

# ỨNG DỤNG TÁI TẠO ĐỔI TƯỢNG 3D DỰA VÀO PCL

## BÁO CÁO ĐỒ ÁN MÔN ĐỒ HỌA MÁY TÍNH

19127120 – Ngô Nhật Du

19127395 – Phan Đức Hiên

19127396 – Phan Thiên Vinh Hiên

HCMUS - Nhóm 3

1. TÁI TẠO ĐỐI TƯỢNG 3 CHIỀU (3D RECONSTRUCTION):

1.1. Khoa Học

Đồ họa máy tính 3D, đôi khi được gọi là CGI hay 3DCG, là đồ họa sử dụng biểu diễn ba chiều của dữ liệu hình học (thường là Cartesian) được lưu trữ trong máy tính nhằm mục đích thực hiện tính toán và kết xuất (rendering) hình ảnh 2 chiều tái tạo lại đối tượng 3 chiều.

Nếu chúng ta nhìn vào hình ảnh này, chúng ta biết rằng đây không phải là một hình ảnh 2 chiều, mà là một miền chất lỏng ba chiều. Con người sẽ làm khá tốt nếu được yêu cầu một người tưởng tượng xoay quanh miền chất lỏng đang đứng im này, tuy nhiên, đối với một thuật toán máy tính, sẽ vô cùng khó khăn để tách cấu trúc 3D ra khỏi hình ảnh này.

Đồ họa máy tính 3D dựa trên nhiều thuật toán tương tự như đồ họa vector máy tính 2D trong mô hình khung dây (wire-frame) và đồ họa raster máy tính 2D trong màn hình kết xuất cuối cùng. Trong phần mềm đồ họa máy tính, các ứng dụng 2D có thể sử dụng kỹ thuật 3D để đạt được các hiệu ứng như ánh sáng, và tương tự, 3D có thể sử dụng một số kỹ thuật kết xuất 2D.

Các đối tượng trong đồ họa máy tính 3D thường được gọi là mô hình 3D. Không giống như hình ảnh được kết xuất, dữ liệu của mô hình được chứa trong một tệp dữ liệu đồ họa. Mô hình 3D là một biểu diễn toán học của bất kỳ đối tượng ba chiều nào; một mô hình về mặt kỹ thuật không phải là một đồ họa cho đến khi nó được hiển thị. Một mô hình có thể được hiển thị trực quan dưới dạng hình ảnh hai chiều thông qua một quá trình được gọi là kết xuất 3D hoặc nó có thể được sử dụng trong các mô phỏng và tính toán máy tính phi đồ họa.

Kỹ thuật được sử dụng để hiển thị hai chiều của vật thể ba chiều được gọi là phép chiếu.

1.1.1. Quy trình hiển thị đối tượng 3D

Modeling Transfromation	Biến đổi từ hệ tọa độ đối tượng (modeling space) sang hệ tọa độ thế giới thực (world space), gồm các đối tượng, nguồn sáng và máy ảnh.
Trivial Rejection	Loại bỏ các đối tượng không nhìn thấy được.
Illumination	Chiếu sáng các đối tượng nhìn thấy được. Màu hiển thị cuối cùng được xác định theo hướng của đối tượng, đặc tính vật liệu của nó và nguồn sáng trong cảnh.
Viewing Transformation	Chuyển từ không gian thế giới thực sang không gian mắt (eye space).
Clipping	Loại bỏ phần nằm ngoài viewing frustum.
Projection	Chiếu từ không gian mắt xuống không gian màn hình (screen space).
Rasterization	Chuyển đối tượng sang dạng pixel.
Display	Hiển thị đối tượng.

1.1.2. Kết xuất hình ảnh của đối tượng 3D

Kết xuất là quá trình cuối cùng tạo ra hình ảnh hoặc hoạt hình 2D thực tế từ cảnh đã chuẩn bị.

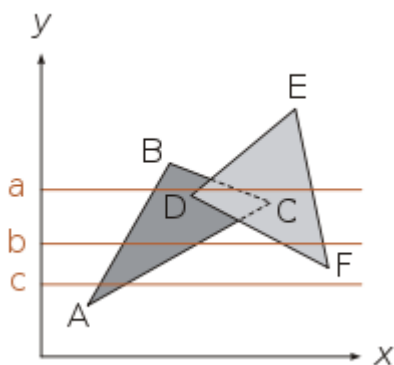
Một số phương pháp kết xuất như kết xuất khung dây phi thực tế (non-realistic wireframe) thông qua kết xuất dựa trên đa giác, hoặc các kỹ thuật nâng cao hơn như: kết xuất đường quét (scanline), dò tia (ray tracing) hoặc vô tuyến radiosity). Các phương pháp khác nhau phù hợp hơn cho kết xuất ảnh thực hoặc kết xuất thời gian thực.

Việc kết xuất có thể mất từ vài giây đến vài ngày cho một hình ảnh / khung hình.

1.1.2.1. Phương pháp kết xuất hình ảnh 3D

Kết xuất đường quét (Scanline Rendering)

Thuật toán để xác định bề mặt có thể nhìn thấy trong đồ họa máy tính 3D, hoạt động trên cơ sở từng hàng (row-by-row) chứ không phải trên cơ sở từng đa giác (polygon-by-polygon) hoặc từng pixel (pixel-by-pixel).



Các đối tượng ba chiều được tô bóng phải được làm phẳng để thiết bị hiển thị - cụ thể là màn hình - có thể hiển thị nó chỉ trong hai chiều, quá trình này được gọi là chiếu 3D. Điều này được thực hiện bằng phép chiếu và đối với hầu hết các ứng dụng, phép chiếu phối cảnh.

Ý tưởng cơ bản đằng sau phép chiếu phối cảnh là các vật thể ở xa hơn được làm nhỏ hơn so với những vật ở gần mắt hơn. Các chương trình tạo ra phối cảnh bằng cách nhân một hằng số giãn nở được nâng lên với lũy thừa của âm của khoảng cách từ người quan sát. Hằng số giãn nở bằng một có nghĩa là không có viễn cảnh. Hằng số giãn nở cao có thể gây ra hiệu ứng "fisheye", trong đó bắt đầu xảy ra hiện tượng méo hình. Phép chiếu hình học được sử dụng chủ yếu trong các ứng dụng CAD hoặc CAM, nơi mô hình khoa học yêu cầu các phép đo chính xác và bảo toàn kích thước thứ ba.

#### 1.1.2.2. Phép chiếu

##### Phép chiếu song song (Parallel Projection):

Điểm chiếu trên màn hình được xác định trong một điểm trong vật thể ba chiều bằng một đường vuông góc với màn hình hiển thị. Bản vẽ kiến trúc, tức là mặt bằng, mặt trước, mặt bên, độ cao là các hình chiếu song song từ đối tượng.

##### Phép chiếu phối cảnh (Perspective Projection):

Có đặc tính nó cung cấp ý tưởng về chiều sâu. Đối tượng càng xa người xem, nó sẽ xuất hiện nhỏ hơn. Tất cả các đường trong hình chiếu phối cảnh đều hội tụ tại một điểm chính giữa được gọi là tâm của hình chiếu.

##### Phép chiếu vuông góc (Orthographic Projection):

Là loại phép chiếu đơn giản nhất. Trong cách này, chúng ta lấy các mặt trên, mặt dưới và mặt bên của đối tượng bằng cách trích xuất các đường song song từ đối tượng.

Các kỹ thuật để tạo ra các hình ảnh khác nhau của một vật thể rắn phụ thuộc vào loại vật thể.

#### 1.1.2.3. Kỹ thuật xem các đối tượng ba chiều:

##### Hình học (Geometry):

Liên quan đến các phép đo, là vị trí của một điểm liên quan đến điểm gốc hoặc kích thước của một đối tượng.

##### Thông tin cấu trúc liên kết (Topological Information):

Được sử dụng cho cấu trúc của một vật thể rắn, chủ yếu quan tâm đến sự hình thành các đa giác với sự trợ giúp của các điểm của các đối tượng hoặc việc tạo ra các đối tượng với các đa giác.

### 1.2. Ứng Dụng

Việc tái tạo 3D của các đối tượng là một vấn đề khoa học nói chung và là công nghệ cốt lõi của nhiều lĩnh vực, chẳng hạn như Thiết kế Hình học Hỗ trợ Máy tính (CAGD), đồ họa máy tính, hoạt hình máy tính, thị giác máy tính, hình ảnh y khoa, khoa học tính toán, thực tế ảo, phương tiện kỹ thuật số, v.v.

Thông tin về tổn thương của bệnh nhân có thể được trình bày dưới dạng 3D trên máy tính, cung cấp một cách tiếp cận mới và chính xác trong chẩn đoán và do đó có giá trị lâm sàng quan trọng.

Mô hình độ cao kỹ thuật số có thể được tái tạo bằng các phương pháp như đo độ cao laser trong không khí hoặc radar khẩu độ tổng hợp.

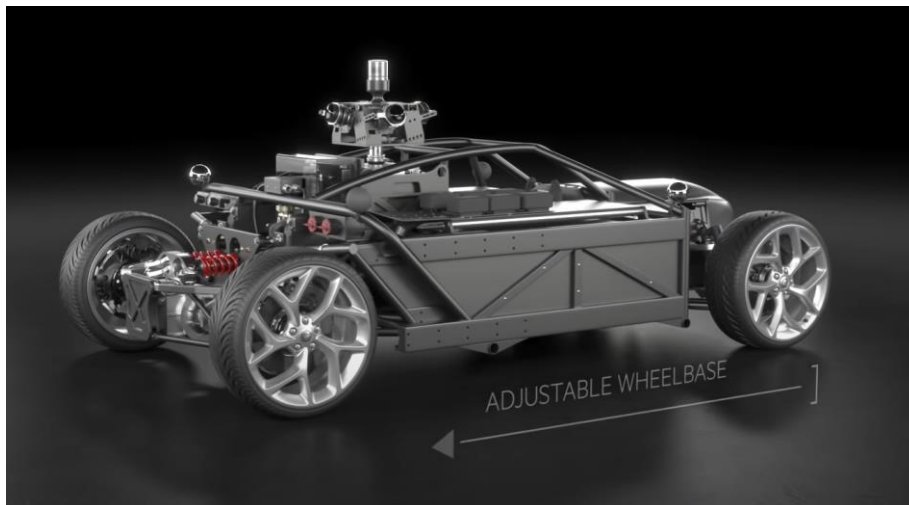
### 1.2.1. Phim ảnh, Trò chơi điện tử và Quảng cáo

Ứng dụng công nghệ 3D để xây dựng mô hình, và chuyển động cho hình ảnh sắc nét giúp người xem và người chơi có được góc nhìn bao quát với chất lượng hình ảnh tốt nhất và không bị gián đoạn, đem đến những trải nghiệm những hành động, cử chỉ sống động và hấp dẫn.



Ứng dụng trong quảng cáo khi sản phẩm thực tế vẫn chưa được sản xuất hoặc vẫn đang trong quá trình phát triển khi quảng cáo được phát trực tiếp.

<https://www.youtube.com/watch?v=OnBC5bwV5y0&t=62s>



Hình 1 Máy Mad Max: Mil Blackbird



Hình 2 Kết xuất hình ảnh 3D từ Mad Max của quảng cáo xe ô tô



Mô phỏng 3D như vậy có thể giúp chẩn đoán bệnh, bằng cách cho phép thử nghiệm vô số giải pháp trước khi điều trị, có khả năng dẫn đến chẩn đoán sớm hơn nhiều và tránh được một tỷ lệ lớn các trường hợp tử vong.

Hỗ trợ các phương thức hình ảnh khác nhau (CT, MR, CBCT)



The infographic illustrates the ACL reconstruction process. At the center is a blue silhouette of a human body with a red vertical line representing the spine. A large yellow curved arrow at the top points from the spine area towards the knee. On the left, a 3D anatomical model of a knee joint is shown with the ACL highlighted in red. Below it, a photograph shows the surgical site with a purple suture. At the bottom left, a circular inset shows a 3D model of the ACL graft. On the right, a 3D model shows the graft being secured into the femoral tunnel. Below this, a 3D model shows the graft being secured into the tibial tunnel. At the bottom right, a 3D model shows the final position of the graft. The text 'Tái tạo dây chằng chéo trước' (Anterior Cruciate Ligament Reconstruction) is at the top left. 'Định vị 3D trong mổ' (3D positioning during surgery) is at the top right. 'Gối tổn thương' (Injured knee) and 'Gối lành' (Healthy knee) are labeled on the central figure. 'Sử dụng "ánh xạ giải phẫu" chuyển thông số gối lành sang gối bệnh' (Using "anatomical mapping" to transfer parameters from healthy knee to diseased knee) is at the bottom right. 'Tạo bản sao "soi gương" bằng công nghệ 3D' (Creating a 3D mirror image) is at the bottom left.

Hình 4 Minh họa phương pháp “ánh xạ giải phẫu” sử dụng công nghệ định vị 3D trong phẫu thuật tái tạo dây chằng chéo trước

- Phân tích các thông số giải phẫu của dây chằng bên gối lành
  - “ánh xạ” sang bên gối tổn thương bằng cách tạo một bản sao “phản chiếu” bằng công nghệ số hóa 3 chiều
  - sử dụng các thuật toán để xác định vị trí tối ưu của mảnh ghép dây chằng mới
  - cuối cùng tạo thành bản “thiết kế” cho dây chằng mới cho bên gối bị tổn thương.
- ⇒ Để có thể khôi phục dây chằng mới cho người bị đứt dây chằng theo đúng thông số giải phẫu của khớp gối bên lành, công nghệ tạo ảnh 3D khớp gối trong giải phẫu được sử dụng để chuyển các thông số trên bản “thiết kế” thành sản phẩm thực tế là dây chằng mới.

### 1.2.3. Kiến Trúc

Sử dụng các camera (như LiDAR) có sẵn chức năng nhận định đám mây điểm để tạo dựng lại hình ảnh 3 chiều.

Đối với người thiết kế:

- Vẽ không gian 3 chiều, ứng dụng vật liệu thật vào không gian, phối trí và phân tích ánh sáng, thông gió hợp lý nhất cho công trình thiết kế xây dựng làm cho sự kết hợp giữa các yếu tố, bố trí các vật dụng trở nên hài hoà.
- Tính toán tải trọng kết cấu chính xác nhất, đưa ra giải pháp tiết kiệm vật tư và chi phí nhằm nâng cao năng lực cạnh tranh.

Đối với khách hàng:

- Ứng dụng 3D trong kiến trúc làm cho người xem như đứng ngay trong không gian trong thực tế.



Hình 5 Hình ảnh 3D chân thực được hiển thị tại GarageFarm.NET



Hình 6 Kết xuất hình ảnh 3D của công trình xây dựng

### 1.2.4. In 3 chiều

Sử dụng các camera (như LiDAR) có sẵn chức năng nhận định đám mây điểm để tạo dựng lại hình ảnh 3 chiều, từ đó sử dụng máy in 3D tạo được vật thể trong không gian thế giới thực.



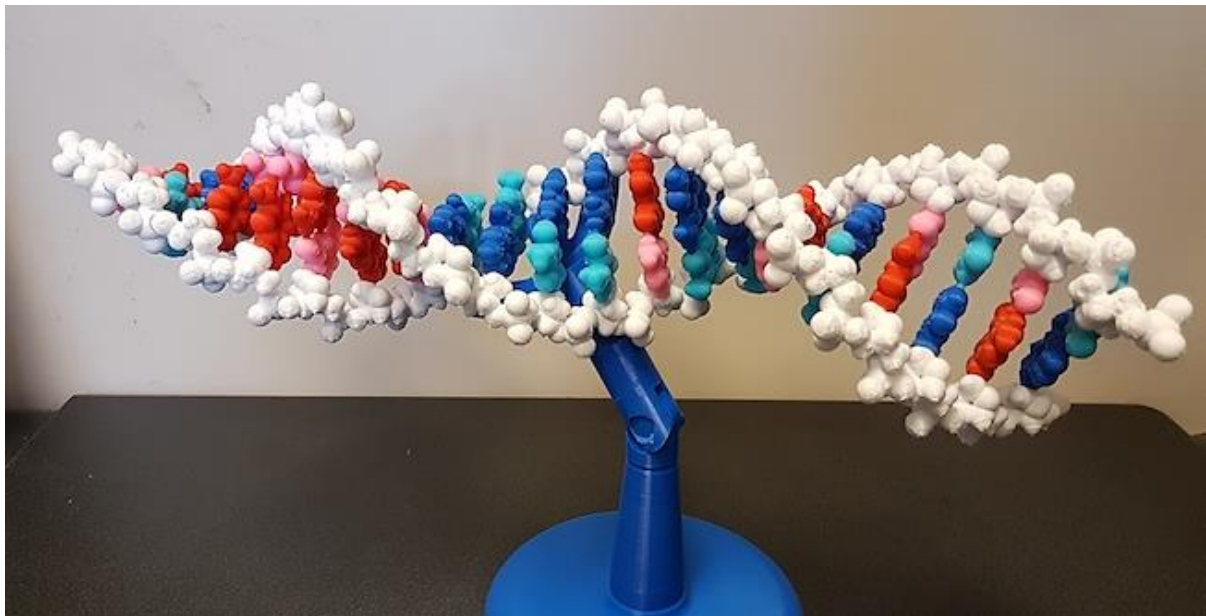
#### 1.2.4.1. Trong môi trường Giáo Dục

Các công cụ in 3D cũng đang cách mạng hóa giáo dục STEM bằng cách cung cấp khả năng tạo mẫu nhanh với chi phí thấp cho học sinh trong lớp học cũng như chế tạo thiết bị khoa học chất lượng cao chi phí thấp từ các thiết kế phần cứng mở.

- HS/SV lịch sử có thể in ra các hiện vật lịch sử để thăm dò, quan sát kỹ hơn.
- HS/SV Thiết kế đồ họa có thể in các phiên bản 3D của tác phẩm nghệ thuật.
- HS/SV địa lý có thể in ra bản đồ địa hình, nhân khẩu hoặc dân số.
- HS/SV hóa học có thể in ra mô hình 3D của các phân tử.
- HS/SV sinh học có thể in ra tế bào, vi rút, cơ quan và các hiện vật sinh học khác.



Hình 7 In 3D bản đồ địa hình



Hình 8 In mô hình 3D mạch kép DNA

#### 1.2.4.2. Tạo nguyên mẫu (prototyping) trong sản xuất

Công nghệ in 3D giúp giảm đáng kể thời gian thực hiện trong quá trình sản xuất truyền thống, cho phép chế tạo nguyên mẫu chỉ trong vài giờ, không phải vài tuần và với một phần chi phí thấp. Công nghiệp ô tô và hàng không vũ trụ chỉ là 2 ngành tham gia sản xuất tận dụng những tiến bộ của công nghệ in 3D.

Những tiến bộ trong công nghệ tạo nguyên mẫu nhanh (RP) cũng đã dẫn đến sự phát triển của các vật liệu và quy trình, chẳng hạn như thiêu kết bằng laser có chọn lọc (SLS) và thiêu kết bằng laser kim loại trực tiếp (DMLS) phù hợp để sản xuất vật liệu cuối cùng, phiên bản của một sản phẩm, không chỉ là nguyên mẫu của nó. Đây được gọi là Sản xuất nhanh.



Hình 9 Tạo nguyên mẫu 3D của chuột máy tính trước khi sản xuất thực

#### 1.2.4.3. Trong Y Khoa

[https://vimeo.com/341802149?embedded=true&source=vimeo\\_logo&owner=59659982](https://vimeo.com/341802149?embedded=true&source=vimeo_logo&owner=59659982)

In sinh học cho phép in 3D các cơ quan nhân tạo, giúp giải quyết các vấn đề suy nội tạng ở bệnh nhân nhanh hơn, quan trọng đối với cả bệnh nhân và gia đình họ cũng như các hệ thống chăm sóc sức khỏe.

Các mô in 3D đã được phát triển để thử nghiệm dược phẩm như một phương tiện hiệu quả về chi phí và đạo đức giúp xác định các tác dụng phụ của thuốc và xác nhận liều lượng an toàn.

Thuốc có thể được sản xuất bằng cách sử dụng quy trình in 3D của Binder Jetting. Quá trình này cho phép các viên thuốc được tạo ra rất xốp, do đó cho phép sử dụng liều lượng cao trong một viên thuốc có thể được hòa tan nhanh chóng và dễ tiêu hóa, hữu ích cho việc điều trị các tình trạng như động kinh.



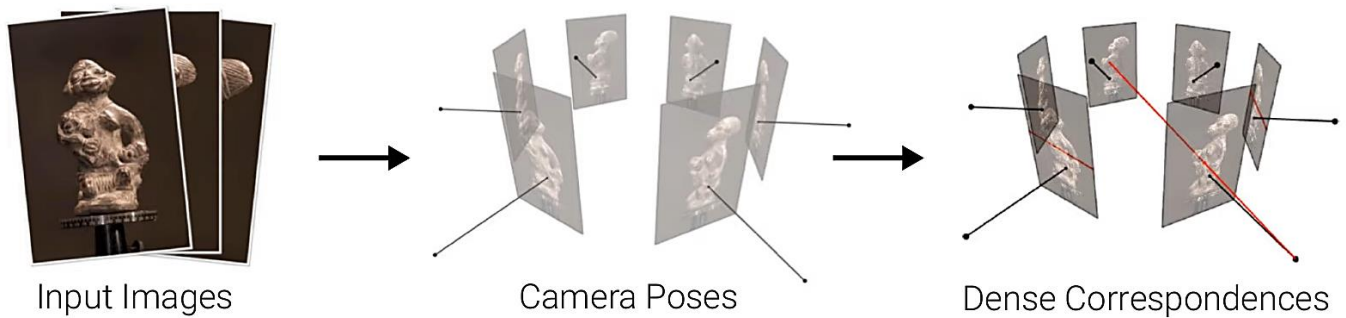
Hình 10 In mô hình 3D tim người



## 2. PHÁT BIỂU BÀI TOÁN

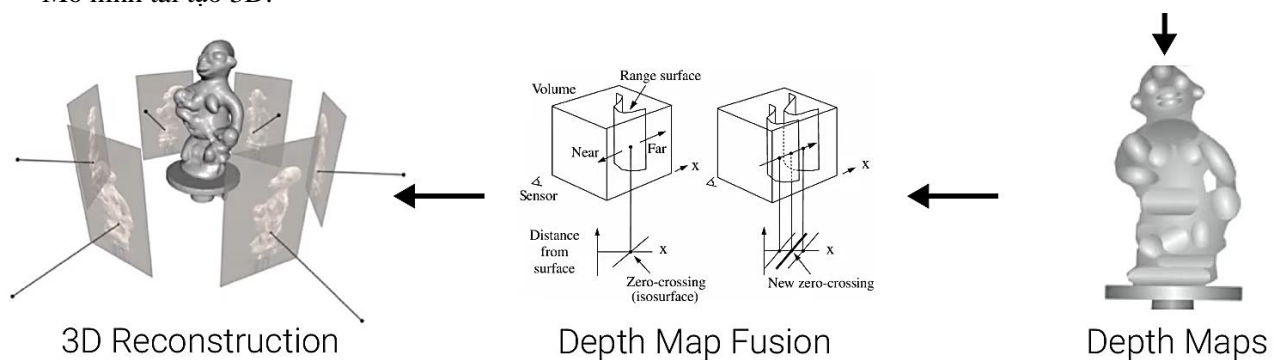
### 2.1. Đầu Vào

- Các hình ảnh 2D của vật thể từ nhiều hướng khác nhau.



### 2.2. Đầu Ra

- Mô hình tái tạo 3D.



### 2.3. Cài Đặt

#### 2.3.1. Thư viện Point Cloud Library:

##### Định nghĩa:

- PCL là thư viện hỗ trợ xử lý ảnh 3D, được xây dựng với nhiều module thực hiện các thuật toán như: Lọc (filtering), khôi phục bề mặt (surface reconstruction), phân vùng (segmentation), ước lượng đặc tính vật (feature estimation).
- Thư viện đi kèm để hỗ trợ được chia nhỏ và có thể biên dịch độc lập. Các thư viện này gồm có :
  1. **Eigen**: Hỗ trợ các phép toán tuyến tính, dùng vào hầu hết các tính toán toán học của PCL.
  2. **FLANN**: (Fast Library for Approximate Nearest Neighbors) Tìm kiếm nhanh các điểm lân cận trong không gian 3D.
  3. **Boost**: Giúp chia sẻ con trỏ trên tất cả các module và thuật toán trong PCL để tránh sao chép và trùng dữ liệu đã lấy về trong hệ thống.
  4. **VTK (Visualization Toolkit)**: Hỗ trợ nhiều platform trong việc thu về dữ liệu 3D, hỗ trợ hiển thị, ước lượng thể tích vật thể.
  5. **CminPack**: Thư viện mở giúp giải quyết phép toán tuyến tính và không tuyến tính.

#### 2.3.2. Module:

	Tên module	Chức năng
1	PCL_Common	Chứa cấu trúc dữ liệu và phương thức được sử dụng bởi phần lớn các thư viện trong PCL.
2	PCL_Features	Chứa các cấu trúc dữ liệu và cơ chế tính toán, ước lượng 3D từ các dữ liệu điểm PCD
3	PCL_Filters	Chứa các kỹ thuật loại bỏ nhiễu.
4	PCL_Geometry	Chứa tất cả các cấu trúc dữ liệu và giải thuật để tính toán hình học.
5	PCL_IO	Chứa các hàm và các lớp để đọc và ghi dữ liệu dạng PCD, có thể thu thập dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau (Trong đồ án này dùng Kinect).

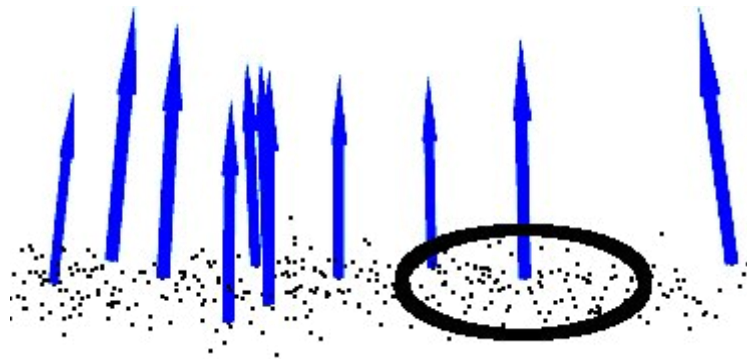
6	PCL_Kdtree	Thư viện cung cấp cấu trúc dữ liệu Kd_tree, sử dụng FLANN giúp nhanh chóng tìm kiếm vùng gần nhất (nearest neighbors searches).
7	PCL_Keypoint	Là thư viện chứa thực thi của 2 thuật toán nhận dạng “Point cloud keypoint”.
8	PCL_Octree	Chứa các thuật toán hiệu quả để tạo nên một cấu trúc dữ liệu phân cấp từ dữ liệu point cloud.
9	PCL_registration	Kết hợp các bộ dữ liệu vào một mô hình chung, thông nhất thường được thực hiện bằng một kỹ thuật gọi là registration.
10	PCL_sample_consensus	Thư viện pcl_sample_consensus có khả năng tách các nhóm điểm có cùng tính chất.
11	PCL_Search	Cung cấp các phương pháp tìm kiếm lân cận (nearest neighbors) bằng cách sử dụng các cấu trúc dữ liệu khác nhau.
12	PCL_Segmentation	Chứa các thuật toán để phân chia Point Cloud thành các nhóm riêng biệt.
13	PCL_surface	Thư viện thích hợp cho việc xây dựng lại các bề mặt từ dữ liệu quét 3D.
14	PCL_visualization	Thư viện được tạo ra có thể nhanh chóng hiển thị các kết quả thuật toán trên dữ liệu 3D.

#### 2.3.2.1. PCL\_Common:

- Module thông dụng được phần lớn sử dụng trong đồ án. Chứa cấu trúc dữ liệu và phương thức được sử dụng bởi phần lớn các thư viện trong PCL.
- Cấu trúc dữ liệu cốt lõi là các class PointCloud, các loại dữ liệu biểu diễn điểm, bề mặt, giá trị màu và mô tả tính năng, v.v.

**VD:** PCL::PointXYZ; PCL::PointXY; PCL::PointXYZRGB;

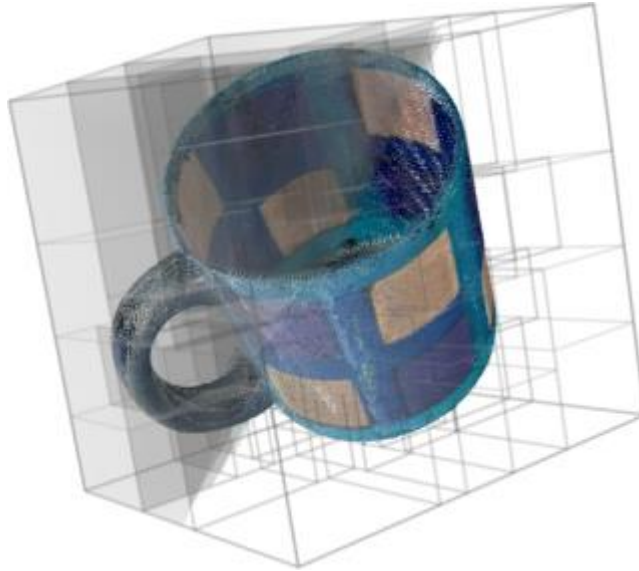
#### 2.3.2.2. PCL\_Features:



- Chứa các cấu trúc dữ liệu và cơ chế tính toán, ước lượng 3D từ các dữ liệu điểm (Point Cloud Data).
- 3D Features biểu diễn chính xác điểm 3D hoặc vị trí trong không gian để mô tả phần hình khối dựa vào thông tin có được xung quanh điểm. Vùng dữ liệu được chọn lân cận điểm truy vấn thường gọi là K-neighborhood.
- Yêu cầu sử dụng thêm các module:
  - PCL\_Common.
  - PCL\_Search
  - PCL\_Kdtree
  - PCL\_Octree

#### 2.3.2.3. PCL\_Kdtree:

- Thư viện cung cấp cấu trúc dữ liệu Kd\_tree, sử dụng FLANN giúp nhanh chóng tìm kiếm vùng gần nhất (nearest neighbors searches).
- Kd-tree là một cấu trúc dữ liệu phân đệ vùng không gian lưu trữ tập K-dimension điểm dưới dạng cây do đó dễ dàng phân loại và tìm kiếm. Có thể sử dụng để tìm sự tương ứng giữa các nhóm điểm, đặc tả tính năng, định nghĩa các vùng lân cận xung quanh điểm hoặc các điểm.

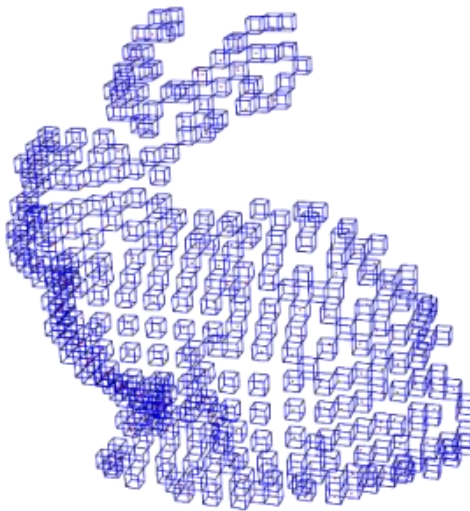


- Yêu cầu sử dụng thêm các module:

- PCL\_Common.

#### 2.3.2.4. PCL\_Octree:

- Chứa các thuật toán hiệu quả để tạo nên một cấu trúc dữ liệu phân cấp từ dữ liệu point cloud, cho phép phân vùng không gian, downsampling (giảm số lượng các mẫu do đó tăng tốc độ tính toán) và thực hiện các phép toán tìm kiếm trong tập dữ liệu PointCloud. Mỗi nút Octree có 8 nút con hoặc không có nút con nào.
- Nút gốc (màu đỏ hình dưới) được biểu diễn trong 1 hình lập phương bao toàn bộ các điểm con. Tại mỗi cấp của cây, không gian được chia thành 2 do đó tăng độ phân giải cho điểm ảnh không gian 3 chiều.
- Thư viện này cũng cung cấp các chương trình tìm kiếm lân cận hiệu quả.



- Yêu cầu sử dụng thêm các module:

- PCL\_Common.

#### 2.3.2.5. PCL\_Segmentation:

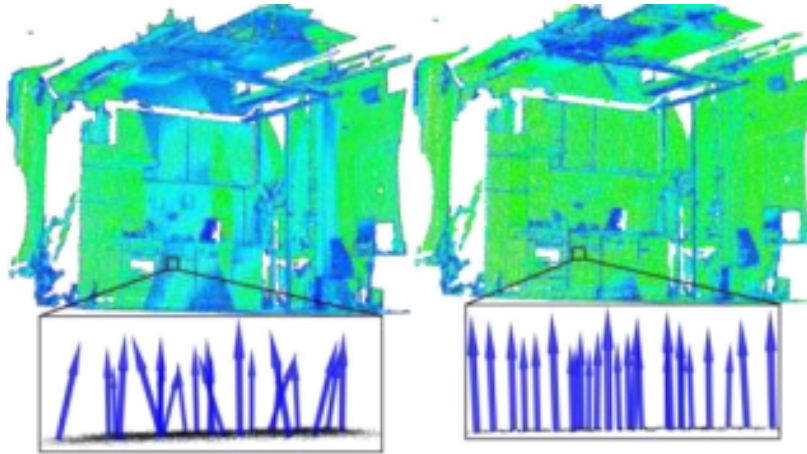
- Chứa các thuật toán để phân chia Point Cloud thành các nhóm riêng biệt. Các thuật toán này thích hợp nhất khi xử lý các point Cloud bao gồm các vùng không gian bị cô lập. Trong trường hợp như vậy, các clustering thường chia nhỏ để sau đó có thể xử lý độc lập.
- Yêu cầu sử dụng thêm các module:
  - PCL\_Common.
  - PCL\_Search
  - PCL\_Sample\_consensus
  - PCL\_Kdtree



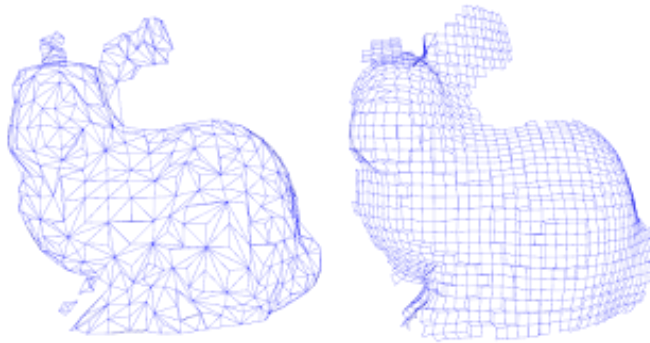
- PCL\_Octree

#### 2.3.2.6. PCL\_surface:

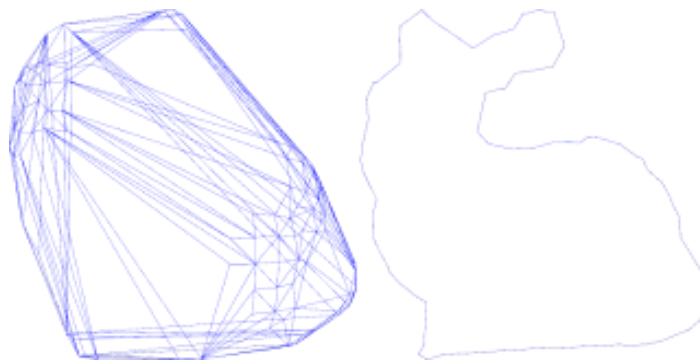
- Là thư viện thích hợp cho việc xây dựng lại các bề mặt từ dữ liệu quét 3D. Các đối tượng chính gồm vỏ, bề mặt lưới, bề mặt nhẵn hay bình thường. Khi có nhiều có thể làm mịn và lấy mẫu lại.



- Chia lưới (meshing) là một cách tổng quát để tạo ra các bề mặt điểm. Hiện nay có 2 thuật toán:
  - Phân tích nhanh các điểm ban đầu .
  - Chia lưới chậm để làm mịn (smoothing) và lấp đầy (filling).



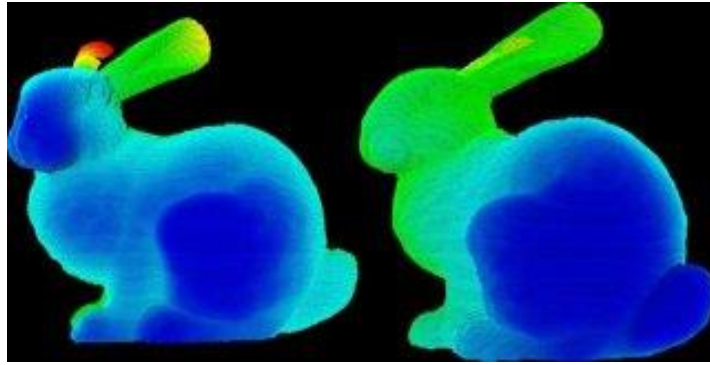
- Có thể dùng thư viện để tạo ra một thân lồi hoặc lõm thích hợp cho đại diện bề mặt đơn giản hóa hoặc chỉ ra các ranh giới.



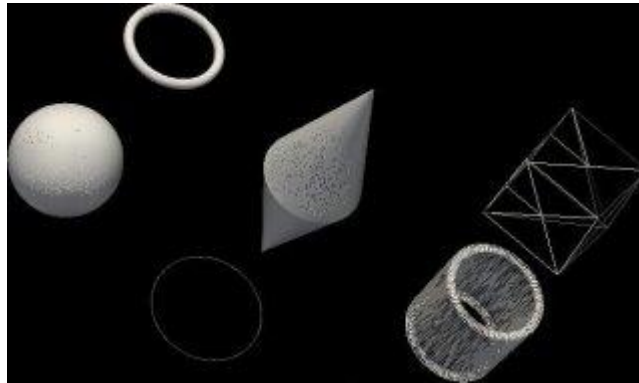
- Yêu cầu sử dụng thêm các module:
  - PCL\_Common.
  - PCL\_Search
  - PCL\_Kdtree
  - PCL\_Octree

#### 2.3.2.7. PCL\_visualization:

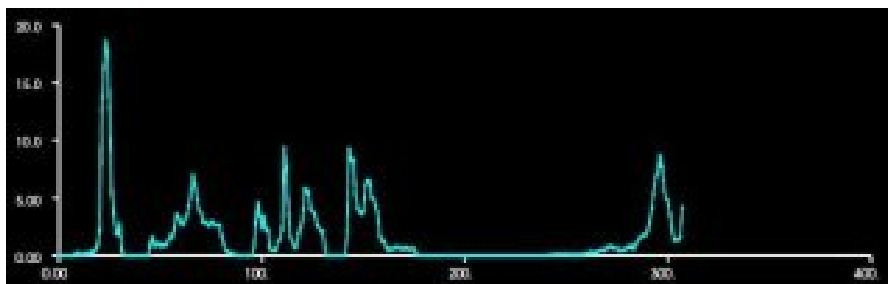
- Thư viện được tạo ra có thể nhanh chóng hiển thị các kết quả thuật toán trên dữ liệu 3D. Thư viện cung cấp:
  - Các phương pháp dựng hình và thiết lập thuộc tính ảnh, màu sắc, kích thước cho bất kỳ bộ dữ liệu nào có kiểu "PCL::PointCloud".



- Vẽ các hình 3D cơ bản từ bộ điểm hoặc phương trình tham số.



- Vẽ các biểu đồ.



- Yêu cầu sử dụng thêm các module:

- PCL\_Common.
- PCL\_IO
- PCL\_Kdtree

#### 2.3.2.8. PCL\_Filters

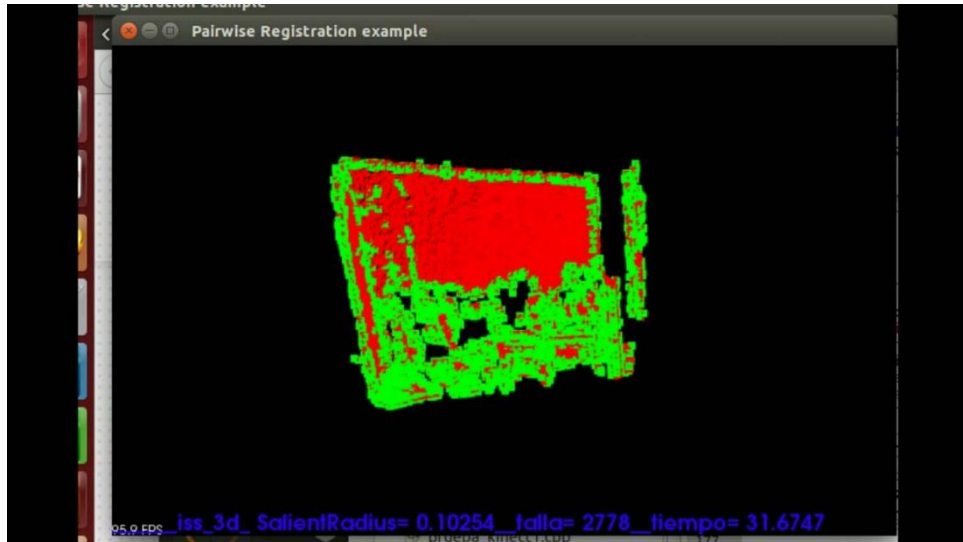
- PCL\_Filter Chứa các kỹ thuật loại bỏ nhiễu

- Yêu cầu sử dụng thêm các module:

- PCL\_Common.
- PCL\_Sample\_consensus
- PCL\_Search
- PCL\_Kdtree
- PCL\_Octree

#### 2.3.2.9. PCL\_Keypoint

- Key Point (hay interest point) là các điểm trong ảnh hoặc trong point cloud mà có tính chất ổn định, riêng biệt và có thể dễ dàng phát hiện ra. Thông thường số lượng Key Point nhỏ hơn tổng số điểm trong cloud.

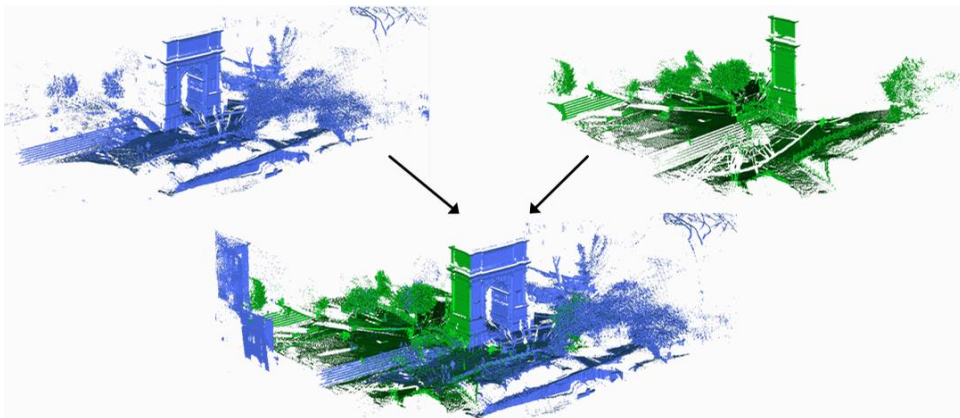


- Yêu cầu sử dụng thêm các module:

- PCL\_Common.
- PCL\_Search
- PCL\_Kdtree
- PCL\_Octree
- PCL\_Features
- PCL\_Filters

#### 2.3.2.10. PCL\_registration

- Ý tưởng chính là xác định các điểm tương ứng trong bộ dữ liệu và tìm một chuyển đổi khoảng cách tối thiểu các điểm tương ứng.



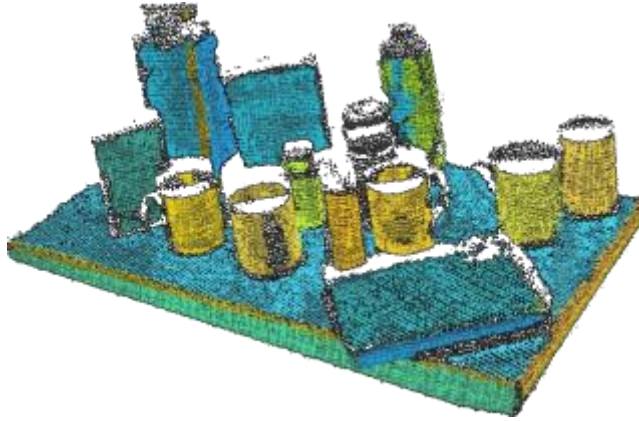
- Yêu cầu sử dụng thêm các module:

- PCL\_Common.
- PCL\_Kdtree
- PCL\_Sample\_consensus
- PCL\_Features

#### 2.3.2.11. PCL\_Sample\_consensus

- Giống như thuật toán RANSAC (Tìm kiếm đường thẳng trong tập hợp các điểm). Các nhóm điểm có thể là các mặt phẳng, mặt cầu, trụ. Thư viện này rất thích hợp trong các ứng dụng dò tìm các đối tượng như tường, cửa, các vật trên bàn...





- Yêu cầu sử dụng thêm các module:

- PCL\_Common.

#### 2.4. Thách Thức:

- Các mô hình đám mây điểm thiếu độ chính xác và không thể tạo ra các đường cong hoàn hảo về mặt toán học.
  - Mô hình đám mây điểm không bao gồm dữ liệu trên bề mặt nên không thể áp dụng cho kết xuất hoặc tạo ra sản phẩm hoàn chỉnh.
  - Mô hình đám mây điểm rất khó chuyển thành mô hình đa giác chính xác.
- Và hơn hết, khuyết điểm chính của thư viện là không có quá nhiều ứng dụng. Muốn đạt được độ hiệu quả cao nhất với mô hình 3D, thì phải chuyển vật thể sang kiểu mô hình khác.

### 3. NGHIÊN CỨU LIÊN QUAN

Tên nghiên cứu	Ứng dụng	Lợi ích	Bất lợi
Laser Triangulation ( <a href="#">LiDAR</a> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dùng để tạo mô hình số 3 chiều (3D) của đối tượng.</li> <li>- Làm bản đồ có độ phân giải cao.</li> <li>- Áp dụng trong súng bắn tốc độ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Không bị ảnh hưởng bởi ánh sáng.</li> <li>- Phạm vi đo lớn và độ chính xác cao.</li> <li>- Sử dụng tốt cho các vật thể nhỏ và vật thể di chuyển nhanh.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chi phí cao hơn so với cảm biến siêu âm (ultrasonic) và cảm biến hồng ngoại (IR).</li> <li>- Chi phí vận hành cao trong một số ứng dụng.</li> <li>- Không hiệu quả khi mưa lớn, hay nhiều mây.</li> <li>- Các chùm tia laser có thể ảnh hưởng đến mắt người trong trường hợp chùm tia này có cường độ mạnh.</li> </ul>
Structure Light triangulation (Kinect)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dùng để tạo mô hình 3D từ người thật, vật thể 1 cách nhanh chóng bằng máy quét có gắn kinect.</li> <li>- Dùng trong game, tiện lợi cho người dùng khi điều khiển các hành động.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hoạt động tốt trong bóng tối.</li> <li>- Xuất ra kích thước hoàn chỉnh của cơ thể con người.</li> <li>- Là 1 cảm biến hoàn chỉnh cho việc xử lý hình ảnh.</li> <li>- Tính toán chính xác khoảng cách từ ống kính đến vật thể.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Khoảng cách phát hiện vật thể bị giới hạn.</li> <li>- Bị nhạy cảm với ánh sáng mặt trời.</li> <li>- Không thích hợp cho các vật thể ngoài trời.</li> <li>- Không phản hồi với các chuyển động quá nhanh.</li> </ul>
Cảm biến siêu âm (Ultrasonic sensor)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dùng trong chẩn đoán y khoa.</li> <li>- Chụp ảnh bên trong các cấu trúc cơ khí (kiểm tra xem công trình có chắc chắn hay không)</li> <li>- Đo khoảng cách, vận tốc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nó có khả năng cảm biến để cảm nhận tất cả các loại vật liệu.</li> <li>- Cảm biến này không bị ảnh hưởng do bụi trong khí quyển, mưa, tuyết, v.v.</li> <li>- Nó có thể hoạt động trong mọi điều kiện bất lợi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rất nhạy cảm với sự thay đổi của nhiệt độ. Do sử dụng sóng siêu âm.</li> <li>- Gặp nhiều khó khăn khi đọc phản xạ từ các vật thể mềm, cong, mỏng và nhỏ.</li> <li>- Dễ bị hư hỏng.</li> </ul>

### 4. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU và TIẾN HÀNH

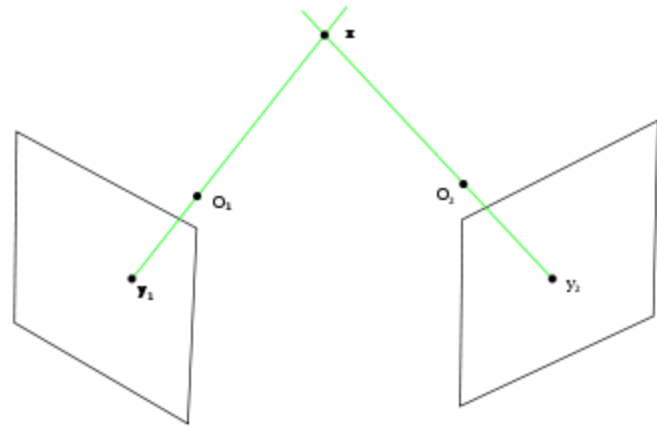
#### 4.1. Nguyên Lý

**Tái tạo 3 chiều từ nhiều hình ảnh:**

Bản chất của một hình ảnh là một phép chiếu từ một cảnh 3D lên một mặt phẳng 2D, trong quá trình này, độ sâu (depth) bị mất đi. Điểm 3D tương ứng với một điểm hình ảnh cụ thể bị hạn chế nằm trên đường ngắm.

Từ một hình ảnh đơn lẻ, không thể xác định được điểm nào trên đường thẳng này tương ứng với điểm ảnh nào. Tuy nhiên, nếu có hai hình thì ta có thể tìm được vị trí của một điểm 3D là giao điểm của hai tia chiếu (projection rays). Quá trình này được gọi là Triangulation.

Điểm mấu chốt cho quá trình này là mối quan hệ giữa nhiều chế độ xem truyền tải thông tin rằng các tập hợp điểm tương ứng phải chứa một số cấu trúc và cấu trúc này có liên quan đến các tư thế và hiệu chuẩn của máy ảnh.



Hình 11 2 hình ảnh cho ra giao điểm của 2 tia chiếu

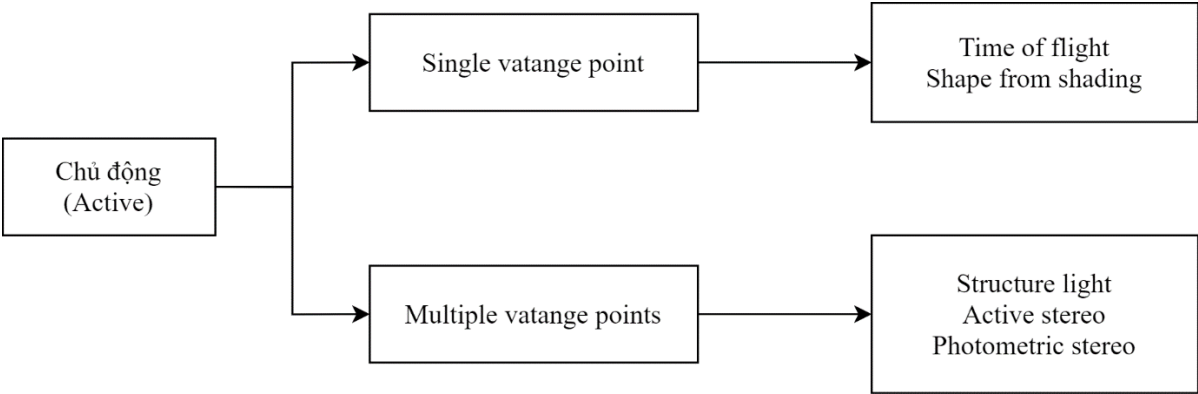


Hình 12 Ứng dụng ở diện rộng trong Photo Tourism

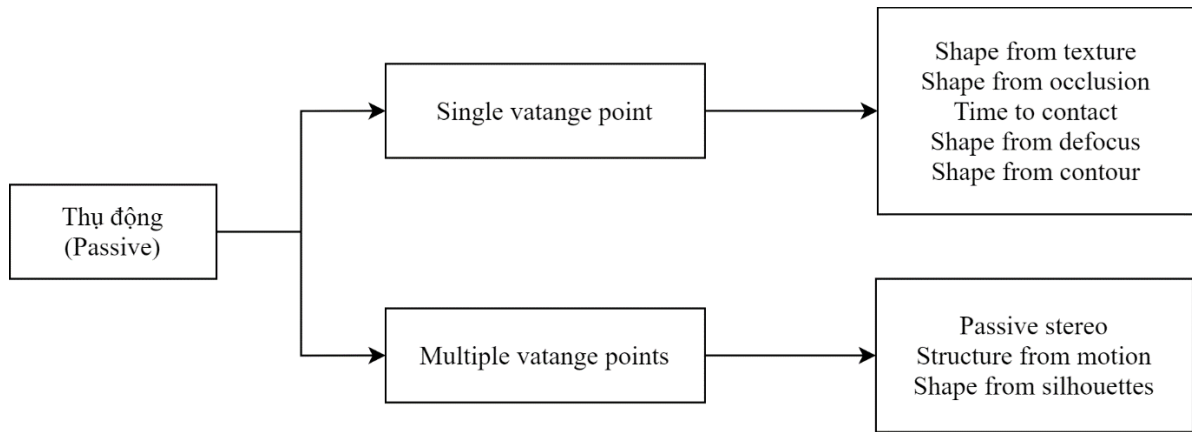
#### 4.2. Phương Pháp

Trong phép đặc tam giác (triangulation) của thị giác máy tính đề cập đến quá trình xác định một điểm trong không gian 3D dựa trên các phép chiếu của nó lên hai hoặc nhiều hình ảnh. Để giải quyết vấn đề này, cần phải biết các thông số của chức năng chiếu camera từ 3D sang 2D cho các camera liên quan, trong trường hợp đơn giản nhất được biểu diễn bằng ma trận máy ảnh (camera matrices). Triangulation đôi khi còn được gọi là tái tạo hoặc giao điểm.

##### 4.2.1. Active method (Phương pháp Chủ động)

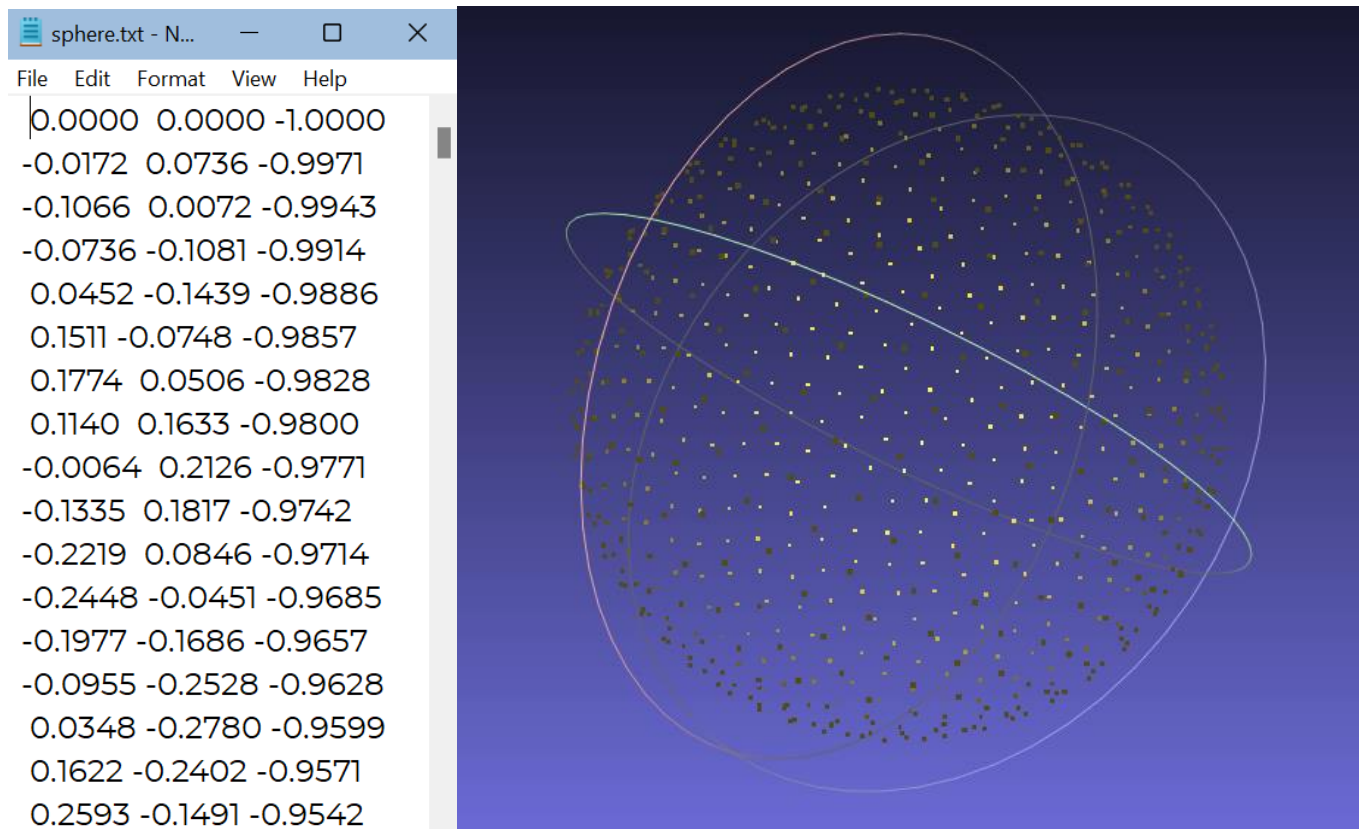


#### 4.2.2. Passive method (Phương pháp Thụ động)



#### 4.3. FRAMEWORK

**Bước 1:** Input: nhập tệp tin dữ liệu point cloud (.txt) dưới dạng ma trận  $m \times 3$  với hàng là các tọa độ và cột là x, y, z của tọa độ



**Bước 2:** biến đổi các dữ liệu point cloud thành các tệp dữ liệu vector pháp tuyến (.pcd)

Sau khi gọi các API của Point Cloud Library để chuyển dữ liệu tọa độ từ file txt thành dạng dữ liệu đám mây điểm, gọi các API tìm dữ liệu vector pháp tuyến cần thiết để thiết lập dữ liệu lưới ở bước sau, bao gồm:

+ NormalEstimationOMP<PointXYZ, Normal>: API này của Point Cloud Library sử dụng phương pháp ước lượng để suy ra trực tiếp các vector pháp tuyến bề mặt từ dữ liệu đám mây điểm. Phương pháp này xấp xỉ quá trình ước tính một mặt phẳng tiếp tuyến với bề mặt vật thể.

Phương pháp này được lược giản thành việc phân tích vector riêng và trị riêng của ma trận hiệp phương sai tạo bởi các điểm lân cận nhất của điểm đang xác định (quá trình tìm các lân cận gần nhất sử dụng API KD Tree của Point Cloud Library, cụ thể trong đồ án này là tìm 20 lân cận gần nhất).

Ma trận hiệp phương sai được xác định:

$$C = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (p_i - \bar{p})(p_i - \bar{p})^T, C \cdot \vec{v}_j = \lambda_j \cdot \vec{v}_j, j \in \{0,1,2\}$$



Trong đó,  $k$  là số điểm lân cận gần nhất với  $p_i$  (điểm đang xét),  $\bar{p}$  là trọng tâm tiết diện các điểm lân cận (có thể lấy nhanh bằng trung bình hoặc trung vị của các tọa độ điểm lân cận),  $\lambda_j$  là trị riêng thứ  $j$  của ma trận hiệp phương sai,  $\vec{v}_j$  là vector riêng thứ  $j$  tương ứng.

Sau đó, vector pháp tuyến của mỗi điểm trong đám mây điểm là vector riêng đầu tiên tương ứng với trị riêng nhỏ nhất của ma trận hiệp phương sai này.

+ KD Tree xác định các điểm lân cận gần nhất:

Bắt đầu ở root node, move qua các nhánh một cách đệ quy.

Trong khi lướt qua các nhánh, thuật toán sẽ lưu lại node có khoảng cách ngắn nhất với khoảng cách chưa target point (là điểm cần tìm neighbour), được gọi là current best (tốt nhất hiện tại)

Nếu node hiện tại gần target point hơn current best, nó sẽ trở thành current best.

Trong khi di chuyển nó sẽ check xem, với điểm current best ở nhánh trái thì distance best (khoảng cách từ target point tới current best) có ngắn hơn khoảng cách từ target point tới bờ phân chia hay không, nếu ngắn hơn tức là bên nhánh trái đã cho kết quả tốt nhất và ta không cần tìm tiếp bên phải, nếu dài hơn tức là có lẽ sẽ có 1 điểm nào đó bên phải cho khoảng cách tới target point tốt hơn nên ta phải tiếp tục loop qua các nhánh bên phải.

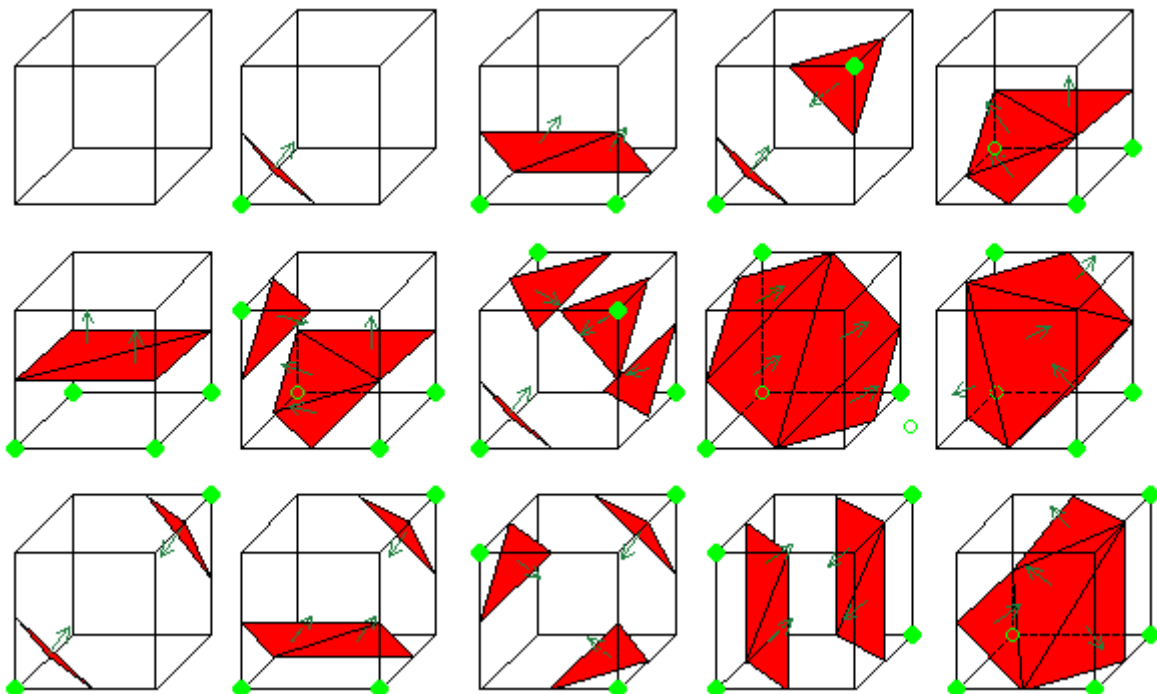
Với mỗi nhánh, thuật toán hoàn thành cho tới khi chạm leaf node.

**Bước 3:** sử dụng marching cubes algo để tạo tệp dữ liệu lưới (.vtk) từ các dữ liệu vector pháp tuyến

### Marching cubes:

Một thuật toán đơn giản để tạo một lưới tam giác từ một hàm ngầm định (một trong các dạng  $f(x, y, z) = 0$ ). Nó hoạt động bằng cách lặp lại ("marching") trên một lưới đồng nhất gồm các hình khối xếp chồng lên nhau trên một vùng của hàm.

Mỗi đỉnh có thể dương hoặc âm, nên về mặt kỹ thuật có 28 cấu hình khả dĩ, nhưng nhiều cấu hình trong số này tương đương với nhau. Chỉ có 15 trường hợp duy nhất, được hiển thị ở đây:



Hình 13

Nếu tất cả 8 đỉnh của hình lập phương là dương hoặc cả 8 đỉnh là âm, thì hình lập phương nằm hoàn toàn trên hoặc hoàn toàn dưới bề mặt và không có hình tam giác nào được chuyển ra.

Thuật toán Marching Cubes giải quyết năm bước để trích xuất một bề mặt từ dữ liệu khối lượng:

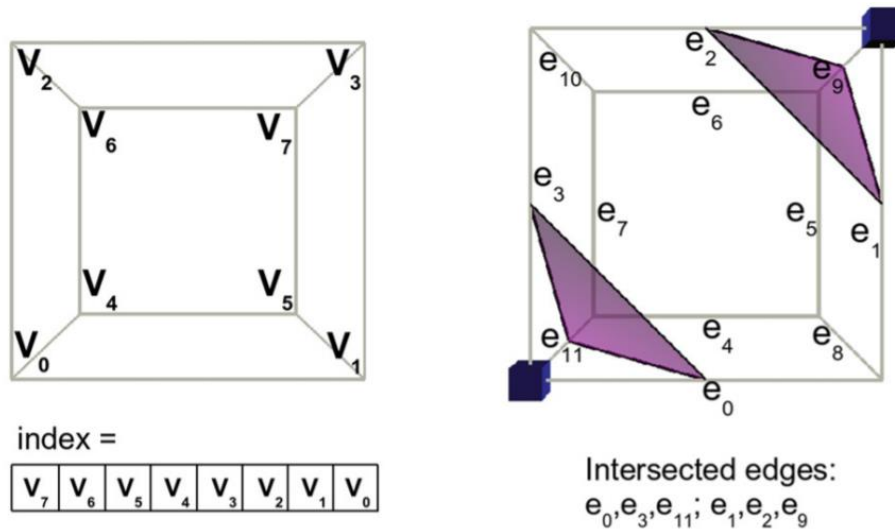
- Xác định chỉ số trường hợp của mỗi ô.
- Xác định các cạnh giao nhau.

- Tính toán các giao điểm bằng phương pháp nội suy tuyến tính.
- Triangulation của các giao điểm.
- Tính toán tiêu chuẩn bề mặt hướng ra ngoài để chiếu sáng.

Marching Cubes xử lý từng ô thể tích một cách độc lập.

#### Xác định chỉ số trường hợp và các cạnh giao nhau:

Tám voxel của ô thể tích (volume voxel) có một trạng thái được chỉ định, cho biết liệu giá trị voxel tương ứng của chúng lớn hơn, bằng hay nhỏ hơn giá trị isovalue  $\tau$  được chỉ định. Trạng thái của mỗi voxel được hiểu là một chữ số nhị phân (1 cho bên trong và 0 cho bên ngoài) và được tạo thành một chỉ mục số tám bit. Hình 14 cho thấy trạng thái voxel đi đến vị trí nào.



Hình 14 Xác định các voxel và cạnh

Ví dụ, trong trường hợp  $9 = 1 * 20 + 1 * 23$ , các trạng thái của voxel  $V_0$  và voxel  $V_3$  được thiết lập. Bây giờ chúng ta có 256 cấu hình có thể có của trạng thái voxel, và do đó chúng ta có 256 tam giác có thể có của một ô thể tích. Tuy nhiên, không phải tất cả các cấu hình này đều tạo ra các tam giác khác nhau. Hầu hết các trường hợp có thể được sắp xếp thành 15 lớp tương đương (hình 13), 4 lớp có tính đến phép quay hoặc phản chiếu (trên một mặt phẳng). Việc giảm thiểu này là cần thiết hơn khi Marching Cubes được phát minh so với ngày nay: Nó cho phép lưu trữ trạng thái của hai ô trong 8 bit của 1 byte, giảm mức tiêu thụ lưu trữ của bảng trường hợp một cách hiệu quả.

#### Tính toán các giao điểm:

Khi các cạnh ô giao nhau được xác định, bản thân giao điểm được tính toán bằng nội suy tuyến tính. Tham số nội suy  $t$  được tính toán dựa trên giá trị đẳng trị  $\tau$  và các giá trị voxel  $V_j$  và  $V_{j+1}$  ở cả hai phía của cạnh theo công thức:

$$t = \frac{\tau - V_j}{V_{j+1} - V_j}$$

Nếu chúng ta giả sử rằng  $X_j$  và  $X_{j+1}$  mô tả tọa độ của các voxel tương ứng, chúng ta có thể tính giao điểm tương ứng của  $X_e$  với phép nội suy tuyến tính theo công thức:

$$X_e = X_j + t \cdot (X_{j+1} - X_j)$$

#### Triangulation của cái giao điểm:

Nếu kết hợp các giao điểm nội suy với thông tin về cách các giao điểm cạnh được cấu tạo thành hình tam giác — cũng được lưu trữ trong bảng trường hợp — có thể xác định các hình tam giác.

#### Tính toán Pháp tuyến hướng ra ngoài của mặt phẳng:

Cuối cùng, các pháp tuyến cần được tính toán để tạo ra hình ảnh bóng mờ mô tả rõ ràng hình dạng tương ứng. Việc sử dụng dữ liệu ban đầu của trường vô hướng dẫn đến một định nghĩa chính xác hơn về các chuẩn bề mặt. Gradient kết quả cần được chuẩn hóa để sử dụng trong mô hình chiếu sáng. Chiến lược tương tự cũng được sử dụng để tích hợp ánh sáng trong kết xuất âm lượng trực tiếp.

**Bước 4:** chuyển tệp dữ liệu lưới thành tệp tin .ply để mở trên MeshLab

