



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0048990

(51)^{2022.01} G03H 1/04; G03H 1/26; G03H 1/10

(13) B

(21) 1-2023-02653

(22) 21/04/2023

(45) 25/07/2025 448

(43) 25/08/2023 425A

(73) Đại học Bách khoa Hà Nội (VN)

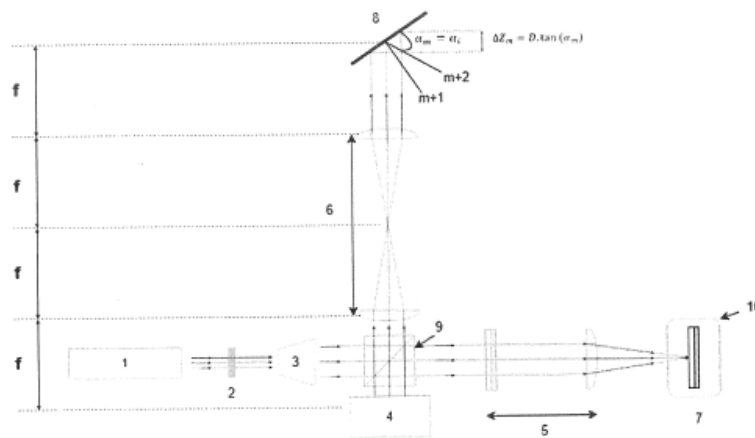
Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội

(72) Trương Công Tuấn (VN); Vũ Toàn Thắng (VN); Nguyễn Thành Hùng (VN); Nguyễn Ngọc Sơn (VN); Vũ Thanh Tùng (VN).

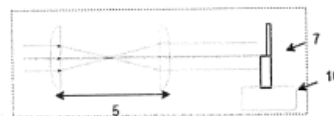
(54) PHƯƠNG PHÁP VÀ HỆ THỐNG TẠO ẢNH BA CHIỀU TỪ PHÉP ĐO BIÊN
DẠNG SỬ DỤNG ĐIỀU BIẾN PHA KHÔNG GIAN

(21) 1-2023-02653

(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp tạo ảnh ba chiều từ phép đo biên dạng sử dụng điều biến pha không gian bao gồm các bước: Thu thập tín hiệu trong đó có việc điều chỉnh thông số để thỏa mãn điều kiện giao thoa tức là hiệu quang lộ giữa hai chùm tia sau khi phản xạ nằm trong phạm vi đo; xử lý tín hiệu đo thu được từ máy ảnh và tạo ảnh ba chiều từ biên dạng hai chiều thu được. Sáng chế cũng đề cập đến hệ thống đo biên dạng sử dụng điều biến pha không gian.



Hình 1a



Hình 1b

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến phương pháp và hệ thống tạo ảnh ba chiều, cụ thể là phương pháp và hệ thống tạo ảnh ba chiều từ phép đo biên dạng sử dụng điều biến pha không gian đo biên dạng để đo chính xác các kích thước cỡ micromet của các chi tiết nhỏ, các lớp kính xếp chồng...

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Các hệ thống đo biên dạng và đo bên trong bề mặt là bài toán được đặt ra trong rất nhiều lĩnh vực: y tế, quân sự, công nghiệp, hệ thống đo lường, hệ thống gia công vi cơ. Đặc biệt trong công nghiệp, việc đánh giá và kiểm tra chất lượng sản phẩm, tìm các lỗi trên các chi tiết cơ khí là yếu tố then chốt để đảm bảo chất lượng sản phẩm.

Trên thực tế, có hai cách tiếp cận chính cho một hệ thống đo lường: phương pháp cơ học và phương pháp quang học (hay có thể phân biệt là phương thức đo tiếp xúc và đo không tiếp xúc). Một số phương pháp đo quang học đã được sử dụng trong thực tế như, ví dụ, Time of flight (ToF): phát một tia laze xung lược đến vật mẫu và đo thời gian truyền từ nguồn đến vật và ngược lại, kết hợp với tốc độ ánh sáng thì khoảng cách được tính; Kính hiển vi đồng tiêu: Nguồn sáng được chiếu qua thấu kính lên bề mặt đối tượng, ánh sáng phản xạ hội tụ bởi thấu kính chuẩn trực và bị lệch bởi một bộ tách tia, áp dụng cho đo chính xác chuyển vị và biên dạng bề mặt ở khoảng cách mm; Cảm biến tam giác lượng: có một nguồn tia laze chiếu tới vật mẫu và tia phản xạ sẽ thu được ở máy dò, khi biết khoảng cách từ nguồn đến máy dò sẽ tính được khoảng cách từ nguồn đến vật nhưng có hạn chế là xuất hiện vùng mù trên mẫu; Các phương pháp sử dụng kỹ thuật giao thoa ánh sáng: Giao thoa kế và giao thoa kế kết hợp thấp có sự khác nhau ở nguồn sáng đầu vào (nguồn sáng laser hoặc nguồn sáng dải rộng) đem lại kết quả tốt về độ phân giải, phạm vi đo.

Khi sử dụng các phương pháp đo giao thoa kế kết hợp thấp (sử dụng nguồn sáng dải rộng) thì được phân thành hai nhóm khi đo trong miền thời gian

và đo trong miền tần số. Ở miền thời gian, kỹ thuật TD-OCT (Time Domain – Optical Coherence Tomography – Chụp cắt lớp Quang học trên miền thời gian) được sử dụng, các chuỗi vân giao thoa tối và sáng chỉ đạt được khi hiệu quang lộ nằm trong chiều dài kết hợp của nguồn sáng. Ở miền tần số, có hai kỹ thuật SD-OCT (Spectral Domain – Optical Coherence Tomography – Chụp cắt lớp Quang học trên miền Quang phổ) và SS-OCT (Swept Source - Optical Coherence Tomography - Chụp cắt lớp Quang học sử dụng nguồn quét tần số) nguồn có sẽ có tốc độ cao có thể lên đến 400kHz mỗi lần quét, điều này yêu cầu mẫu đo phải rất ổn định, không rung động và khó áp dụng trong công nghiệp.

Ở miền thời gian, phương pháp đo giao thoa kế sử dụng cách tử làm bề mặt tham chiếu thì độ phân giải μm có thể đạt được bằng bước sóng hàng trăm nm của nguồn sáng. Tuy nhiên, đối với phép đo biên dạng và chụp cắt lớp, mẫu được yêu cầu di chuyển theo trục dọc và trục ngang của chính nó. Như vậy sẽ hình thành nên những hạn chế của phương pháp này đó là:

- Độ ảnh hưởng đến việc thu nhận tín hiệu vân giao thoa. Các vân cực đại giao thoa sẽ có hiện tượng xuất hiện không đồng đều (lúc xuất hiện, lúc không).
- Vì chưa có giải thuật xử lý tín hiệu vân giao thoa, nên vân giao thoa sẽ bị ảnh hưởng bởi môi trường và khi xác định giá trị pixel giữa hai vân giao thoa, tính độ phân giải của hệ thống chưa được cao.

Không những thế, hệ thống đo theo phương pháp đo giao thoa kế hiện nay có cơ cấu dịch chuyển tạo biên dạng thực hiện thủ công bằng tay để di chuyển vật mẫu theo trục ngang nên tốc độ bị hạn chế.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Để giải quyết vấn đề nêu trên, mục đích của sáng chế là đề xuất một phương pháp dựa trên kỹ thuật TD-OCT đo giao thoa trong miền thời gian làm cơ sở, đưa ra các giải thuật xử lý để tăng tốc độ, giảm nhiễu và làm nét khi hiển thị vân giao thoa.

Mục đích khác của sáng chế là đề xuất một hệ thống đo biên dạng sử dụng điều biến pha không gian có cơ cấu tự động dịch chuyển theo chiều ngang (phương Y) để quét và tạo biên dạng 3D từ tập ảnh 2D thu được.

Để đạt được các mục đích nêu trên, theo một phương án, sáng chế đề xuất phương pháp tạo ảnh ba chiều từ phép đo biên dạng sử dụng điều biến pha không gian bao gồm các bước:

(i) thu thập tín hiệu: sử dụng nguồn sáng có dải bước sóng trong khoảng từ 550 đến 750 nm chiếu tới buồng cộng hưởng để lọc gần như tần số quang học của nguồn sáng bằng thông ngoại trừ tần số cộng hưởng của chính nó, sau đó chùm sáng từ buồng cộng hưởng tiếp tục đến bộ mở rộng chùm tia và được mở rộng đường kính tới nằm trong khoảng từ 1 đến 10mm trước khi đi tới bộ tách tia và được bộ tách tách làm hai chùm tia vuông góc với nhau, bao gồm chùm tia tham chiếu và chùm tia đo, trong đó:

chùm tia tham chiếu đi theo nhánh tham chiếu là chùm tia bị phản xạ bởi bộ tách tia và đi tới cách tử thông qua hai thấu kính, chùm tia tham chiếu này đi đến cách tử bị nhiễu xạ theo nhiều hướng khác nhau và điều chỉnh cách tử để chọn được chùm nhiễu xạ quay lại bộ tách tia có thông số để thỏa mãn điều kiện giao thoa tức là hiệu quang lộ giữa hai chùm tia sau khi phản xạ nằm trong độ dài kết hợp của nguồn sáng, đây chính là phạm vi đo, cách tử làm biến đổi pha của các tia trong chùm nhiễu xạ so với các tia trong chùm tới ở nhánh tham chiếu, sau đó giao thoa với các chùm phản xạ từ chùm tia đo ở nhánh đo khi thỏa mãn điều kiện: $\Delta L \leq D \cdot \tan(\alpha)$, trong đó: ΔL là hiệu quang lộ giữa chùm tham chiếu và chùm đo; D là đường kính chùm tia tới; α là góc tạo bởi tia tới và mặt phẳng pháp tuyến của cách tử;

phạm vi đo Δz được thể hiện trong công thức sau:

$$\Delta z = D \cdot \tan(\alpha) = D \cdot \tan\left(\sin^{-1}\left(\frac{m\lambda}{2a}\right)\right)$$

trong đó: a là bước của cách tử; m là thứ tự các chùm tia phản xạ; λ là bước sóng của chùm tia nhiễu xạ ứng với thứ tự m ;

chùm tia đo đi theo nhánh đo là chùm tia đi xuyên qua bộ tách tia tới vật đo thông qua thấu kính thứ nhất, và chùm tia đo này khi đi đến vật đo bị phản xạ hoặc tán xạ ngược trở lại bộ tách tia;

khi các chùm tia từ cách tử và vật đo phản xạ lại bộ tách tia, chúng giao thoa với nhau và hình thành nên các vân cực đại giao thoa và được thu lại tín hiệu bằng máy ảnh;

(ii) xử lý tín hiệu đo thu được từ máy ảnh bằng phương pháp toán học nhằm giảm mức độ nhiễu của môi trường ảnh hưởng đến tín hiệu giao thoa bao gồm các công đoạn:

kết nối máy ảnh với phần mềm trên máy tính

cài đặt các thông số để máy ảnh bắt đầu thu nhận tín hiệu và có thể quan sát được ở mức cơ bản, giá trị cộng thêm vào điểm ảnh thu được từ máy ảnh để loại bỏ nhiễu, số khung hình trên giây, chế độ thu ảnh, thời gian máy ảnh sẽ tiếp nhận phơi sáng và ghi lại hình ảnh, chế độ máy ảnh thu dữ liệu từ cảm biến và gửi về máy tính để xử lý, độ sáng, độ tương phản của ảnh thu được, độ nhả của máy ảnh CCD,

tính toán cường độ sáng của từng điểm ảnh trong một ảnh, sau đó hiệu chuẩn lại cường độ sáng của mỗi điểm ảnh trong ảnh mới để đảm bảo chúng có cùng cường độ xám, sau khi cường độ sáng của mỗi điểm ảnh thay đổi trên một ngưỡng nhất định (H , V) thì tự động hiệu chỉnh lại để cùng nền,

thu được khung hình nhận được đầu tiên là khung hình số 0, khi tính được số khung hình trên giây của máy ảnh trong thời gian thực, chia số khung hình thực tế ra 50 rồi lấy khung hình tại thời điểm đó cộng với khung hình thời điểm 0 để được giá trị lớn nhất cường độ sáng của vân giao thoa và gọi là S , độ nhiễu của môi trường gọi là N , tính tỷ số S/N , nếu tỷ số này lớn hơn 3 thì hiển thị khung hình mới bằng giá trị khung hình gần nhất trừ đi nhiễu N , nếu không thì tiếp tục quá trình cộng vào các khung hình tại số khung hình tiếp theo cho đến khi đạt được điều kiện $S/N > 3$;

(iii) tạo ảnh ba chiều từ biên dạng hai chiều thu được: sử dụng ngôn ngữ python và sử dụng trên môi trường tích hợp Pycharm, tập dữ liệu ảnh hai chiều sau khi thu được từ bước trên sẽ chuyển sang một định dạng ảnh ba chiều để có thể đọc được và hiển thị, việc chuyển đổi sang định dạng ảnh ba chiều này được thực hiện như sau:

chuyển toàn bộ dữ liệu ảnh hai chiều đã thu được trong tập dữ liệu sang định dạng file *.tif để có định dạng ảnh không nén chất lượng cao, ổn định và có thể được chỉnh sửa một cách đơn giản;

quét toàn bộ dữ liệu hình ảnh hai chiều trong thư mục;

chỉ định kích thước của phần tử hình ảnh ba chiều theo ba chiều bằng hàm Vector3f() trong thư viện meshlib để tính toán số học;

tạo đối tượng điểm ảnh ba chiều từ loạt hình ảnh bằng hàm loadTiffDir(), giá trị biến trong hàm loadTiffDir sẽ xác định độ cao và độ cân đối của bề mặt 3D;

xác định giá trị ISO để xây dựng bề mặt vật thể đo;

chuyển đổi đối tượng điểm ảnh ba chiều thành lưới bằng hàm gridToMesh(), lưu dưới dạng file *.stl để phần mềm có thể đọc được file 3D sau quá trình chuyển đổi; và

đọc file *.stl để hiển thị mô hình 3D.

Theo phương án khác của sáng chế, phương pháp tạo ảnh ba chiều từ phép đo biên dạng sử dụng điều biến pha không gian bao gồm các bước:

(i) thu thập tín hiệu: sử dụng nguồn sáng có dải bước sóng trong khoảng từ 550 đến 750 nm chiếu tới buồng cộng hưởng để lọc gần như tần số quang học của nguồn sáng bằng thông ngoại trừ tần số cộng hưởng của chính nó, sau đó chùm sáng từ buồng cộng hưởng tiếp tục đến bộ mở rộng chùm tia và được mở rộng đường kính tới nằm trong khoảng từ 1 đến 10mm trước khi đi tới bộ tách tia và được bộ tách tách làm hai chùm tia vuông góc với nhau, bao gồm chùm tia tham chiếu và chùm tia đo, trong đó:

chùm tia tham chiếu đi theo nhánh tham chiếu là chùm tia bị phản xạ bởi bộ tách tia và đi tới cách tử thông qua hai thấu kính, chùm tia tham chiếu này đi đến cách tử bị nhiễu xạ theo nhiều hướng khác nhau và điều chỉnh cách tử để chọn được chùm nhiễu xạ quay lại bộ tách tia có thông số để thỏa mãn điều kiện giao thoa tức là hiệu quang lộ giữa hai chùm tia sau khi phản xạ nằm trong độ dài kết hợp của nguồn sáng, đây chính là phạm vi đo, cách tử làm biến đổi pha của các tia trong chùm nhiễu xạ so với các tia trong chùm tới ở nhánh tham chiếu, sau đó giao thoa với các chùm phản xạ từ chùm tia đo ở nhánh đo khi

thỏa mãn điều kiện: $\Delta L \leq D \cdot \tan(\alpha)$, trong đó: ΔL là hiệu quang lộ giữa chùm tham chiếu và chùm đo; D là đường kính chùm tia tới; α là góc tạo bởi tia tới và mặt phẳng pháp tuyến của cách tử;

phạm vi đo Δz được thể hiện trong công thức sau:

$$\Delta z = D \cdot \tan(\alpha) = D \cdot \tan\left(\sin^{-1}\left(\frac{m\lambda}{2a}\right)\right)$$

trong đó: a là bước của cách tử; m là thứ tự các chùm tia phản xạ; λ là bước sóng của chùm tia nhiễu xạ ứng với thứ tự m ;

chùm tia đo đi theo nhánh đo là chùm tia đi xuyên qua bộ tách tia tới vật đo thông qua thấu kính thứ nhất, và chùm tia đo này khi đi đến vật đo bị phản xạ hoặc tán xạ ngược trở lại bộ tách tia;

khi các chùm tia từ cách tử và vật đo phản xạ lại bộ tách tia, chúng giao thoa với nhau và hình thành nên các vân cực đại giao thoa và được thu lại tín hiệu bằng máy ảnh;

(ii) xử lý tín hiệu đo thu được từ máy ảnh bằng phương pháp huấn luyện mô hình nhận diện vân giao thoa bao gồm các công đoạn như sau:

chuẩn bị bộ dữ liệu, sau khi thu được vân giao thoa chưa xử lý quá rõ nét, xây dựng một bộ dữ liệu bằng việc chụp màn hình các vân giao thoa,

xử lý ảnh và tăng cường dữ liệu bằng máy tính bằng cách: giảm nhiễu cho ảnh (các hàm gray, erosion, dilate), trong đó hàm gray giúp chuyển ảnh xám, làm mịn ảnh, hàm Erosion giúp giãn ảnh, tự động bổ sung những điểm ảnh thiếu, hàm Dilate giúp co ảnh, loại bỏ những điểm ảnh rời rạc, loại bỏ nhiễu, ngoài ra, còn có thể giảm nhiễu cho ảnh bằng có các hàm khác như: giảm độ phân giải (resolution) và kích thước ảnh (size), xoay ảnh (rotate) và sau xử lý, thu được bộ dữ liệu mới là một thư mục ảnh định dạng *.png để làm dữ liệu đầu vào cho quá trình gán nhãn và huấn luyện;

sử dụng công cụ ImgLabel hoặc web <https://www.makesense.ai/> hoặc phần mềm Aurora Vision Studio để thực hiện gán nhãn bằng tay bộ dữ liệu vân giao thoa,

tạo và khai báo bộ dữ liệu nguồn trước khi huấn luyện mô hình, huấn luyện mô hình bằng Yolov8 để nhận diện vân giao thoa, sau khi huấn luyện mô hình sẽ có mô hình được xuất thành file best.pt để làm ra một package trong xây dựng phần mềm, ứng dụng vào nhận diện vân và khi nhận diện được vân để xóa nền để phân biệt rõ hơn tín hiệu giao thoa và môi trường, sử dụng thuật toán Canny để tìm biên của vật thể đo, theo đó, mỗi giá trị pixel được xác định bởi các giá trị số từ 0-255 để tạo thành một ma trận điểm ảnh và thuật toán Canny dùng để tìm biên vật thể đo dựa vào ngưỡng trên và ngưỡng dưới của cường độ sáng nằm trong đoạn từ 0 đến 255 trong ma trận điểm ảnh, từ đó xác định biên của vân vẽ một đường kẻ có độ dày 1 pixel theo biên nhận dạng, rồi hợp nhất nét vẽ với hình ảnh gốc ban đầu;

(iii) tạo ảnh ba chiều từ biên dạng hai chiều thu được: sử dụng ngôn ngữ python và sử dụng trên môi trường tích hợp Pycharm, tập dữ liệu ảnh hai chiều sau khi thu được từ bước trên sẽ chuyển sang một định dạng ảnh ba chiều để có thể đọc được và hiển thị, việc chuyển đổi sang định dạng ảnh ba chiều này được thực hiện như sau:

chuyển toàn bộ dữ liệu ảnh hai chiều đã thu được trong tập dữ liệu sang định dạng file *.tif để có định dạng ảnh không nén chất lượng cao, ổn định và có thể được chỉnh sửa một cách đơn giản;

quét toàn bộ dữ liệu hình ảnh hai chiều trong thư mục;

chỉ định kích thước của phần tử hình ảnh ba chiều theo ba chiều bằng hàm Vector3f() trong thư viện meshlib để tính toán số học;

tạo đối tượng điểm ảnh ba chiều từ loạt hình ảnh bằng hàm loadTiffDir(), giá trị biến trong hàm loadTiffDir sẽ xác định độ cao và độ cân đối của bề mặt 3D;

xác định giá trị ISO để xây dựng bề mặt vật thể đo;

chuyển đổi đối tượng điểm ảnh ba chiều thành lưới bằng hàm gridToMesh(), lưu dưới dạng file *.stl để phần mềm có thể đọc được file 3D sau quá trình chuyển đổi; và

đọc file *.stl để hiển thị mô hình 3D.

Theo phương án khác nữa của sáng chế, phương pháp tạo ảnh ba chiều từ phép đo biên dạng sử dụng điều biến pha không gian bao gồm các bước:

(i) thu thập tín hiệu: sử dụng nguồn sáng có dải bước sóng trong khoảng từ 550 đến 750 nm chiếu tới buồng cộng hưởng để lọc gần như tần số quang học của nguồn sáng bằng thông ngoại trừ tần số cộng hưởng của chính nó, sau đó chùm sáng từ buồng cộng hưởng tiếp tục đến bộ mở rộng chùm tia và được mở rộng đường kính tới nằm trong khoảng từ 1 đến 10mm trước khi đi tới bộ tách tia và được bộ tách tách làm hai chùm tia vuông góc với nhau, bao gồm chùm tia tham chiếu và chùm tia đo, trong đó:

chùm tia tham chiếu đi theo nhánh tham chiếu là chùm tia bị phản xạ bởi bộ tách tia và đi tới cách tử thông qua hai thấu kính, chùm tia tham chiếu này đi đến cách tử bị nhiễu xạ theo nhiều hướng khác nhau và điều chỉnh cách tử để chọn được chùm nhiễu xạ quay lại bộ tách tia có thông số để thỏa mãn điều kiện giao thoa tức là hiệu quang lộ giữa hai chùm tia sau khi phản xạ nằm trong độ dài kết hợp của nguồn sáng, đây chính là phạm vi đo, cách tử làm biến đổi pha của các tia trong chùm nhiễu xạ so với các tia trong chùm tới ở nhánh tham chiếu, sau đó giao thoa với các chùm phản xạ từ chùm tia đo ở nhánh đo khi thỏa mãn điều kiện: $\Delta L \leq D \cdot \tan(\alpha)$, trong đó: ΔL là hiệu quang lộ giữa chùm tham chiếu và chùm đo; D là đường kính chùm tia tới; α là góc tạo bởi tia tới và mặt phẳng pháp tuyến của cách tử;

phạm vi đo Δz được thể hiện trong công thức sau:

$$\Delta z = D \cdot \tan(\alpha) = D \cdot \tan\left(\sin^{-1}\left(\frac{m\lambda}{2a}\right)\right)$$

trong đó: a là bước của cách tử; m là thứ tự các chùm tia phản xạ; λ là bước sóng của chùm tia nhiễu xạ ứng với thứ tự m ;

chùm tia đo đi theo nhánh đo là chùm tia đi xuyên qua bộ tách tia tới vật đo thông qua thấu kính thứ nhất, và chùm tia đo này khi đi đến vật đo bị phản xạ hoặc tán xạ ngược trở lại bộ tách tia;

khi các chùm tia từ cách tử và vật đo phản xạ lại bộ tách tia, chúng giao thoa với nhau và hình thành nên các vân cực đại giao thoa và được thu lại tín hiệu bằng máy ảnh;

(ii) xử lý tín hiệu đo thu được từ máy ảnh bằng phương pháp toán học nhằm giảm mức độ nhiễu của môi trường ảnh hưởng đến tín hiệu giao thoa bao gồm các công đoạn:

kết nối máy ảnh với phần mềm trên máy tính

cài đặt các thông số để máy ảnh bắt đầu thu nhận tín hiệu và có thể quan sát được ở mức cơ bản, giá trị cộng thêm vào điểm ảnh thu được từ máy ảnh để loại bỏ nhiễu, số khung hình trên giây, chế độ thu ảnh, thời gian máy ảnh sẽ tiếp nhận phơi sáng và ghi lại hình ảnh, chế độ máy ảnh thu dữ liệu từ cảm biến và gửi về máy tính để xử lý, độ sáng, độ tương phản của ảnh thu được, độ nhả của máy ảnh CCD,

tính toán cường độ sáng của từng điểm ảnh trong một ảnh, sau đó hiệu chuẩn lại cường độ sáng của mỗi điểm ảnh trong ảnh mới để đảm bảo chúng có cùng cường độ xám, sau khi cường độ sáng của mỗi điểm ảnh thay đổi trên một ngưỡng nhất định (H, V) thì tự động hiệu chỉnh lại để cùng nền,

thu được khung hình nhận được đầu tiên là khung hình số 0, khi tính được số khung hình trên giây của máy ảnh trong thời gian thực, chia số khung hình thực tế ra 50 rồi lấy khung hình tại thời điểm đó cộng với khung hình thời điểm 0 để được giá trị lớn nhất cường độ sáng của vân giao thoa và gọi là S , độ nhiễu của môi trường gọi là N , tính tỷ số S/N , nếu tỷ số này lớn hơn 3 thì hiển thị khung hình mới bằng giá trị khung hình gần nhất trừ đi nhiễu N , nếu không thì tiếp tục quá trình cộng vào các khung hình tại số khung hình tiếp theo cho đến khi đạt được điều kiện $S/N > 3$;

(iii) xử lý tín hiệu đo thu được từ máy ảnh bằng phương pháp huấn luyện mô hình nhận diện vân giao thoa bao gồm các công đoạn như sau:

chuẩn bị bộ dữ liệu, sau khi thu được vân giao thoa chưa xử lý quá rõ nét, xây dựng một bộ dữ liệu bằng việc chụp màn hình các vân giao thoa,

xử lý ảnh và tăng cường dữ liệu bằng máy tính bằng cách: giảm nhiễu cho ảnh (các hàm gray, erosion, dilate), trong đó hàm gray giúp chuyển ảnh xám, làm mịn ảnh, hàm Erosion giúp giãn ảnh, tự động bổ sung những điểm ảnh thiếu, hàm Dilate giúp co ảnh, loại bỏ những

điểm ảnh rời rạc, loại bỏ nhiễu, ngoài ra, còn có thể giảm nhiễu cho ảnh bằng có các hàm khác như: giảm độ phân giải (resolution) và kích thước ảnh (size), xoay ảnh (rotate) và sau xử lý, thu được bộ dữ liệu mới là một thư mục ảnh định dạng *png để làm dữ liệu đầu vào cho quá trình gán nhãn và huấn luyện;

sử dụng công cụ ImgLabel hoặc web <https://www.makesense.ai/> hoặc phần mềm Aurora Vision Studio để thực hiện gán nhãn bằng tay bộ dữ liệu vân giao thoa,

tạo và khai báo bộ dữ liệu nguồn trước khi huấn luyện mô hình,

huấn luyện mô hình bằng Yolov8 để nhận diện vân giao thoa,

sau khi huấn luyện mô hình sẽ có mô hình được xuất thành file best.pt để làm ra một package trong xây dựng phần mềm, ứng dụng vào nhận diện vân và khi nhận diện được vân để xóa nền để phân biệt rõ hơn tín hiệu giao thoa và môi trường, sử dụng thuật toán Canny để tìm biên của vật thể đo, theo đó, mỗi giá trị pixel được xác định bởi các giá trị số từ 0-255 để tạo thành một ma trận điểm ảnh và thuật toán Canny dùng để tìm biên vật thể đo dựa vào ngưỡng trên và ngưỡng dưới của cường độ sáng nằm trong đoạn từ 0 đến 255 trong ma trận điểm ảnh, từ đó xác định biên của vân vẽ một đường kẻ có độ dày 1 pixel theo biên nhận dạng, rồi hợp nhất nét vẽ với hình ảnh gốc ban đầu;

(iv) tạo ảnh ba chiều từ biên dạng hai chiều thu được: sử dụng ngôn ngữ python và sử dụng trên môi trường tích hợp Pycharm, tập dữ liệu ảnh hai chiều sau khi thu được từ bước trên sẽ chuyển sang một định dạng ảnh ba chiều để có thể đọc được và hiển thị, việc chuyển đổi sang định dạng ảnh ba chiều này được thực hiện như sau:

chuyển toàn bộ dữ liệu ảnh hai chiều đã thu được trong tập dữ liệu sang định dạng file *tif để có định dạng ảnh không nén chất lượng cao, ổn định và có thể được chỉnh sửa một cách đơn giản;

quét toàn bộ dữ liệu hình ảnh hai chiều trong thư mục;

chỉ định kích thước của phần tử hình ảnh ba chiều theo ba chiều bằng hàm Vector3f() trong thư viện meshlib để tính toán số học;

tạo đối tượng điểm ảnh ba chiều từ loạt hình ảnh bằng hàm loadTiffDir(), giá trị biến trong hàm loadTiffDir sẽ xác định độ cao và độ cân đối của bề mặt 3D;

xác định giá trị ISO để xây dựng bề mặt vật thể đo;

chuyển đổi đối tượng điểm ảnh ba chiều thành lưới bằng hàm gridToMesh(), lưu dưới dạng file *.stl để phần mềm có thể đọc được file 3D sau quá trình chuyển đổi; và

đọc file *.stl để hiển thị mô hình 3D.

Theo một khía cạnh của sáng chế tại bước (i), buồng cộng hưởng sử dụng kỹ thuật xung lược để lược tần số ánh sáng, đồng thời mở rộng phạm vi đo.

Sáng chế cũng đề xuất hệ thống đo biên dạng sử dụng điều biến pha không gian gồm có:

nguồn sáng là nguồn sáng đĩa rộng được tạo bởi xung nuôi nano giây ở bước sóng nhìn thấy trong khoảng từ 550 đến 750 nm, nguồn sáng được chiếu đến cụm cộng hưởng;

cụm cộng hưởng để lọc gần như tần số quang học của nguồn sáng bằng thông ngoại trừ tần số cộng hưởng của chính nó;

bộ mở rộng chùm tia bao gồm hai thấu kính để mở rộng chùm tia đi đến từ cụm cộng hưởng;

bộ tách tia là một gương bán mạ loại 50:50, cho phép chùm sáng chiếu tới với góc tới 45 độ được chia làm 2 nửa bằng nhau, 1 nửa tiếp tục đi thẳng và 1 nửa phản xạ theo hướng vuông góc với chùm sáng tới.

thấu kính thứ hai nằm ở nhánh tham chiếu, dùng để truyền chùm tia tham chiếu tới cách tử và truyền chùm tia nhiễu xạ từ cách tử quay trở lại bộ tách tia;

thấu kính thứ nhất nằm ở nhánh đo, dùng để truyền chùm tia đo tới vật đo và truyền chùm tia phản xạ từ vật đo quay trở lại bộ tách tia;

cách tử có chức năng tạo ra nhiễu xạ khi có chùm ánh sáng chiếu đến và được đặt sau thấu kính thứ hai;

máy ảnh được dùng để thu tín hiệu giao thoa, được kết nối trực tiếp với phần mềm trên máy tính qua cổng USB 3.0;

vật đo được đặt trên bộ dịch chuyển ba chiều;

bộ dịch chuyển ba chiều là cơ cấu dịch chuyển tạo biên dạng ba chiều, theo thứ tự lắp đặt từ trên xuống gồm cơ cấu dịch chuyển bằng tay theo phương

Y, cơ cấu dịch chuyển bằng tay theo phương Z, cơ cấu dịch chuyển bằng tay thay đổi độ nghiêng, ba cơ cấu điều chỉnh bằng tay có chức năng vị chỉnh vị trí của vật đo, tất cả đặt trên tấm đế dùng để thay đổi vị trí theo phương Y một cách tự động được kết nối với bộ điều khiển động cơ, và kết nối với máy tính thông qua cổng USB 3.0, bộ dịch chuyển ba chiều tạo chuyển động tự động theo phương Y để điều chỉnh vị trí cần đo biên dạng, mỗi lần chuyển động một bước cách nhau một khoảng bằng độ rộng của chùm tia đo chiếu tới vật đo.

Theo một khía cạnh của sáng chế, chùm tia được bộ mở rộng chùm tia mở rộng lên 5 lần.

Theo một phương án của sáng chế, bộ điều khiển động cơ của bộ dịch chuyển ba chiều là K-Cube.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1a và Hình 1b là các sơ đồ nguyên lý hoạt động của hệ thống tạo ảnh ba chiều từ phép đo biên dạng sử dụng điều biến pha không gian theo phương án của sáng chế.

Hình 2 sơ đồ giải thuật xử lý tín hiệu bằng phương pháp toán học theo một phương án của sáng chế.

Hình 3 là sơ đồ mô hình huấn luyện để xử lý tín hiệu bằng phương pháp huấn luyện theo một phương án của sáng chế.

Hình 4 là sơ đồ kết cấu dịch chuyển vật đo theo một phương án của sáng chế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Theo Hình 1a và Hình 1b, phương pháp tạo ảnh ba chiều từ phép đo biên dạng sử dụng điều biến pha không gian bao gồm các bước:

Bước 1: Thu thập tín hiệu bằng cách sử dụng nguồn sáng 1 có dải bước sóng trong khoảng từ 550 đến 750 nm chiếu tới buồng cộng hưởng 2 để lọc gần như tần số quang học của nguồn sáng bằng thông ngoại trừ tần số cộng hưởng của chính nó, sau đó chùm sáng từ buồng cộng hưởng 2 tiếp tục đến bộ mở rộng chùm tia (Beam Expander) 3 và được mở rộng đường kính tới nằm trong khoảng từ 1 đến 10mm trước khi đi tới bộ tách tia 9 và được bộ tách tia chia làm hai chùm tia vuông góc với nhau, bao gồm chùm tia tham chiếu và chùm tia đo, theo đó:

Chùm tia tham chiếu đi theo nhánh tham chiếu là chùm tia bị phản xạ bởi bộ tách tia 9 và đi tới cách tử (bộ điều biến pha không gian - Spatial Phase Modulator) 8 thông qua hai thấu kính 6. Chùm tia tham chiếu này đi đến cách tử 8 bị nhiễu xạ theo nhiều hướng khác nhau và điều chỉnh cách tử 8 để chọn được chùm nhiễu xạ quay lại bộ tách tia 9 có thông số để thỏa mãn điều kiện giao thoa là hiệu quang lộ giữa 2 chùm tia sau khi phản xạ nằm trong độ dài kết hợp của nguồn sáng, đây chính là phạm vi đo. Cách tử 8 làm biến đổi pha của các tia trong chùm nhiễu xạ so với các tia trong chùm tới ở nhánh tham chiếu, sau đó giao thoa với các chùm phản xạ từ chùm tia đo ở nhánh đo khi thỏa mãn điều kiện:

$$\Delta L \leq D \cdot \tan(\alpha)$$

Trong đó: ΔL là hiệu quang lộ giữa chùm tham chiếu và chùm đo; D là đường kính chùm tia tới; α là góc tạo bởi tia tới và mặt phẳng pháp tuyến của cách tử.

Điều kiện một chùm nhiễu xạ quay lại cùng phương với chùm tới ở nhánh tham chiếu là:

$$\text{Góc tới bằng góc nhiễu xạ: } \theta_i = \theta_m$$

$$\text{Góc quay của cách tử 8: } \alpha = \theta_i$$

Với cùng một loại cách tử, mỗi tia nhiễu xạ khác nhau thì sẽ xác định được góc nhiễu xạ θ_m khác nhau, tức quang lộ của các tia trong chùm tia tham chiếu bị thay đổi, hay nói cách khác là pha không gian của nguồn sáng bị biến điệu khi qua cách tử 8 nên cần điều chỉnh cách tử 8 để thay đổi phạm vi đo và nhận được tín hiệu vân giao thoa rõ nhất.

Khi đó, phạm vi đo Δz được thể hiện trong công thức sau:

$$\Delta z = D \cdot \tan(\alpha) = D \cdot \tan\left(\sin^{-1}\left(\frac{m\lambda}{2a}\right)\right)$$

Trong đó: a là bước của cách tử; m là thứ tự các chùm tia phản xạ; λ là bước sóng của chùm tia nhiễu xạ ứng với thứ tự m .

Chùm tia đo đi theo nhánh đo là chùm tia đi xuyên qua bộ tách tia 9 tới vật đo 7 thông qua thấu kính thứ nhất 5 (xem Hình 1a), và chùm tia đo này khi đi đến vật đo 7 bị phản xạ hoặc tán xạ ngược trở lại bộ tách tia 9 (xem Hình 1b).

Khi chùm tia từ cách tử 8 và vật đo 7 phản xạ lại bộ tách tia 9 giao thoa với nhau và hình thành nên các vân cực đại giao thoa và được thu lại tín hiệu bằng cảm biến máy ảnh CCD 4 (Charge Coupled Device - linh kiện tích điện kép).

Theo một phương án của sáng chế, tại bước 1, buồng cộng hưởng 2 sử dụng kỹ thuật xung lược để lược tần số ánh sáng, đồng thời mở rộng phạm vi đo.

Bước 2: Xử lý tín hiệu đo thu được từ máy ảnh CCD 4.

Tín hiệu đo thu được có thể được thực hiện theo nhiều phương án khác nhau.

Theo một phương án của sáng chế, tín hiệu đo được xử lý bằng phương pháp toán học nhằm giảm mức độ nhiễu của môi trường ảnh hưởng đến tín hiệu giao thoa. Hình 2 minh họa sơ đồ giải thuật của phương pháp toán học này, bao gồm các công đoạn như sau:

- Kết nối máy ảnh CCD với phần mềm trên máy tính.
- Cài đặt các thông số để máy ảnh bắt đầu thu nhận tín hiệu và có thể quan sát được ở mức cơ bản. Giá trị cộng thêm vào điểm ảnh thu được từ máy ảnh để loại bỏ nhiễu, số khung hình trên giây, chế độ thu ảnh, thời gian máy ảnh sẽ tiếp nhận phơi sáng và ghi lại hình ảnh, chế độ máy ảnh thu dữ liệu từ cảm biến và gửi về máy tính để xử lý, độ sáng, độ tương phản của ảnh thu được, độ nhả của máy ảnh CCD. Trong đó, giá trị offset là giá trị cường độ sáng được điều chỉnh để cộng thêm vào các pixel của ảnh thu được, giá trị này được điều chỉnh trên phần mềm.
- Tính toán cường độ sáng của từng điểm ảnh trong một ảnh, sau đó hiệu chuẩn lại cường độ sáng của mỗi điểm ảnh trong ảnh mới để đảm bảo chúng có cùng cường độ xám. Sau khi cường độ sáng của mỗi điểm ảnh thay đổi trên một ngưỡng nhất định (H, V) thì được tự động hiệu chỉnh lại để cùng nền.

Trong đó trên Hình 2 thì x, y là giá trị điểm ảnh mới pixel; $f(x, y)$ là hàm chứa 2 giá trị x, y đó; I là một mảng chứa các điểm ảnh; H, V là ngưỡng cường

độ sáng nằm đoạn 0-255; t là thời gian; n là biến đếm khung hình; FPS là số khung hình trên giây.

Phần điều kiện thứ nhất trong sơ đồ thuật toán trên Hình 2 có tác dụng tính toán cường độ xám của từng pixel trong ảnh mới để đảm bảo chúng có cùng cường độ sáng. Phần điều kiện thứ hai trong sơ đồ thuật toán trên Hình 2 có tác dụng khi cường độ sáng của mỗi pixel thay đổi trên một ngưỡng nào đó thì sẽ tự động hiệu chỉnh lại để chúng cùng nền (background).

- Thu được khung hình nhận được đầu tiên là khung hình số 0, khi tính được số khung hình trên giây của máy ảnh trong thời gian thực, chia số khung hình thực tế ra 50 rồi lấy khung hình tại thời điểm đó cộng với khung hình thời điểm 0 sẽ được giá trị lớn nhất cường độ sáng của vân giao thoa và gọi là S , độ nhiễu của môi trường gọi là N . Phần điều kiện thứ ba liên quan đến việc tính toán tỷ số S/N , nếu tỷ số này lớn hơn 3 thì hiển thị khung hình mới bằng giá trị khung hình gần nhất trừ đi nhiễu N , nếu không thì tiếp tục quá trình cộng vào các khung hình tại số khung hình tiếp theo cho đến khi đạt được điều kiện $S/N > 3$.

Theo một phương án khác của sáng chế, tín hiệu đo được xử lý bằng phương pháp huấn luyện mô hình nhận diện vân giao thoa. Hình 3 là sơ đồ mô hình huấn luyện được sử dụng cho phương pháp này, bao gồm các công đoạn như sau:

- Chuẩn bị bộ dữ liệu. Sau khi thu được vân giao thoa chưa xử lý quá rõ nét, xây dựng một bộ dữ liệu bằng việc chụp màn hình các vân giao thoa.

- Xử lý ảnh và tăng cường dữ liệu bằng máy tính bằng cách: giảm nhiễu cho ảnh (các hàm gray, erosion, dilate). Trong đó hàm gray giúp chuyển ảnh xám, làm mịn ảnh. Hàm Erosion giúp giãn ảnh, tự động bổ sung những điểm ảnh thiếu. Hàm Dilate giúp co ảnh, loại bỏ những điểm ảnh rời rạc, loại bỏ nhiễu. Ngoài ra, còn có thể giảm nhiễu cho ảnh bằng các hàm khác như: giảm độ phân giải (resolution) và kích thước ảnh (size), xoay ảnh (rotate). Sau xử lý, thu được bộ dữ liệu mới là một thư mục ảnh định dạng *.png để làm dữ liệu đầu vào cho quá trình gán nhãn và huấn luyện.

- Sử dụng công cụ ImgLabel hoặc web <https://www.makesense.ai/> hoặc phần mềm Aurora Vision Studio để thực hiện gán nhãn bằng tay bộ dữ liệu vân giao thoa.

- Tạo và khai báo bộ dữ liệu trước khi huấn luyện mô hình, nằm trong khối huấn luyện.

- Huấn luyện mô hình bằng Yolov8 để nhận diện vân giao thoa.

- Sau khi huấn luyện (training) mô hình, sẽ có mô hình được xuất thành file best.pt để làm ra 1 package trong xây dựng phần mềm. Ứng dụng vào chương trình nhận diện vân. Khi nhận diện được vân, sẽ xóa nền ảnh (background) để phân biệt rõ hơn tín hiệu giao thoa và môi trường. Sử dụng thuật toán Canny để tìm biên của vật thể đo (đối tượng đo). Theo đó, mỗi giá trị pixel được xác định bởi các giá trị số từ 0-255 để tạo thành một ma trận điểm ảnh và thuật toán Canny dùng để tìm biên vật thể đo dựa vào ngưỡng trên và ngưỡng dưới của cường độ sáng nằm trong đoạn từ 0 đến 255 trong ma trận điểm ảnh, từ đó xác định biên của vân vẽ một đường kẻ có độ dày 1 pixel theo biên nhận dạng. Hợp nhất nét vẽ với hình ảnh gốc ban đầu. Việc xử lý các thuật toán là tạo trên 1 lớp mặt nạ (mask), cần hợp nhất để chỉ hiển thị một khung hình duy nhất trên màn hình hiển thị.

Theo một phương án khác của sáng chế, tín hiệu đo được xử lý đồng thời bằng cả hai phương pháp toán học và huấn luyện mô hình nhận diện vân giao thoa theo trình tự xử lý bằng phương pháp toán học trước, sau đó sử dụng phương pháp huấn luyện.

Bước 3: Tạo ảnh ba chiều từ biên dạng hai chiều thu được.

Ngôn ngữ python được sử dụng trong việc tạo ảnh ba chiều, sử dụng trên môi trường tích hợp Pycharm.

Mục tiêu của bước này là từ tập dữ liệu ảnh hai chiều sau khi thu được từ bước trên sẽ chuyển sang một định dạng ảnh ba chiều để có thể đọc được và hiển thị, việc chuyển đổi sang định dạng ảnh ba chiều này được thực hiện theo trình tự như sau:

- Chuyển toàn bộ dữ liệu ảnh hai chiều đã thu được trong tập dữ liệu sang định dạng file *.tif. Tif là định dạng ảnh không nén chất lượng cao nhất và ổn định, có thể được chỉnh sửa một cách đơn giản hơn so với các định dạng khác.

- Quét toàn bộ dữ liệu hình ảnh hai chiều trong thư mục.
- Chỉ định kích thước của phần tử hình ảnh ba chiều theo ba chiều bằng hàm `Vector3f()` trong thư viện `meshlib`. Hàm `Vector3f()` dùng để tạo ra một đối tượng `Vector3f` mới, `Vector3f` là một lớp đại diện cho một vector ba chiều với các thành phần là các số thực (float) với tham số đầu vào là giá trị tọa độ 3 chiều x, y, z . Tác dụng để tính toán số học.
- Tạo đối tượng điểm ảnh ba chiều từ loạt hình ảnh bằng hàm `loadTiffDir()`. Giá trị biến trong hàm `loadTiffDir` sẽ xác định độ cao và độ cân đối của bề mặt 3D.
- Xác định giá trị ISO để xây dựng bề mặt vật thể cần đo. Trong đó thì giá trị ISO là hằng số cho tỷ lệ mặt phẳng ảnh hưởng đến giá trị hình học của bề mặt, dùng để tính pháp tuyến của một mặt phẳng gần đúng. Có thể điều chỉnh để tăng độ chính xác và thời gian hiển thị.
- Chuyển đổi đối tượng điểm ảnh ba chiều thành lưới bằng hàm `gridToMesh()`, lưu dưới dạng file `*stl` để phần mềm có thể đọc được file 3D sau quá trình chuyển đổi.
- Đọc file `*stl` để hiển thị mô hình 3D.

Theo Hình 1a, hệ thống đo biên dạng sử dụng điều biến pha không gian gồm có:

Nguồn sáng 1 là nguồn sáng đĩa rộng được tạo bởi xung nuôi nano giây ở bước sóng nhìn thấy (trong khoảng từ 550 đến 750 nm) chiếu nguồn sáng đến cụm cộng hưởng 2.

Nguồn sáng có thể được sử dụng là Supercontinuum Laze và sợi quang đặc biệt photonics crystal fiber – PCF, công suất 110mW, công suất cho vùng nhìn thấy 25mW, độ lặp xung từ 1kHz đến 20kHz.

Cụm cộng hưởng (2) để lọc gần như tần số quang học của nguồn sáng bằng thông ngoại trừ tần số cộng hưởng của chính nó.

Bộ mở rộng chùm tia 3 bao gồm 2 thấu kính để mở rộng chùm tia.

Theo một phương án của sáng chế, chùm tia được bộ mở rộng chùm tia 3 mở rộng lên 5 lần.

Bộ mở rộng chùm tia 3 bao gồm 2 thấu kính sử dụng 2 SLB Lens: 1 loại N-BK7 Plano-Convex Lens, tiêu cự $f=15,0\text{mm}$, AR Coating 350-700nm đặt

trước rồi đến N-BK7 Plano-Convex Lens, tiêu cự $f=75,0\text{mm}$, AR Coating 350-700nm.

Bộ tách tia 9 là một gương bán mạ loại 50:50, cho phép chùm sáng chiếu tới với góc tới 45 độ được chia làm hai nửa bằng nhau, một nửa tiếp tục đi thẳng và một nửa phản xạ theo hướng vuông góc với chùm sáng tới.

Theo một phương án của sáng chế, bộ tách tia 9 là gương BS013 loại 50:50 Non-Polarizing Beamsplitter Cube 400-700nm, dày 25,4mm (1 inch).

Thấu kính thứ hai 6 nằm ở nhánh tham chiếu, dùng để truyền chùm tia tham chiếu tới cách tử 8 và truyền chùm tia nhiễu xạ từ cách tử 8 quay trở lại bộ tách tia 9.

Theo một phương án của sáng chế, thấu kính thứ hai 6 được sử dụng là 2 lens SLB: N-BK7 Plano-Convex Lens, đường kính 30,0mm, tiêu cự: $f=100,0\text{mm}$, AR Coating 350-700nm.

Thấu kính thứ nhất 5 nằm ở nhánh đo, dùng để truyền chùm tia đo tới vật đo 7 (xem Hình 1a) và truyền chùm tia phản xạ từ vật đo 7 quay trở lại bộ tách tia 9 (xem Hình 1b).

Theo một phương án của sáng chế, thấu kính thứ nhất 5 là sử dụng 1 lens SLB: N-BK7 Plano-Convex Lens, đường kính 30,0mm, tiêu cự: $f=100,0\text{mm}$, AR Coating 350-700nm và 1 lens CLB có tiêu cự $f=100,0\text{mm}$, kích thước $H=30,0\text{mm}$, $L=32,0\text{mm}$, N-BK7 Plano-Convex Cylindrical Lens.

Cách tử 8 có chức năng tạo ra nhiễu xạ khi có chùm ánh sáng chiếu đến và được đặt sau thấu kính thứ hai 6.

Theo một phương án của sáng chế, cách tử 8 sử dụng khắc vạch Blaze Echelle Grating GE2550-0863 79.0 Grooves/mm, 63 Blaze, kích thước 25,0mm x 50,0mm x 9,5mm.

Camera 4 được dùng để thu tín hiệu giao thoa, được kết nối trực tiếp với phần mềm trên máy tính qua cổng USB 3.0.

Theo một phương án của sáng chế, máy ảnh 4 sử dụng CCD Camera contrastech Mars2000-150 μm độ phân giải 1920x1200 pixels.

Vật đo 7 được đặt trên bộ dịch chuyển ba chiều 10.

Bộ dịch chuyển ba chiều 10 là cơ cấu dịch chuyển tạo biên dạng ba chiều, theo thứ tự lắp đặt từ trên xuống gồm cơ cấu dịch chuyển OPMount M-RSQ-59 10.1 dịch chuyển theo phương Y cơ cấu dịch chuyển OPMount M-RSQ-59 10.2 dịch chuyển theo phương Z, cơ cấu dịch chuyển OPMount M-AGV60-85 10.3 thay đổi độ nghiêng, tấm đế 10.4 MTS50A-Z8 dùng để thay đổi vị trí theo

phương Y được kết nối với bộ điều khiển động cơ, và kết nối với máy tính thông qua cổng USB 3.0. Bộ dịch chuyển ba chiều 10 tạo chuyển động theo chiều ngang (phương Y) để điều chỉnh vị trí cần đo biên dạng, mỗi lần chuyển động một bước cách nhau một khoảng bằng độ rộng của chùm tia đo chiếu tới vật đo.

Hình 4 là sơ đồ kết cấu dịch chuyển vật đo theo một phương án của sáng chế, trong đó: Tấm đế 10.4 được gắn cố định kết nối với bộ điều khiển động cơ. Một cơ cấu dịch chuyển độ cao và độ nghiêng 10.3 cho vật đo được lắp lên trên tấm đế 10.4. Tiếp đó là một cơ cấu dịch chuyển theo phương Z 10.2 dùng để điều chỉnh độ sâu của vật đo, sau đó là một cơ cấu dịch chuyển theo phương Y 10.1 để thay đổi vị trí vật đo theo phương ngang, và trên cùng là vị trí để vật đo.

Bộ dịch chuyển ba chiều 10 được điều chỉnh tự động bằng cách kết nối với bộ điều khiển động cơ và cài đặt mỗi bước di chuyển tự động là một khoảng bằng độ rộng của chùm tia đo chiếu tới vật đo, phạm vi quét biên dạng là số mm có thể tùy chỉnh. Việc dịch chuyển được thực hiện bằng cách: chỉnh thô đến vùng cần quét biên dạng bằng ba cơ cấu dịch chuyển 10.1, 10.2, 10.3, sau đó cài đặt bước dịch chuyển của tấm đế 10.4 là độ rộng của chùm tia đo chiếu tới vật đo. Mỗi một bước di chuyển sẽ thu một tín hiệu vân giao thoa ở vị trí mới và được hiển thị trên màn hình. Lưu lại hình ảnh này vào bộ dữ liệu. Tự động hoá việc dịch chuyển tạo điều kiện chụp liên tục màn hình theo tốc độ khung hình trên giây của camera và tốc độ di chuyển của tấm đế, sau đó lưu vào bộ dữ liệu. Bộ dữ liệu thu được sẽ dùng làm đầu vào để xử lý và xây dựng biên dạng 3D của bề mặt đối tượng đo.

Theo một phương án của sáng chế, bộ điều khiển động cơ sử dụng là K-Cube.

Yêu cầu bảo hộ

1. Phương pháp tạo ảnh ba chiều từ phép đo biên dạng sử dụng điều biến pha không gian bao gồm các bước:

(i) thu thập tín hiệu: sử dụng nguồn sáng (1) có dải bước sóng trong khoảng từ 550 đến 750 nm chiếu tới buồng cộng hưởng (2) để lọc gần như tần số quang học của nguồn sáng bằng thông ngoại trừ tần số cộng hưởng của chính nó, sau đó chùm sáng từ buồng cộng hưởng (2) tiếp tục đến bộ mở rộng chùm tia (3) và được mở rộng đường kính tới nằm trong khoảng từ 1 đến 10mm trước khi đi tới bộ tách tia (9) và được bộ tách tia tách làm hai chùm tia vuông góc với nhau, bao gồm chùm tia tham chiếu và chùm tia đo, trong đó:

chùm tia tham chiếu đi theo nhánh tham chiếu là chùm tia bị phản xạ bởi bộ tách tia (9) và đi tới cách tử (8) thông qua hai thấu kính (6), chùm tia tham chiếu này đi đến cách tử (8) bị nhiễu xạ theo nhiều hướng khác nhau và điều chỉnh cách tử (8) để chọn được chùm nhiễu xạ quay lại bộ tách tia (9) có thông số để thỏa mãn điều kiện giao thoa tức là hiệu quang lộ giữa hai chùm tia sau khi phản xạ nằm trong độ dài kết hợp của nguồn sáng, đây chính là phạm vi đo, cách tử (8) làm biến đổi pha của các tia trong chùm nhiễu xạ so với các tia trong chùm tới ở nhánh tham chiếu, sau đó giao thoa với các chùm phản xạ từ chùm tia đo ở nhánh đo khi thỏa mãn điều kiện: $\Delta L \leq D \cdot \tan(\alpha)$, trong đó: ΔL là hiệu quang lộ giữa chùm tham chiếu và chùm đo; D là đường kính chùm tia tới; α là góc tạo bởi tia tới và mặt phẳng pháp tuyến của cách tử;

phạm vi đo Δz được thể hiện trong công thức sau:

$$\Delta z = D \cdot \tan(\alpha) = D \cdot \tan\left(\sin^{-1}\left(\frac{m\lambda}{2a}\right)\right)$$

trong đó: a là bước của cách tử; m là thứ tự các chùm tia phản xạ; λ là bước sóng của chùm tia nhiễu xạ ứng với thứ tự m ;

chùm tia đo đi theo nhánh đo là chùm tia đi xuyên qua bộ tách tia (9) tới vật đo (7) thông qua thấu kính thứ nhất (5), và chùm tia đo này khi đi đến vật đo (7) bị phản xạ hoặc tán xạ ngược trở lại bộ tách tia (9);

khi các chùm tia từ cách tử (8) và vật đo (7) phản xạ lại bộ tách tia (9), chúng giao thoa với nhau và hình thành nên các vân cực đại giao thoa và được thu lại tín hiệu bằng máy ảnh (4);

(ii) xử lý tín hiệu đo thu được từ máy ảnh (4) bằng phương pháp toán học nhằm giảm mức độ nhiễu của môi trường ảnh hưởng đến tín hiệu giao thoa bao gồm các công đoạn:

kết nối máy ảnh (4) với phần mềm trên máy tính;

cài đặt các thông số để máy ảnh bắt đầu thu nhận tín hiệu và có thể quan sát được ở mức cơ bản, giá trị cộng thêm vào điểm ảnh thu được từ máy ảnh để loại bỏ nhiễu, số khung hình trên giây, chế độ thu ảnh, thời gian máy ảnh sẽ tiếp nhận phơi sáng và ghi lại hình ảnh, chế độ máy ảnh thu dữ liệu từ cảm biến và gửi về máy tính để xử lý, độ sáng, độ tương phản của ảnh thu được, độ nhả của máy ảnh CCD;

tính toán cường độ sáng của từng điểm ảnh trong một ảnh, sau đó hiệu chuẩn lại cường độ sáng của mỗi điểm ảnh trong ảnh mới để đảm bảo chúng có cùng cường độ xám, sau khi cường độ sáng của mỗi điểm ảnh thay đổi trên một ngưỡng nhất định (H, V) thì tự động hiệu chỉnh lại để cùng nền;

thu được khung hình nhận được đầu tiên là khung hình số 0, khi tính được số khung hình trên giây của máy ảnh trong thời gian thực, chia số khung hình thực tế ra 50 rồi lấy khung hình tại thời điểm đó cộng với khung hình thời điểm 0 để được giá trị lớn nhất cường độ sáng của vân giao thoa và gọi là S, độ nhiễu của môi trường gọi là N, tính tỷ số S/N , nếu tỷ số này lớn hơn 3 thì hiển thị khung hình mới bằng giá trị khung hình gần nhất trừ đi nhiễu N, nếu không thì tiếp tục quá trình cộng vào các khung hình tại số khung hình tiếp theo cho đến khi đạt được điều kiện $S/N > 3$;

(iii) tạo ảnh ba chiều từ biên dạng hai chiều thu được: sử dụng ngôn ngữ python và sử dụng trên môi trường tích hợp Pycharm, tập dữ liệu ảnh hai chiều sau khi thu được từ bước trên sẽ chuyển sang một định dạng ảnh ba chiều để có thể đọc được và hiển thị, việc chuyển đổi sang định dạng ảnh ba chiều này được thực hiện như sau:

chuyển toàn bộ dữ liệu ảnh hai chiều đã thu được trong tập dữ liệu sang định dạng file *.tif để có định dạng ảnh không nén chất lượng cao, ổn định và có thể được chỉnh sửa một cách đơn giản;

quét toàn bộ dữ liệu hình ảnh hai chiều trong thư mục;

chỉ định kích thước của phần tử hình ảnh ba chiều theo ba chiều bằng hàm Vector3f() trong thư viện meshlib để tính toán số học;

tạo đối tượng điểm ảnh ba chiều từ loạt hình ảnh bằng hàm loadTiffDir(), giá trị biến trong hàm loadTiffDir sẽ xác định độ cao và độ cân đối của bề mặt 3D;

xác định giá trị ISO để xây dựng bề mặt vật thể đo;

chuyển đổi đối tượng điểm ảnh ba chiều thành lưới bằng hàm gridToMesh(), lưu dưới dạng file *.stl để phần mềm có thể đọc được file 3D sau quá trình chuyển đổi; và

đọc file *.stl để hiển thị mô hình 3D.

2. Phương pháp tạo ảnh ba chiều từ phép đo biên dạng sử dụng điều biến pha không gian theo điểm 1, trong đó tại bước (i), buồng cộng hưởng (2) sử dụng kỹ thuật xung lược để lược tần số ánh sáng, đồng thời mở rộng phạm vi đo.

3. Phương pháp tạo ảnh ba chiều từ phép đo biên dạng sử dụng điều biến pha không gian bao gồm các bước:

(i) thu thập tín hiệu: sử dụng nguồn sáng (1) có dải bước sóng trong khoảng từ 550 đến 750 nm chiếu tới buồng cộng hưởng (2) để lọc gần như tần số quang học của nguồn sáng bằng thông ngoại trừ tần số cộng hưởng của chính nó, sau đó chùm sáng từ buồng cộng hưởng (2) tiếp tục đến bộ mở rộng chùm tia (3) và được mở rộng đường kính tới nằm trong khoảng từ 1 đến 10mm trước khi đi tới bộ tách tia (9) và được bộ tách tách làm hai chùm tia vuông góc với nhau, bao gồm chùm tia tham chiếu và chùm tia đo, trong đó:

chùm tia tham chiếu đi theo nhánh tham chiếu là chùm tia bị phản xạ bởi bộ tách tia (9) và đi tới cách tử (8) thông qua hai thấu kính (6), chùm tia tham chiếu này đi đến cách tử (8) bị nhiễu xạ theo nhiều hướng khác nhau và điều

chính cách tử (8) để chọn được chùm nhiễu xạ quay lại bộ tách tia (9) có thông số để thỏa mãn điều kiện giao thoa tức là hiệu quang lộ giữa hai chùm tia sau khi phản xạ nằm trong độ dài kết hợp của nguồn sáng, đây chính là phạm vi đo, cách tử (8) làm biến đổi pha của các tia trong chùm nhiễu xạ so với các tia trong chùm tới ở nhánh tham chiếu, sau đó giao thoa với các chùm phản xạ từ chùm tia đo ở nhánh đo khi thỏa mãn điều kiện: $\Delta L \leq D \cdot \tan(\alpha)$, trong đó: ΔL là hiệu quang lộ giữa chùm tham chiếu và chùm đo; D là đường kính chùm tia tới; α là góc tạo bởi tia tới và mặt phẳng pháp tuyến của cách tử;

phạm vi đo Δz được thể hiện trong công thức sau:

$$\Delta z = D \cdot \tan(\alpha) = D \cdot \tan\left(\sin^{-1}\left(\frac{m\lambda}{2a}\right)\right)$$

trong đó: a là bước của cách tử; m là thứ tự các chùm tia phản xạ; λ là bước sóng của chùm tia nhiễu xạ ứng với thứ tự m ;

chùm tia đo đi theo nhánh đo là chùm tia đi xuyên qua bộ tách tia (9) tới vật đo (7) thông qua thấu kính thứ nhất (5), và chùm tia đo này khi đi đến vật đo (7) bị phản xạ hoặc tán xạ ngược trở lại bộ tách tia (9);

khi các chùm tia từ cách tử (8) và vật đo (7) phản xạ lại bộ tách tia (9), chúng giao thoa với nhau và hình thành nên các vân cực đại giao thoa và được thu lại tín hiệu bằng máy ảnh (4);

(ii) xử lý tín hiệu đo thu được từ máy ảnh (4) bằng phương pháp huấn luyện mô hình nhận diện vân giao thoa bao gồm các công đoạn như sau:

chuẩn bị bộ dữ liệu, sau khi thu được vân giao thoa chưa xử lý quá rõ nét, xây dựng một bộ dữ liệu bằng việc chụp màn hình các vân giao thoa,

xử lý ảnh và tăng cường dữ liệu bằng máy tính bằng cách: giảm nhiễu cho ảnh (các hàm gray, erosion, dilate), trong đó hàm gray giúp chuyển ảnh xám, làm mịn ảnh, hàm Erosion giúp giãn ảnh, tự động bổ sung những điểm ảnh thiếu, hàm Dilate giúp co ảnh, loại bỏ những điểm ảnh rời rạc, loại bỏ nhiễu, ngoài ra, còn có thể giảm nhiễu cho ảnh bằng có các hàm khác như: giảm độ phân giải (resolution) và kích thước ảnh (size), xoay ảnh (rotate) và sau xử lý, thu được bộ dữ liệu

mới là một thư mục ảnh định dạng *png để làm dữ liệu đầu vào cho quá trình gán nhãn và huấn luyện;

sử dụng công cụ ImgLabel hoặc web <https://www.makesense.ai/> hoặc phần mềm Aurora Vision Studio để thực hiện gán nhãn bằng tay bộ dữ liệu vân giao thoa,

tạo và khai báo bộ dữ liệu nguồn trước khi huấn luyện mô hình,

huấn luyện mô hình bằng Yolov8 để nhận diện vân giao thoa,

sau khi huấn luyện mô hình sẽ có mô hình được xuất thành file best.pt để làm ra một package trong xây dựng phần mềm, ứng dụng vào nhận diện vân và khi nhận diện được vân để xóa nền để phân biệt rõ hơn tín hiệu giao thoa và môi trường, sử dụng thuật toán Canny để tìm biên của vật thể đo, theo đó, mỗi giá trị pixel được xác định bởi các giá trị số từ 0-255 để tạo thành một ma trận điểm ảnh và thuật toán Canny dùng để tìm biên vật thể đo dựa vào ngưỡng trên và ngưỡng dưới của cường độ sáng nằm trong đoạn từ 0 đến 255 trong ma trận điểm ảnh, từ đó xác định biên của vân vẽ một đường kẻ có độ dày 1 pixel theo biên nhận dạng, rồi hợp nhất nét vẽ với hình ảnh gốc ban đầu;

(iii) tạo ảnh ba chiều từ biên dạng hai chiều thu được: sử dụng ngôn ngữ python và sử dụng trên môi trường tích hợp Pycharm, tập dữ liệu ảnh hai chiều sau khi thu được từ bước trên sẽ chuyển sang một định dạng ảnh ba chiều để có thể đọc được và hiển thị, việc chuyển đổi sang định dạng ảnh ba chiều này được thực hiện như sau:

chuyển toàn bộ dữ liệu ảnh hai chiều đã thu được trong tập dữ liệu sang định dạng file *tif để có định dạng ảnh không nén chất lượng cao, ổn định và có thể được chỉnh sửa một cách đơn giản;

quét toàn bộ dữ liệu hình ảnh hai chiều trong thư mục;

chỉ định kích thước của phần tử hình ảnh ba chiều theo ba chiều bằng hàm Vector3f() trong thư viện meshlib để tính toán số học;

tạo đối tượng điểm ảnh ba chiều từ loạt hình ảnh bằng hàm loadTiffDir(), giá trị biến trong hàm loadTiffDir sẽ xác định độ cao và độ cân đối của bề mặt 3D;

xác định giá trị ISO để xây dựng bề mặt vật thể đo;

chuyển đổi đối tượng điểm ảnh ba chiều thành lưới bằng hàm `gridToMesh()`, lưu dưới dạng file *.stl để phần mềm có thể đọc được file 3D sau quá trình chuyển đổi; và
đọc file *.stl để hiển thị mô hình 3D.

4. Phương pháp tạo ảnh ba chiều từ phép đo biên dạng sử dụng điều biến pha không gian theo điểm 3, trong đó tại bước (i), buồng cộng hưởng (2) sử dụng kỹ thuật xung lược để lược tần số ánh sáng, đồng thời mở rộng phạm vi đo.

5. Phương pháp tạo ảnh ba chiều từ phép đo biên dạng sử dụng điều biến pha không gian bao gồm các bước:

(i) thu thập tín hiệu: sử dụng nguồn sáng (1) có dải bước sóng trong khoảng từ 550 đến 750 nm chiếu tới buồng cộng hưởng (2) để lọc gần như tần số quang học của nguồn sáng bằng thông ngoại trừ tần số cộng hưởng của chính nó, sau đó chùm sáng từ buồng cộng hưởng (2) tiếp tục đến bộ mở rộng chùm tia (3) và được mở rộng đường kính tới nằm trong khoảng từ 1 đến 10mm trước khi đi tới bộ tách tia (9) và được bộ tách tách làm hai chùm tia vuông góc với nhau, bao gồm chùm tia tham chiếu và chùm tia đo, trong đó:

chùm tia tham chiếu đi theo nhánh tham chiếu là chùm tia bị phản xạ bởi bộ tách tia (9) và đi tới cách tử (8) thông qua hai thấu kính (6), chùm tia tham chiếu này đi đến cách tử (8) bị nhiễu xạ theo nhiều hướng khác nhau và điều chỉnh cách tử (8) để chọn được chùm nhiễu xạ quay lại bộ tách tia (9) có thông số để thỏa mãn điều kiện giao thoa tức là hiệu quang lộ giữa hai chùm tia sau khi phản xạ nằm trong độ dài kết hợp của nguồn sáng, đây chính là phạm vi đo, cách tử (8) làm biến đổi pha của các tia trong chùm nhiễu xạ so với các tia trong chùm tới ở nhánh tham chiếu, sau đó giao thoa với các chùm phản xạ từ chùm tia đo ở nhánh đo khi thỏa mãn điều kiện: $\Delta L \leq D \cdot \tan(\alpha)$, trong đó: ΔL là hiệu quang lộ giữa chùm tham chiếu và chùm đo; D là đường kính chùm tia tới; α là góc tạo bởi tia tới và mặt phẳng pháp tuyến của cách tử;

phạm vi đo Δz được thể hiện trong công thức sau:

$$\Delta z = D \cdot \tan(\alpha) = D \cdot \tan\left(\sin^{-1}\left(\frac{m\lambda}{2a}\right)\right)$$

trong đó: a là bước của cách tử; m là thứ tự các chùm tia phản xạ; λ là bước sóng của chùm tia nhiễu xạ ứng với thứ tự m ;

chùm tia đo đi theo nhánh đo là chùm tia đi xuyên qua bộ tách tia (9) tới vật đo (7) thông qua thấu kính thứ nhất (5), và chùm tia đo này khi đi đến vật đo (7) bị phản xạ hoặc tán xạ ngược trở lại bộ tách tia (9);

khi các chùm tia từ cách tử (8) và vật đo (7) phản xạ lại bộ tách tia (9), chúng giao thoa với nhau và hình thành nên các vân cực đại giao thoa và được thu lại tín hiệu bằng máy ảnh (4);

(ii) xử lý tín hiệu đo thu được từ máy ảnh (4) bằng phương pháp toán học nhằm giảm mức độ nhiễu của môi trường ảnh hưởng đến tín hiệu giao thoa bao gồm các công đoạn:

kết nối máy ảnh (4) với phần mềm trên máy tính;

cài đặt các thông số để máy ảnh bắt đầu thu nhận tín hiệu và có thể quan sát được ở mức cơ bản, giá trị cộng thêm vào điểm ảnh thu được từ máy ảnh để loại bỏ nhiễu, số khung hình trên giây, chế độ thu ảnh, thời gian máy ảnh sẽ tiếp nhận phơi sáng và ghi lại hình ảnh, chế độ máy ảnh thu dữ liệu từ cảm biến và gửi về máy tính để xử lý, độ sáng, độ tương phản của ảnh thu được, độ nhả của máy ảnh CCD;

tính toán cường độ sáng của từng điểm ảnh trong một ảnh, sau đó hiệu chuẩn lại cường độ sáng của mỗi điểm ảnh trong ảnh mới để đảm bảo chúng có cùng cường độ xám, sau khi cường độ sáng của mỗi điểm ảnh thay đổi trên một ngưỡng nhất định (H , V) thì tự động hiệu chỉnh lại để cùng nền;

thu được khung hình nhận được đầu tiên là khung hình số 0, khi tính được số khung hình trên giây của máy ảnh trong thời gian thực, chia số khung hình thực tế ra 50 rồi lấy khung hình tại thời điểm đó cộng với khung hình thời điểm 0 để được giá trị lớn nhất cường độ sáng của vân giao thoa và gọi là S , độ nhiễu của môi trường gọi là N , tính tỷ số S/N , nếu tỷ số này lớn hơn 3 thì hiển thị khung hình mới bằng giá trị khung hình gần nhất trừ đi nhiễu N , nếu không thì tiếp tục quá trình

cộng vào các khung hình tại số khung hình tiếp theo cho đến khi đạt được điều kiện $S/N > 3$;

(iii) xử lý tín hiệu đo thu được từ máy ảnh (4) bằng phương pháp huấn luyện mô hình nhận diện vân giao thoa bao gồm các công đoạn như sau:

chuẩn bị bộ dữ liệu, sau khi thu được vân giao thoa chưa xử lý quá rõ nét, xây dựng một bộ dữ liệu bằng việc chụp màn hình các vân giao thoa,

xử lý ảnh và tăng cường dữ liệu bằng máy tính bằng cách: giảm nhiễu cho ảnh (các hàm gray, erosion, dilate), trong đó hàm gray giúp chuyển ảnh xám, làm mịn ảnh, hàm Erosion giúp giãn ảnh, tự động bổ sung những điểm ảnh thiếu, hàm Dilate giúp co ảnh, loại bỏ những điểm ảnh rời rạc, loại bỏ nhiễu, ngoài ra, còn có thể giảm nhiễu cho ảnh bằng có các hàm khác như: giảm độ phân giải (resolution) và kích thước ảnh (size), xoay ảnh (rotate) và sau xử lý, thu được bộ dữ liệu mới là một thư mục ảnh định dạng *png để làm dữ liệu đầu vào cho quá trình gán nhãn và huấn luyện;

sử dụng công cụ ImgLabel hoặc web <https://www.makesense.ai/> hoặc phần mềm Aurora Vision Studio để thực hiện gán nhãn bằng tay bộ dữ liệu vân giao thoa,

tạo và khai báo bộ dữ liệu nguồn trước khi huấn luyện mô hình,

huấn luyện mô hình bằng YOLOv8 để nhận diện vân giao thoa,

sau khi huấn luyện mô hình sẽ có mô hình được xuất thành file best.pt để làm ra một package trong xây dựng phần mềm, ứng dụng vào nhận diện vân và khi nhận diện được vân để xóa nền để phân biệt rõ hơn tín hiệu giao thoa và môi trường, sử dụng thuật toán Canny để tìm biên của vật thể đo, theo đó, mỗi giá trị pixel được xác định bởi các giá trị số từ 0-255 để tạo thành một ma trận điểm ảnh và thuật toán Canny dùng để tìm biên vật thể đo dựa vào ngưỡng trên và ngưỡng dưới của cường độ sáng nằm trong đoạn từ 0 đến 255 trong ma trận điểm ảnh, từ đó xác định biên của vân vẽ một đường kẻ có độ dày 1 pixel theo biên nhận dạng, rồi hợp nhất nét vẽ với hình ảnh gốc ban đầu;

(iv) tạo ảnh ba chiều từ biên dạng hai chiều thu được: sử dụng ngôn ngữ python và sử dụng trên môi trường tích hợp Pycharm, tập dữ liệu ảnh hai chiều

sau khi thu được từ bước trên sẽ chuyển sang một định dạng ảnh ba chiều để có thể đọc được và hiển thị, việc chuyển đổi sang định dạng ảnh ba chiều này được thực hiện như sau:

chuyển toàn bộ dữ liệu ảnh hai chiều đã thu được trong tập dữ liệu sang định dạng file *tif để có định dạng ảnh không nén chất lượng cao, ổn định và có thể được chỉnh sửa một cách đơn giản;

quét toàn bộ dữ liệu hình ảnh hai chiều trong thư mục;

chỉ định kích thước của phần tử hình ảnh ba chiều theo ba chiều bằng hàm Vector3f() trong thư viện meshlib để tính toán số học;

tạo đối tượng điểm ảnh ba chiều từ loạt hình ảnh bằng hàm loadTiffDir(), giá trị biến trong hàm loadTiffDir sẽ xác định độ cao và độ cân đối của bề mặt 3D;

xác định giá trị ISO để xây dựng bề mặt vật thể đo;

chuyển đổi đối tượng điểm ảnh ba chiều thành lưới bằng hàm gridToMesh(), lưu dưới dạng file *stl để phần mềm có thể đọc được file 3D sau quá trình chuyển đổi; và

đọc file *stl để hiển thị mô hình 3D.

6. Phương pháp tạo ảnh ba chiều từ phép đo biên dạng sử dụng điều biến pha không gian theo điểm 5, trong đó tại bước (i), buồng cộng hưởng (2) sử dụng kỹ thuật xung lược để lược tần số ánh sáng, đồng thời mở rộng phạm vi đo.

7. Hệ thống đo biên dạng sử dụng điều biến pha không gian gồm có:

nguồn sáng (1) là nguồn sáng đĩa rộng được tạo bởi xung nuôi nano giây ở bước sóng nhìn thấy trong khoảng từ 550 đến 750 nm, nguồn sáng (1) được chiếu đến cụm cộng hưởng (2);

cụm cộng hưởng (2) để lọc gần như tần số quang học của nguồn sáng bằng thông ngoại trừ tần số cộng hưởng của chính nó;

bộ mở rộng chùm tia (3) bao gồm hai thấu kính để mở rộng chùm tia đi đến từ cụm cộng hưởng (2);

bộ tách tia (9) là một gương bán mạ loại 50:50, cho phép chùm sáng chiếu tới với góc tới 45 độ được chia làm hai nửa bằng nhau, một nửa tiếp tục đi thẳng và một nửa phản xạ theo hướng vuông góc với chùm sáng tới;

thấu kính thứ hai (6) nằm ở nhánh tham chiếu, dùng để truyền chùm tia tham chiếu tới cách tử (8) và truyền chùm tia nhiễu xạ từ cách tử (8) quay trở lại bộ tách tia (9);

thấu kính thứ nhất (5) nằm ở nhánh đo, dùng để truyền chùm tia đo tới vật đo (7) và truyền chùm tia phản xạ từ vật đo (7) quay trở lại bộ tách tia (9);

cách tử (8) có chức năng tạo ra nhiễu xạ khi có chùm ánh sáng chiếu đến và được đặt sau thấu kính thứ hai (6);

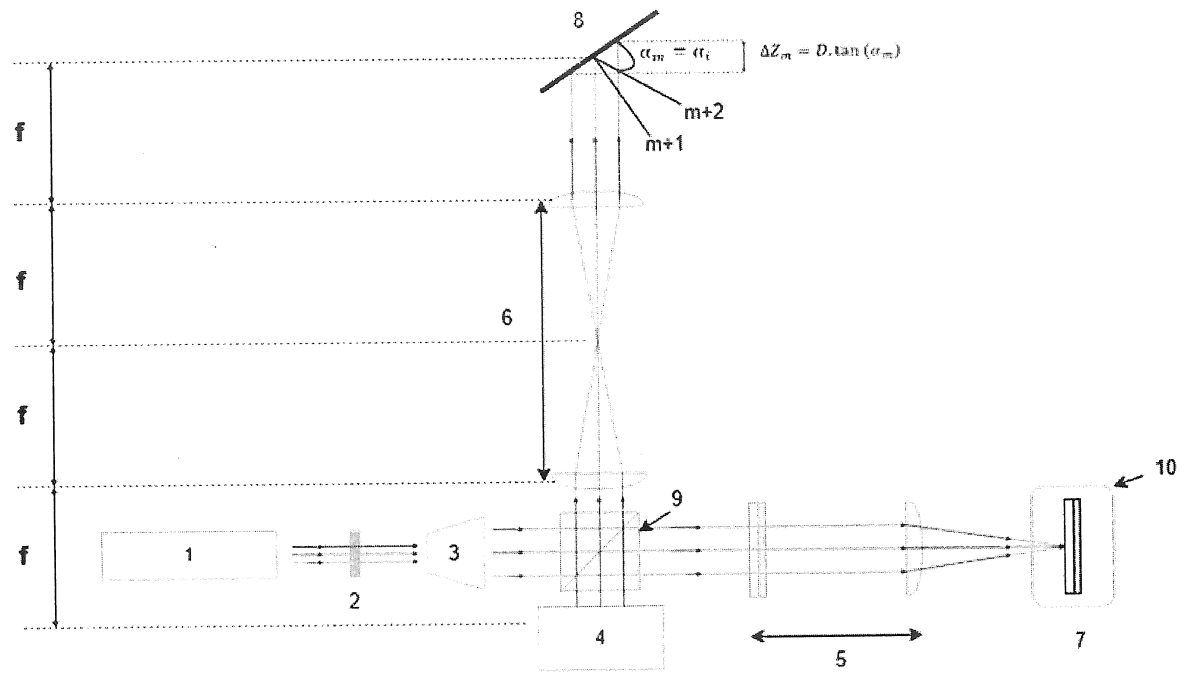
máy ảnh (4) được dùng để thu tín hiệu giao thoa, được kết nối trực tiếp với phần mềm trên máy tính qua cổng USB 3.0;

vật đo (7) được đặt trên bộ dịch chuyển ba chiều (10);

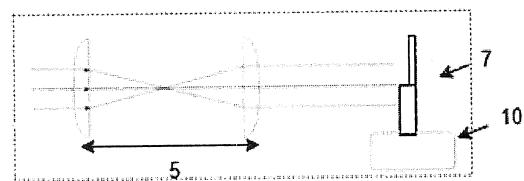
bộ dịch chuyển ba chiều (10) là cơ cấu dịch chuyển tạo biên dạng ba chiều, theo thứ tự lắp đặt từ trên xuống gồm cơ cấu dịch chuyển (10.1) dịch chuyển theo phương Y, cơ cấu dịch chuyển (10.2) dịch chuyển theo phương Z, cơ cấu dịch chuyển (10.3) thay đổi độ nghiêng, tấm đế (10.4) dùng để thay đổi vị trí theo phương Y được kết nối với bộ điều khiển động cơ, và kết nối với máy tính thông qua cổng USB 3.0, bộ dịch chuyển ba chiều (10) tạo chuyển động theo chiều ngang (phương Y) để điều chỉnh vị trí cần đo biên dạng, mỗi lần chuyển động một bước cách nhau một khoảng bằng độ rộng của chùm tia đo chiếu tới vật đo (7).

8. Hệ thống đo biên dạng sử dụng điều biến pha không gian theo điểm 7, trong đó chùm tia được bộ mở rộng chùm tia (3) mở rộng lên 5 lần.

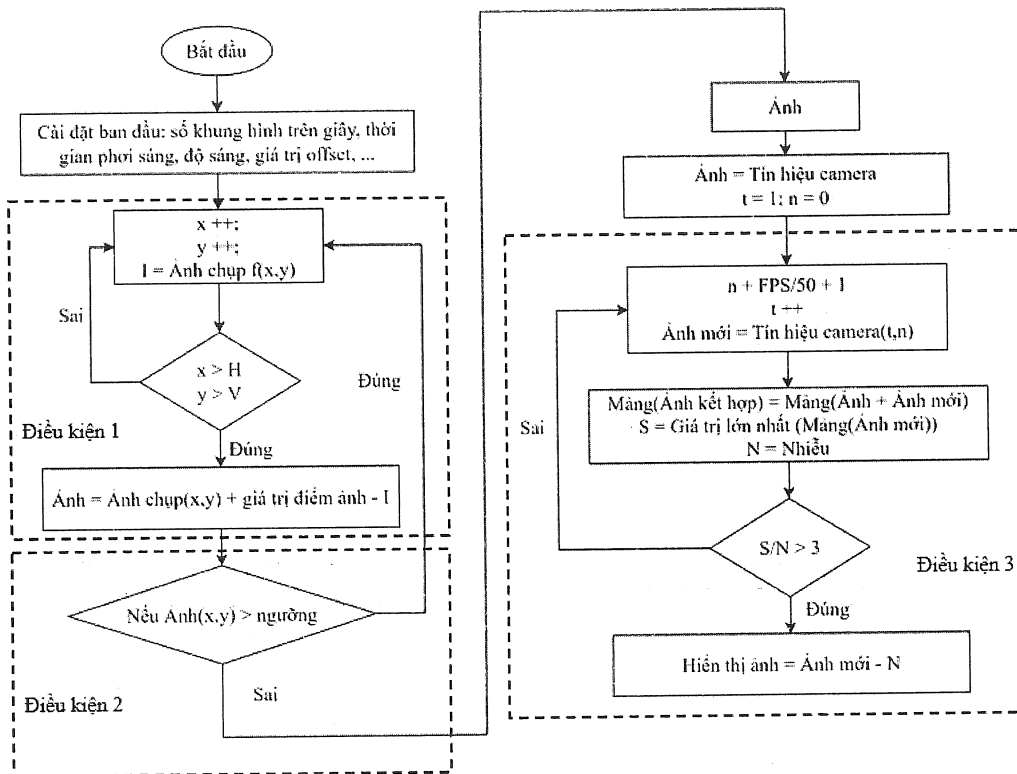
9. Hệ thống đo biên dạng sử dụng điều biến pha không gian theo điểm 7, trong đó bộ điều khiển động cơ của bộ dịch chuyển ba chiều (10) sử dụng là K-Cube.



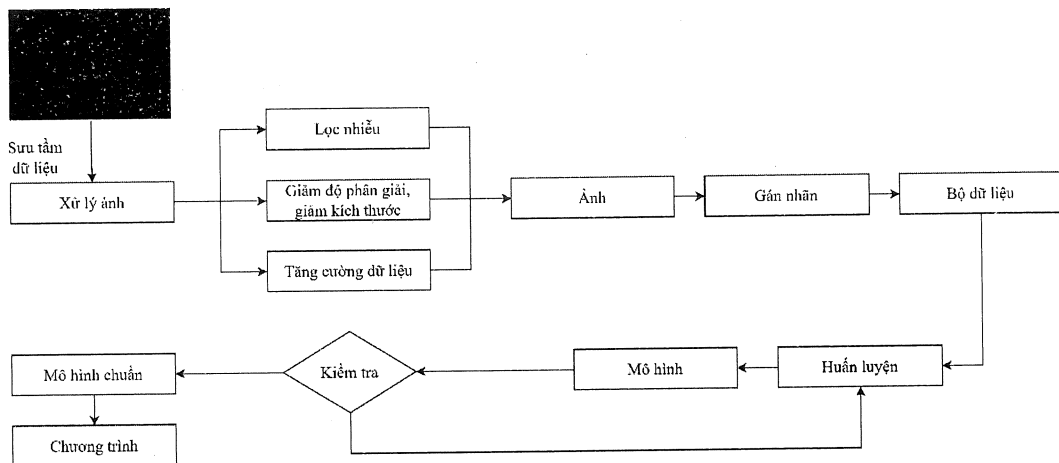
Hình 1a



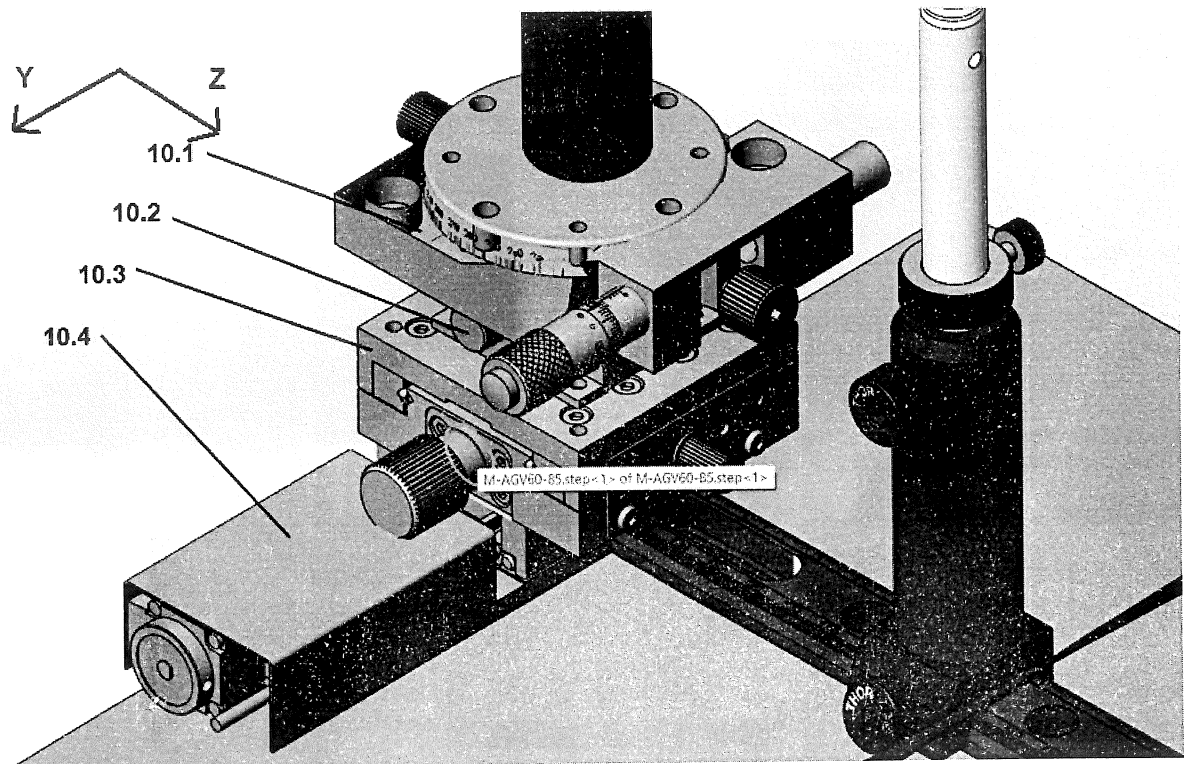
Hình 1b



Hình 2



Hình 3



Hình 4