ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА SLAM РОБОТОВ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ ГРАФОВ

INVESTIGATION OF THE SLAM ALGORITHM OF ROBOTS BASED ON GRAPH OPTIMIZATION



Цинь Чжаоян, МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра СМ7, Москва, Россия

Qin Zhaoyang, BMSTU, Department SM7, Moscow, Russia, Qinzy99@foxmail.com

Аннотация

В статье исследуется алгоритм SLAM, основанный на оптимизации графов.Алгоритм SLAM реализован на наборе данных лидара, собранных мобильным роботом в помещении. Метод инкрементальной композиции, основанный на алгоритме байесовской фильтрации, интегрирован в алгоритм оптимизации графа, чтобы сделать построение карты более точным. Посредством сопоставления сканирования, обнаружения замкнутого цикла и оптимизации карты положения создается карта неизвестного окружения. Результаты экспериментов показывают, что оптимизированный алгоритм оптимизации графа SLAM имеет хорошую точность.

Annotation

This article explores the SLAM algorithm based on graph optimization. The SLAM algorithm is implemented on a lidar dataset collected by a mobile robot indoors. The incremental composition method based on the Bayesian filtering algorithm is integrated into the graph optimization algorithm to make the mapping more accurate. Through scan matching, closed loop detection and position map optimization, a map of the unknown environment is generated. Experimental results show that the optimized

SLAM graph optimization algorithm has good accuracy.

Ключевые слова: Мобильный робот, навигационная система, лидар, технология SLAM, алгоритм фильтра Калмана, алгоритм оптимизации графики.

Key words: Mobile robot, navigation system, lidar, SLAM technology, Kalman filter algorithm, graphics optimization algorithm.

Введение

Технология SLAM является ключом к достижению автономной навигации мобильного робота и играет важную роль, особенно в ситуациях с высокими требованиями к точности и суровыми экологическими рисками. Технология SLAM представляет собой междисциплинарную интеграцию, охватывающую несколько областей, и имеет широкие перспективы применения в военной, гражданской и аэрокосмической областях.

1 Классический алгоритм SLAM на основе лидара

С тех пор, как Смит предложил одновременное позиционирование и построение карты в 1988 году, благодаря постоянным исследованиям исследователей, он развился до наших дней и достиг плодотворных результатов исследований в различных направлениях исследований SLAM. Согласно различным теоретическим основам SLAM, его можно разделить на следующие две категории:

(1) Алгоритм SLAM на основе вероятностной модели (Байесовский фильтр): SLAM на основе фильтра частиц (PF), SLAM на основе фильтра Калмана (KF), Fast SLAM и т. Д. Среди них фильтр Калмана делится на линейный фильтр Калмана (KF), расширенный фильтр Калмана (EKF), фильтр Калмана без запаха (UKF) и так далее.

(2) Алгоритм SLAM на основе оптимизации графа (Метод плавной оптимизации): SLAM на основе сопоставления сканирования, SLAM на основе слияния данных, SLAM на основе нечеткой логики и т. Д.

2 Алгоритм SLAM на основе оптимизации графа

Алгоритм фильтра Калмана и алгоритм фильтра частиц не учитывают исторические записи до предыдущего момента. Кумулятивная ошибка, вызванная неопределенностью шума датчика, в конечном итоге приведет к несогласованности карты по мере увеличения среды. Поэтому я выбрал алгоритм оптимизации графа, который представляет собой подход глобальной оптимизации.

Метод SLAM [6], основанный на оптимизации графа (Graph-based), был впервые предложен Лу и Милиосом. Основная идея состоит в том, чтобы сохранить всю ранее наблюдаемую информацию о роботе для использования при оценке траектории и карты робота. Этот метод преобразует элементы карты в ограничения позы, а затем оценивает последовательность позы [7], а результирующее изображение называется графом позы (Pose Graph). Этот вид диаграммы поз можно описать интуитивно, как показано на рис. 2-1. x_1、x_2、x_3、x_4 и т. Д. На рисунке представляют позу и положение робота в разное время, а края описывают ограничения пространства между разными позами.

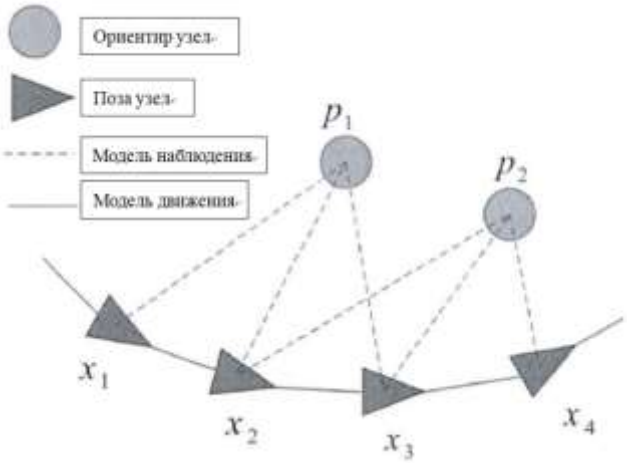


Рис. 2-1 Граф позы в SLAM оптимизации графа

Общая структура, основанная на методе оптимизации графов, показана на рисунке 2-2, а общая структура оптимизации графов разделена на внешний интерфейс и внутренний интерфейс. Внешний интерфейс отвечает за

построение структуры графа, а внутренний интерфейс отвечает за оптимизацию.



Рис. 2-2 Графически оптимизированная структура SLAM

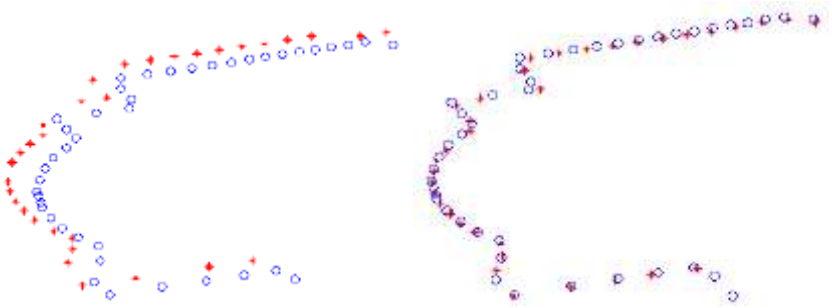
Внешний интерфейс в основном состоит из согласования сканирования и обнаружения замкнутого контура. Эти две части основаны на информации наблюдения датчиков, чтобы установить взаимосвязь между узлами робота. Разница в том, что первый имеет дело с локальными данными, а второй - с глобальными.Они работают вместе, чтобы завершить построение графика. Однако, поскольку информация о наблюдении датчика не является полностью точной и имеется определенная ошибка, график поз, полученный внешним интерфейсом, часто не может соответствовать требованию согласованности, и внутренний интерфейс необходим для оптимизации графика.

2.1 Согласование сканирования

Создание интерфейса оптимизации графа в основном состоит в том, чтобы установить взаимосвязь ограничений между узлами поз, что в основном реализуется путем согласования лазерного сканирования. Задача согласования лазерного сканирования состоит в том, чтобы решить относительное преобразование позы между двумя кадрами лазерных данных (scan to scan) или между одним кадром лазерных данных и картой (scan to map) [8].

Двухточечное сопоставление в основном использует алгоритм ICP (Iterative Closest Point), который был впервые предложен Besl и Mckay в 1992 г. [9]. При

вычислении относительных изменений позы между соседними кадрами два кадра данных сопоставляются и объединяются [10,11].



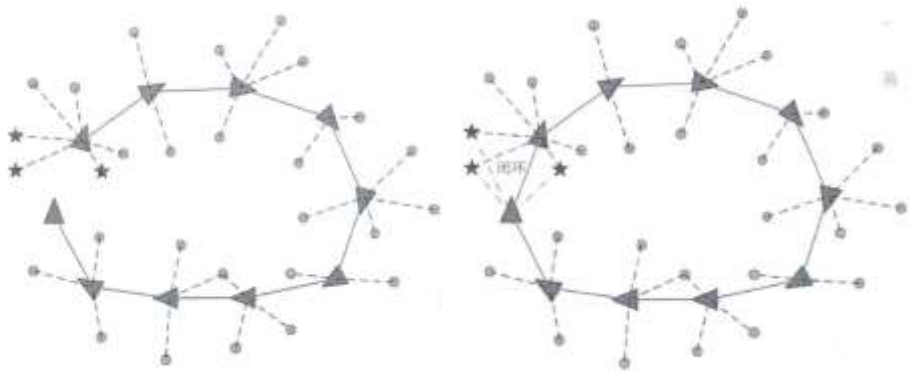
a) Перед сопоставлением b) После сопоставления

Рис. 2-3 Два кадра согласования лазерных данных

2.2 Обнаружение замкнутого контура

Обнаружение замкнутого контура определяется как робот, который использует данные датчиков, чтобы определить, является ли текущее местоположение областью, которую посещали ранее. Обнаружение замкнутого контура- это, по сути, алгоритм, который обнаруживает сходство двух данных наблюдений. Если обнаружение замкнутого контура прошло успешно и замкнутый контур сформирован, информация о позе в замкнутом контуре может быть оптимизирована на основе результатов замкнутого контура, и совокупная ошибка, вызванная увеличением времени, может быть уменьшена.

Замкнутый цикл, обнаруженный роботом, можно преобразовать в ограничения оптимизируемого графа, как показано на рис. 2-4. Здесь определение того, может ли быть сформирована замкнутая петля, оценивается по облаку лазерных точек, полученному при сопоставлении этих двух поз. Если два набора данных облака точек лазера имеют достаточно точек совпадения после регистрации, то считается, что в это время обнаружен замкнутый контур.



a) Отсутствие замкнутого контура · b）формирование замкнутого контура

Рис. 2-4 Принцип обнаружения замкнутого контура · ·

2.3 Оптимизация графика

Алгоритм SLAM, основанный на оптимизации графа, включает два шага: построение внешнего графа и оптимизацию внутреннего графа. Задача внешнего интерфейса - обработать данные, собранные датчиком, для построения карты позы. Задача бэкенда - оптимизировать карту поз, установленную передним концом.

Основная идея графической оптимизации SLAM состоит в том, чтобы сначала сохранить все данные, полученные датчиками, и отношения пространственных ограничений между ними, а затем использовать метод максимального правдоподобия для оценки позы робота на всех узлах. После того, как внешний интерфейс завершил построение графа поз, оценка последовательности поз робота может быть преобразована в оптимизацию узлов в графе, то есть путем настройки узлов в графе так, чтобы эти узлы могли наилучшим образом соответствовать требованиям всех ребер.

3 Реализация SLAM на основе алгоритма оптимизации графа

Алгоритм SLAM реализован на наборе данных лидара, собранных мобильным роботом в помещении. Набор данных поступает из Китайского здания геодезии и картографии. Среднее смещение между каждым сканированием составляет около 0,6 метра.

Этот набор данных собирается лидаром SICK TiM551.



Рис.3.1 SICK TiM551 Лидар

Данные лидара сканируются и сопоставляются для получения относительной трансформации позы робота, соответствующей двум лазерным лучам.

Первый кадр лидарного набора данных:

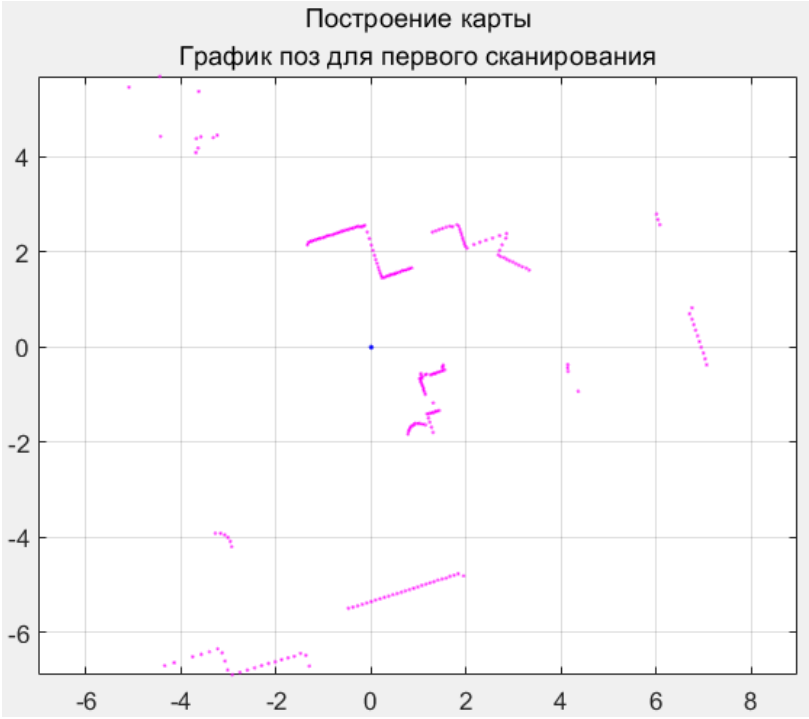


Рис. 3.2 График поз для первого сканирования

Первые девять кадров:

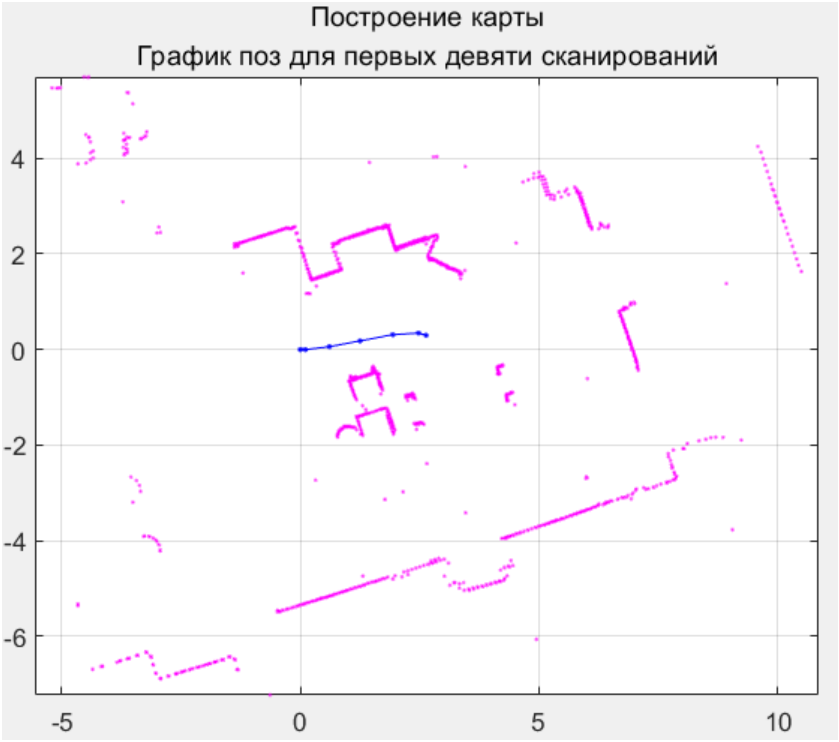


Рис. 3.3 График поз для первых девяти сканирования

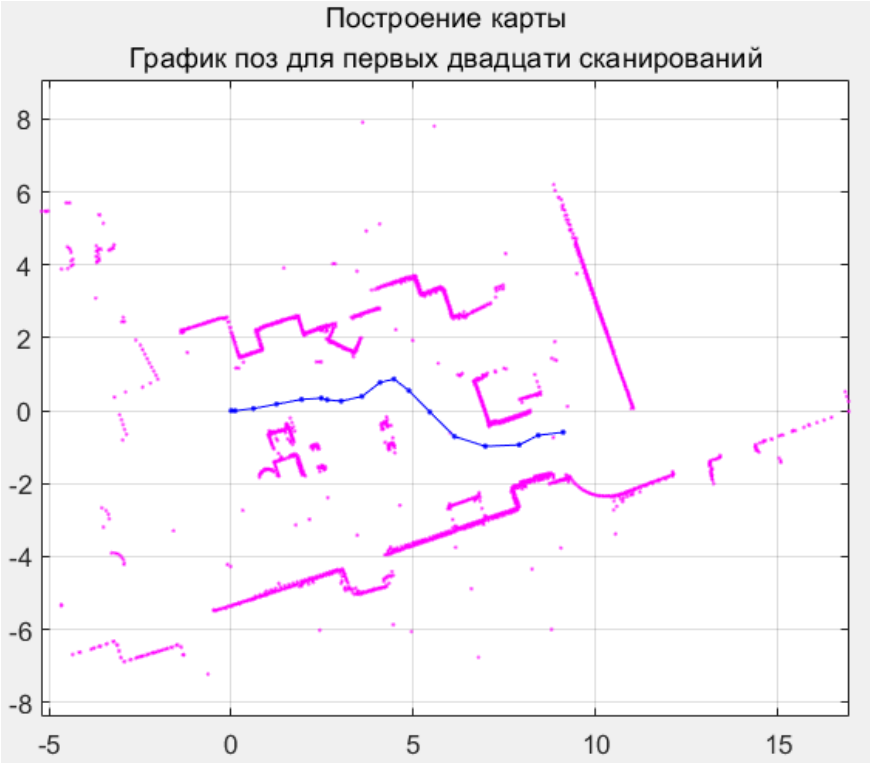


Рис.3.4 График поз для первых двадцати сканирования



Рис. 3.5 График поз для первых тридцати сканирования

После выполнения обнаружения замкнутого контура обнаруживаются первый и второй замкнутые контуры.

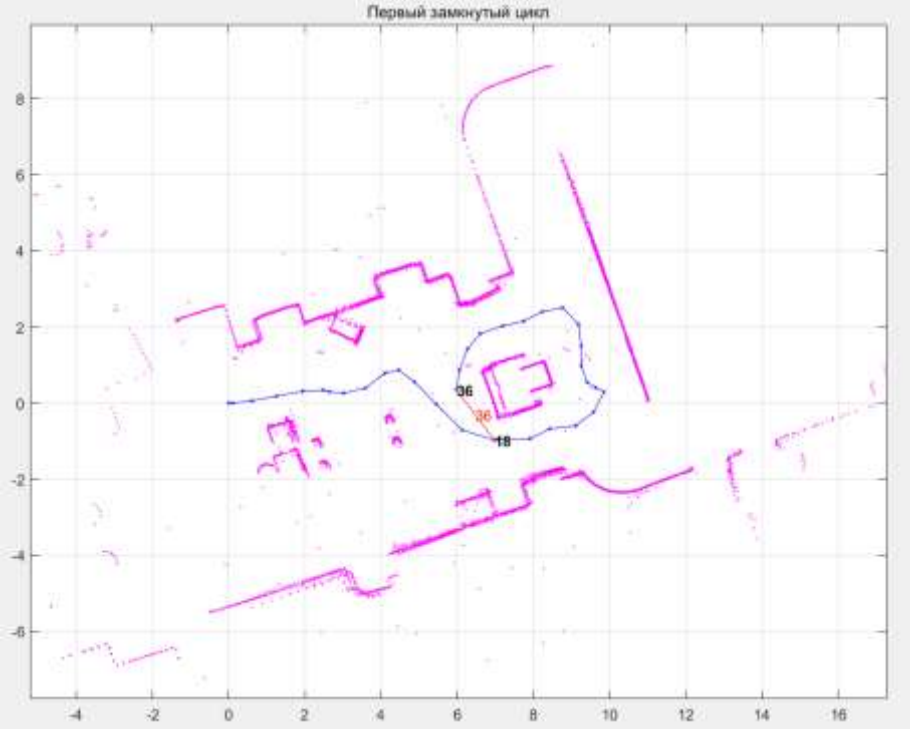


Рис. 3.6 Первый замкнутыйконтур



Рис.3.7 Второй замкнутый контур

После оптимизации получается окончательная модель карты и траектория робота.



Рис. 3.8 окончательная модель карты и траектория робота

Потом получили визуализацию карты:

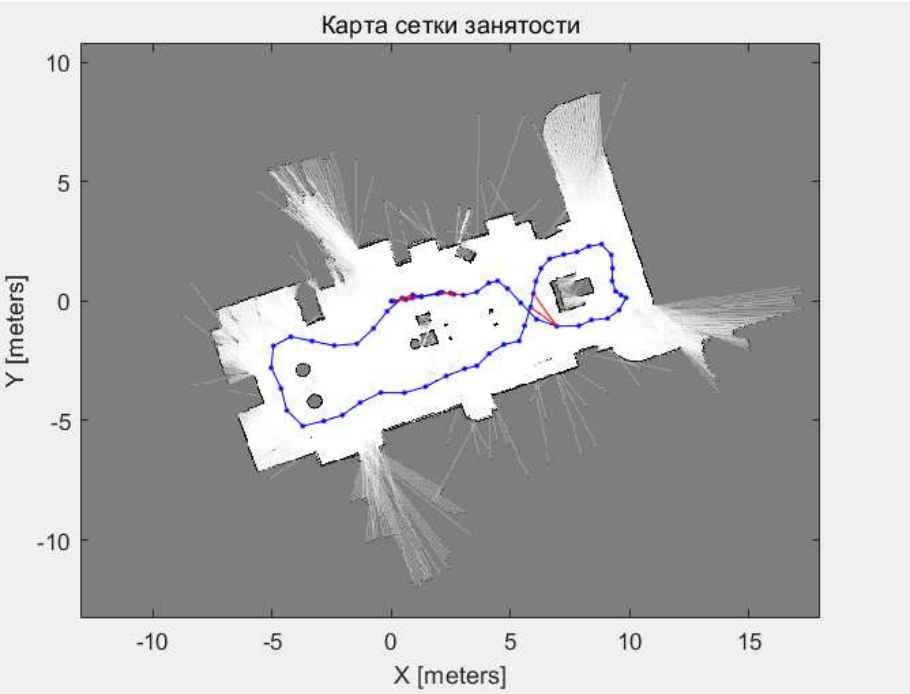


Рис. 3.9 Визуализация карты

Карта, полученная из SLAM, растрируется для получения растровой карты.

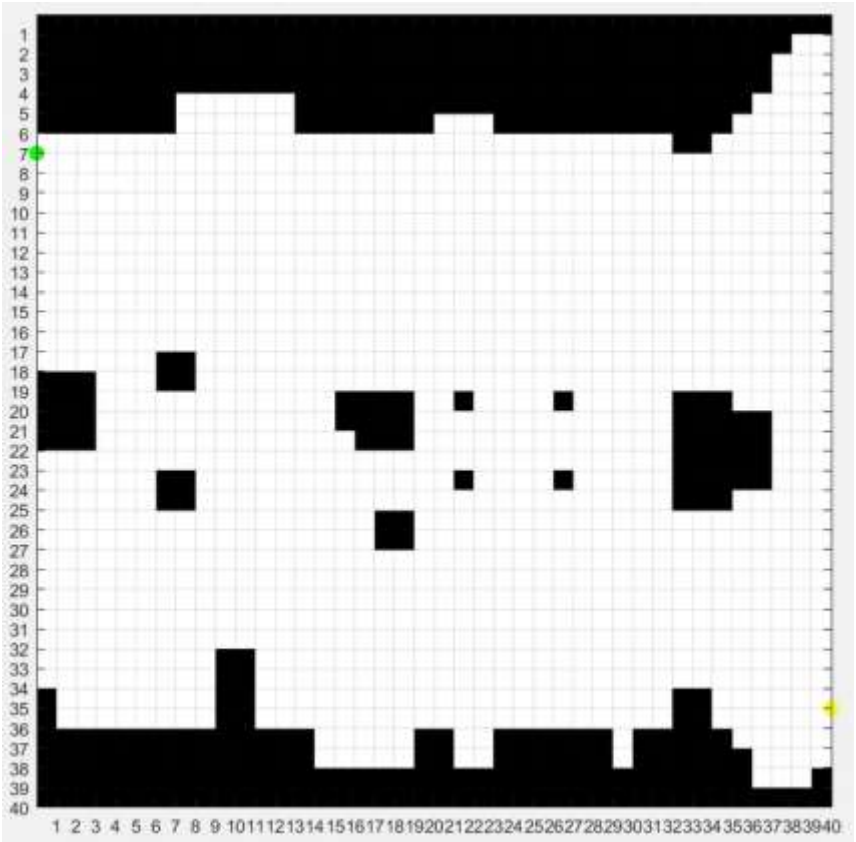


Рис. 3.10 Растровая карта

Результаты экспериментов показывают, что робот может хорошо построить карту неизвестной среды.

Заключение

В проекте был изучен алгоритм SLAM, основанный на оптимизации графов. Алгоритм SLAM реализован на наборе данных лидара, собранных мобильным роботом в помещении. Посредством сопоставления сканирования, обнаружения замкнутого цикла и оптимизации граф позы создается карта неизвестной среды.

Список литературы

1. [1] Смит Р., Чизман П. О представлении и оценке пространственной неопределенности [J]. Международный журнал исследований робототехники, 1987, 5 (4): 56-68
2. [2] Хаммерсли Дж. М., Мортон К. У. Монте-Карло для бедняков [Дж.]. Журнал Королевского статистического общества B, 1954, 16 (1): 23-28.
3. [3] Мерфи К. Изучение байесовской карты в динамической среде [C]. В достижениях в системах обработки нейронной информации (NIPS), 1999: 1015-1021
4. [4] Монтемерло М., Трун С., Коллер Д. и др. Fast SLAM: факторизованное решение одновременной локализации и национальной конференции по проблеме искусственного картирования [C]. Proceedings of the AAAI Intelligence, 2002: 593-598
5. [5] Монтемерло М., Трун С., Коллер Д. и др. Fast SLAM2.0: улучшенный алгоритм фильтрации частиц для одновременной локализации и сопоставления, который доказуемо сходится [C]. Труды Шестнадцатой международной совместной конференции по искусственному интеллекту (IJCAI), 2003: 1151-1156
6. [6] Лу Ф., Милиос Э. Глобально согласованное выравнивание диапазона сканирования для картографирования окружающей среды [J]. Автономные роботы. 1997, 4 (4): 333-349.
7. [7] Карлеварис-Бьянко Н., Юстис Р. М. Общая маргинализация узлов на основе факторов и разбивка ребер для SLAM с графом поз [C]. Международная конференция IEEE по робототехнике и автоматизации.

IEEE, 2013: 5748-5755.

8. [8] Олсон Э. Б. Согласование корреляционного сканирования в реальном времени [J]. 2009 № 4387-4393.
9. [9] Бесл П. Дж., Маккей Н. Д. Метод регистрации трехмерных форм [Дж]. IEEE Транзакции по анализу шаблонов и машинному анализу, 1992, 14 (2): 239-256.
10. [10] Салви Дж., Матабош С., Фофи Д. и др. Обзор последних методов регистрации изображений диапазона с оценкой точности ☆ [J]. Изображение &Компьютерное зрение, 2007, 25 (5): 578-596.
11. [11] Русинкевич С., Левой М. Эффективные варианты алгоритма ICP [C] // Международная конференция по трехмерной цифровой визуализации и моделированию, 2001. Труды. IEEE, 2001: 145-152.

Literature

1. [1] Smith R, Cheesman P. On the Representation and Estimation of Spatial Uncertainty [J].International Journal of Robotics Research, 1987, 5(4): 56-68
2. [2] Hammersley J M,Morton K W.Poor Man’s Monte Carlo[J].Journal of the Royal StatisticalSociety B,1954,16(1):23-28
3. [3] Murphy K. Bayesian Map Learning in Dynamic Environments[C]. In Advances in NeuralInformation Processing Systems (NIPS), 1999: 1015-1021
4. [4] Montemerlo M, Thrun S,Koller D. et al. Fast SLAM: A Factored Solution to theSimultaneous Localization and National Conference on Artificial Mapping Problem[C].Proceedings of the AAAI Intelligence, 2002: 593-598
5. [5] Montemerlo M, Thrun S, Koller D, et al. Fast SLAM2.0: An Improved Particle FilteringAlgorithm for Simultaneous Localization and Mapping That Provably Converges[C].Proceedings of the Sixteenth International Joint Conference on ArtificialIntelligence(IJCAI), 2003:1151-1156
6. [6] Lu F, Milios E. Globally Consistent Range Scan Alignment for Environment Mapping[J]. Autonomous Robots.1997,4(4):333-349.
7. [7] Carlevaris-Bianco N, Eustice R M. Generic factor-based node

marginalization and edge sparsification for pose-graph SLAM[C]. IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE ,2013:5748-5755.

8. [8] Olson E B. Real-time Correlative Scan Matching[J]. 2009：4387-4393.
9. [9] Besl P J, Mckay N D. A Method for registration of 3-D shapes[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 1992, 14(2):239-256.
10. [10] Salvi J, Matabosch C, Fofi D, et al. A review of recent range image registration methods with accuracy evaluation ☆[J]. Image & Vision Computing, 2007, 25(5):578-596.
11. [11] Rusinkiewicz S, Levoy M. Efficient Variants of the ICP Algorithm[C]// International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling, 2001. Proceedings. IEEE, 2001:145-152.