

А.Д. Адамова^{1*}, Т.К. Жукабаева²

¹Astana IT University, г. Нур-Султан, Казахстан

²Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан

*e-mail: aigul.adamova@astanait.edu.kz

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ ПОМЕЩЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМА SLAM

Аннотация

Исследование неизвестной среды является фундаментальной проблемой в области автономной мобильной робототехники, которая занимается исследованием неизвестных областей при создании карты окружающей среды. Обычно человек составляет карту окружающей среды заранее, и эта карта используется роботом для последующей навигации, избегая препятствий. Исследование на основе границ - наиболее распространенный подход, при которой граница выступает в качестве места между открытыми и не изученными областями. Существует множество применений алгоритмов исследования в таких областях, как космическая робототехника, развертывание датчиков и защитная робототехника и т. д. Наряду с этим разработаны множество методов, основанных на границах, таких как Wavefront Frontier Detector и Fast Frontier Detection, которые уменьшают временную сложность оригинальной методики исследования, основанной на границах. Алгоритм simultaneous localization and mapping позволяет работать в неизвестной местности и обновлять имеющуюся карту и др.

В работе описывается и реализуется автономная стратегия исследования границ, представлены результаты моделирования алгоритма simultaneous localization and mapping, в среде моделирования Gazebo, а также на аппаратной платформе TurtleBot с использованием Robot Operating System. Преимущество этого алгоритма заключается в том, что робот может исследовать большие открытые пространства, а также небольшие загроможденные пространства.

Ключевые слова: навигация, мобильный робот, автономность, реальное время, ROS, SLAM.

Аңдатпа

А.Д. Адамова¹, Т.К. Жукабаева²

¹Astana IT University, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан

²Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан

SLAM АЛГОРИТМІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, БӨЛМЕ КАРТАСЫН ҚҰРУДЫ ЖҮЗЕГЕ АСЫРУ

Белгісіз ортаны зерттеп қоршаған ортаның картасын жасау кезінде белгісіз аймақтарды зерттеумен айналысатын автономды мобильді робототехника саласындағы негізгі мәселе болып табылады. Әдетте адам қоршаған ортаның картасын алдын-ала жасайды және бұл картаны робот кедергілерден аулақ болу үшін қолданады. Шекараларға негізделген зерттеу - бұл шекара ашық және зерттелмеген аймақтар арасындағы орын ретінде әрекет ететін ең көп таралған тәсіл. Ғарыштық робототехника, сенсорларды орналастыру және қорғаныс робототехникасы және т.б. сияқты салаларда зерттеу алгоритмдерінің көптеген қосымшалары бар, сонымен қатар, шекараларға негізделген зерттеудің бастапқы әдісінің уақытша күрделілігін төмендететін Wavefront Frontier Detector және Fast Frontier Detection сияқты шекараларға негізделген көптеген әдістер жасалды. Simultaneous localization and mapping алгоритмі белгісіз жерде жұмыс істеуге және бар картаны жаңартуға және т. б. мүмкіндіктерді береді. Бұл жұмыста шекараларды зерттеудің автономды стратегиясы сипатталып жүзеге асырылады, Gazebo модельдеу ортасында simultaneous localization and mapping алгоритмін модельдеу нәтижелері, сондай-ақ Robot Operating System көмегімен TurtleBot аппараттық платформасында ұсынылған. Бұл алгоритмнің артықшылығы-робот үлкен ашық кеңістікті, сондай-ақ кішкене бітелген кеңістікті зерттей алады.

Түйін сөздер: навигация, мобильді робот, автономдылық, нақты уақыт, ROS, SLAM.

Abstract

REALIZATION OF ROOM MAPPING USING THE SLAM ALGORITHM

Adamova A.¹, Zhukabayeva T.²

¹Astana IT University, Nur-Sultan, Kazakhstan

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Exploring the unknown environment is a fundamental problem in the field of autonomous mobile robotics, which deals with exploring unknown areas while creating a map of the environment. Usually a human makes a map of the environment beforehand, and this map is used by the robot to navigate afterwards, avoiding obstacles. Boundary-based exploration is the most common approach, with the boundary acting as the place between open and unexplored areas.

There are many applications of exploration algorithms in areas such as space robotics, sensor deployment, and protective robotics, etc. Along with this, many boundary-based methods have been developed, such as Wavefront Frontier Detector and Fast Frontier Detection, which reduce the temporal complexity of the original boundary-based exploration methodology. The simultaneous localization and mapping algorithm allows to work in unknown terrain and update the existing map, etc. This paper describes and implements an autonomous boundary exploration strategy and presents simulation results of the simultaneous localization and mapping algorithm, in the Gazebo simulation environment, and on the TurtleBot hardware platform using the Robot Operating System. The advantage of this algorithm is that the robot can explore large open spaces as well as small cluttered spaces.

Keywords: navigation, mobile robot, autonomy, real time, ROS, SLAM.

Введение

На сегодняшний день беспилотные виды транспорта на старте активного внедрения и рост интереса к реализации автономного вождения с каждым годом все выше. В связи с этим возникает необходимость реализации различных алгоритмов, которые могли бы использоваться для навигации такого рода транспортных средств.

Оценка положения транспортного средства может быть выполнена с помощью колесных одометров и измерительных блоков, но данные виды датчиков не могут обеспечить устойчивую долговременную работу. Ультразвуковые, сонарные виды датчиков активно используются для локализации транспортных средств, вместе с этим данный вид датчиков может создавать помехи друг для друга. Глобальная система позиционирования может обеспечить определение настоящего положения, однако в закрытых помещениях она так же не применима. Для выполнения задачи оценки движения удобно использовать камеры, которые могут обеспечить широкий поток информации [1]. В последнее время разработано и выпущено большое разнообразие как двумерных, так и трехмерных камер.

Существует множество методов, основанных на границах, таких как Wavefront Frontier Detector (WFD) и Fast Frontier Detection (FFD). WFD – является итерационным методом выполняющим построение графа по ранее посещенным точкам. Основная идея данного метода является в том, что происходит сканирование не всего помещения, а лишь мест где находился мобильный робот [2]. FFD – метод использующий активную область вокруг позиции, в которой находится мобильный робот, с помощью которого и обновляется карта помещения [3]. Вышеназванные методы могут хорошо справляться с поставленной задачей на небольших помещениях, но в случаях больших территорий эти методы не приведут к правдоподобным результатам. В данной работе будет представлен процесс реализации алгоритма построения маршрута в неизвестной среде с помощью метода simultaneous localization and mapping (SLAM) [4], который можно использовать в мобильных автономных устройствах. В данном направлении работают множество научно-исследовательских институтов, и ученых из разных стран. Так в [5] ученые-исследователи с помощью симулятора LIDAR создают реальные облака точек, которые позволяют настроить параметры SLAM и развернуть его в режиме реального времени. В работе [6] SLAM алгоритм был использован для получения двумерной карты и на основании его предлагается алгоритм проектирования визуализации в трехмерном формате. Результаты алгоритма SLAM могут быть использованы совместно и с другими видами алгоритмов, что демонстрируется в результатах работы группы ученых [7]. ROS поддерживает связь между различными устройствами с помощью обмена сообщениями, названиями, функциями преобразования и клиентской библиотекой [8-11]. ROS можно запускать независимо от типа операционной системы, в которой она установлена, и независимо от используемого языка программирования. Пока установлена система ROS и каждый узел правильно спроектирован, связь между узлами очень проста. Например, статус робота можно отслеживать в MacOS, даже если на роботе установлен Ubuntu, дистрибутив Linux. В то же время пользователь может управлять роботом из приложения на базе Android.

Алгоритм SLAM

Алгоритм SLAM дает возможность построить карту замкнутых пространств, с помощью движения и измерительных устройств. Классификация данного подхода приведена на рисунке 1. В случае, когда аппаратная часть не ограничена вычислительными ресурсами, то рекомендуется использовать трехмерные, на основе всех точек, с визуальными сенсорами на основе графов. Такого рода алгоритм Slam будет выдавать, более приближенную к реальному времени, карту окружающей местности.



Рисунок 1. Классификация алгоритма SLAM

На ряду с классификацией алгоритма SLAM приведем наиболее используемые подходы SLAM в ROS (Таблица 1).

Таблица 1. Подходы SLAM

	Входные данные	Выходные данные	Примечание
Gmapping	Двумерный Лидар одометрия	визуализатор для определения позиции и множества точек; двумерные данные	Не требует высокой вычислительной мощности
Karto SLAM			
Cartographer	Двумерный/трехмерный Лидар, одометрия	визуализатор для определения позиции и множества точек; двумерные данные; плотное множество точек;	Требует множество ресурсов и соответственно высокую вычислительную мощность
ORB SLAM2	Стерео-, RGB-D-камеры	определения позиции и множества точек	
Rtabmap	Стерео-, RGB-D-, Мульти- камеры, Двумерный/трехмерный Лидар, одометрия	визуализатор для определения позиции и множества точек; двумерные/трехмерные данные; плотное множество точек; Карта помещения	Требует множество ресурсов и соответственно высокую вычислительную мощность

Gmapping и KartoSLAM используют лидарный подход, т.е используют фильтр частиц для оценки траектории автономного мобильного робота. Gmapping [12] является стандартным подходом SLAM в среде ROS и на выходе выдает двумерную карту на основе полученных данных с лазерных сканеров. Полученный результат можно использовать для автономной локализации и навигации. KartoSLAM [13] так же, как и предыдущий подход генерирует двумерную сетку заполненности на основе графов. ORB SLAM2 на основе данных полученных как из стереокамеры так и с камеры RGB-D, может визуализировать разреженную карту помещения [14]. Cartographer является графовым алгоритмом, обеспечивая графовую структуру карты и очень требователен к вычислительным ресурсам [15]. Rtabmap является подходом управления памятью, занимается управлением полученных графов. Он дает возможность получить трехмерные данные помещения или местности [16].

Методология исследования

Для реализации процесса моделирования были использованы ROS [8], Turtlebot, Gazebo. ROS — это набор из различных широко (и не очень) известных библиотек, таких как: OpenCV, PCL, Ogre, Orosos, также в ROS входят драйвера для различных манипуляторов и сенсоров (Рисунок 2). Около 180 роботов разработаны на базе ROS. Некоторые из них включают пользовательских роботов, которые публично выпущены разработчиками, и это заметный список, учитывая, что одна система поддерживает такие разнообразные роботы. Самыми известными среди них являются роботы PR2, разработанные Willow, Garage и TurtleBot.

В данной исследовательской работе был использован TurtleBot3. TurtleBot - робот стандартной платформы ROS. TurtleBot, разработан, чтобы легко обучиться и познакомиться с ROS. Сейчас TurtleBot стал стандартной платформой ROS, которая является самой популярной платформой среди разработчиков и студентов [8]. Также для моделирования системы ориентации робота в помещении используют пакеты Gazebo с платформой Rviz.

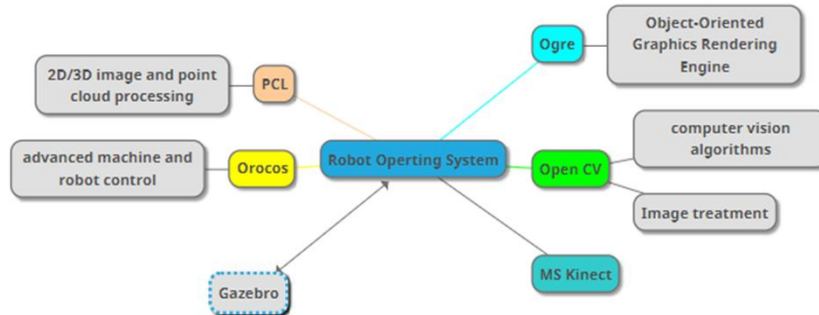


Рисунок 2. Составляющие ROS

Система ROS предоставляет стандартные службы операционной системы, такие как абстракция оборудования, драйверы устройств, реализация часто используемых функций, включая обнаружение, распознавание, отображение, планирование движения, передачу сообщений между процессами, управление пакетами, визуализаторы и библиотеки для разработки, а также инструменты отладки. RViz - это инструмент трехмерной визуализации ROS. Основная цель – показать сообщения ROS в 3D, что позволяет визуально проверять данные (Рисунок 3). Например, он может визуализировать расстояние от лазерного датчика (LDS) до препятствия, данные облака точек (PCD) трехмерного датчика, такого как RealSense, Kinect или Xtion, значения изображений, полученные с камер и многое другое без необходимости дополнительно разработанного программного обеспечения. Визуализатор будет демонстрировать передвижение самого мобильного робота.

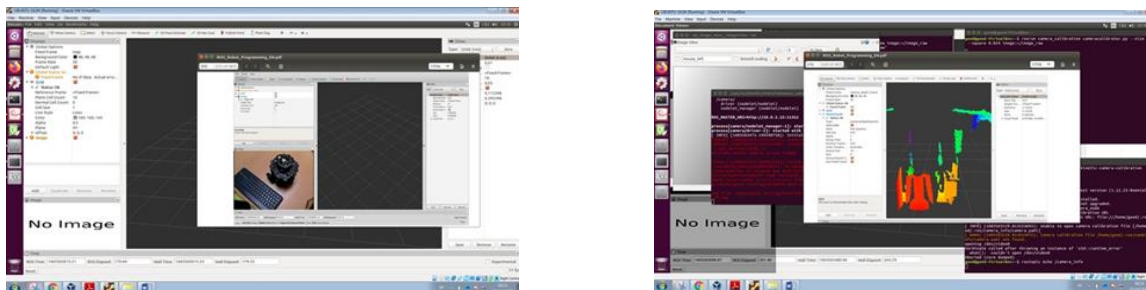


Рисунок 3. Результаты запуска RViz для отображение камеры

TurtleBot3 поддерживает среду разработки, которую можно программировать и разрабатывать с помощью виртуального робота в процессе моделирования. Для этого есть две среды разработки, одна из них использует инструмент 3D-визуализации «RViz», а другой использует 3D-симулятор - «Gazebo». RViz очень полезен для управления TutleBot3 и тестирования SLAM и навигации. Этапы работы алгоритма SLAM приведены на рисунке 4.

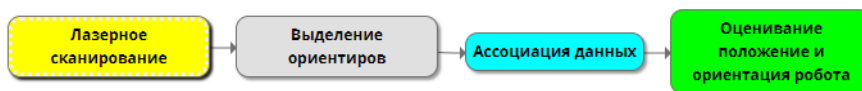


Рисунок 4. Обобщенные этапы работы алгоритма SLAM

На этапе лазерного сканирования могут использоваться различные виды датчиков, на завершающем этапе используются различные алгоритмы для оценивания положения и ориентации робота.

Синхронизация

В процессе построения карты окружающей местности используются подходы rtabmap с модулем Odometry и визуализация rviz. Rtabmap – алгоритм SLAM в системе ROS на основе RGB-D камеры, стерео- и лидарных графов, осуществляет поиск и сопоставляет полученные данные с сенсоров используя память, где хранятся все данные уже считанных образов и их местоположения. Rviz инструмент для осуществления визуализации всех происходящих процессов. На рисунке 5 изображена схема поступления информации с дополнительных датчиков и ее синхронизация.

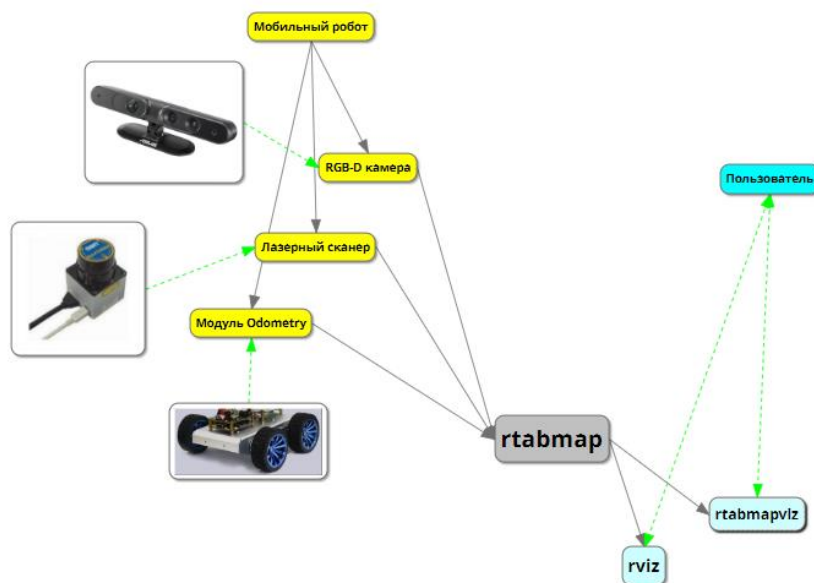


Рисунок 5. Схема поступления информации с различных датчиков и ее синхронизация

В системе ROS - rtabmap можно представить как комплексное решение для построения карты. Он может запускаться в двух режимах: сопоставления и локализация, что можно легко настроить с помощью файлов запуска. После построения карты помещения, есть возможность загрузить карту с автономным двоичным файлом rtabmap, либо запустить узлы в режиме локализации, по итогам которого появятся новые темы, которые Rviz может демонстрировать и читать.

Использование rtabmap для построения карты проходит согласно следующим шагам:

- 1 шаг: Запуск rtabmap;
- 2 шаг: Создание новой базы данных;
- 3 шаг: Подключение всех драйверов используемых датчиков;
- 4 шаг: Построение карты помещения;
- 5 шаг: Подключение Rviz и модуля Odometry;
- 6 шаг: Построение объемной карты помещения;
- 7 шаг: Сохранение полученной карты на локальном диске.

Результаты исследования

Робот запускается в неизвестной среде и в результате запуска вырисовывается карта на основе метода SLAM. Полученные результаты приведены на рисунке 6.

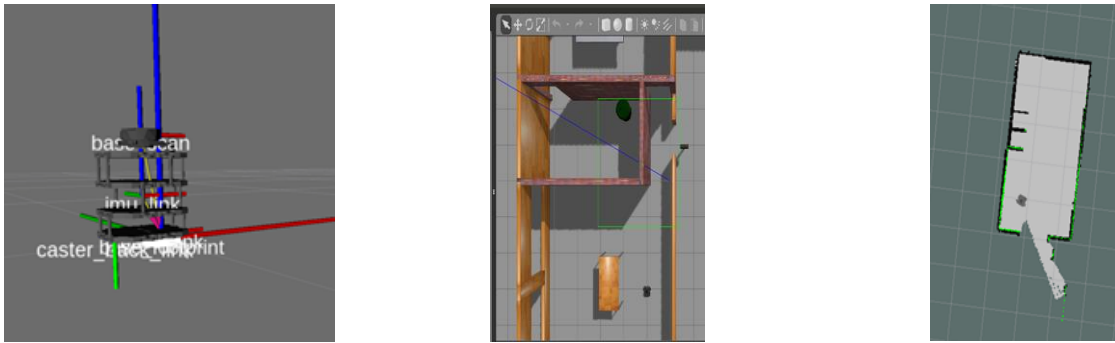


Рисунок 6. Этапы моделирования алгоритма и процесс построения карты

Для расчета времени обнаружения границ использовались три карты, которые отличались площадью на двух разных платформах. Время обнаружения границ с помощью метода SLAM приведено в таблице 2. Процесс моделирования проводился на стационарном компьютере с операционной системой Ubuntu 16.04 с различным объемом оперативной памяти и процессором. Алгоритм был реализован с помощью ROS. Важно отметить, что при наличии камеры RGBD получается в полне достоверная карта помещения.

Таблица 2. Время обнаружения границ.

Время обнаружения границ	Карта 1	Карта 2	Карта 3
Intel core i7, ОЗУ 8 гб, 64	01мин:30сек:27мс	02мин:20сек:45мс	02мин:57сек:02мс
Intel core i5, ОЗУ 6 гб, 64	02мин:20сек:13мс	03мин:01сек:31мс	04мин:18сек:35мс

Заключение

В представленной работе был реализован метод обнаружения границ путем использования алгоритма SLAM. Важно отметить, что при выборе того или иного алгоритма, нужно учитывать время обнаружения границ. Представленный алгоритм SLAM является базовым, существует очень много критериев, и учесть все критерии является невозможным. Например, возвращение мобильного транспортного средства на место, которое он уже видел. Мобильное транспортное средство должно распознавать новые места и обновлять позиции, ориентиры. В дальнейшем планируется реализация данного алгоритма в комбинации с другими алгоритмами, что позволит получить результаты за более лучшее время и моделировать новые навигационные алгоритмы.

References:

- 1 Aladem, M.; Rawashdeh, S.A. *Lightweight Visual Odometry for Autonomous Mobile Robots. Sensors* 2018, 18, 2837. <https://doi.org/10.3390/s18092837>
- 2 D. Calisi, A. Farinelli, L. Iocchi, and D. Nardi. *Multi-objective exploration and search for autonomous rescue robots: Research articles. J. Field Robot.*, 24:763–777, August 2007
- 3 J. Oršulić, D. Miklić and Z. Kovačić, "Efficient Dense Frontier Detection for 2-D Graph SLAM Based on Occupancy Grid Submaps," in *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 4, no. 4, pp. 3569-3576, Oct. 2019, doi: 10.1109/LRA.2019.2928203.
- 4 YoonSeok Pyo, HanCheol Cho, RyuWoon Jung, TaeHoon Lim. *ROS Robot Programming. Robotics Co.* 2017. ISBN 979-11-962307-1-5
- 5 Sobczak, Ł.; Filus, K.; Domański, A.; Domańska, J. *LiDAR Point Cloud Generation for SLAM Algorithm Evaluation. Sensors* 2021, 21, 3313. <https://doi.org/10.3390/s21103313>
- 6 Hosseiniveh, A.; Remondino, F. *An Imaging Network Design for UGV-Based 3D Reconstruction of Buildings. Remote Sens.* 2021, 13, 1923. <https://doi.org/10.3390/rs13101923>
- 7 Cornejo-Lupa, M.A.; Cardinale, Y.; Ticona-Herrera, R.; Barrios-Aranibar, D.; Andrade, M.; Diaz-Amado, J. *OntoSLAM: An Ontology for Representing Location and Simultaneous Mapping Information for Autonomous Robots. Robotics* 2021, 10, 125. <https://doi.org/10.3390/robotics10040125>
- 8 <https://www.ros.org>

9 Zhukabayeva, T., Adamova, A., Zhumabayeva, L. *Experimental investigation of algorithms for simultaneous localization and mapping.* (EECSI), 2020, 2020-October, сmp. 5–9

10 Adamova, A., Zhukabayeva, T., Zhumabayeva, L., Mukanova, Z., Ven-Tsen, K. *Design and Development of a Mobile Robotic Complex.* 2018 *International Conference on Recent Innovations in Electrical, Electronics and Communication Engineering, ICRIEEECE 2018*, 2018, сmp. 1017–1020, 9008479

11 Zhukabayeva, Tamara & Oralbekova, Zhanar & Zhartybayeva, Makpal & Zhumadillayeva, Ainur & Adamova, Aigul. (2015). *Prospects of Development of Technologies in the Field of Robotics and the Stages of Design of Mobile Robotic Complex.* 1-4. 10.1109/ICITCS.2015.7293010.

12 Q. Lin et al., "Indoor mapping using gmapping on embedded system," 2017 *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 2017, pp. 2444-2449, doi: 10.1109/ROBIO.2017.8324786.

13 X. Hu, M. Wang, C. Qian, C. Huang, Y. Xia and M. Song, "Lidar-based SLAM and autonomous navigation for forestry quadrotors," 2018 *IEEE CSAA Guidance, Navigation and Control Conference (CGNCC)*, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/GNCC42960.2018.9018923.

14 R. Mur-Artal and J. D. Tardós, "ORB-SLAM2: An Open-Source SLAM System for Monocular, Stereo, and RGB-D Cameras," in *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 33, no. 5, pp. 1255-1262, Oct. 2017, doi: 10.1109/TRO.2017.2705103.

15 *Cartographer ROS Documentation.* May 04, 2021 [Электронный ресурс]. *Cartographer ROS Integration — Cartographer ROS documentation* (google-cartographer-ros.readthedocs.io). Дата обращения 09.08.2022

16 K. T. D. S. De Silva, B. P. A. Cooray, J. I. Chinthaka, P. P. Kumara and S. J. Sooriyaarachchi, "Comparative Analysis of Octomap and RTABMap for Multi-robot Disaster Site Mapping," 2018 *18th International Conference on Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer)*, 2018, pp. 433-438, doi: 10.1109/ICTER.2018.8615469.