

XÂY DỰNG BẢN ĐỒ ĐỘ PHÂN GIẢI CAO 3D CHO XE TỰ HÀNH BẰNG VELODYNE

CREATING HIGH-DEFINITION 3D MAP FOR AUTONOMOUS VEHICLES WITH VELODYNE

Hồ Xuân Năng, Lê Anh Sơn

Trường Đại học Phenikaa; nang.hoxuan@phenikaa-uni.edu.vn; son.leanh@phenikaa-uni.edu.vn

Tóm tắt - Xe tự hành là một phương tiện với khả năng hoạt động mà không cần sự điều khiển hay can thiệp trực tiếp từ con người. Đây đang là hướng đi tương lai, một xu thế trong ngành công nghiệp xe đang ngày càng hiện đại và phát triển hiện nay vì thế việc hình thành các khái niệm về xe tự hành cũng như bước đầu xây dựng bản đồ số hóa cho xe đóng vai trò rất quan trọng tạo nên dữ liệu cơ sở tốt cho việc vận hành xe tự hành. Với mục đích chủ động trong quá trình xây dựng bản đồ số, bài báo đã trình bày một phương pháp xây dựng bản đồ đám mây điểm sử dụng thuật toán Normal Distribution Transform (NDT) với dữ liệu thực thu được từ Velodyne. Kết quả trong bài báo đóng vai trò trong cơ sở nghiên cứu, phát triển và tích hợp với hệ thống xe tự hành tại Việt Nam.

Từ khóa - Xe tự hành; bản đồ số; bản đồ đám mây điểm

Abstract - An autonomous vehicle is a vehicle with the ability to operate without direct human control or intervention. This is the future direction, a trend in the car industry that is increasingly modern and developing today, so the formation of the concepts of autonomous vehicles as well as the initial construction of digital maps for vehicles plays a very important role in creating good baseline data for autonomous vehicle operation. With the purpose of actively building a digital map, the paper presents a method of building a point cloud map using the Normal Distribution Transform (NDT) algorithm with real data obtained from Velodyne. The results in the paper play a role in the basis of research, development, and integration with autonomous vehicle systems in Vietnam.

Key words - Autonomous vehicle; digital map; pointcloud map

1. Đặt vấn đề

Xe tự hành về cơ bản là phương tiện thông minh có sự kết hợp của các phần cứng, phần mềm mà khi được kích hoạt có khả năng thực hiện các hành động như di chuyển, định hướng, nhận diện vật thể, tránh va chạm, dừng khẩn cấp, ... một cách tự động, tức là có khả năng cảm nhận và phản ứng với môi trường xung quanh phương tiện. Hiện nay, có rất nhiều các hãng đang tham gia nghiên cứu và thử nghiệm về xe tự hành như: Uber [1], Apple [2], BMW [3], Tesla [4], ... Xe tự hành hiện nay có thể chia ra làm 5 cấp độ tự hành [5]: Từ đơn giản chỉ hỗ trợ người lái xe cho tới tự lái hoàn toàn trong mọi điều kiện, không cần sự có mặt của người điều khiển xe.

Khi xe tự hành được hoàn thiện và ứng dụng phổ biến, giá trị nó đem lại sẽ tác động tích cực đến đời sống con người [6]. Trước tiên, xe tự hành sẽ đóng vai trò quan trọng trong việc làm giảm tình trạng tai nạn giao thông do sự bất cẩn của người điều khiển phương tiện. Đồng thời, nó cũng giúp giảm ùn tắc giao thông khi tất cả các xe tự hành tham gia giao thông sẽ có thể phối hợp thông tin dữ liệu với nhau nhằm tạo nên một cơ sở dữ liệu hỗ trợ trong quá trình điều tiết và phân phối giao thông. Với sự phát triển của xe tự hành, việc điều khiển phương tiện tham gia giao thông sẽ trở nên dễ dàng, thoải mái hơn cho người lái xe. Ngoài ra, xe tự hành được trang bị rất nhiều loại cảm biến khác nhau nên ngoài chức năng dành cho vận chuyển chúng còn có thể giải quyết các vấn đề về giám sát, lập bản đồ và phát hiện sự thay đổi của môi trường.

Trong quá trình nghiên cứu xe tự hành, vị trí địa phương của xe và môi trường xung quanh yêu cầu độ chính xác cao chính là thách thức đặt ra cho các hệ thống xe tự lái [7]. Mặc dù, thông tin vị trí địa phương từ GPS của xe có thể đảm bảo hỗ trợ đủ cho người điều khiển phương tiện, nhưng độ chính xác của nó không đủ để điều hướng xe tự lái. Thay vào đó, độ chính xác của xe nên được tính toán

và thực hiện bằng các phép đo từ các cảm biến và hình ảnh tích hợp trên bản đồ số. Đây chính là cách để xe tự hành có thể tự định vị được vị trí của nó trong môi trường cụ thể một cách chính xác nhất.

Velodyne gắn trên nóc xe chính là phương án hiệu quả đảm bảo tính định vị của xe tự hành. Quá trình quét của velodyne sẽ cung cấp dữ liệu đám mây điểm chính xác với phạm vi rộng theo thời gian thực nhưng lại khá thưa thớt và không đồng nhất. Các đám mây điểm thu được từ Velodyne ban đầu thu được trong hệ thống tọa độ cục bộ, có thể dịch chuyển theo tọa độ của gps thực tế đo được. Từ đó xe tự hành có thể tự định vị vị trí của nó trong môi trường một cách chủ động dựa trên bản đồ tạo nên từ dữ liệu quét của Lidar Velodyne. Có rất nhiều thuật toán có thể sử dụng trong quá trình xây dựng bản đồ số hóa này như: Generalized- Iterative Closest Point (GICP) [8], Iterative Closest Point (ICP) [9], Normal Distribution Transform (NDT) [10], ... Tuy nhiên, trong phạm vi bài báo này, với việc được nhiều hãng lớn sử dụng, bài báo đã lựa chọn và sử dụng thuật toán NDT để xây dựng được bản đồ đám mây điểm chi tiết và môi trường xung quanh cho xe tự hành.

2. Phương pháp và cách thực hiện

2.1. Phương pháp nghiên cứu

2.1.1. NDT Scan matching

Phương pháp sử dụng NDT đã được sử dụng từ đầu những năm 2000 và được Biber phát triển năm 2003 [11]. Sau đó, Akai cùng các đồng nghiệp phát triển thuật toán lên bằng cách thêm các thông tin về đường sá thông qua cường độ và mật độ của ánh sáng Đến năm 2019, Sobreira so sánh về việc sử dụng ba thuật toán perfect match (PM), ICP và NDT để tìm kiếm các điểm giống nhau để xem tính đáp ứng của các phương pháp [13]. Năm 2020, Veli và Charles kiểm tra việc tạo bản đồ bằng cách sử dụng thêm

con quay chuyển hồi (IMU) và hệ thống định vị toàn cầu (GNSS) và cho kết quả với độ chính xác cm khi sử dụng NDT [14]. Cũng trong năm 2020, nhóm các nhà nghiên cứu từ Đại học Nagoya cũng sử dụng thuật toán NDT để thử nghiệm với 10 loại velodyne khác nhau để xem ảnh hưởng của các sensor đến việc tạo bản đồ [15]. Nguyên tắc cơ bản của việc xây dựng bản đồ là việc chia các điểm ảnh trong không gian vào trong các lưới 3D sau đó lấy giá trị trung bình của các sub-pointcloud được gán vào.

$$p_k = \frac{1}{M_k} \sum_{i=1}^{M_k} x_{ki}$$

$$\Sigma_k = \frac{1}{M_k} \sum_{i=1}^{M_k} (x_{ki} - p_k)(x_{ki} - p_k)^T \quad (1)$$

Trong đó, $x_i = (x_i, y_i, z_i)^T$ với $i = 1:M$; M là vector M điểm x_i .

Việc chuyển đổi giữa vector X sang vector M được thực hiện bởi $x'_i = Rx_i + t'$ trong đó R là ma trận quay và t' là vector chuyển đổi.

Hệ số để đánh giá (E – hàm mục tiêu) giữa thông số đầu vào X và đầu ra M sẽ được tính toán thông qua công thức (2) dưới đây. Hệ số E càng cao đồng nghĩa với việc thông số đầu vào của đám mây là bản đồ càng được căn chỉnh chính xác.

$$E(X, t) = \sum_i^N \exp \frac{-(x'_i - p_i)^T \Sigma_i^{-1} (x'_i - p_i)}{2} \quad (2)$$

Sau đó, việc chuyển đổi được tiếp tục sử dụng để tìm kiếm hệ số tối ưu t thông qua công thức Newton, qua đó vector t sẽ được cập nhật lại (3).

$$t_{new} = t - H^{-1}g \quad (3)$$

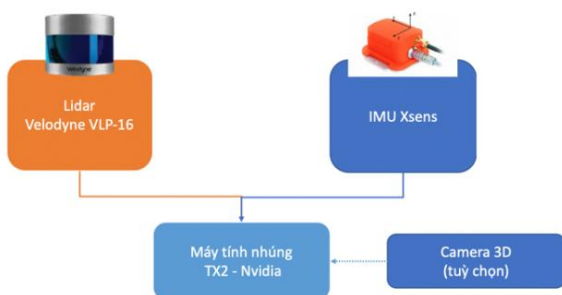
Trong đó, g và H là vi phân bậc một và bậc 2 của hàm $f(t) = -E(X, t)$.

2.1.2. Tiêu chí đánh giá kết quả NDT

Thông thường NDT sẽ được đánh giá thông qua 3 tiêu chí cơ bản: Tính lặp lại, hệ số mục tiêu, và xác suất chuyển đổi. Tính lặp lại chính là số lần tính lặp lại của công thức Newton sao cho kết quả t được gần nhất so với kết quả thực tế. Hệ số mục tiêu thể hiện sự chênh lệch giữa hai điểm quét được quan 2 lần quét, khi hệ số này nhỏ tức là sự sai khác giữa hai điểm trong không gian là lớn và ngược lại. Cuối cùng là xác suất chuyển đổi chính là ma trận của hệ số mục tiêu tại một điểm N nhất định của thông số đầu vào từ scan.

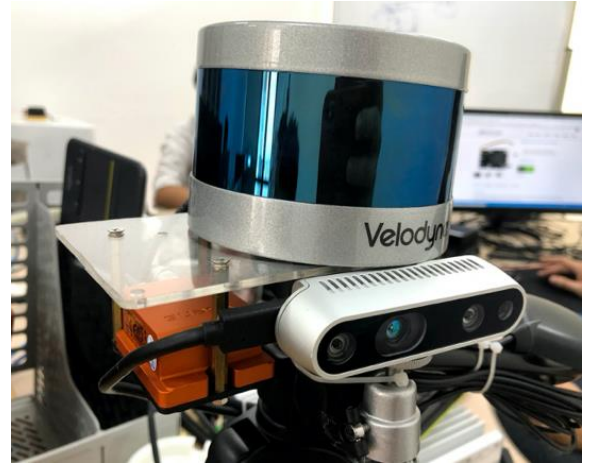
2.2. Cách thực hiện

2.2.1. Xây dựng phần cứng để thu thập số liệu



Hình 1. Sơ đồ kết nối hệ thống

Để thực hiện được việc tạo bản đồ hệ thống cần ít nhất 01 lidar và 01 IMU cộng với máy tính nhúng thực hiện việc điều khiển và ghi lại các thông số của 2 thiết bị sau khi thu thập được các số liệu. Trong thí nghiệm này Velodyne VLP-16 được chọn sử dụng, vì đây là loại thông dụng và đang được nhiều hãng xe tự hành trên thế giới sử dụng.



Hình 2. Hệ thống thu thập bản đồ thực tế

Toàn bộ thông tin của hệ thống được cập nhật và sử dụng hệ điều hành robot (ROS) để đồng bộ hoá cũng như thực hiện việc thu thập dữ liệu. Các bản tin thu được từ VPL-16, IMU, cũng như camera được tổng hợp và xử lý trong khi hệ thống di chuyển dọc khu vực thu thập dữ liệu. Hệ thống được di chuyển tạo thành một vòng kín để có thể liên kết các dữ liệu và đồng bộ hoá dữ liệu khi tạo bản đồ.

Thuật toán NDT cũng được lập trình trên ROS và thực hiện việc xử lý trên máy tính nhúng Jetson-TX2 sau khi thực hiện xong quá trình ghi lại ở thực địa.

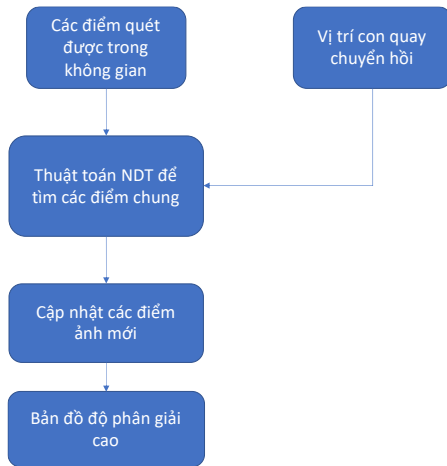
```

/home/phannam/autoware.ai/src/autoware/core_perception/lidar_localizer/launch/approxi...
File Edit View Search Terminal Help
(Processed/Input): (1340 / 1782)
-----
Sequence number: 3167
Number of scan points: 16749 points.
Number of filtered scan points: 2542 points.
transformed scan ptr: 16749 points.
map: 3625454 points.
NDT has converged: 1
Fitness score: 5.37908
Number of iteration: 7
(x,y,z,roll,pitch,yaw):
(25.3343, -13.8862, -1.93004, -0.0592365, -0.0635941, 1.84087)
Transformation Matrix:
-0.266268  -0.963063  -0.0401296   24.9346
 0.961802  -0.262713  -0.0769355   -12.886
 0.0635512  -0.0590821  0.996228    0.138681
 0          0          0          1
shift: 0.963281
  
```

Hình 3. Quá trình xử lý NDT trên máy tính nhúng

2.2.2. Lưu đồ thuật toán

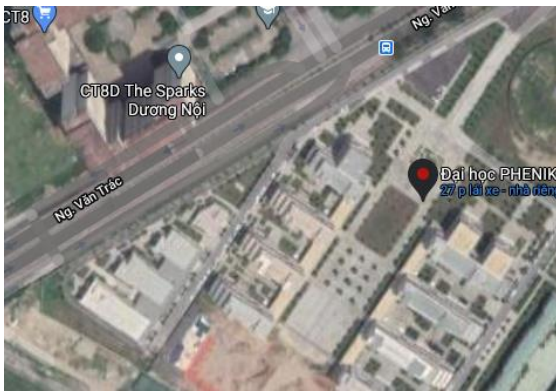
Tín hiệu của các điểm trong không gian thông qua Velodyne ở lần quét thứ nhất được đưa vào như là bản đồ số đầu tiên. Xong đó lần quét thứ 2 sẽ được thực hiện, thông qua sự hiệu chỉnh của con quay chuyển hồi (để giảm thiểu ảnh hưởng của rung động khi di chuyển). Kết quả sau khi hiệu chỉnh lần quét thứ 2 sẽ thông qua thuật toán NDT để tìm các điểm chung. Sau khi xác định được các điểm chung giữa lần quét thứ 2 và lần quét thứ nhất, các điểm mới của lần quét thứ 2 sẽ được cập nhật lên bản đồ của lần quét thứ nhất để tạo ra bản đồ hoàn chỉnh hơn. Qua n lần quét, chúng ta sẽ tạo ra được 1 bản đồ hoàn chỉnh thông qua phương pháp NDT. Hiện tại với thiết bị trong thí nghiệm này, Velodyne sẽ thực hiện 10 lần quét trên một giây.



Hình 4. Lưu đồ thuật toán

2.2.3. Địa điểm thu thập số liệu

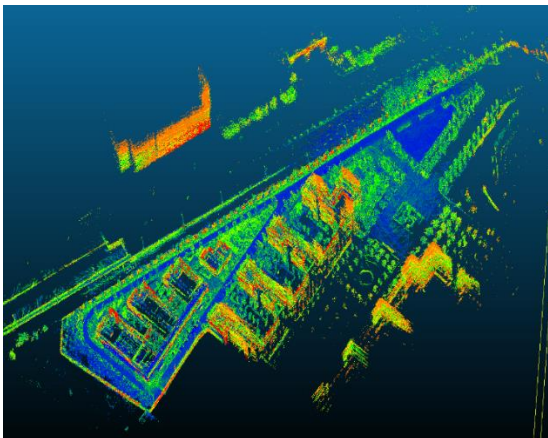
Địa điểm thu thập số liệu được chọn là nơi có đường, cây cối, xe cộ, toà nhà, ... Tất cả quá trình thu thập được thực hiện vào ban ngày và ngay trong trường Đại học Phenikaa.



Hình 5. Khu vực thu thập số liệu

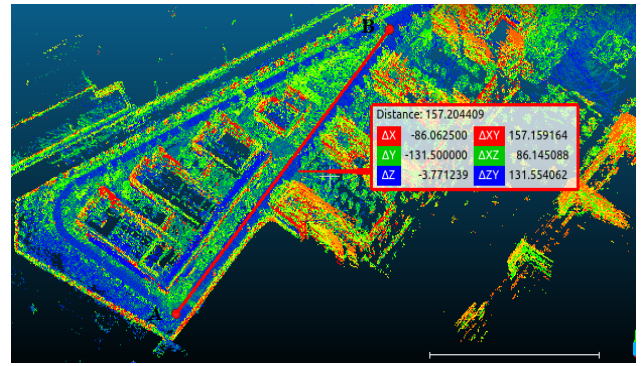
3. Kết quả và Bình luận

Với một phạm vi thực nghiệm cụ thể tiến hành trong điều kiện ban ngày, dữ liệu file rosbag *.bag thu được qua quá trình quét Velodyne có dung lượng thu được 6Gb sử dụng thuật toán NDT tạo bản đồ khu vực này mất thời gian trung bình 20 phút. Kết quả bản đồ đám mây điểm được số hóa từ môi trường thực tế qua thuật toán NDT thu được trong file *.pcd như dưới đây:



Hình 6. Bản đồ đám mây điểm

Bản đồ được tạo bởi thuật toán NDT có các đặc điểm rõ nét, về độ tương phản màu sắc của các vật thể trong môi trường với Lidar Velodyne rõ ràng.



Hình 7. Khoảng cách đo giữa hai điểm trên bản đồ

Để đánh giá độ chính xác giữa bản đồ được xây dựng qua thuật toán NDT và bản đồ thực, kết quả đo giữa 2 điểm A và B cho thấy được sự tương đồng về mặt kích thước giữa bản đồ google map và bản đồ mới được khởi tạo. Sự chênh lệch giữa 2 bản đồ có thể do việc chọn các điểm A và B tại hai bản đồ không được chuẩn xác.

Như vậy, có thể thấy, bản đồ được tạo ra bởi thuật toán NDT là hoàn toàn có khả năng ứng dụng để tạo ra được bản đồ 3D có độ phân giải cao để thực hiện phần số hoá bản đồ và chuẩn bị các nền tảng cơ bản cho xe tự lái sau này.

4. Kết luận

Bài báo đề cập đến phương án sử dụng thuật toán NDT cho quá trình xây dựng bản đồ số chất lượng cao cho xe tự hành với Velodyne và thực hiện hoàn toàn bởi các chuyên gia người Việt Nam. Đây là một trong những công trình đầu tiên tại Việt Nam thực hiện việc nghiên cứu và học hỏi công nghệ xây dựng bản đồ độ phân giải cao 3D tại Việt Nam để tạo cơ sở cho việc đưa xe tự hành vào Việt Nam trong tương lai.

Ứng dụng thuật toán NDT là một trong những phương pháp phổ biến được đề cập đến trong các vấn đề về xây dựng bản đồ số. Nhóm tác giả nhận thấy qua quá trình thực nghiệm thì thuật toán NDT cho tốc độ xử lý điểm khá nhanh với khối lượng điểm lớn, mang lại hiệu quả tốt và độ chính xác cao trong quá trình tạo bản đồ.

Nghiên cứu bước đầu xây dựng được nền tảng cơ bản và hi vọng sẽ tiếp tục thực hiện được nhiều nghiên cứu chuyên sâu, để tạo ra một nền tảng bản đồ độ chính xác cao cho Việt Nam. Làm cơ sở cho việc phát triển về khoa học kỹ thuật sau này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] “Uber Technology”.
- [2] “Project Titan”, *Businessinsider*.
- [3] “Autonomous Driving”, [Online]. Available: <https://www.bmwgroup.com/en/innovation/technologies-and-mobility/autonomes-fahren.html>.
- [4] “Tesla Autopilot”.
- [5] “SAE International Releases Updated Visual Chart for Its ‘Levels of Driving Automation’ Standard for Self-Driving Vehicles”, 2018. <https://www.sae.org/news/press-room/2018/12/sae-international-releases-updated-visual-chart-for-its-“levels-of-driving-automation”-standard-for-self-driving-vehicles>.
- [6] “7 BENEFITS OF AUTONOMOUS CARS”, 2017, [Online]. Available: <https://www.thalesgroup.com/en/markets/digital-identity-and-security/iot/magazine/7-benefits-autonomous-cars>.
- [7] L. Wang, Y. Zhang, and J. Wang, “Map-Based Localization Method for Autonomous Vehicles Using 3D-LIDAR”, *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, no. 1, pp. 276–281, 2017, doi: 10.1016/j.ifacol.2017.08.046.
- [8] A. V. Segal, D. Haehnel, and S. Thrun, “Generalized-ICP”, *Robot. Sci. Syst.*, vol. 5, pp. 161–168, 2010, doi: 10.15607/rss.2009.v.021.
- [9] W. Burgard, C. Stachniss, M. Bennewitz, and K. Arras, “Introduction to Mobile Robotics Mapping with Known Poses”, [Online]. Available: <https://cs.gmu.edu/~kosecka/cs685/cs685-icp.pdf>.
- [10] E. Takeuchi and T. Tsubouchi, “A 3-D scan matching using improved 3-D normal distributions transform for mobile robotic mapping”, in *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2006, doi: 10.1109/IROS.2006.282246.
- [11] P. Biber, “The Normal Distributions Transform: A New Approach to Laser Scan Matching”, *IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, vol. 3, no. November 2003, pp. 2743–2748, 2003, doi: 10.1109/IROS.2003.1249285.
- [12] N. Akai, L. Y. Morales, E. Takeuchi, Y. Yoshihara, and Y. Ninomiya, “Robust localization using 3D NDT scan matching with experimentally determined uncertainty and road marker matching”, *IEEE Intell. Veh. Symp. Proc.*, no. February 2018, pp. 1356–1363, 2017, doi: 10.1109/IVS.2017.7995900.
- [13] H. Sobreira *et al.*, “Map-Matching Algorithms for Robot Self-Localization: A Comparison Between Perfect Match, Iterative Closest Point and Normal Distributions Transform”, *J. Intell. Robot. Syst. Theory Appl.*, vol. 93, no. 3–4, pp. 533–546, 2019, doi: 10.1007/s10846-017-0765-5.
- [14] V. Ilci and C. Toth, “High definition 3D map creation using GNSS/IMU/LiDAR sensor integration to support autonomous vehicle navigation”, *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 3, 2020, doi: 10.3390/s20030899.
- [15] A. Carballo *et al.*, “Characterization of Multiple 3D LiDARs for Localization and Mapping using Normal Distributions Transform”, no. April, 2020, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2004.01374>.

(BBT nhận bài: 07/9/2020, hoàn tất thủ tục phân biên: 29/10/2020)