM TẮT

Xác định và mô tả chính xác được vị trí và hình dạng của các khuyết tật trong thân cây hoặc gỗ như mục ruỗng, mắt chết, nứt vách... có ý nghĩa rất lớn đối với công tác bảo tồn cổ thụ, đánh giá phẩm chất cây xanh đô thị, gỗ thương mại, hỗ trợ tu sửa các hạng mục công trình văn hóa và di tích lịch sử bằng gỗ. Nghiên cứu này mô phỏng mô hình ba chiều (3D) của phần mục ruỗng trong thân cây dựa trên dữ liệu thu được bằng kỹ thuật siêu âm. Dữ liệu ban đầu của phần mục ruỗng ở các vị trí độ cao thân cây khác nhau được cung cấp từ thiết bị TRU Tree Radar, xử lý và nội suy trong môi trường MATLAB. Mô hình 3D của phần mục ruỗng được mô phỏng theo phương pháp biểu diễn bề mặt và biểu diễn thể tích. Kết quả cho thấy, phương pháp biểu diễn bề mặt có thể thực hiện nhanh chóng việc mô phỏng mô hình 3D của phần mục ruỗng nhưng thông tin không đầy đủ và kém trực quan. Trong khi đó, với tốc độ hiển thị hình ảnh 3D chậm hơn nhưng phương pháp biểu diễn thể tích mô phỏng chính xác và chi tiết phần mục ruỗng trong thân cây có cấu trúc phức tạp. Nghiên cứu đã thử nghiệm thành công và đề xuất điều chỉnh giá trị của các thông số trong thuật toán tuyến tính hóa thang đo độ xám, nhằm nâng cao mức độ trực quan cho mô hình 3D của phần mục ruỗng thân cây, đồng thời thiết kế một giao diện đồ họa phục vụ cho quá trình giải đoán hình ảnh của các khuyết tật trong thân cây hoặc gỗ.

Từ khóa: Bảo tồn cây cổ thụ, khuyết tật gỗ, mô phỏng thực tại ảo, phần mềm MATLAB, sóng radar.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mục ruỗng gỗ là một hiện tượng tự nhiên thường gặp (Li et al., 2017). Trong quá trình sinh trưởng và phát triển, cây gỗ bị ảnh hưởng bởi các yếu tố bất lợi từ môi trường hoặc bị các loại nấm bệnh và côn trùng gây hại, từ đó có thể xuất hiện mục ruỗng gỗ (Xiao et al., 2018). Ngoài ra, ở các cây cổ thụ sống lâu năm, phần gỗ lõi thân cây không được cung cấp oxy và chất dinh dưỡng sẽ bị chết dần, phần mô chết này sau khi bị vi khuẩn tấn công hoặc nước mưa thấm lâu ngày sẽ bị mục ruỗng (Kang, 2019). Giai đoạn đầu tiên của quá trình mục ruỗng thân cây thường bắt đầu từ bên trong (Wu et al., 2018). Mặc dù một số cây vẫn phát triển bình thường nhưng phần mạch gỗ (xylem) ở lõi của chúng có thể đã bị phá hủy và tạo thành khoang rỗng (Kang, 2019). Các khuyết tật trong thân cây như mục ruỗng, biến màu, hang sâu, nứt vách làm giảm chất lượng gỗ, thất thoát và lãng phí tài nguyên (Liu, 2018).

Phương pháp kiểm tra gỗ không phá hủy là phương pháp kiểm tra phân gỗ bên trong mà không làm ảnh hưởng đến cấu trúc gỗ, sự sinh trưởng và phát triển của thực vật (Xiao et al., 2018). Hiện nay, phương pháp kiểm tra gỗ

không phá hủy được phân loại thành nhiều kỹ thuật khác nhau như chụp cắt lớp điện toán, sử dụng hồng ngoại, kỹ thuật siêu âm (sử dụng sóng siêu cao tần, sóng ứng suất, sóng radar), sử dụng máy đo độ rung và kỹ thuật trở kháng điện sinh học (Schad et al., 1996; Nicolotti et al., 2003; Su, 2007; Deflorio et al., 2008; You, 2010; Arciniegas et al., 2014; Allison & Wang, 2015). TRU Tree Radar là một trong số những thiết bị dùng để thực hiện phương pháp kiểm tra gỗ không phá hủy. Thiết bị này có nhiều ưu điểm khi sử dụng như tính cơ động cao, an toàn cho thực vật, nhanh chóng cho kết quả và đã được nhiều nhà khoa học trên thế giới sử dụng trong các nghiên cứu của họ. Ví dụ, Liu (2017) đã sử dụng thiết bị TRU Tree Radar để nghiên cứu quy luật hình thành các khuyết tật trong các thân cây cổ thụ của loài Trắc bách (*Platyclusus orientalis*); Li và cộng sự (2018) đã xây dựng hàm ước tính hằng số điện môi bằng cách sử dụng thuật toán Hilbert và đo biên độ sóng phản xạ của sóng radar do thiết bị TRU Tree Radar truyền vào thân cây; Chen và cộng sự (2017) sử dụng thiết bị TRU Tree Radar để dò tìm và đánh giá định lượng khoang rỗng trong thân cây của loài Thông mã vĩ (*Pinus massoniana*). Alani và

cộng sự (2020) cũng sử dụng thiết bị này để đánh giá cấu trúc bên trong của phần tổn thương thân cây, các tác giả này đã đề xuất thêm một phương pháp mới trong việc dò tìm vị trí của phần mục ruỗng.

Công nghệ mô phỏng thực tại ảo hay mô hình 3D của vật thể là một trong những hướng nghiên cứu quan trọng trong lĩnh vực thị giác máy tính (Dong & Ke, 2019). Cùng với sự phát triển không ngừng của đồ họa và kỹ thuật xử lý ảnh số, các ứng dụng của công nghệ mô phỏng thực tại ảo được mở rộng từ lĩnh vực công nghệ thông tin và y tế sang nhiều ngành khác nhau. Trong khoảng 25 năm qua, nghiên cứu mô phỏng mô hình 3D của các khuyết tật bên trong thân cây đã thu hút được sự quan tâm của nhiều nhà khoa học trên thế giới. Bhandarkar và cộng sự (1999, 2006) đã đề xuất hệ thống nhằm phát hiện, phân loại và xây dựng mô hình 3D của các khuyết tật trong thân cây với dữ liệu thu được bằng kỹ thuật chụp cắt lớp điện toán. Một số ít tác giả mô phỏng mô hình 3D của phần mục ruỗng với dữ liệu thu được bằng kỹ thuật đo quang học chuyển động (Zhang & Sun, 2008; Chen et al., 2017). Theo các tài liệu và ấn phẩm khoa học đã được công bố, các nghiên cứu trước đây hầu hết đều sử dụng dữ liệu thu được bằng kỹ thuật chụp cắt lớp điện toán; mô hình 3D mô phỏng của các nghiên cứu này được đánh giá là kém trực quan, đòi hỏi người làm công tác giải đoán hình ảnh phải có bề dày kinh nghiệm mới có thể đưa ra nhận định và đánh giá chính xác về những tổn thương bên trong thân cây hoặc gỗ (Zhang et al., 2010). Những năm gần đây, xu hướng sử dụng thiết bị TRU Tree Radar ở các nghiên cứu về khuyết tật trong thân cây tăng lên đáng kể (Kang, 2019). Tuy nhiên, nghiên cứu mô phỏng mô hình 3D phục vụ cho giải đoán khuyết tật trong thân cây dựa trên dữ liệu thu được từ thiết bị TRU Tree Radar cho đến hiện tại vẫn chưa được thực hiện. Các nhà nghiên cứu đều phải thừa nhận rằng, mô phỏng mô hình 3D của phần mục ruỗng trong thân cây khi sử dụng thiết bị TRU Tree Radar là rất khó (Chen et al., 2017). Mặt khác, trong một số trường hợp, do cấu trúc và hình dạng của các khuyết tật trong thân cây hoặc gỗ rất phức tạp, việc sử dụng các phương pháp cũ (chụp cắt lớp điện toán, sử dụng hồng ngoại) cần phải trải qua thêm nhiều công đoạn xử lý mới có thể nắm bắt được đặc điểm và cấu trúc

của các khuyết tật trong thân cây hoặc gỗ; điều này làm phát sinh thêm chi phí không đáng có và tốn thời gian của người thực hiện nghiên cứu khoa học và làm công tác bảo tồn (Zhang & Khoshelham, 2020).

Trong nghiên cứu này, mô hình 3D của phần mục ruỗng trong thân cây loài Tuyết tùng (*Cedrus deodara* (Roxb. Ex D.Don) G.Don) được mô phỏng dựa trên hai phương pháp là biểu diễn bề mặt và biểu diễn thể tích. Dữ liệu ban đầu của phần mục ruỗng được thu bằng thiết bị TRU Tree Radar. Ba câu hỏi nghiên cứu sẽ được giải đáp, bao gồm: (i) Giá trị của các thông số độ lệch và hệ số góc phù hợp nhất trong thuật toán tuyến tính hóa thang đo độ xám giúp nâng cao mức độ trực quan cho mô hình mô phỏng của phần mục ruỗng thân cây? (ii) Hai phương pháp biểu diễn bề mặt và thể tích có khác nhau về thời gian hiển thị hình ảnh, dung lượng dữ liệu của mô hình mô phỏng hay không? (iii) Xác định thể tích phần mục ruỗng thân của đối tượng nghiên cứu? Ngoài ra, kết quả quan trọng nhất mà nghiên cứu hướng tới là thiết kế một giao diện đồ họa có thể sử dụng ở các nghiên cứu mô phỏng mô hình 3D của các khuyết tật trong thân cây hoặc gỗ. Do đó, nghiên cứu này không chỉ có ý nghĩa trong việc làm phong phú thêm các phương pháp mô phỏng mô hình phần mục ruỗng, các khuyết tật trong thân cây mà còn có ý nghĩa cả trong thực tiễn sản xuất, nghiên cứu khoa học và các vấn đề bảo tồn có liên quan.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Địa điểm nghiên cứu

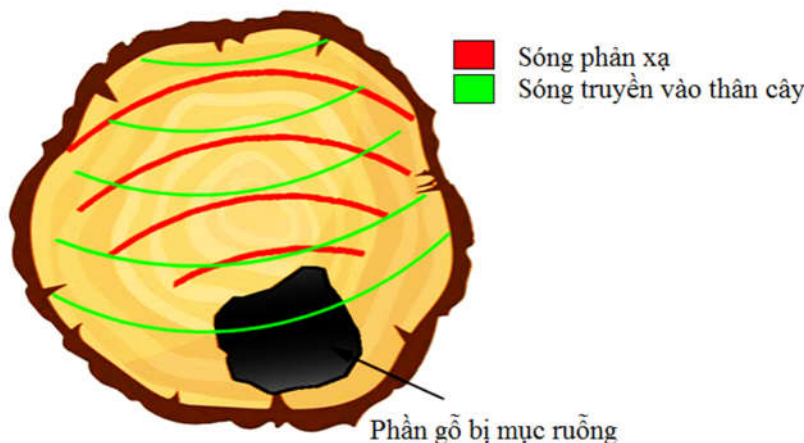
Nghiên cứu được thực hiện tại Trường Đại học Nông lâm Tây Bắc - Trung Quốc. Trường Đại học này thuộc địa giới hành chính của quận Dương Lăng, thành phố Hàm Dương, tỉnh Thiểm Tây, Trung Quốc (tọa độ địa lý từ 34°14'-34°20' vĩ độ Bắc và 107°59'08"-107°64'03" kinh độ Đông).

2.2. Thiết bị sử dụng trong nghiên cứu

Tổ hợp thiết bị TRU Tree Radar bao gồm máy phát radar xuyên đất TerraSIRch™, máy chủ SIR-3000, hệ thống truyền tín hiệu radar dải tần số 900 MHz và phần mềm phân tích dữ liệu sóng radar TreeWin (<http://www.treeradar.com/>). Quá trình sử dụng TRU Tree Radar để siêu âm cây bao gồm hai bước độc lập là thu thập dữ liệu hiện trường và phân tích dữ liệu sóng radar. Khi thiết bị TRU

Tree Radar tiếp cận cây, ăng ten thu phát radar sẽ truyền sóng điện từ tần số cao vào thân cây và nhận lại sóng phản xạ của các cấu trúc sóng khác nhau. Quá trình truyền sóng và nhận tín hiệu phản xạ không làm ảnh hưởng đến cấu trúc

gỗ cũng như sự sinh trưởng và phát triển của thực vật, do đó kỹ thuật này còn được biết đến với tên gọi là phương pháp kiểm tra gỗ không phá hủy (Hình 1).



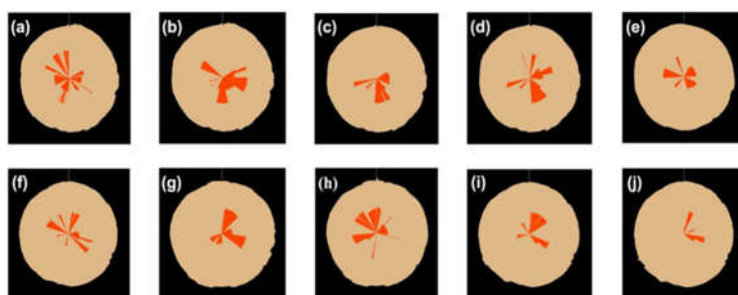
Hình 1. Nguyên lý truyền sóng radar và nhận tín hiệu phản xạ

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp điều tra và thu thập dữ liệu

Nghiên cứu này lấy loài Tuyết tùng (*Cedrus deodara* (Roxb. Ex D.Don) G.Don) thuộc họ Thông (Pinaceae), cây nằm trong khuôn viên của Viện Lâm sinh thuộc trường Đại học Nông lâm Tây Bắc, Thiểm Tây, Trung Quốc làm đối tượng thu thập dữ liệu nghiên cứu. Trong quá trình thu thập dữ liệu, việc truyền sóng vào thân cây được thực hiện từ phía dưới lên phía trên ở các độ cao thân cây khác nhau. Dữ liệu sóng

radar phản hồi thu được ở mười vị trí của thân cây Tuyết tùng trong phạm vi 1 m chiều cao thân cây được sử dụng để phân tích dữ liệu ban đầu. Sau khi sàng lọc và xử lý khuếch đại, hình dạng của sóng phản xạ và các đặc điểm bất thường của chúng được phản ánh một cách rõ ràng. Hình ảnh hai chiều (2D) của phần mục ruỗng thân cây ở mười vị trí tương ứng đã được tạo ra bằng phần mềm TreeWin (Hình 2). Chuỗi hình ảnh 2D của phần mục ruỗng này sau đó tiếp tục được xử lý và dùng để xây dựng mô hình 3D.



Hình 2. Hình ảnh 2D phần mục ruỗng trong thân cây Tuyết tùng
a-j: 10 hình ảnh mặt cắt ngang thân cây ở các độ cao từ 10 đến 100 cm; màu đỏ là phần gỗ đã bị mục ruỗng và màu hồng nhạt là phần gỗ lành

2.3.2. Phương pháp xử lý dữ liệu

a. Xử lý ảnh ban đầu

Xử lý thang độ xám cho các hình ảnh 2D

Trong quá trình truyền sóng vào thân cây, thao tác của người thực hiện có thể không đồng nhất, điều này gây nên những sai sót nhất định, làm cho dữ liệu thu được bị sai lệch. Phương

pháp phân loại thông tin và xử lý thang đo độ xám của hình ảnh đã được sử dụng để khắc phục sự cố ngoài mong muốn này. Trong xử lý thang đo độ xám cho hình ảnh 2D của phần mục ruỗng, phương pháp trung bình có trọng số đã được áp dụng theo công thức của Lu (2003) & Liu et al. (2018):

$$R = G = B = 0,3 \quad (1)$$

$$R + 0,59 G + 0,11 B$$

Trong đó:

R, G và B đại diện cho ba màu cơ bản là màu đỏ, lục và lam.

Nâng cao độ phân giải cho hình ảnh 2D

Từ kết quả xử lý thang độ xám, hình ảnh 2D của phần mục ruộng được nâng cao độ phân giải bằng phương pháp tuyến tính hóa. Trong đó, các giá trị điểm ảnh (pixel) của hình ảnh 2D sẽ được chuyển đổi theo hàm tuyến tính để nâng cao mức độ phân giải, đồng thời cải thiện độ tương phản tổng thể của hình ảnh. Để chuyển đổi thang đo độ xám, nghiên cứu sử dụng công thức theo Quan và Wang (2017):

$$y = k \cdot x + d \quad (\text{với } 0 \leq y \leq 255) \quad (2)$$

Trong đó:

x là giá trị thang đo độ xám ban đầu;

y là giá trị thang đo độ xám đã thay đổi;

k là độ lệch và d là hệ số góc của hàm tuyến tính.

Nội suy liên lớp cho hình ảnh của phần mục ruộng

Không giống như sử dụng thiết bị chụp cắt lớp điện toán, dữ liệu thu được bằng thiết bị TRU Tree Radar bị ảnh hưởng bởi thao tác của người điều khiển. Điều này thường dẫn đến khoảng cách giữa hai hình ảnh thu được của hai vị trí gần nhau (hai lớp hình ảnh) có sự khác biệt so với dữ liệu thực tế, mô hình 3D khi được mô phỏng sẽ không giống với vật thể thực. Việc nội suy liên lớp hình ảnh 2D thu được của phần mục ruộng thân cây có thể loại bỏ sai sót trong quá trình thu thập dữ liệu (Xia et al., 2017). Trong đó, phương pháp nội suy tuyến tính được sử dụng để nội suy liên lớp giữa các hình ảnh đã được nâng cao độ phân giải, nhằm tạo ra các hình ảnh mới và công đoạn này tiếp tục được thực hiện lần thứ hai giữa các hình ảnh đã qua xử lý lần đầu, điều này có thể loại bỏ triệt để hiện tượng phân cấp thứ bậc giữa các lớp hình ảnh. Quá trình nội suy liên lớp các hình ảnh 2D đã được nâng cao độ phân giải được thực hiện dựa trên ước tính giá trị thang đo độ xám của phương pháp nội suy tuyến tính với sự hỗ trợ của phần mềm MATLAB phiên bản R2022b.

Giả sử rằng hai hình ảnh là $S_k(x_i, y_i, z_k)$ và

$S_{k+1}(x_i, y_i, z_{k+1})$ đại diện cho ảnh được nội suy, $S_{k+d}(x_i, y_i, z_{k+d})$ đại diện cho hình ảnh trung gian được xây dựng bằng phép nội suy liên lớp. Trong đó, p_k và p_{k+1} đại diện cho hai điểm tương ứng trên S_k và S_{k+1} , khi đó giá trị màu xám $f(p_{k+d})$ của điểm p_{k+d} trên ảnh trung gian S_{k+d} sẽ được tính như sau (Li, 2008):

$$f(p_{k+d}) = (1-d)f(p_k) + df(p_{k+1}) \quad (3)$$

b. Phương pháp biểu diễn bề mặt

Phương pháp biểu diễn bề mặt là phương pháp tạo ra các đơn vị hình học trung gian bằng cách trích xuất các điểm từ mặt đẳng lập của dữ liệu hình ảnh 2D đã qua nội suy liên lớp (Xu et al., 2001). Sau đó, các đơn vị hình học này cùng với các đường bao của các mặt đẳng lập sẽ được kết nối bằng công nghệ đồ họa máy tính nhằm tạo ra mô hình 3D của vật thể. Trong phương pháp biểu diễn bề mặt, nhiều thuật toán khác nhau có thể được lựa chọn. Sự khác biệt của các thuật toán là sử dụng loại đơn vị hình học nào trong việc kết nối các mặt đẳng lập (Xia et al., 2017). Hiện nay, thuật toán được sử dụng nhiều nhất là thuật toán phát hiện cạnh Canny với các đơn vị hình học trung gian là các tam giác (Li, 2008). Trong thuật toán Canny, các đường bao của các mặt đẳng lập được trích xuất chứa các đỉnh tam giác và chúng sẽ được ghép nối lại với nhau để tạo nên mô hình 3D của vật thể (Liu, 2006).

c. Phương pháp biểu diễn thể tích

Phương pháp biểu diễn thể tích là phương pháp sử dụng trực tiếp các đơn vị điểm ảnh tích (voxel) và cung cấp cho chúng một giá trị độ sáng và độ trong suốt nhất định (Zeng et al., 2004). Các điểm ảnh tích được chiếu lên mặt phẳng bằng cách sử dụng nguyên tắc quang học. Trong phương pháp biểu diễn thể tích, mỗi điểm ảnh tích được coi là một hạt vật chất và chúng có thể truyền, phát tán hiệu hoặc phản xạ ánh sáng (Xu, 2001). Các hạt vật chất này được chiếu hoặc đổ bóng tới một mặt phẳng tích hợp bằng cách lấy các giá trị độ trong suốt và giá trị màu trung bình theo các đặc điểm của chúng (Levoy, 1988). Giả sử ánh sáng được chiếu tại điểm r theo hướng $\vec{\omega}$ trong dữ liệu thể tích với phạm vi S^2 , công thức độ sáng sẽ được tính toán như sau (Deng et al., 2012):

$$\vec{\omega} \times \nabla L(r, \vec{\omega}) = -\phi_l(r, \vec{\omega}) + \varepsilon(r, \vec{\omega}) + \int_{S^2} k(r, \vec{\omega}' \rightarrow \vec{\omega}) L[(r, \vec{\omega})] d\omega \quad (4)$$

Trong đó:

$\phi_i(r)$ là hệ số hấp thụ;

$\varepsilon(r, \vec{\omega})$ là phương trình tán xạ;

và $k(r, \vec{\omega} \rightarrow \vec{\omega})$ là hạt nhân tán xạ.

Các bước mô phỏng mô hình 3D bằng phương pháp biểu diễn thể tích trong môi trường MATLAB được thực hiện theo 5 bước, cụ thể như sau:

(1) Xây dựng tập dữ liệu 3D: nghiên cứu sử dụng hàm “imread” để đọc 10 hình ảnh 2D ban đầu của 10 vị trí thu sóng radar trên thân cây và 27 hình ảnh 2D thu được bằng phép nội suy liên lớp. Sau đó, 37 hình ảnh này được dùng để tạo tập dữ liệu 3D bằng hàm “cat” với kích thước $X \times Y \times 37$.

(2) Tiền xử lý dữ liệu: tập dữ liệu 3D được xây dựng bởi hàm “cat” thường có dung lượng khá lớn do đó sẽ làm giảm tốc độ hiển thị hình ảnh. Nghiên cứu đã sử dụng hàm “reduce the volume” để loại bỏ một số điểm ảnh hoặc lớp dữ liệu mà không làm ảnh hưởng đến chất lượng đồ họa và hàm “smooth” để nâng cao chất lượng hình ảnh 3D.

(3) Xây dựng đường bao ba chiều: hàm “isosurface” được sử dụng để tính toán phép chiếu tích lũy của tập dữ liệu 3D trên mặt phẳng hiển thị và hàm “patch” được sử dụng để tạo ra các đối tượng đồ họa là một hoặc nhiều đa giác kết nối các lớp hình ảnh.

(4) Thiết lập các thông số và điều chỉnh hình ảnh hiển thị: để đảm bảo mô hình 3D của phần mục ruỗng trong thân cây có thể hiển thị một cách trực quan nhất, nghiên cứu đã thử nghiệm và điều chỉnh độ trong suốt của hình ảnh mô phỏng thông qua các giá trị của độ lệch và hệ số góc trong hai hàm “patch” và “alpha” bằng cách chỉ định giá trị từ 0 (hoàn toàn trong suốt) đến 1 (không trong suốt). Sau khi thử nghiệm và xác định được độ trong suốt tối ưu (các giá trị phù hợp nhất), hàm “lighting” được sử dụng để xác định sự phân bố của ánh sáng hiển thị trên hình

ảnh, các hàm “view” và “axis” được sử dụng để hiển thị hình ảnh cuối cùng của mô hình mô phỏng.

(5) Trong quá trình xử lý dữ liệu, phần gỗ bị mục ruỗng và phần gỗ lành có sự tương phản rất cao về giá trị thang đo độ xám, do đó nghiên cứu áp dụng phương pháp phân tích điểm ảnh để có thể định lượng phần gỗ bị mục ruỗng một cách chính xác nhất bằng hàm “impxel”. Phương pháp phân tích điểm ảnh có thể thu được tỉ lệ phần trăm phần gỗ bị mục ruỗng so với thể tích gỗ của 1 m thân cây điều tra và thu thập dữ liệu.

Trong nghiên cứu này, do đối tượng nghiên cứu là loài cây Tuyết tùng có giá trị cảnh quan, cây nằm trong khuôn viên của Trường Đại học Nông lâm Tây Bắc - Trung Quốc, vì vậy việc cắt hạ và bỏ thân cây để so sánh kết quả mô phỏng và thực tế khó có thể thực hiện một cách thuận lợi. Để khắc phục vấn đề này, nghiên cứu sử dụng đối tượng thay thế là một cá thể cây của loài Bồ kết trung hoa (*Gleditsia sinensis* Lam.) có phần mục ruỗng lộ thiên. Cây Bồ kết trung hoa được lựa chọn cũng nằm trong khuôn viên của Trường Đại học Nông lâm Tây Bắc - Trung Quốc. Tất cả các bước xây dựng mô hình 3D của phần ruỗng cho cây Bồ kết trung hoa cũng được thực hiện như đối với loài Tuyết tùng. Nghiên cứu sử dụng phương pháp đánh giá của chuyên gia để kiểm chứng kết quả mô phỏng của mô hình 3D phần mục ruỗng.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tiền xử lý hình ảnh thông qua điều chỉnh thang đo màu xám

Sau khi sử dụng thuật toán trung bình có trọng số để chia tỉ lệ màu xám của hình ảnh 2D ban đầu, hình ảnh thu được thể hiện trong Hình 3. Kết quả cho thấy, hình ảnh đã qua xử lý có độ sáng và độ tối phù hợp, các góc cạnh của phần mục ruỗng thể hiện tương đối rõ ràng, độ tương phản tổng thể nhìn chung là cao hơn so với hình ảnh gốc, thuận tiện cho việc nâng cao chất lượng hình ảnh hơn nữa.



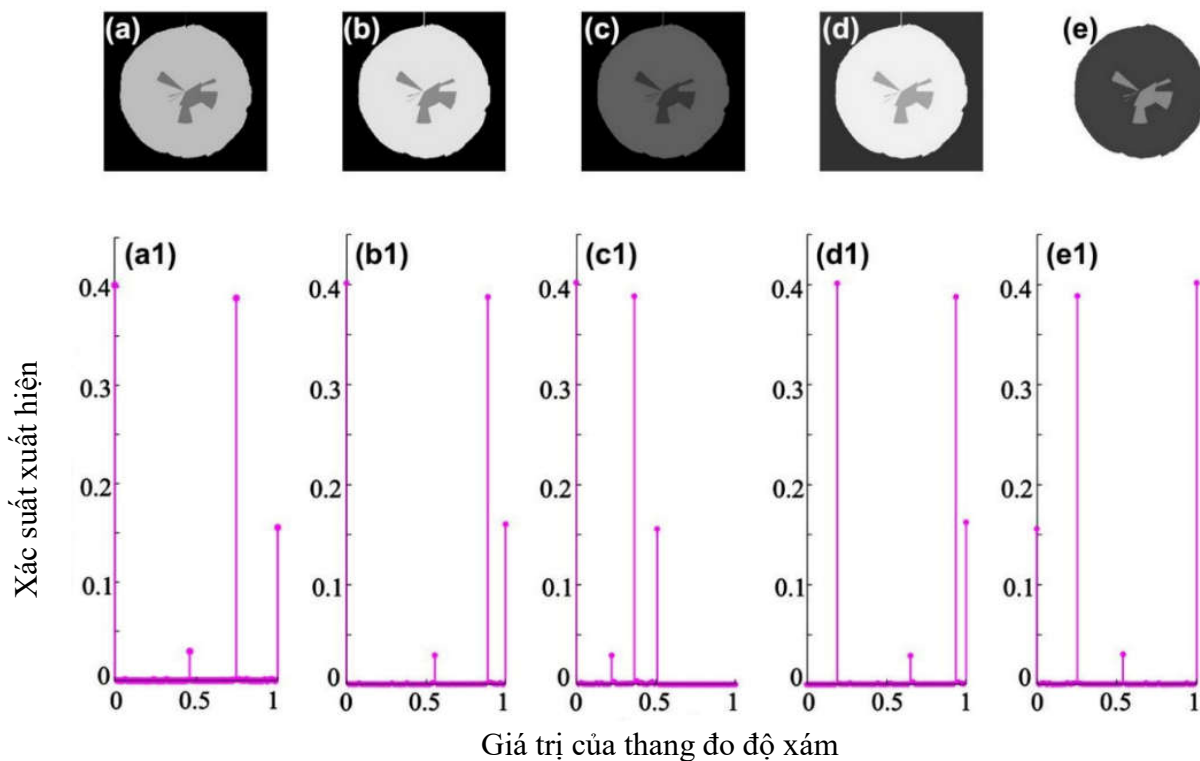
Hình 3. Kết quả tiền xử lý ảnh 2D phần mục ruỗng trong thân cây Tuyết tùng

a: hình ảnh chưa xử lý, b: hình ảnh đã qua xử lý

3.2. Nâng cao chất lượng của hình ảnh đã qua tiền xử lý

Trong công đoạn nâng cao chất lượng của hình ảnh đã qua tiền xử lý, nghiên cứu thử nghiệm điều chỉnh các giá trị của hai thông số k và d trong thuật toán tuyến tính hóa thang đo màu xám. Kết quả cho thấy, chất lượng hình ảnh ở lần xử lý thứ 2 có sự khác biệt khi các giá trị của 2 thông số k và d thay đổi. Cụ thể, so với hình ảnh gốc (Hình 4a) thì khi điều chỉnh giá trị của thông số $k > 1$, giá trị điểm ảnh của hình ảnh tăng lên đáng kể, phần gỗ mục ruỗng với các góc cạnh không thể nhận lẫn và có sự khác biệt rất rõ ràng giữa màu đen và màu trắng so với các phần gỗ không bị mục ruỗng (Hình 4b). Sự khác biệt này còn được thể hiện trong Hình 4b1, xác suất xuất hiện của các mức tương ứng với màu đen, trắng và xám chênh lệch nhau là rất cao (thang đo màu xám bị thu hẹp từ 0,85-1,00). Khi điều chỉnh giá trị của thông số k nằm trong khoảng từ 0-1 thì chất lượng của hình ảnh ngược lại so với giá trị $k > 1$. Lúc này, độ tương phản và độ sáng của hình ảnh giảm xuống rất thấp, góc cạnh của phần gỗ mục ruỗng khó phân biệt

và thể hiện kém trực quan (Hình 4c). Đồ thị tương ứng với giá trị $0 < k < 1$ cũng cho thấy sự phân bố giá trị của màu xám chủ yếu tập trung ở một vùng; sự phân bố các mức độ xám của hình ảnh trở nên hẹp hơn với giá trị thang đo màu xám nằm trong khoảng 0,4-0,5 (Hình 4c1). Khi giá trị $k = 1$, hình ảnh là ảnh ban đầu đã qua tiền xử lý nhưng độ sáng được nâng cao (Hình 4d) và độ sáng của hình ảnh lúc này tỉ lệ thuận với giá trị của thông số d . Kết quả này chỉ ra rằng, sự thay đổi về giá trị của thông số d đã làm tăng giá trị điểm ảnh lên một mức nhất định và đồ thị phân bố giá trị màu xám có xu hướng lệch sang phải, các giá trị thang đo độ xám tập trung chủ yếu ở mức $> 0,5$ (Hình 4d1). Khi giá trị của $k < 0$, vùng sáng trong ảnh đã qua tiền xử lý bị tối đi, trong khi vùng tối được làm sáng lên, đây là hiệu ứng hiển thị ngược (Hình 4e) và đồ thị phân bố giá trị màu xám cũng bị đảo chiều (Hình 4e1). Từ các kết quả thử nghiệm cho thấy, chất lượng của hình ảnh đã qua tiền xử lý tốt nhất là ở giá trị $k = 1,3$ và $d = 0$ khi sử dụng phương pháp tuyến tính hóa cho thang đo độ xám.



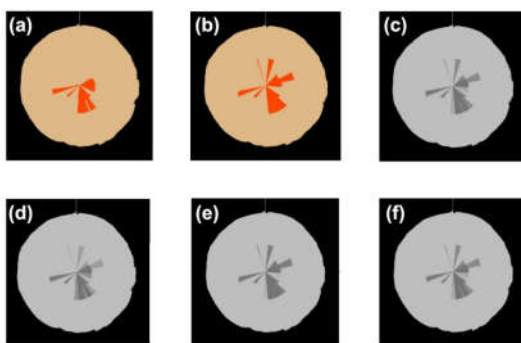
Hình 4. Kết quả thử nghiệm điều chỉnh độ tương phản của hình ảnh 2D

*a và a1: ảnh gốc; b và b1: giá trị $k = 1,3$ và $d = 0$; c và c1: giá trị $k = 0,5$ và $d = 0$;
d và d1: giá trị $k = 1$ và $d = 50$; e và e1: giá trị $k = -1$ và $d = 255$*

3.3. Nội suy hình ảnh

Hình ảnh nội suy liên lớp để tạo mô hình 3D của phần mục ruỗng là các lớp hình ảnh ban đầu (lớp trên – Hình 5a) và các lớp hình ảnh đã được nâng cao chất lượng ảnh (lớp dưới – Hình 5b). Ở lần nội suy liên lớp đầu tiên, hình ảnh nội suy và hình ảnh các lớp (lớp trên và lớp dưới) vẫn có sự khác biệt đáng kể, chúng có hiện tượng phân bậc, kết quả này là không lý tưởng (Hình 5c). Ở lần nội suy liên lớp tiếp theo, sự khác biệt giữa hình ảnh các lớp đã được cải thiện một phần, kết quả là hình ảnh nội suy giống với hình ảnh lớp trên và lớp dưới (Hình 5f). Việc nội suy liên lớp các hình ảnh mặt cắt ngang theo thứ tự của phần mục ruỗng thân cây ở các độ cao khác

nhau sẽ làm tăng số lượng hình ảnh cũng như cải thiện độ chính xác của mô hình 3D sau này (Zhang et al., 2008). Trong mô phỏng mô hình 3D, phương pháp nội suy hình ảnh thường được thực hiện trên máy tính mà không phải là các máy trạm đi kèm với thiết bị TRU tree radar, bởi thực hiện trên các máy trạm thì thời gian xử lý sẽ lâu hơn rất nhiều (Chen et al., 2017). Tuy nhiên, để đảm bảo độ chính xác và có thể kiểm chứng sự khác biệt giữa các phương pháp, nghiên cứu thực hiện nội suy liên lớp xen kẽ nhau trên cả máy tính và máy trạm, điều này có thể vừa cải thiện tốc độ xử lý vừa nâng cao độ chính xác của mô hình 3D được mô phỏng.

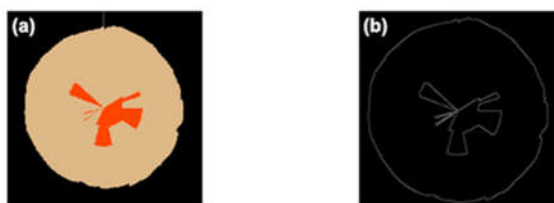


Hình 5. Kết quả nội suy hình ảnh 2D phần mục ruỗng trong thân cây Tuyết tùng
a và b lần lượt là hình ảnh lớp trên và lớp dưới được nội suy; c là ảnh trung gian thu được bằng nội suy tuyến tính; d và e là ảnh lớp trên và lớp dưới thu ở lần nội suy đầu tiên; f là hình ảnh nội suy thu được ở lần thứ hai

3.4. Biểu diễn bề mặt

Phương pháp biểu diễn bề mặt có yêu cầu rất cao trong việc phát hiện cạnh của vật thể và nó có thể được thực hiện bằng nhiều toán tử dò cạnh khác nhau như Roberts, Prewitt, Sobel hoặc Canny (Kang, 2019). Trong nghiên cứu này, toán tử dò cạnh của vật thể là Canny đã được lựa chọn do nó có nhiều ưu điểm như độ

chính xác cao và tốc độ xử lý tương đối nhanh hơn so với các toán tử khác (Xia et al., 2017). Kết quả cho thấy, đường bao của phần mục ruỗng trong thân cây tương đối rõ ràng và hoàn chỉnh, cụ thể đường bao và các góc cạnh của phần mục ruỗng không bị che mờ và đứt quãng (Hình 6b).



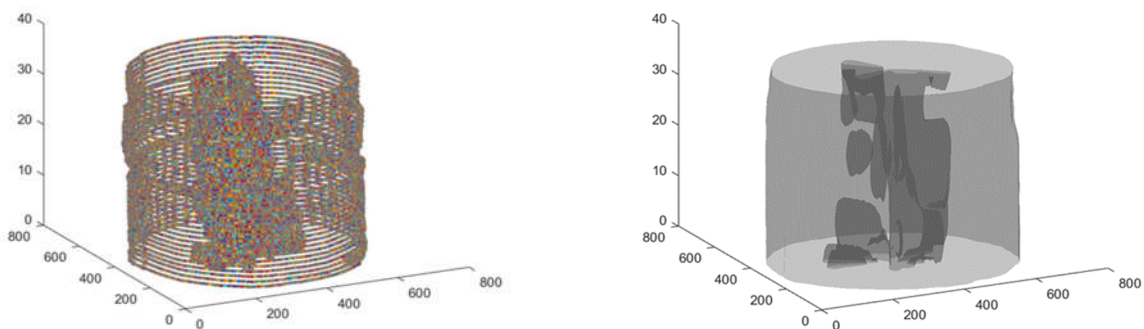
Hình 6. Kết quả phát hiện cạnh; a là ảnh gốc và b là ảnh phát hiện cạnh

Hình ảnh 3D được mô phỏng bằng phương pháp biểu diễn bề mặt khi ghép nối các đường

đồng mức được thể hiện trong Hình 7a. Khi sử dụng phương pháp này để mô phỏng mô hình

3D của vật thể, sự tương ứng giữa các đường đồng mức là vô cùng quan trọng. Nếu có nhiều hơn một đường đồng mức giữa hai lớp liền kề, cần xem xét các đường đồng mức nào nên được sử dụng. Khi sự khác biệt của các đường đồng mức ở hai lớp liền kề lớn thì độ khó trong việc ghép nối sẽ rất cao, vì vậy việc lựa chọn một phương pháp nội suy thích hợp là vô cùng quan trọng. Dữ liệu sử dụng trong phương pháp biểu diễn bề mặt chỉ là một phần của toàn bộ dữ liệu gốc đã qua xử lý. Do đó, phương pháp biểu diễn bề mặt có ưu điểm là khối lượng tính toán ít,

chiếm dụng bộ nhớ máy tính nhỏ (500 MB), tốc độ xử lý nhanh (5 phút), có thể thực hiện mô phỏng mô hình 3D một cách dễ dàng. Tuy nhiên, phương pháp biểu diễn bề mặt đòi hỏi độ chính xác cao của việc phát hiện cạnh, do đó hiệu quả hiển thị thường không lý tưởng đối với một số hình ảnh 3D mà phần mục ruỗng có cấu trúc phức tạp. Điều này dẫn đến thông tin về cấu trúc phần mục ruỗng bị hạn chế và mới chỉ là thông tin bề ngoài, không thuận tiện cho việc quan sát cũng như phân tích sâu về các tổn thương trong thân cây hoặc gỗ.



Hình 7. Mô hình 3D phần mục ruỗng thân cây Tuyết tùng được thể hiện bằng phương pháp biểu diễn bề mặt (hình bên trái) và biểu diễn thể tích (hình bên phải)

3.5. Biểu diễn thể tích

Không giống như phương pháp biểu diễn bề mặt, ưu điểm của phương pháp biểu diễn thể tích là không yêu cầu mặt cắt chính xác từ hình ảnh 2D của dữ liệu ban đầu. Phương pháp biểu diễn thể tích xử lý từng điểm ảnh trong các tập dữ liệu thể tích riêng biệt và cuối cùng là mô phỏng lại hình ảnh 3D. Kết quả mô phỏng mô hình 3D phần mục ruỗng thân cây bằng phương pháp biểu diễn thể tích được thể hiện trong Hình 7b với phần mục ruỗng được xác định thông qua phương pháp điểm ảnh, chiếm tỉ lệ 32,3% tổng thể tích của 1 m thân cây. Dựa trên kết quả đánh giá của chuyên gia, phương pháp biểu diễn thể tích được nhận xét có thể khôi phục hình dạng phần mục ruỗng trong thân cây từ các góc độ nhỏ nhất, đồng thời việc điều chỉnh độ trong suốt đã giúp tăng cường hiệu ứng hiển thị của mô hình mô phỏng. Do phương pháp biểu diễn thể tích cần tính toán các giá trị của từng điểm ảnh trong dữ liệu nên khối lượng tính toán tương đối lớn, làm giảm tốc độ hiển thị của mô hình (thời gian xử lý trung bình 20 phút, dung lượng

dữ liệu khoảng 1 GB). Trong trường hợp muốn thay đổi góc hiển thị của mô hình 3D thì toàn bộ quá trình biểu diễn thể tích sẽ bắt đầu lại từ đầu. Chính vì nguyên nhân này mà phương pháp biểu diễn thể tích đòi hỏi máy tính cần phải có cấu hình cao. Mặc dù tốc độ xử lý của phương pháp biểu diễn thể tích chậm hơn so với phương pháp biểu diễn bề mặt, nhưng các thông tin của phần mục ruỗng thân cây được giữ lại tương đối đầy đủ, mô hình 3D của phần mục ruỗng được hiển thị rõ ràng và không bị che lấp bởi các đường đồng mức. Phương pháp biểu diễn thể tích có thể mô phỏng chính xác phần mục ruỗng trong thân cây có cấu trúc phức tạp, thuận tiện cho việc quan sát và phân tích sâu hơn ở các nghiên cứu về khuyết tật trong thân cây hoặc gỗ.

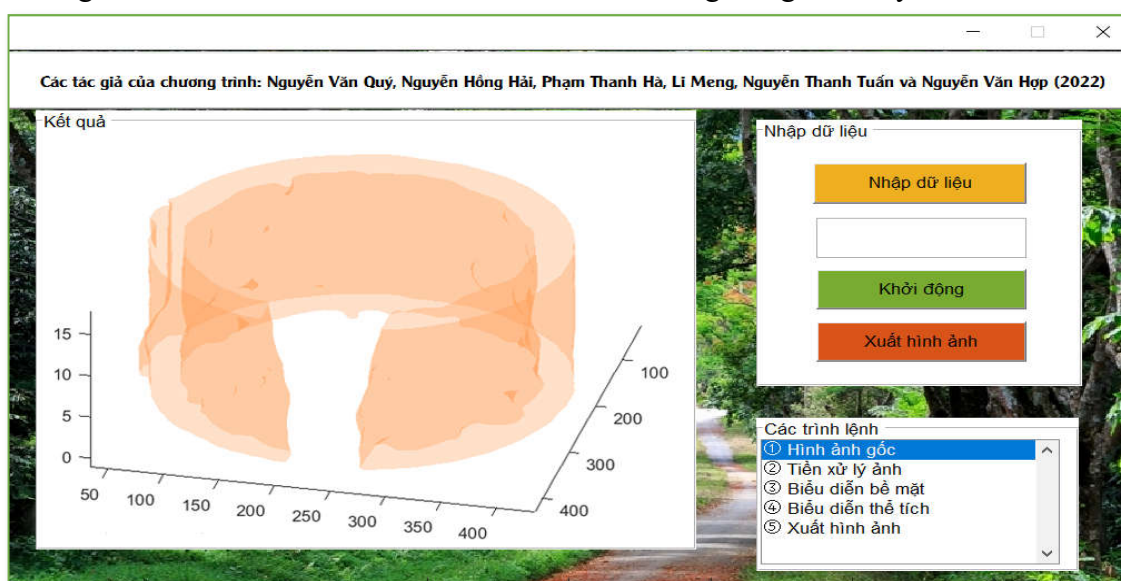
3.6. Phát triển hệ thống mô hình hóa cấu trúc 3D của các khuyết tật trong thân cây

Nghiên cứu đã sử dụng đồng thời cả phương pháp biểu diễn bề mặt và thể tích để mô phỏng mô hình 3D cho phần mục ruỗng thân cây. Dựa trên hai phương pháp này, một hệ thống trực quan hóa mô hình 3D của phần mục ruỗng hoặc

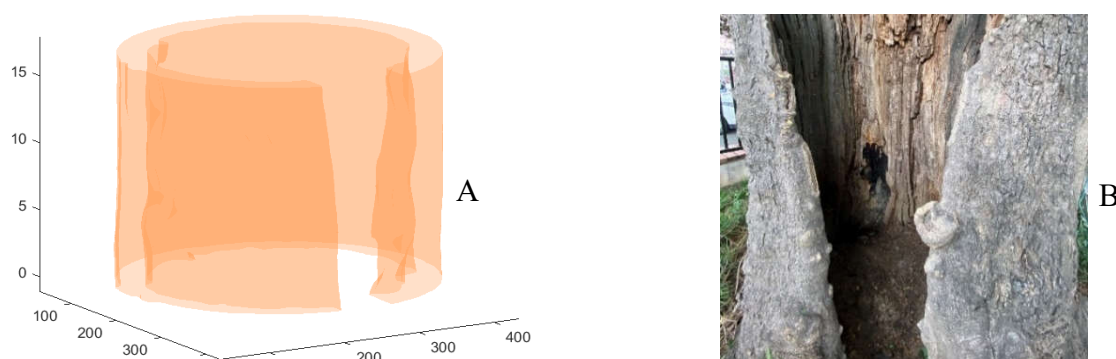
tồn thương trong thân cây được xây dựng trên phần mềm MATLAB. Hệ thống giao diện đồ họa được đóng gói thành một chương trình có đuôi file “.exe” và có thể chạy độc lập trên các máy tính mà không cần phải cài đặt phần mềm MATLAB. Trong giao diện hiển thị của chương trình (Hình 8), phần nhập dữ liệu đầu vào, các trình lệnh và kết quả giải đoán hình ảnh được tách riêng biệt trong 3 cửa sổ chính. Khi sử dụng chương trình do nhóm nghiên cứu phát triển, các hình ảnh 2D của phần mục ruỗng thân cây ở các độ cao khác nhau do thiết bị TRU Tree Radar thu sẽ được xử lý trước, nội suy và được lưu trữ trong một thư mục mới. Mô hình 3D

phần mục ruỗng sẽ được hiển thị ở cửa sổ “Kết quả” theo phương pháp biểu diễn bề mặt hoặc biểu diễn thể tích tùy thuộc vào mục đích của người sử dụng.

Mô hình mô phỏng 3D và cấu trúc phần mục ruỗng thực tế của cây Bồ kết trung hoa đã được đánh giá bởi các chuyên gia của Viện Lâm sinh, Trường Đại học Nông Lâm Tây Bắc - Trung Quốc (Hình 9). Kết quả kiểm tra và đánh giá theo nhận xét của các chuyên gia là đạt yêu cầu, phần mục ruỗng chiếm tỉ lệ 92,1% thể tích 1 m thân cây Bồ kết trung hoa có phần mục ruỗng lộ thiên; chương trình mô phỏng tốt cấu trúc phần mục ruỗng trong thân cây.



Hình 8. Giao diện của chương trình giải đoán hình ảnh phần mục ruỗng và các khuyết tật trong thân cây với dữ liệu thu được từ thiết bị TRU Tree Radar



Hình 9. Kết quả đánh giá giữa mô hình mô phỏng và thực tế

A: Mô hình mô phỏng; B: thân cây Bồ kết trung hoa có phần mục ruỗng lộ thiên

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, thiết bị TRU Tree Radar được sử dụng để phát hiện phần mục ruỗng trong thân ở loài Tuyệt tùng, cây nằm trong khuôn viên của Trường Đại học Nông

Lâm Tây Bắc - Trung Quốc. Dữ liệu phần mục ruỗng trong thân cây là các hình ảnh 2D đã được trích xuất ở 10 vị trí khác nhau trong phạm vi 1 m chiều cao cây. Việc mô phỏng mô hình 3D phần mục ruỗng trong thân cây được thực hiện

bằng phương pháp biểu diễn bề mặt và biểu diễn thể tích. Các kết quả nghiên cứu cho thấy, (i) so với các kỹ thuật nghiên cứu khuyết tật trong thân cây hoặc gỗ, sử dụng thiết bị TRU Tree Radar có ưu điểm là tính cơ động cao, không gây hại cho cấu trúc gỗ hoặc sự sinh trưởng và phát triển của thực vật, đặc biệt thích hợp để phát hiện các khuyết tật bên trong của các cây sống. (ii) Kết quả mô phỏng mô hình 3D bằng phương pháp biểu diễn bề mặt và biểu diễn thể tích đều có những ưu điểm và nhược điểm riêng. Áp dụng phương pháp biểu diễn bề mặt cho mô hình mô phỏng phần mục ruỗng trong thân cây có ưu điểm là tốc độ xử lý nhanh, nhưng yêu cầu cao đối với các hình ảnh dữ liệu ban đầu, hình ảnh mô phỏng 3D kém trực quan hơn so với phương pháp biểu diễn thể tích. (iii) Nghiên cứu đã xác định được giá trị phù hợp nhất của hai thông số độ lệch k và hệ số góc d trong hai hàm “patch” và “alpha” để giúp cải thiện mức độ trực quan của các chi tiết nhỏ nhất trong cấu trúc 3D phần mục ruỗng thân cây ($k = 1, 3$ và $d = 0$). (iv) Với việc phát triển hệ thống trực quan hóa mô hình 3D phần mục ruỗng trong thân cây, nghiên cứu này có thể giúp các quá trình phức tạp trở nên đơn giản hơn trong các nghiên cứu và ứng dụng liên quan đến kỹ thuật siêu âm cây.

Thiết bị TRU Tree Radar bên cạnh khả năng phát hiện các tổn thương trong thân cây hoặc gỗ còn có thể giúp xác định mật độ, chiều dài rễ cây trong lòng đất. Hướng nghiên cứu này mở ra một ý tưởng mới trong việc xây dựng cơ sở dữ liệu về hệ rễ của các loài cây rừng, đây là những thông tin vô cùng có giá trị trong việc kết hợp các loài cây khi trồng mới hoặc phục hồi các hệ sinh thái rừng, nhằm giúp các loài cây tận dụng tốt nhất về không gian dinh dưỡng. Do đó, đối với các nghiên cứu trong tương lai, nghiên cứu khuyến nghị nên thực hiện các điều tra có liên quan về phân bố không gian của rễ cây các loài nhiệt đới, từ đó có một cơ sở dữ liệu đầy đủ và hoàn chỉnh về hệ rễ của các loài thực vật rừng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Alani, A. M., Giannakis, I., Zou, L. L., Lantini, L., Tosti, F. (2020). Reverse-time migration for evaluating the internal structure of tree-trunks using ground-penetrating radar. *NDT & E International*, 115, 102294.
2. Allison, R. B., and Wang, X. P. (2015). *Nondestructive Testing in the Urban Forest*. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison,

WI, USA.

3. Arciniegas, A., Prieto, F., Brancheriau, L., Lasaygues, P. (2014). Literature review of acoustic and ultrasonic tomography in standing trees. *Trees*, 28(6), 1559-1567.
4. Bhandarkar, S. M., Faust, T. D., Tang, M. J. (1999). CATALOG: a system for detection and rendering of internal log defects using computer tomography. *Machine Vision and Applications*, 11(4), 171-190.
5. Bhandarkar, S. M., Luo, X. Z., Daniels, R., Tollner, E. W. (2006). A novel feature-based tracking approach to the detection, localization, and 3-D reconstruction of internal defects in hardwood logs using computer tomography. *Pattern Analysis & Applications*, 9(2), 155-175.
6. Chen, Y., Gao, T., Li, D., Guo, W. (2017). Detection and quantitative evaluation of internal cavity of *Pinus massoniana* wood by radar testing technology. *Scientia Silvae Sinicae*, 53(10), 139-145.
7. Deflorio, G., Fink, S., Schwarze, F. (2008). Detection of incipient decay in tree stems with sonic tomography after wounding and fungal inoculation. *Wood Science & Technology*, 42(2), 117-132.
8. Deng, S. L., Zhang, L. Y., Shi, Y., Quan, S. H., Wen, J. (2012). 3D reconstruction of porous materials based on volume rendering. *Journal of Wuhan University of Technology*, 34(1), 42-45.
9. Dong, P. H., and Ke, L. J. (2019). Overview of 3D reconstruction techniques based on images. *Radio Communications Technology*, 45(2), 115-119.
10. Kang, Y. C. (2019). *Study on the law of hollow corruption of ancient *Platycladus orientalis* based on TRUtree Radar*. Master's Thesis, Northwest Agriculture & Forestry University, Shaanxi, China.
11. Levoy, M. (1988). Display of surfaces from volume data. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 8(3), 29-37.
12. Li, W. L., Wen, J., Xiao, Z. L., Zhang, J., Han, H. Y. (2017). Detection of internal anomaly for trees in the Summer Palace based on radar. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University*, 46(6), 665-671.
13. Li, W. L., Wen, J., Xiao, Z. L., Xu, S. X. (2018). Application of ground-penetrating radar for detecting internal anomalies in tree trunks with irregular contours. *Sensors*, 18(2), 649.
14. Li, X. Y. (2008). *Research and Implement of the 3D Surface Reconstruction*. Master's Thesis, Central South University, Hunan, China.
15. Liu, G. (2006). *Study on Reconstruction form a Collection of Planar Contours*. Master's Thesis. Shandong University of Science and Technology, Jinan, China.
16. Liu, X. D., Kang, Y. X., Gan, M. X., Li, X. J., Liu, W. (2017). A study on trunk decay of ancient *Platycladus orientalis* in tomb of yellow emperor. *Journal of Northwest Forestry University*, 32(2), 180-187.
17. Liu, M., Xue, X. S., Liu, G. W., Liu, Z., Cai, H. (2018). Color to grayscale algorithm based on local contrast enhancement in contourlet transform domain. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 41(5), 70-74.

18. Lu, J. B. (2003). A new encoding method for bitmap and its applications. *Computer Engineering and Applications*, 39(34), 102-103.
19. Nicolotti, G., Socco, L. V., Martinis, R., Godio, A., Sambuelli, L. (2003). Application and comparison of three tomographic techniques for detection of decay in trees. *Journal of Arboriculture*, 29(2), 66-78.
20. Quan, H. Y., and Wang, C. B. (2017). *Principles and Practices of Digital Image Processing*. China Machine Press, Beijing, China.
21. Schad, K. C., Schmoldt, D. L., Ross, R. J. (1996). *Nondestructive Methods for Detecting Defects in Softwood Logs*. US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI, USA.
22. Su, M. (2007). *Research and Implementation on the 3D Reconstruction Technology of Medical CT Images*. Master's Thesis, Hebei University of Technology, Tianjin, China.
23. Wu, X., Li, G. H., Jiao, Z., Wang, X. P. (2018). Reliability of acoustic tomography and ground-penetrating radar for tree decay detection. *Applications in Plant Sciences*, 6(10), e01187.
24. Xia, B., Zhang, Y. L., and Wang, F. (2017). Research of Canny-based image segmentation method of raw cotton impurities. *Advanced Textile Technology*, 25(6), 23-26.
25. Xiao, X. Y., Wen, J., Xiao, Z. L., Li, W. L., Zhang, H. J. (2018). Detection and recognition of tree trunk internal structure based on radar. *Scientia Silvae Sinicae*, 54(5), 127-134.
26. Xu, Y. X., Wu, X. Q., Hu, Y. J. (2001). 3D rebuilding of biology slice image by volume rendering in MATLAB. *Computer Engineering*, 27(12), 114-115.
27. You, X. F. (2010). *A Preliminary Study on 3d Reconstruction of Inner Decay in Log Cross-section Based on 2D Images of Stress Wave*. Master's Thesis, Northeast Forestry University, Heilongjiang, China.
28. Zeng, Z., Dong, F. H., Chen, X., Zhou, H., Zhou, J. Z. (2004). Three dimensions reconstruction of CT image by MATLAB. *Computerized Tomography Theory and Applications*, 13(2), 24-29.
29. Zhang, J., and Khoshelham, K. (2020). 3D reconstruction of internal wood decay using photogrammetry and sonic tomography. *The Photogrammetric Record*, 35(171), 357-374.
30. Zhang, R. N., and Sun, L. P. (2008). Three dimensions reconstruction of log CT image by MATLAB. *Wood Processing Machinery*, 19(4), 24-26.
31. Zhang, X. H., Ye, N., Ding, J. W., Wang, H. L. (2010). Investigations of 3D reconstruction of log CT images and imaginary cutting. *Journal of Nanjing Forestry University*, 34(2), 77-80.

SIMULATE A THREE-DIMENSIONAL STRUCTURE OF TREE INTERNAL DECAY BASED ON ULTRASONIC TECHNIQUES

**Nguyen Van Quy¹, Nguyen Hong Hai², Pham Thanh Ha²,
Li Meng³, Nguyen Thanh Tuan¹, Nguyen Van Hop¹**

¹*Vietnam National University of Forestry - Dong Nai Campus*

²*Vietnam National University of Forestry*

³*College of Forestry, Northwest A&F University, China*

SUMMARY

Correctly identifying and describing the position and structure of the internal wood defects, such as internal decay, knots, dry rot, etc., is significant for old tree conservation, urban tree and commercial wood assessment, and mending of cultural relics. This study was performed to simulate the three-dimensional (3D) structure of the tree's internal decay based on the data obtained by ultrasound technique. The original data of internal decay were obtained at different tree height positions using TRU Tree Radar, and then they were processed and interpolated in MATLAB software. Two methods simulated the 3D structure of the internal decay, namely surface rendering, and volume rendering. The results showed that the surface rendering method quickly simulated the 3D structure of the tree's internal decay, but the information was incomplete and less intuitive. The volume rendering method can accurately simulate the complex structures of internal decay. The study successfully experimented with and proposed parameter values adjustment of the grayscale linearization algorithm to improve the visualization of the tree's internal decay simulation structure. A graphical user interface was designed for image visualization of lesions and defects inside the tree trunk or wood.

Keywords: MATLAB, old tree conservation, radar waves, virtual reality simulation, wood defects.

Ngày nhận bài : 16/8/2022

Ngày phản biện : 18/9/2022

Ngày quyết định đăng : 28/9/2022