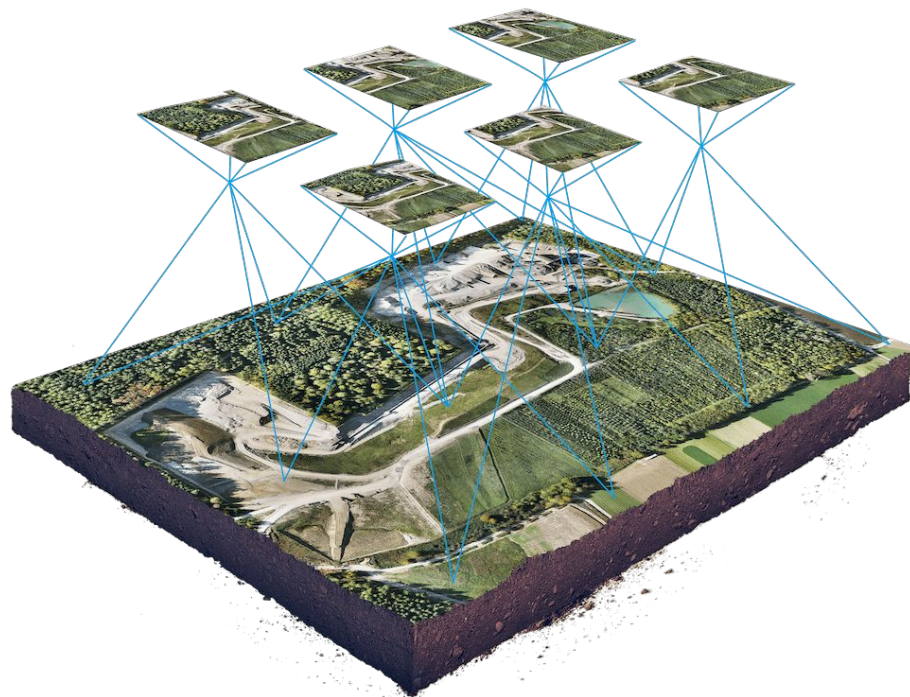
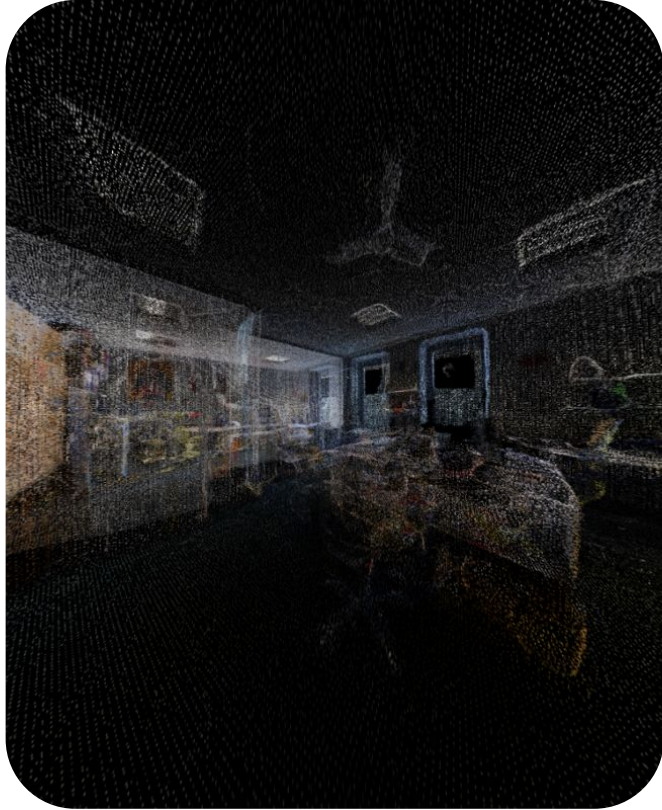


Point cloud alignment

**Vietnam Korea Institute of science
and technology**

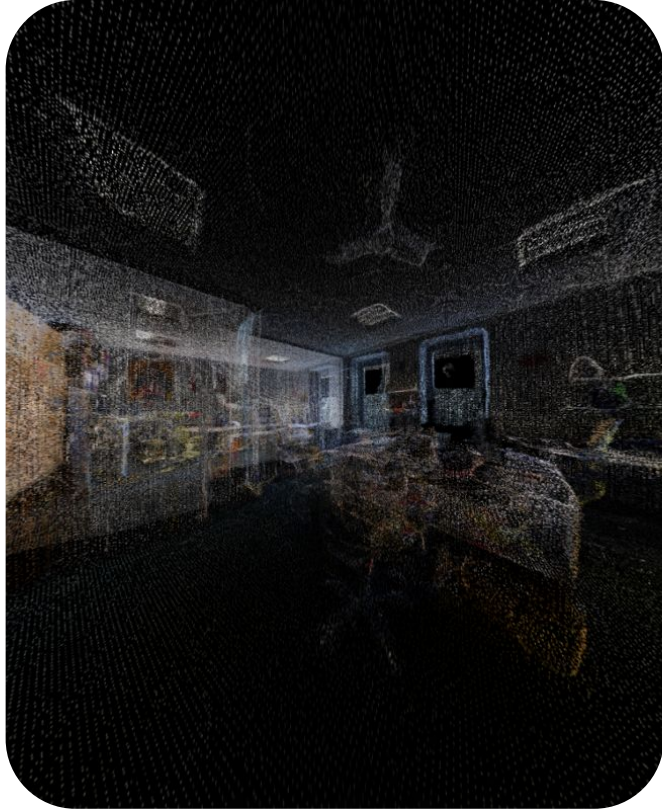
Hanoi, 16--02-2023





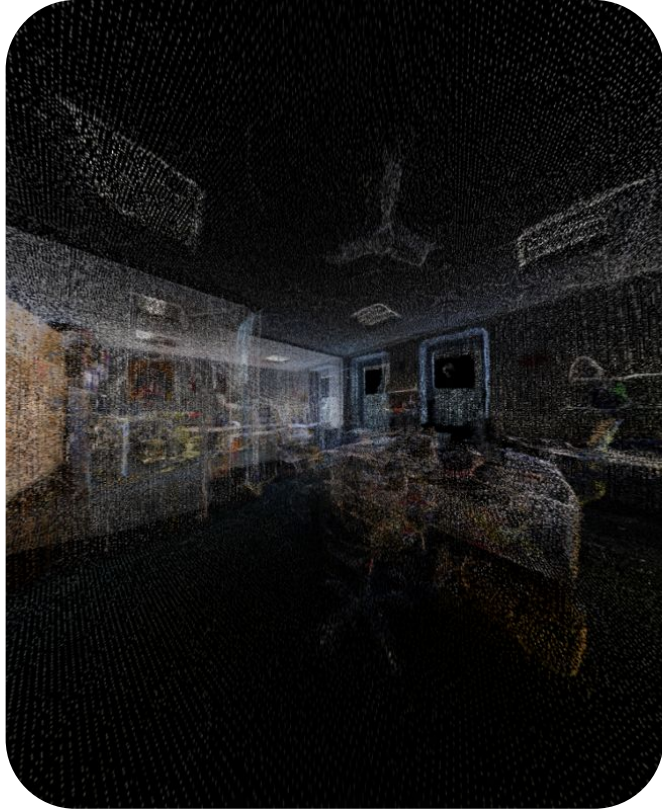
Đám mây điểm

Một đám mây điểm là tập hợp của các điểm 3D biểu diễn một bề mặt hoặc vật thể trong môi trường vật lý. Nó được tạo ra bởi các công nghệ quét 3D như LiDAR hoặc photogrammetry.



Đặc điểm của đám mây điểm

1. Tọa độ 3D của các điểm, mỗi điểm trong đám mây điểm được biểu diễn bởi một tọa độ 3D trong không gian phân biệt với các điểm khác .
2. Mật độ và độ phân giải, mật độ và độ phân giải của đám mây điểm là số lượng điểm trong một đơn vị diện tích hoặc thể tích của đám mây điểm. Đám mây điểm dày đặc chứa nhiều đám mây điểm hơn trong cùng 1 đơn vị thể tích, giúp cho việc biểu diễn vật thể chi tiết hơn tuy nhiên lại gây tốn tài nguyên lưu trữ.



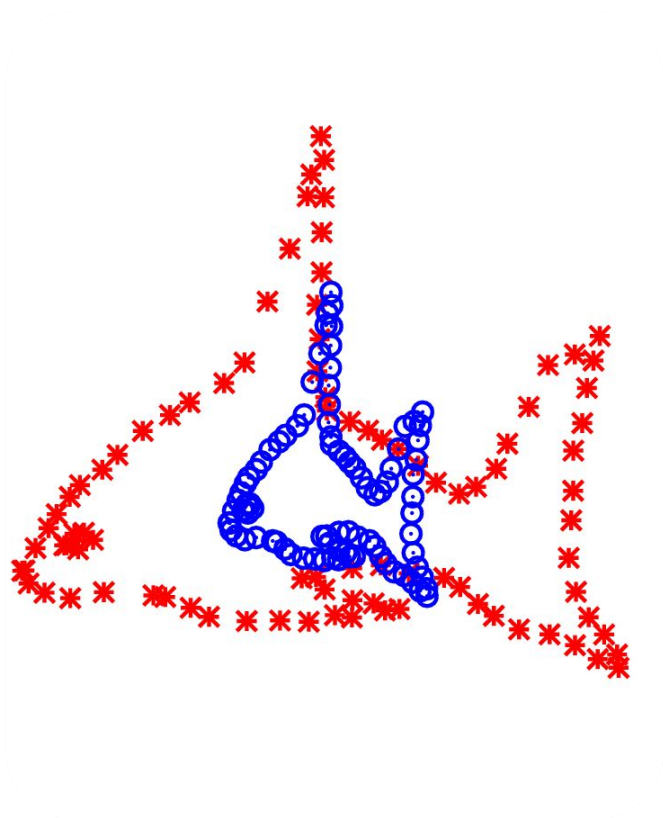
Đặc điểm của đám mây điểm

1. Màu sắc và độ sáng: các đặc điểm này phụ thuộc vào công nghệ quét 3D. Mỗi điểm trong đám mây có thể có thêm thông tin về màu sắc và độ sáng phục vụ cho việc hiển thị, phân tích hoặc phân đoạn.
2. Nhiều: đám mây điểm có thể có nhiều nguyên nhân do điểm không được biểu diễn chính xác trong không gian do các công nghệ quét 3D không chính xác.



Đặc điểm của đám mây điểm

1. Thứ tự các điểm và các liên kết. Trong một số trường hợp thứ tự các điểm là đặc điểm quan trọng cho các bước xử lý như khôi phục bề mặt hay phân đoạn.
2. Hệ tọa độ không gian: mỗi đám mây điểm có hệ tọa độ không gian đi kèm với chúng, hệ tọa độ không gian đóng vai trò quan trọng trong việc kết nối, kết hợp các đám mây điểm.

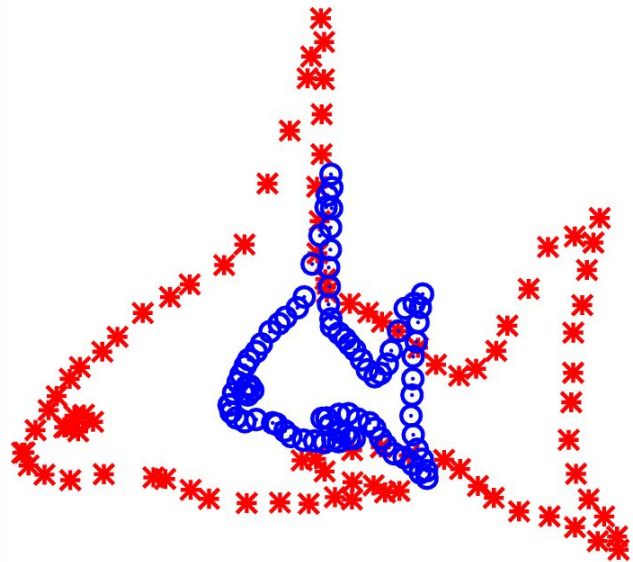


Tổng hợp đám mây điểm

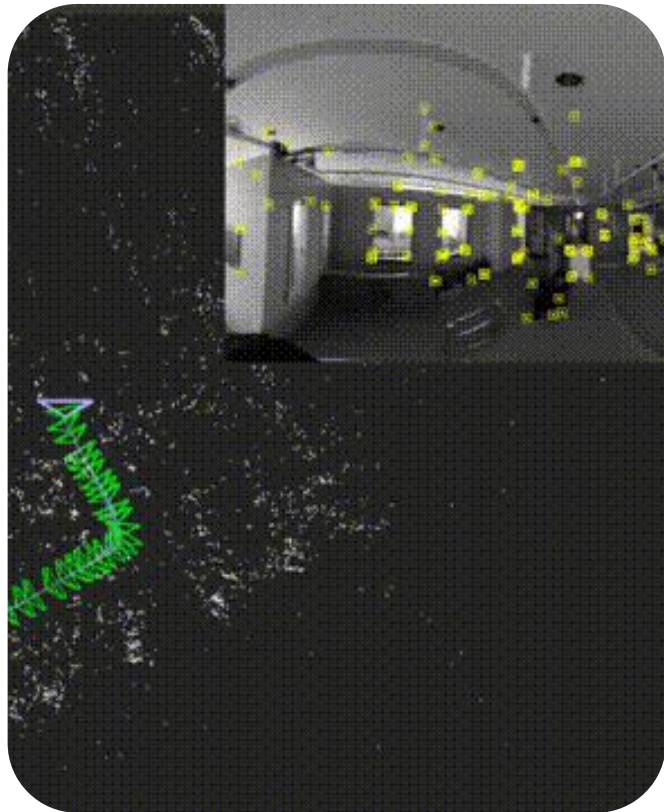
Kết nối 1 hay nhiều đám mây điểm là quá trình tìm các phép biến đổi trong không gian (phép xoay, phép tịnh tiến, phép phóng (scaling)) giúp ghép nối 2 đám mây điểm vào với nhau.

Mục đích của việc này nhằm kết nối tất cả các đám mây điểm thành 1 đám mây điểm tổng quát có tác dụng trong xe tự hành, khôi phục 3D, phát hiện vật thể 3D, robot, slam, image stitching, thực tế ảo và mô hình y tế.

Phương án tổng hợp đám mây điểm bên ngoài và bên trong

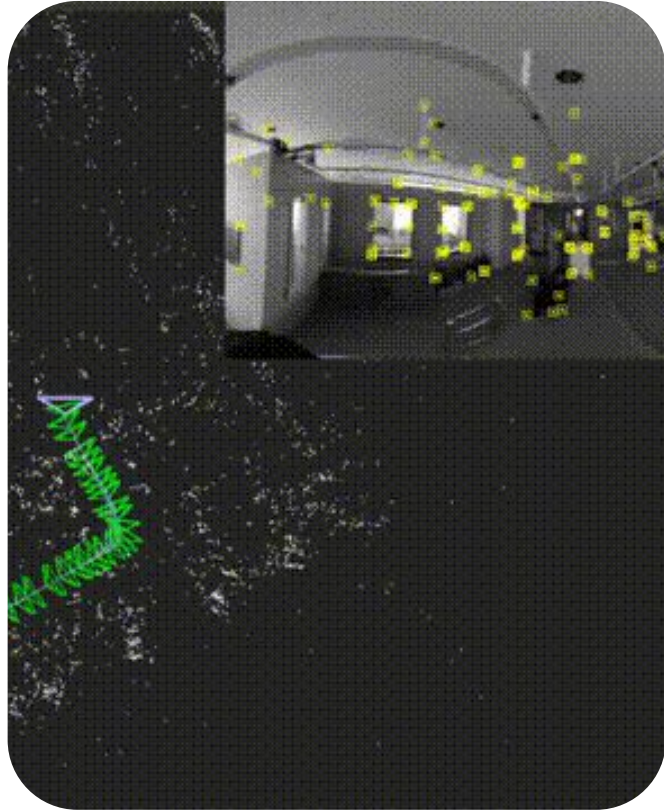


- Phương pháp sử dụng đặc trưng. Phương pháp này sử dụng các đặc trưng phân biệt của từng điểm trong đám mây để kết nối. Mỗi đặc trưng là 1 vector, các điểm có đặc trưng gần nhau sẽ được kết nối với nhau thông qua thuật toán ICP
- Thông tin về GPS và IMU, GPS và IMU cung cấp hướng về tọa độ của đám mây điểm bên ngoài và bên trong theo tọa độ trái đất. Phương pháp này phụ thuộc vào độ chính xác của GPS



Phương án tổng hợp đám mây điểm bên ngoài và bên trong

- Phương pháp LiDAR-SLAM hoặc ORB-SLAM, phương pháp này tạo lập bản đồ giữa không gian bên ngoài và bên trong, ngoài ra còn có khả năng định vị camera chính xác theo chuỗi.



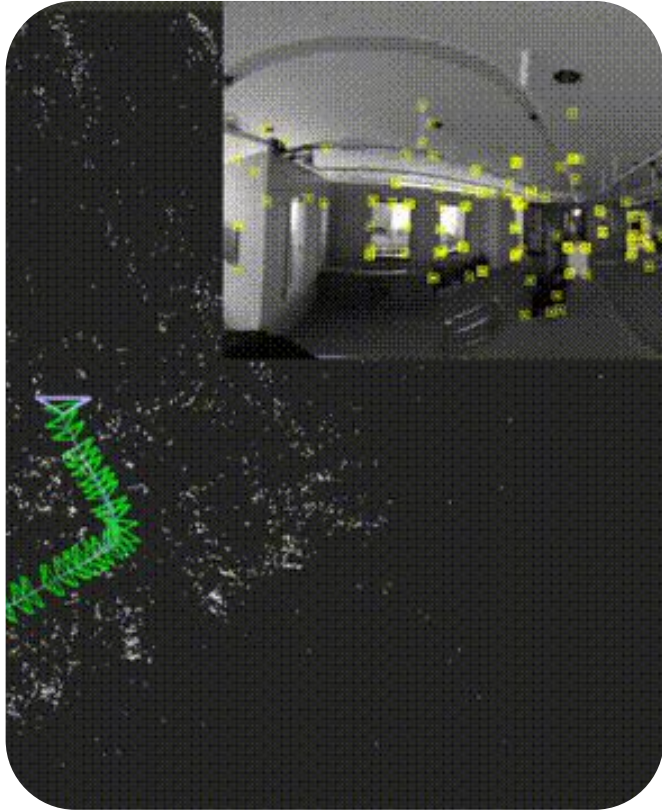
Iterative closet point

- Iterative closet point là một loại thuật toán tối ưu được dùng cho việc kết nối 2 đám mây điểm. Mục tiêu của thuật toán là đi tìm một phép biến đổi T tốt nhất giữa 2 đám mây điểm M và S , điều kiện yêu cầu nhiều điểm kết nối đặc trưng giữa bên trong và ngoài

$$T^* = \arg \min_{T \in \mathcal{T}} \text{dist}(T(\mathcal{M}), \mathcal{S})$$

$$\text{dist}(T(\mathcal{M}), \mathcal{S}) = \sum_{m \in T(\mathcal{M})} \|m - s_m\|_2^2, \quad s_m = \arg \min_{s \in \mathcal{S}} \|s - m\|_2^2$$

- Thuật toán
- Bước 1: Kết nối các điểm của S và M bằng feature matching
- Bước 2: Tìm điểm gần nhất giữa S và M
- Bước 3: sử dụng bình phương nhỏ nhất để tính lại tọa độ của M , quay trở lại bước 2



Camera pose registration

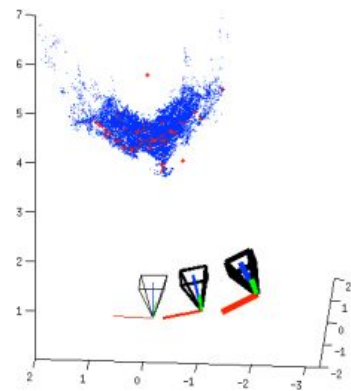
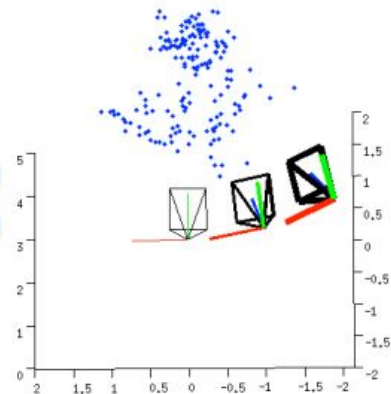
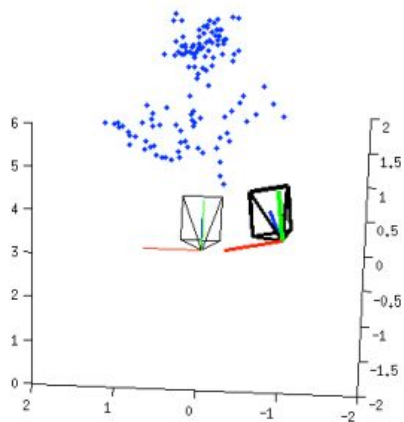
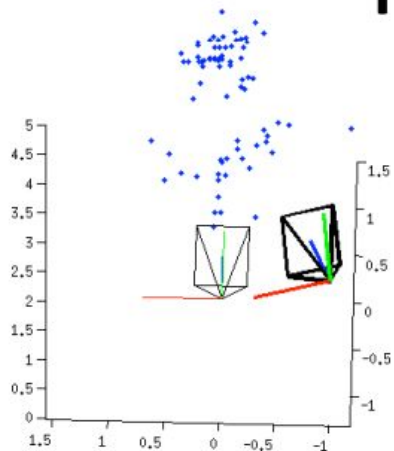
- Camera pose registration là một loại thuật toán tối ưu được dùng cho việc kết nối 2 đám mây điểm. Mục tiêu của thuật toán là đi tìm một phép biến đổi T tốt nhất giữa 2 đám mây điểm M và S thông qua vị trí của camera. Điều kiện yêu cầu: dữ liệu thu dạng chuỗi camera thì dữ liệu mới có thông tin liên kết.

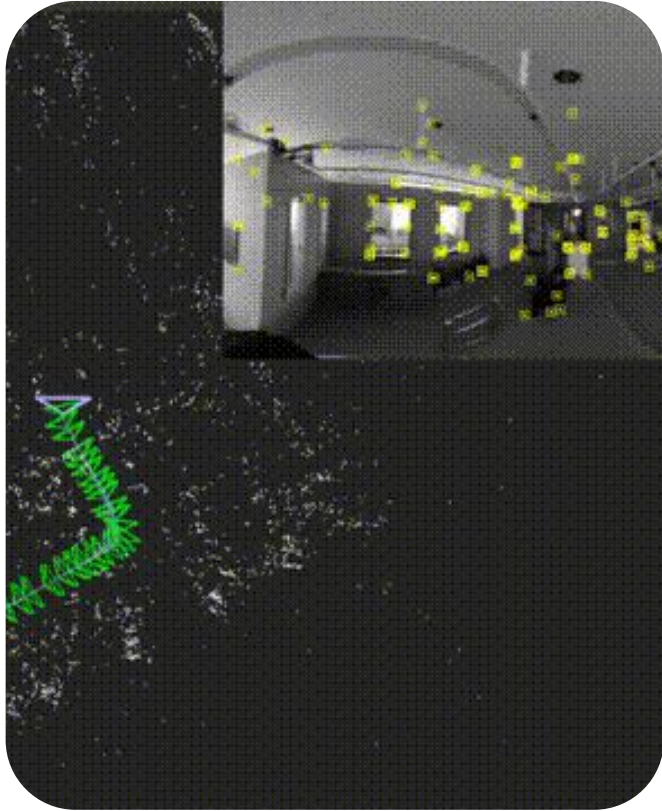
$$T^* = \arg \min_{T \in \mathcal{T}} \text{dist}(T(\mathcal{M}), \mathcal{S})$$

$$\text{dist}(T(\mathcal{M}), \mathcal{S}) = \sum_{m \in T(\mathcal{M})} \|m - s_m\|_2^2, \quad s_m = \arg \min_{s \in \mathcal{S}} \|s - m\|_2^2$$

- Thuật toán
- Bước 1: Tính camera pose (camera calibration)
- Bước 2: Đặt 1 tọa độ đám mây làm gốc, tính lại tọa độ của các đám mây khác không qua vị trí các camera,
- Bước 3: tối ưu hóa bằng bundle adjustment (so khớp điểm ảnh về lại ảnh 2D)

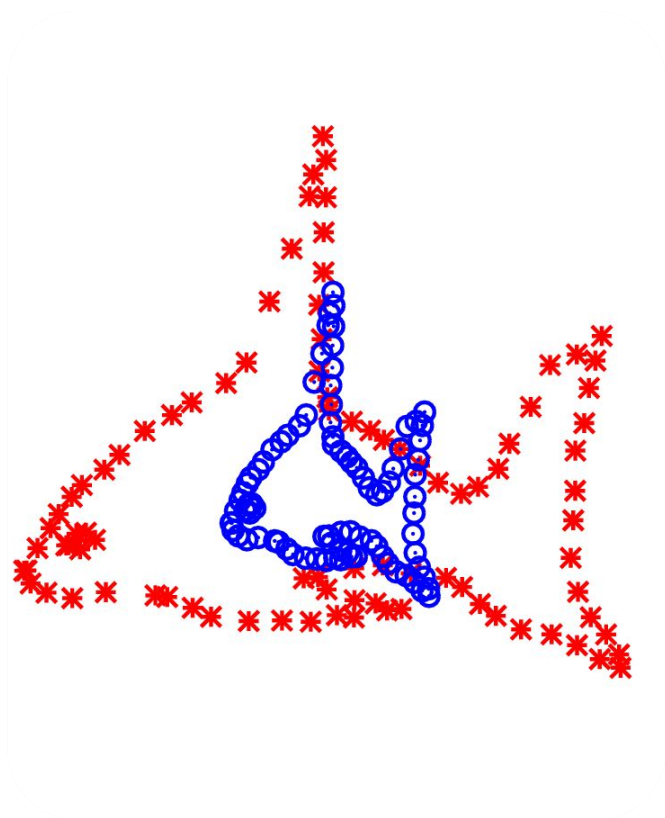
Pipeline





Feature matching

- Thuật toán quan trọng nhất trong các thuật toán kết nối đám mây điểm. Mục tiêu của thuật toán là kết nối từng thành phần nhỏ của đám mây điểm (điểm, vùng) thông qua các vector đặc trưng hoặc phương pháp deeplearning.
- Các phương pháp feature matching bao gồm phương pháp truyền thống và phương pháp sử dụng DL
- Đối với pp truyền thống ta có SIFT, ORB, FLANN
- đối với pp ML ta có SGD, SVM, ...
- <https://github.com/YoungRainy/Indoor-Outdoor-Point-Cloud-Dataset>
- đối với pp DL ta có Superpoint, superglue, Disk, LoFTR, 3D matching, 3D object matching.



Thách thức của việc kết nối đám mây điểm trong nhà và ngoài trời

- Sự chồng lấn của đám mây điểm trong nhà và ngoài trời rất ít, do dữ liệu đám mây điểm được chụp tại 2 môi trường khác nhau.
- Đặc trưng hạn chế và không đồng nhất dẫn đến việc không thể kết nối giữa thông tin bên ngoài và bên trong.
- Kiến trúc bên trong và bên ngoài có sự khác biệt.