

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH MẶT CẦU TRONG Đám MÂY ĐIỂM 3D ĐỂ ĐO LƯỜNG CHI TIẾT CƠ KHÍ

RESEARCH OF SPHERE DETECTION METHOD IN 3D POINT CLOUD FOR MECHANICAL PARTS MEASURING

Nguyễn Thị Kim Cúc, Nguyễn Văn Vinh

Viện Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Độ chính xác của hệ thống đo sử dụng ánh sáng cấu trúc phụ thuộc vào thuật toán xử lý đám mây điểm đo 3D, các thuật toán ghép ảnh và dựng lại bề mặt chi tiết đo. Trong bài báo này, một phương pháp phát hiện mặt cầu được phát triển dựa trên thuật toán RANSAC. Phương pháp này dựa trên việc lấy mẫu ngẫu nhiên trong tập dữ liệu chứa nhiễu để xác định mặt cầu. Kết quả thực nghiệm chứng minh thuật toán xác định mặt cầu đề xuất có độ chính xác cao với sai số tương đối là 0.2 %.

Từ khóa: *Đo lường 3D; Ánh sáng cấu trúc; Mã hóa Gray.*

ABSTRACT

The accuracy of a measurement system using structured light depends on 3D analyzing point cloud algorithm, merger point clouds and reconstructed surfaces. In this paper, a sphere detect method is developed based on the RANSAC algorithm. This method is based on random sampling in the input dataset including noise to determine the sphere. Experimental results shown that the proposed method has high accuracy with relative error of 0.2%.

Keywords: *3D scanning, structured light, Gray code patterns.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sau khi thu được đám mây điểm 3D bề mặt cần phải được xử lý bằng phương pháp thích hợp để có thể đo được chính xác kích thước của chi tiết đo từ tọa độ của đám mây điểm.

Một số phương pháp phù hợp các mặt cơ bản là mặt phẳng và mặt cầu đang được nghiên cứu như: Bình phương tối thiểu, SVD, RANSAC... Tuy nhiên, mỗi phương pháp có thuận lợi và khó khăn riêng cho từng dạng bề mặt cụ thể.

Phương pháp bình phương tối thiểu được áp dụng để phù hợp với một mặt phẳng, mặt cầu, elip... với đám mây điểm đã được xử lý nhiều [1]. Nếu đám mây có các điểm nhiễu thì kết quả phù hợp sẽ không còn chính xác. Bởi vì phương pháp bình phương tối thiểu tối ưu theo phân bố điểm, do đó nếu có một vài điểm cô lập nằm xa bề mặt lý tưởng thì kết quả của việc phù hợp sẽ bị sai lệch nhiều so với các bề mặt lý tưởng.

Thuật toán RANSAC dùng phát hiện mặt cơ bản là thuật toán lặp với mục đích ước lượng các thông số của một mô hình tổng quát (mô hình) từ một bộ dữ liệu thu thập được bao gồm cả các điểm trong tập và điểm ngoài tập [2]. Các tham số tin cậy quan trọng trong việc thực hiện thuật toán RANSAC là ngưỡng sai số cho phép ϵ (là giá trị khoảng cách lớn nhất từ một điểm đến mô hình để điểm đó còn được coi là điểm trong) và số lần lặp lại k . Việc xác định ϵ với từng trường hợp cụ thể thường dựa trên kinh nghiệm và ước lượng thực tế.

Với đám mây điểm đầu vào có n điểm, giả sử p là xác suất thành công của thuật toán với m là số điểm trong tập để mô hình thu được

là tốt nhất, khi đó xác suất chọn một điểm trong tập của một lần lặp là $b = \frac{m}{n}$ giá trị này thường chưa biết trước nhưng giá trị thô có thể được đưa ra. Như vậy, b^m là xác suất mà m điểm nằm trong tập và xác suất xuất hiện các điểm ngoài tập là $1 - b^m$. Số lần lặp lại k cũng có thể được ước lượng hợp lý để cân bằng giữa kết quả và thời gian tính toán [3]:

$$k = \frac{\log(1-p)}{\log(1-b^m)} \tag{1}$$

Ưu điểm của thuật toán RANSAC là độ chống nhiễu tốt, hay RANSAC có thể tìm ra mô hình thích hợp với độ chính xác rất cao trong bộ dữ liệu chứa nhiễu nhiều. Nhược điểm của RANSAC là không có giới hạn về thời gian tính toán các thông số mô hình. Khi số lần lặp bị giới hạn, giải thuật có thể không đưa ra được mô hình tối ưu. Do đó, khi thực hiện phải cân bằng giữa thời gian tính toán và chất lượng mô hình. Với số lần lặp càng tăng, xác suất thu được các mô hình tốt hơn cũng tăng.

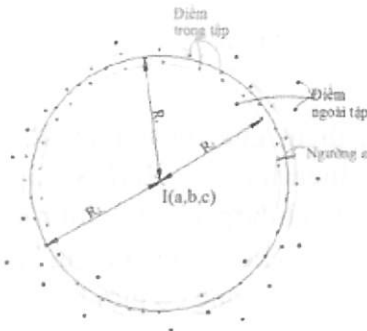
Trong một nghiên cứu [4], một mặt cầu được xác định bằng hai điểm p_1, p_2 và véc tơ pháp tuyến tương ứng n_1 và n_2 . Tâm C của mặt cầu là trung điểm của đường vuông góc chung của hai đường thẳng: Đường thứ nhất đi qua điểm p_1 và có véc tơ chỉ phương là n_1 và đường thứ hai đi qua điểm p_2 và có véc tơ chỉ phương là n_2 . Bán kính của mặt cầu được xác định là $r = \frac{|p_1 - C| + |p_2 - C|}{2}$ nếu khoảng cách từ tất cả các điểm tới mặt cầu nhỏ hơn một ngưỡng t được đưa ra.

2. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH MẶT CẦU TRONG Đám Mây Điểm 3D

2.1. Phương pháp phù hợp mặt cầu

Với tiêu chuẩn kiểu E1 được chọn để

đánh giá độ chính xác hệ thống đo sử dụng PSGC. Cần xây dựng thuật toán và chương trình phần mềm để xác định được chuẩn kiểu E1. Như vậy, cần xác định bán kính của đám mây điểm cầu chuẩn. Để xác định bán kính R của mặt cầu trong đám mây điểm 3D như hình 1, một thuật toán phù hợp mặt cầu ứng dụng thuật toán RANSAC được xây dựng và trình bày như sau:



Hình 1. Sơ đồ thuật toán chương trình xác định mặt cầu.

Với tập dữ liệu đám mây điểm 3D đầu vào N có n điểm, chọn 4 điểm A, B, C, D ngẫu nhiên, một mặt cầu phù hợp đi qua 4 điểm với phương trình là:

$$x^2+y^2+z^2+2ax+2by+2cz+d=0 \quad (2)$$

Giải hệ phương trình đi qua 4 điểm A, B, C, D xác định được các hệ số a, b, c, d và xác định được tâm cầu chuẩn từ việc phù hợp 4 điểm trên.

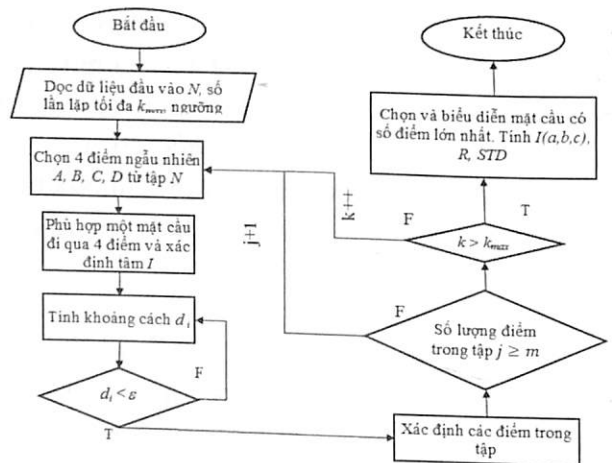
Tính toán khoảng cách di từ các điểm trong tập dữ liệu N tới mặt cầu xác định qua 4 điểm được chọn. Sau đó, phân biệt các khoảng cách với điều kiện khoảng cách từ các điểm trong tập dữ liệu N tới mặt cầu phải nhỏ hơn ngưỡng ε xác định, nghĩa là $d_i < \epsilon$. Các điểm này sẽ được chọn là các điểm trong tập. Nếu khoảng cách lớn hơn ngưỡng thì điểm đó được coi là điểm ngoài tập.

Tính toán số lượng điểm nằm trong tập với j là biến đếm các điểm trong tập. Nếu số lượng điểm nằm trong nhỏ hơn ngưỡng được xác định thì chọn lại 4 điểm. Nếu số lượng điểm nằm trong tập đủ lớn là m điểm hoặc số lần lặp thỏa mãn công thức (1) với xác suất p được chọn là 95% thì kết thúc vòng lặp. Nếu số lần lặp vượt quá số lần lặp tối đa k thì dừng vòng lặp.

Chọn mặt cầu có số điểm lớn nhất. Biểu diễn mặt cầu đi qua các điểm trong tập xác định.

2.2. Xây dựng thuật toán và phần mềm

Phần mềm phù hợp mặt cầu được viết bằng ngôn ngữ C++ sử dụng thư viện VTK và Open CV 3.2 thuật toán được mô tả như hình 2.



Hình 2. Sơ đồ thuật toán xác định mặt cầu.

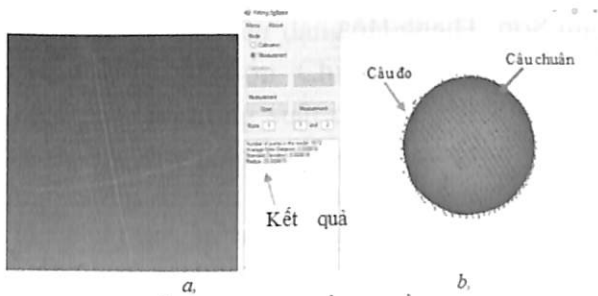
Sau khi thu được một mặt cầu tốt nhất đi qua đám mây điểm đầu vào, tọa độ tâm của mặt cầu I(a,b,c) được xác định. Bán kính thực của mặt cầu là khoảng cách R từ m điểm nằm trong tập dữ liệu đến tâm I của mặt cầu, độ lệch chuẩn STD được xác định bằng công thức:

$$\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i \quad (3)$$

$$STD = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (R_i - \bar{R})^2} \quad (4)$$

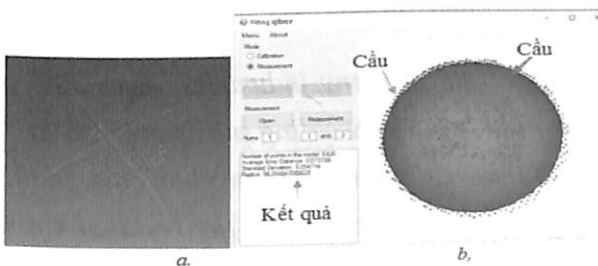
3. THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

Thực nghiệm xác định độ chính xác của thuật toán phát triển được thực hiện khi đo mặt cầu với bán kính mặt cầu thực lần lượt là $R_1=25,012$ mm và $R_2=36.497$ mm. Tập dữ liệu đám mây điểm 3D đầu vào thu được khi đo bằng phương pháp đo sử dụng phương pháp dịch pha kết hợp mã Gray mô hình thực nghiệm đã được xây dựng trong công trình [5]. Đám mây điểm 3D của chi tiết mặt cầu được phù hợp với các mặt cầu chuẩn sử dụng phần mềm phù hợp mặt cầu được xây dựng như hình 3 và 4.



Hình 3. Xác định mặt cầu qua đám mây điểm qua cầu bán kính $R_1=25$ (mm):
 a) Đám mây điểm qua cầu đo;
 b) Đo bán kính mặt cầu.

Kết quả đo bán kính chi tiết dạng cầu với số lượng điểm ảnh 3D là 5572, khoảng cách trung bình từ mặt cầu chuẩn tới mặt cầu thực là 0,030 mm, bán kính quả cầu đo được là $R_1 = 25,069$ mm, độ lệch chuẩn là 0,068 mm.



Hình 4. Xác định mặt cầu qua đám mây điểm qua cầu bán kính $R_2=36.50$ (mm):
 a) Đám mây điểm qua cầu đo;
 b) Đo bán kính mặt cầu

Kết quả đo bán kính chi tiết dạng cầu với số lượng điểm ảnh 3D là 8426, khoảng cách trung bình từ mặt cầu chuẩn tới mặt cầu thực là 0,073 mm, bán kính quả cầu đo được là $R_2 = 36,354$ mm, độ lệch chuẩn là 0,054 mm.

Thực nghiệm cho thấy thuật toán xác định mặt cầu được đề xuất có độ chính xác cao với sai số tương đối lớn nhất là 0,2 %.

Sau khi xác định được tiềm năng của thuật toán RANSAC, chúng tôi đã phát triển một số phần mở rộng và đánh giá với các mô hình mặt cầu. Phương pháp xác định mặt cầu đề xuất không bị ảnh hưởng bởi nhiễu và có độ chính xác xác định mặt cầu cao. ❖

Ngày nhận bài: 06/11/2018

Ngày phản biện: 15/11/2018

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Xu, S. (2015). RANSAC based three points algorithm for ellipse fitting of spherical object's projection.
- [2]. Ahn, S.J., Rauh, W., and Warnecke, H.J. (2001). Least-squares orthogonal distances fitting of circle, sphere, ellipse, hyperbola, and parabola. Pattern Recognit. 34: 2283–2303.
- [3]. Schnabel, R., Wahl, R., and Klein, R. (2007). Efficient RANSAC for point-cloud shape detection. Comput. Graph. Forum 26: 214–226.
- [4]. R. Schnabel, R. Wahl, and R. Klein, "Efficient RANSAC for point-cloud shapedetection," Computer Graphics Forum, vol. 26, no. 2, 2007, pp. 214–226.
- [5]. Nguyễn Thị Kim Cúc, Nguyễn Văn Vinh, Ngô Anh Vũ, Nguyễn Việt Kiên; Ảnh hưởng của ánh sáng môi trường đến độ chính xác hiệu chuẩn hệ thống đo 3D bằng ánh sáng mã dịch pha kết hợp mã Gray, Tạp chí CNKH & CNQS, số 56 tháng 08/2018.