

PHÂN TÍCH QUAN HỆ HÌNH HỌC GIỮA MÔ HÌNH 3D VÀ ẢNH 2D TƯƠNG ỨNG

ANALYSIS OF GEOMETRIC RELATIONSHIP BETWEEN 3D MODEL AND CORRESPONDING 2D IMAGE

Lê Tiến Mẫu^{1*}, Nguyễn Tấn Khôi²

¹Trường Cao đẳng Quảng Ngãi, Quảng Ngãi, Việt Nam

²Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: tienmauqn@gmail.com

(Nhận bài / Received: 28/7/2023; Sửa bài / Revised: 01/11/2023; Chấp nhận đăng / Accepted: 14/11/2023)

Tóm tắt - Trong bài báo này, nhóm tác giả trình bày một số phương pháp phân tích đặc trưng trên ảnh và mô hình 3D của cùng một đối tượng. Bài báo đã sử dụng một số bộ lọc như: Sobel, Prewitt, Robert và Laplacian để phân tích đặc trưng trên ảnh; phương pháp phân tích đặc trưng trên mô hình 3D dựa vào độ cong bề mặt pháp tuyến của tập điểm. Các bộ lọc phân tích đặc trưng này được thử nghiệm trên hình ảnh tượng Chăm pa và so sánh với phương pháp phân tích đặc trưng trên mô hình 3D được tái tạo của cùng một đối tượng. Kết quả được so sánh và đánh giá giữa các đặc trưng trên ảnh và mô hình, khi phân tích trên ảnh thu được nhiều đặc trưng hơn so với khi phân tích đặc trưng trên mô hình 3D. Tuy nhiên các phương pháp đều rất nhạy cảm với bề mặt nhiễu.

Từ khóa - Mô hình 3D; PCA; Sobel; HoG; Chăm pa

1. Đặt vấn đề

Trong lĩnh vực xử lý ảnh và thị giác máy tính, vấn đề phân tích đặc trưng trên ảnh, mô hình 3D là vấn đề quan trọng trong nhận dạng, phân tích và định vị các đối tượng trong ảnh và mô hình. Tuy nhiên, việc xử lý và hiểu được nội dung của đối tượng ngày càng phức tạp. Bài toán phân tích đặc trưng là quá trình nhận diện, trích xuất và mô tả các thuộc tính và đặc điểm trên ảnh [1]. Các đặc trưng này có thể bao gồm màu sắc, cạnh, hình dạng, kích thước, vị trí vật thể và nhiều thuộc tính khác [2]. Các thuộc tính hình học này đều được sử dụng rộng rãi bởi nhiều nghiên cứu để tìm các điểm gập và biên, cũng như tạo ra các bề mặt chất lượng cao trên ảnh và mô hình [3].

Bài báo tìm hiểu và đề xuất phương pháp phân tích đặc trưng trên ảnh sử dụng một số bộ lọc và phân tích các đặc trưng trên các mô hình 3D dựa trên cơ sở phân tích đặc trưng trên bề mặt của tập điểm. Từ đó làm cơ sở để so sánh phương pháp trích lọc đặc trưng trên ảnh và trên mô hình 3D tương đồng.

2. Các nghiên cứu liên quan

Trong lĩnh vực thị giác máy tính việc xác định và phân tích các đối tượng trong một hình ảnh thì phát hiện đặc trưng là một công cụ cơ bản và cần thiết. Như bài báo [4] đã đưa ra một số bộ lọc phát hiện đặc trưng và so sánh, đánh giá một số phương pháp như: Sobel, Canny, Prewitt,... bài báo cũng nhận xét kết quả của phương pháp phân tích đặc trưng với bộ lọc đạo hàm bậc hai tốt hơn đạo hàm bậc một. Bài báo [6], cũng đã sử dụng một số bộ lọc

Abstract - In this paper, we present several feature analysis methods on images and 3D models of the same object. The paper utilized techniques such as Sobel, Prewitt, Robert, and Laplacian to analyze features on images; the feature analysis on 3D models was based on the curvature of the surface normal at the point set. These feature analysis techniques were tested on images of Champa statues and compared with the feature analysis on the reconstructed 3D models of the same object. The results were compared and evaluated between features on images and 3D models, showing that feature analysis on images yielded more characteristics compared to feature analysis on the 3D models. However, all methods were highly sensitive to surface noise.

Key words - 3D Point Cloud; PCA; Sobel; HoG; Champa

phân tích đặc trưng trên ảnh, kết quả bài báo cũng cho thấy rằng một số phương pháp như: Sobel, Roberts, Canny, Laplacian, Kirsh và Edge Maximum Technique (EMT) hiệu quả trong một số trường hợp.

Trong lĩnh vực phân tích đặc trưng trên mô hình tập điểm 3D, một số phương pháp phổ biến cho phân đoạn và phân tích đặc trưng của các đối tượng 3D cũng được quan tâm đặc biệt đối với cả phương pháp và thuật toán. Kết quả đã được áp dụng rộng rãi trong việc nhận dạng các phần thành phần của đối tượng [7]. Với các phương pháp sử dụng độ cong bề mặt, phương pháp dò quét phân cụm tuy nhiên có nhược điểm khi có tập dữ liệu nhiễu.

Các tác giả trong [3] giới thiệu một phương pháp để tự động phân tích các đặc trưng trên bề mặt của tập điểm 3D, dựa trên các điểm láng giềng của các điểm trong tập điểm và dựa vào ngưỡng Otsu để trích xuất đặc trưng. Ngoài ra, một số nghiên cứu trong các bài báo [6], [7] sử dụng vector pháp tuyến của các điểm trong tập điểm 3D để phân tích đặc trưng. Mặc dù, có một số phương pháp để ước tính vector pháp tuyến trong điểm dữ liệu không gian, nhưng chúng thường được đề xuất chủ yếu cho các mô hình hình học 3D có ít nhiễu, mật độ điểm cao và hầu hết hiệu quả các mô hình chứa các bề mặt trơn.

3. Đề xuất phương pháp

3.1. Phân tích đặc trưng trên ảnh 2D

Đặc trưng trên ảnh là tập các điểm mà tại đó có sự biến đổi đột ngột về mức xám, tập hợp các điểm có sự biến đổi đột ngột tạo thành một đường viền hay đường đặc trưng

¹ Quang Ngãi College, Quangngai, Vietnam (Le Tien Mau)

² The University of Danang - University of Science and Technology, Danang, Vietnam (Nguyen Tan Khoi)

của ảnh. Đường đặc trưng là các đường cong, biên cạnh hoặc dấu hiệu đặc biệt trong hình ảnh chúng thể hiện các đặc điểm quan trọng của đối tượng hoặc cấu trúc trong ảnh. Các đường đặc trưng được sử dụng để nhận dạng, phân đoạn hoặc trích xuất thông tin quan trọng trong ảnh.

Để phát hiện các đường đặc trưng, trong bài báo sử dụng một số bộ lọc để xác định và trích lọc đường đặc trưng trong ảnh [1], [5]:

- 1) Bộ lọc Sobel: Sử dụng bộ lọc 3x3 tích chập với ảnh để xác định sự thay đổi theo hai hướng x và y của ảnh.

$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * I, G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * I \quad (1)$$

- 2) Bộ lọc Prewitt:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * I, G_y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} * I \quad (2)$$

- 3) Toán tử Robert:

$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} * I, G_y = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} * I \quad (3)$$

Với các phép toán Sobel, prewitt, Robert thì độ lớn tại mỗi điểm ảnh được xác định:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (4)$$

Hướng của gradient: $\theta = \text{atan2}(G_y, G_x)$

Đối với các phép toán trên để tìm các điểm cực trị, điểm đặc trưng để tìm các vùng biên của cạnh trong ảnh sử dụng đạo hàm bậc nhất trên hai chiều của hình ảnh.

4) Bộ lọc LoG (Laplacian of Gaussian): toán tử sử dụng đạo hàm bậc hai của một ảnh sử dụng phép tích chập của hàm Gaussian và toán tử Laplacian. Điều này cho phép xác định các điểm cực trị trên ảnh và giúp phát hiện các đường viền, cạnh trong ảnh. Hàm Gaussian được xác định bằng công thức [1]:

$$G(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

Trong đó: σ : độ lệch chuẩn, và LoG được xác định:

$$\text{LoG} = \frac{\partial^2}{\partial x^2} G(x, y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} G(x, y) \quad (6)$$

Trong bài báo này, đề xuất sử dụng các bộ lọc Sobel, Prewitt, LoG để nhận dạng và phát hiện đường đặc trưng trên ảnh. Từ đó so sánh với các đường đặc trưng trên tập điểm 3D tương đồng của cùng một đối tượng.

3.2. Phân tích đặc trưng trên tập điểm 3D

Tập hợp các điểm trong không gian của một mô hình 3D là một tập hợp không có cấu trúc, các điểm hình học trong không gian rời rạc mà không có mối quan hệ với nhau. Để phân tích mối tương quan, mối quan hệ giữa các điểm này, cần xem xét toàn bộ tập điểm. Bài báo đề xuất phân tích độ cong bề mặt của tập điểm dựa trên việc xác định pháp tuyến của một điểm dựa trên sự tương quan với các điểm láng giềng, đó là cơ sở để phân đoạn và phân tích các đặc điểm của các đối tượng. Độ cong và pháp tuyến tại một điểm trong tập dữ liệu được tính toán bằng phương

pháp xấp xỉ bề mặt sử dụng tập điểm láng giềng. Các giá trị của độ cong và pháp tuyến của điểm đại diện cho các thuộc tính của điểm và các thuộc tính cục bộ trên bề mặt, cho một khu vực cục bộ.

Cho $P = \{x_i, y_i, z_i\}, i=1, N$ là tập điểm 3D trong không gian của mô hình đối tượng, gọi p_q là một điểm bất kỳ trong tập điểm P , $P_k = \{x_i, y_i, z_i\}, i=1, k$ ta có P_k tập điểm láng giềng của p_q . Mặt phẳng tiếp tuyến S được xác định thông qua một điểm x và một vector pháp tuyến n_x , với các điểm p_i , thì khoảng cách từ p_i đến mặt phẳng S được xác định $d_i = (p_i - x) \cdot \bar{n}_x$. Giá trị riêng $\lambda_j \in R$ và vector riêng $\bar{v}_j, (j=0,1,2)$ của ma trận hiệp phương sai $C \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ được tạo thành từ một tập các điểm $p_i \in P_k$ được xác định [2], [6]:

$$C = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \mu_i (p_i - \bar{p})(p_i - \bar{p})^T \quad (7)$$

Trong đó, hàm μ_i được định nghĩa và tính bởi hàm

Gaussian và giá trị $\mu_i = \exp\left(\frac{-\|p_i - \bar{p}\|^2}{k}\right)$ là tâm của tập

điểm láng giềng \bar{p} , $\bar{p} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k p_i$ tính ma trận hiệp phương sai (7) thu được các giá trị của vector riêng v_0 tương ứng với giá trị riêng $\lambda_0 = \min(\lambda_j), (j=0,2)$, và giá trị của vector riêng tương ứng với vector pháp tuyến \bar{n} của bề mặt. Và gọi $C = \{c_1, c_2, \dots, c_N\}$ với c_i là độ cong của điểm p_i được xác định:

$$c_i = \lambda_0 / \sum_{j=0}^2 \lambda_j \quad (8)$$

$$c'_i = \begin{cases} \text{true} & \text{if } c_i \geq \tau \\ \text{false} & \text{if } c_i < \tau \end{cases} \quad i = \overline{1, N} \quad (9)$$

Các thuật toán phân tích đặc trưng trên ảnh được mô tả như sau:

Đầu vào: `img[m][n], m, n; // ảnh và kích thước của ảnh`

Đầu ra: `c_img; // ảnh được phân tích`

BEGIN

Khởi tạo: `c_img[m][n], g_img[m][n];`

FOR `y = 0 TO m-1 DO`

FOR `x = 0 TO n-1 DO`

`g_img[y][x] = 0.299*img[y][x][0]+0.587*img[y][x][1] + 0.114 * img[y][x][2];`

FOR `y = 1 TO m-2 DO`

FOR `x = 1 TO n-2 DO`

`sobelx[y][x] = g_img[y-1][x+1]+2* g_img[y][x+1]+g_img[y+1][x+1]-g_img[y-1][x-1]- 2*g_img[y][x-1]-g_img[y+1][x-1];`

`sobely[y][x] = g_img[y + 1][x - 1] + 2 * g_img[y + 1][x] + g_img[y + 1][x + 1] - g_img[y - 1][x - 1] - 2* g_img[y - 1][x] - g_img[y - 1][x + 1];`

FOR y = 1 **TO** m-2 **DO**

FOR x = 1 **TO** n-2 **DO**

c_img[y][x] = Sqrt(sobelx[y][x] * sobelx[y][x] +
sobely[y][x] * sobely[y][x]);

END

Thuật toán phân tích đặc trưng dựa trên toán tử LoG:

Thuật toán:

Đầu vào: ảnh img[m][n]; //m,n: kích thước của ảnh

Đầu ra: cur[m][n]; //ảnh được phân tích

BEGIN

Khởi tạo: gray_img[m][n], log_img[m][n];

FOR y = 0 **TO** m-1 **DO**

FOR x = 0 **TO** n-1 **DO**

gray_image[y][x] = 0.299 * image[y][x][0] + 0.587
* image[y][x][1] + 0.114 * image[y][x][2];

// Áp dụng bộ lọc Laplacian of Gaussian (LoG)

FOR y = 2 **TO** m-3 **DO**

FOR x = 2 **TO** n-3 **DO**

log_value += gray_image[y + i][x + j] *
Gaussian[i][j] // (i=-2..2; j=-2..2)

log_image[y][x] = log_value;

FOR y = 1 **TO** m-2 **DO**

FOR x = 1 **TO** n-2 **DO**

cur[y][x] = log_image[y][x];

END

Thuật toán phân tích độ cong trên bề mặt của tập điểm 3D trong (3.2) và được mô tả các bước như:

Bước 1: Chọn một điểm p_q bất kỳ chưa xét, xác định k điểm láng giềng;

Bước 2: Xây dựng ma trận hiệp phương sai C từ tập điểm láng giềng;

Bước 3: Giải phương trình đặc trưng (7), tính các vectơ riêng (eigenvectors) và giá trị riêng (eigenvalues) của ma trận hiệp phương sai C .

Bước 4: Mỗi giá trị độ cong c_i được xác định bởi công thức 8. Lặp lại bước 1 cho đến khi các điểm đều được xét.

Bước 5: Với mỗi giá trị độ cong của điểm p_q thu được tập giá trị độ cong tương ứng, $\mathbb{C} = \{c_1, c_2, \dots, c_N\}$.

Bước 6: Đánh dấu tập giá trị độ cong, với mỗi giá trị độ cong $c_i \in \mathbb{C}, i = \overline{1, N}$ nếu nhỏ hơn tổng giá trị độ cong trung bình τ thì gán giá trị True, ngược lại False.

Nội dung kế tiếp là các kết quả thử nghiệm cho các phương pháp.



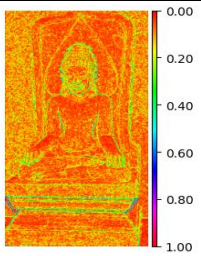

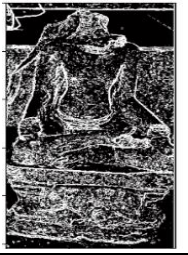
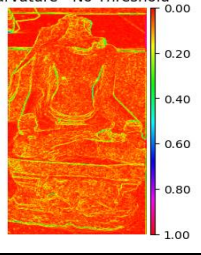
4. Kết quả thử nghiệm

Để thử nghiệm với phương pháp đề xuất bài báo sử dụng ảnh 2D được chụp từ các mẫu vật tại bảo tàng Chămpa Đà Nẵng, mô hình 3D được tái tạo cũng từ đối tượng trên ảnh. Bộ dữ liệu bao gồm Thần Isana và Shiva [9], đây là những hình ảnh đặc trưng về văn hóa người Chăm, phản ánh đậm nét trong văn hóa Chămpa, đặc biệt

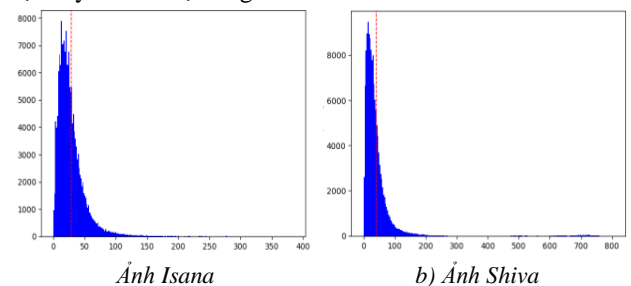
trong nghệ thuật điêu khắc tượng, đá.

Dữ liệu thử nghiệm được lưu và mô tả trong [10], với bộ dữ liệu được thu thập, bài báo sử dụng bộ lọc Sobel, Prewitt, LoG để phân tích đặc trưng điểm, cạnh trong ảnh dựa trên việc tính toán đạo hàm trên ảnh. So sánh và đánh giá với phương pháp phân tích độ cong bề mặt tập 3D tương đồng.

Bảng 1. Kết quả phân tích với bộ lọc Sobel

	Ảnh	Ảnh trích lọc	Ảnh phân tích
Isana			
Shiva			

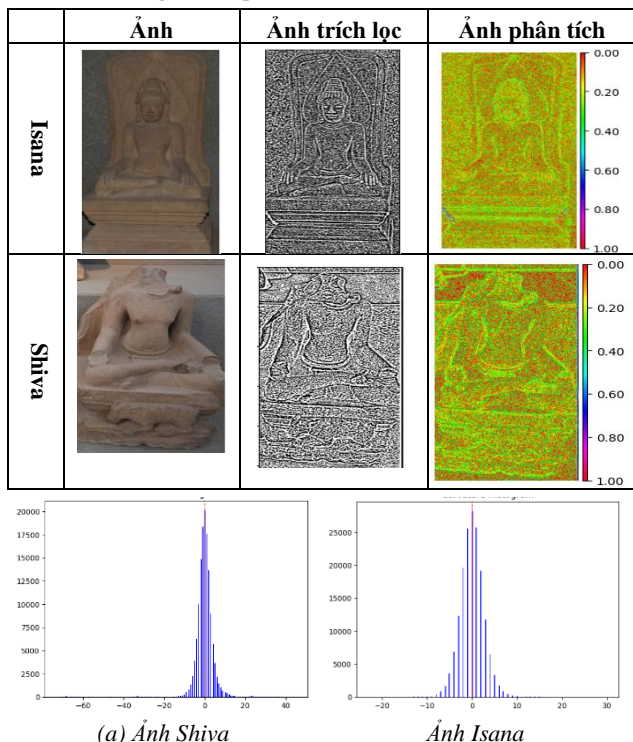
Bảng 1, Cột bên trái (#Ảnh) là các ảnh đầu vào thử nghiệm cột giữa (#Ảnh trích lọc) các điểm đặc trưng được phân tích, trên ảnh mỗi điểm màu trắng thể hiện các điểm đặc trưng được đánh dấu, (#Ảnh phân tích) các điểm có đặc trưng cao được thể hiện bằng màu đặc trưng tương ứng với thang đo màu sắc. Điều này có nghĩa các điểm mà tại đó có sự thay đổi về độ cong.



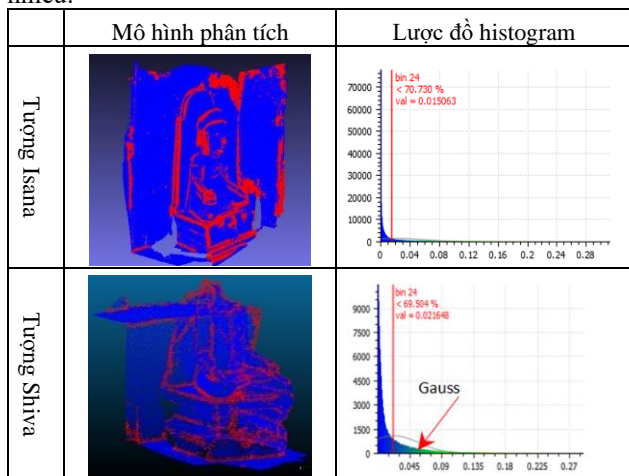
Hình 1. Kết quả phân tích phân bố đặc trưng với bộ lọc Sobel

Biểu đồ Hình 1, là lược đồ histogram biểu diễn giá trị độ cong của các điểm đặc trưng các giá trị trong quá trình phân tích. Đường màu đỏ giá trị trung bình của tập giá trị.

Từ kết quả với hai phương pháp Sobel, LoG chúng đều được sử dụng để phân tích và phát hiện cạnh trong ảnh. Sử dụng phép tính đạo hàm theo hai hướng để phát hiện đặc trưng. Đối với Sobel dễ phát hiện cạnh tốt trong ảnh và phân biệt giữa các vùng có độ sáng khác nhau. Tuy nhiên, với phương pháp này nhạy cảm với các điểm nhiễu. Phương pháp LoG cung cấp thông tin chi tiết về hướng gradient và đặc trưng trong ảnh. LoG có khả năng phân biệt các đặc trưng có hướng khác nhau, ít nhạy cảm với các điểm nhiễu.

Bảng 2. Kết quả phân tích với bộ lọc LoG**Hình 2.** Kết quả phân tích lược đồ histogram với bộ lọc LoG

Thử nghiệm phân tích đặc trưng trên mô hình 3D (Bảng 3) tương đồng với ảnh đầu vào được tái tạo từ một tập ảnh 2D chụp. Kết quả phân tích dựa trên độ cong pháp tuyến của bề mặt tập điểm, các đường đặc trưng nổi bật hơn so với việc phân tích ảnh. Tuy nhiên, số đường đặc trưng thu nhận ít hơn và chúng cũng nhạy cảm với các điểm nhiễu.

**Bảng 3.** Kết quả thử nghiệm trên mô hình 3D

Với đề xuất phương pháp phân tích độ cong bề mặt tập điểm 3D dựa vào đặc trưng hình học của tập điểm. Việc phân tích trên tập điểm 3D khả năng phát hiện các đặc trưng của dữ liệu 3D một cách tự động, dựa trên tập điểm láng giềng. Kết hợp với đề xuất lọc trung bình được sử dụng để loại bỏ nhiễu trong tập điểm 3D và làm mờ các chi tiết không mong muốn. Phương pháp lọc trung bình giúp làm sạch dữ liệu và tạo ra một bề mặt mượt hơn, đồng thời

giảm ảnh hưởng của nhiễu và sai số trong quá trình tính toán độ cong. Tuy nhiên, lọc trung bình có thể làm mất một số chi tiết nhỏ trong tập điểm 3D và làm mờ các đặc trưng nhỏ hơn so với phương pháp phân tích đặc trưng trên ảnh.

5. Kết luận và thảo luận

Trong bài báo này, đã tìm hiểu một số bộ lọc để nhận dạng và phân tích đặc trưng trên ảnh. Với phương pháp Sobel và LoG sử dụng toán tử gradient để phát hiện cạnh, biên ảnh. Phương pháp đơn giản, tính toán nhanh, và hiệu quả trong việc phát hiện cạnh. Tuy nhiên, phương pháp này nhạy cảm với nhiễu. LoG phát hiện cạnh tốt, tuy nhiên, nhược điểm của LoG là tính toán phức tạp hơn các phương pháp khác và có thể tạo ra các vùng mờ.

Phương pháp phân tích độ cong bề mặt tập điểm dựa trên việc xác định pháp tuyến cung cấp thông tin về hình dạng và đặc trưng của mô hình. Phương pháp nhạy cảm với tập điểm nhiễu nhiều hơn so với phương pháp phân tích trên ảnh.

Hướng nghiên cứu tiếp theo của nhóm tác giả sẽ nghiên cứu việc tích hợp các kỹ thuật học máy để trích xuất, nhận dạng các điểm, đường đặc trưng trên mô hình 3D và tập ảnh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S. A. Amri and N. V. Kalyankar, "Image segmentation by using edge detection", *International Journal on Computer Science and Engineering*, Vol. 02, No. 03, pp. 804-807, 2010.
- [2] X. Chen and K. Yu, "Feature Line Generation and Regularization From Point Clouds", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 57, no. 12, pp. 9779-9790, 2019.
- [3] T. T. Tran, V. T. Cao, V. T. Nguyen, S. Ali, and D. Laurendeau, "Automatic method for sharp feature extraction from 3D data of man-made objects", in *International Conference on Computer Graphics Theory and Applications (GRAPP)*, Lisbon, Portugal, 2014, pp. 1-8.
- [4] D. Bazazian, J. R. Casas, and J. Ruiz-Hidalgo, "Fast and Robust Edge Extraction in Unorganized Point Clouds", in *International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA)*, Adelaide, SA, Australia, 2015, pp. 1-8.
- [5] B. K. Shah, V. Kedia, R. Raut, S. Ansari, and A. Shroff, "Evaluation and Comparative Study of Edge Detection Techniques", *IOSR Journal of Computer Engineering*, Vol. 22, No. 05, pp. 6-15, 2020.
- [6] K. V. Greeshma and J. V. Gripsy, "Image Classification using HOG and LBP Feature Descriptors with SVM and CNN", *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 08, No. 04, pp. 1-5, 2020.
- [7] E. K. Dey, F. T. Kurdi, M. Awrangjeb, and B. Stantic, "Effective Selection of Variable Point Neighbourhood for Feature Point Extraction from Aerial Building Point Cloud Data", *Remote Sensing*, Vol. 13, No. 08, p. 1520, 2021.
- [8] L. T. Mau, N. T. Khoi, and R. Raffin, "Analysis of Geometrical Features of 3D Model Based on the Surface Curvature of a Set of Point Cloud", in *Proceedings of The 5th International Conference on Future Networks & Distributed Systems (ICFNDS 2021)*, New York, USA, 2022, pp.17-23.
- [9] L. T. Mau, "Dataset", *Google drive*, 20/07/2023 [Online]. Available: https://drive.google.com/drive/folders/1wRBK9njAG0evh_sGJlgDVz4ZumIARVJoo?usp=sharing. (Accessed 20/07/2023)
- [10] N. Q. Huu, "Dance of Shiva Stone sculpture art of Champa culture", *Vietnam National Museum of History*, 11/11/2014, [Online]. Available: <https://baotanglichsu.vn/vi/Articles/3096/17289/vu-dieu-cua-than-shiva-nghe-thuat-dieu-khac-dja-van-hoa-champa.html>. (Accessed 28/07/2023).