

УДК 004.896

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ГРУППОВОЙ РЕКОГНОСЦИРОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛОКАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РОБОТОВ

В.В. Воробьев (gatus86@mail.ru)

МИЭМ НИУ ВШЭ, НИЦ "Курчатовский институт", Москва

Аннотация. На данный момент существенное внимание уделяется задаче картографирования группой роботов. Однако предложенные алгоритмы часто решают такую задачу “в лоб”, используя хорошо известные методы SLAM. При этом локальное взаимодействие роботов представлено только в виде обмена фрагментами карты друг с другом. Предложенные в работе механизмы локального взаимодействия, основанные на языковом взаимодействии, позволяют, как сократить время картографирования, так и повысить его точность. При этом повышение точности здесь является наиболее приоритетной задачей, так как парадигма групповой робототехники подразумевает использование роботов со слаборазвитой сенсорикой, что существенно влияет на качество построенных фрагментов карты.¹

Ключевые слова: SLAM, навигация, картографирование, групповая робототехника, локальное взаимодействие.

В данной работе речь пойдет о классической задаче групповой робототехники, а именно задаче рекогносцировки местности. Вообще говоря, основная идея групповой робототехники заключается в том, что некоторые задачи, решаемые одним или несколькими роботами, которые имеют достаточно развитую сенсорiku, систему взаимодействия с внешним миром, мощный вычислительный блок, можно решать и с помощью большого количества относительно “простых” роботов [Карпов, 2011]. Под “простыми” роботами здесь понимаются роботы, которые не имеют развитой сенсорики, например, оперируют только инфракрасными дальномерами для поиска препятствий, имеют слабый вычислительный блок, локальные каналы связи между роботами имеют низкую

¹ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ №15-07-07483 и №15-01-07900

пропускную способность и т.д. То есть на каждого члена группы наложены существенные конструктивные ограничения, которые затрудняют получение качественных фрагментов общей карты.

Вполне естественно то, что данная задача совершенно не нова и существует целый ряд методов, позволяющих производить картографирование местности роботом или группой роботов, например SLAM. SLAM (от англ. Simultaneous Location and Mapping) – это метод, используемый роботами и автономными транспортными средствами для построения карты в неизвестном пространстве и обновления карты в заранее известном пространстве с одновременным контролем текущего местоположения и пройденного пути.

Стоит отметить тот факт, что такого рода задачи довольно успешно решаются группами роботов, где, в той или иной мере, используются методы SLAM [Dorigo, 2013], [Konolige, 2006], [Roumeliotis, 2000], [Nettleton, 2004] и др.

Однако в данных работах вызывает сомнение целесообразность обмена именно фрагментами карты между роботами в группе, так как это может потребовать существенные временные и вычислительные ресурсы. Кроме того, мало внимания уделяется именно локальному взаимодействию между членами группы, использование которого может не только сократить время картографирования и избежать необходимости передавать фрагменты карты, но и увеличить точность построения карты, что очень существенно в условиях слаборазвитой сенсорики каждого члена группы.

Таким образом, в работе будут рассматриваться механизмы локального взаимодействия в группе роботов, направленные на уменьшение времени картографирования и повышение точности данной операции, основанные на языковом общении роботов. Кроме того, в работе предложена концепция представления картографированных областей в виде градиентной сетки. Данная концепция позволяет экономить вычислительные ресурсы, необходимые для обмена фрагментами карты между членами группы.

1 Постановка задачи и описание коллектива

Рассмотрим следующую задачу: есть полигон, на котором расположены объекты, представляющие собой препятствия для передвижения роботов. Пример данного полигона и объекты в виде модели представлены на рис. 1а. Коллектив виртуальных роботов должен построить его карту. Внешний вид реальных роботов, которые будут использоваться для отработки промоделированных алгоритмов, представлен на рис. 1б.

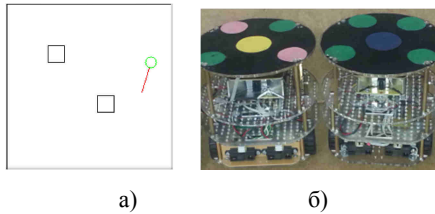


Рис. 1. а - виртуальная модель полигона, б - коллектив роботов.

Сенсорика виртуальных роботов представляет собой:

- Виртуальный аналоговый дальномер с определяемым расстоянием в диапазоне от 4 до 30 см. расположенных спереди по ходу движения робота. Необходим для оценки расстояния до объектов.
- Виртуальный энкодер. Необходим для определения собственного перемещения по полигону.

2 Метод решения

Рассмотрим следующие методы решения данной задачи:

- “Случайное” блуждание каждого члена группы. Фактически, каждый робот здесь независим друг от друга и исследует заданную область самостоятельно.
- Групповое картографирование. Группа роботов исследует область совместно, при встрече обмениваясь картами.
- Градиентный метод (ГМ). Представление картографированных областей в виде градиентной сетки. Позволяет не обмениваться именно картографированными областями, а передавать лишь общую информацию (например, “Справа от тебя область исследована”) о картографированных областях.
- Градиентный метод с использованием языкового общения (ГМО). Позволяет не только передавать лишь общую информацию о картографированных областях, но и формировать “области повышенного интереса” (Т.е. области локального минимума. Например, “В области, где я нахожусь, сложный характер препятствия, нужна помощь”) Два последних метода рассматриваются в работе.

Очевидно, что каждый из методов решает задачу SLAM на нижнем уровне управления. Однако второй, третий и четвертый методы реализуют тем или иным образом и локальное взаимодействие: второй в виде обмена карт, а третий и четвертый в виде обмена сообщениями о картографированных областях. Так как нижний уровень управления фактически у всех методов общий имеет смысл сначала рассмотреть

именно его.

На нижнем уровне решается классическая задача SLAM, где каждым роботом строится определенный фрагмент карты местности и выполняется процедура навигации. Рассмотрим основные методы решения задачи SLAM, т.к. представляется целесообразным на этапе картографирования каждым роботом использовать уже реализованные алгоритмы.

На данный момент большинство алгоритмов, реализующих SLAM, основывается на трех различных подходах: расширенный фильтр Калмана (EKF), фильтр частиц (Particle filter) и SLAM на графах.

Рассмотрим каждый из них более подробно.

Расширенный фильтр Калмана (EKF). Основан на фильтре Калмана – рекурсивном фильтре, который оценивает вектор состояния динамической системы и использует при этом ряд неполных, неточных измерений. Основным недостатком данного подхода является квадратичная зависимость сложности алгоритма от количества наблюдаемых ориентиров [Castellanos, 2004].

Фильтр частиц. Одним из ярких представителей методов, основанных на фильтрах частиц, является метод Монте-Карло (MCL). Данный метод используется для локализации робота в пространстве и оперирует коллекциями образов, также известных как “частицы” [Montemerlo, 2002].

SLAM на графах. В данном методе используется представление карты в виде разреженного графа. Узлами такого графа являются местоположения робота на карте и полученные с помощью дальномеров точки карты, а ребрами – связи между относительными положениями робота на карте и элементами карты, которые наблюдаются из данных положений. Такой подход имеет меньшую точность построения карты, по сравнению с предыдущими подходами [Thrun, 2006].

В связи с входными ограничениями на задачу, наиболее подходящими методами SLAM для групповой робототехники на данный момент представляются методы, основанные на графах. Это обуславливается их линейной зависимостью требуемой памяти от наблюдаемых элементов и относительно небольших вычислительных затратах при небольшом пройденном пути, который уменьшается с ростом числа членов коллектива.

Таким образом, становится понятно, как реализуются метод “случайного” блуждания, который использует лишь нижний уровень управления, и метод группового картографирования, позволяющий, кроме того, обмениваться фрагментами карты, существенно сокращая время исследования области.

Однако ГМ и ГМО работают несколько иначе.

На нижнем уровне управления фрагмент карты и

некартографированные области представляются роботом в виде градиентной сетки. Это происходит следующим образом: на картографированную область и некоторую область вокруг нее, где робот еще не был, с некоторым шагом δ накладывается сетка. Клетки данной сетки, которые попадают на картографированные области, интерпретируются как локальные максимумы, а клетки, где робот еще не был – как локальные минимумы (рис. 2).

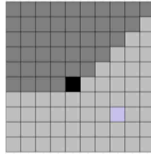


Рис. 2. Области локального минимума (светлые) и локального максимума (темные). Робот отмечен черным цветом.

Робот старается избегать области с локальными максимумами и стремится в области локального минимума. Это позволяет не только более рационально исследовать заданную область, но и, используя локальное взаимодействие на верхнем уровне управления, передавать роботам-соседям данные о тех областях, которые им следует либо избегать, так как там уже кто-то был, либо, наоборот, проявлять большее внимание.

Локальное взаимодействие на верхнем уровне управления представлено двумя механизмами, которые заключаются в следующем:

- При “встрече” роботы обмениваются сообщениями, характер которых позволяет роботу отметить области, где побывал его “коллега”. Данные области перестают быть приоритетными для исследования. При этом стоит отметить, что обмен картами не происходит, отсылается лишь сообщение, которое можно интерпретировать, например, как “Не ехать в область, находящуюся справа от тебя”. (ГМ).
- В процессе построения карты роботы могут послать сигнал о помощи, в случае если оценивают ситуацию, в которой они оказались как затруднительную. Например, сложный характер видимых роботом препятствий способствует оценке такой ситуации как затруднительной. (ГМО).

3 Эксперименты

Эксперимент 1. Градиентный метод. Рассмотрим пример, демонстрирующий обмен сообщениями между роботами с целью уточнения неприоритетных областей для исследования. На рисунке 3а

показан момент, когда два соседа (черный и белый квадраты) обменялись такого рода сообщениями. При этом ситуация рассматривается с точки зрения робота, отмеченного черным квадратом: робот, отмеченный буквой А, присылает сообщение “Не ехать в область сзади и справа от меня”, которые отмечены белым цветом (рис. 3а). Получив такое сообщение, адресат интерпретирует его у себя как области, в которых он уже побывал (рис. 3б).

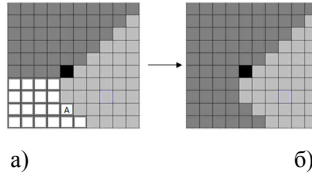


Рис. 3. а – белым помечена запретная область, б – интерпретация роботом-адресатом запретной области.

Данный механизм позволяет использовать процедуру обмена картами только один раз – когда все роботы оказались в ситуации, когда ехать больше не куда, т.е. все области оказались исследованы, и они собрались в точке сбора для обмена информацией. Кроме того, такой механизм позволяет роботам существенно реже попадать в уже исследованные области, т.е. не картографировать то, что уже нанесено на карту соседями, что снижает время исследования области.

Эксперимент 2. Градиентный метод и языковое общение. Рассмотрим пример использования сигнала о помощи роботом, вызванный ошибкой одометрии. Робот пытался нанести на карту некое препятствие (рис. 4а), но из-за проскальзывания на карте оно отразилось так, как представлено на рисунке 4б:

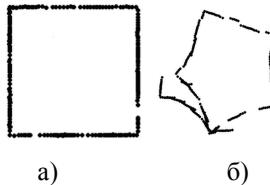


Рис. 4. а – реальное препятствие, б – картографирование препятствия с ошибкой одометрии.

В таком случае робот будет просить о помощи своих соседей (рис. 5).

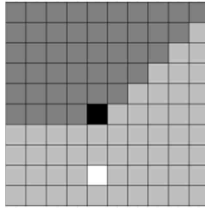


Рис. 5. Робот, отмеченный черным квадратом, принял сигнал о помощи. Область, откуда он его принял (белый квадрат) интерпретируется как область наивысшего интереса (локальный минимум).

Соседи, которые приняли данный сигнал, интерпретируют область, откуда они его приняли, как область локального минимума. Попав туда, образуется система между роботами с контролем движения: образуется связка “master-slave”, в которой master, получая сообщения о состоянии slave (например, “Двигаюсь вперед”), с помощью своей сенсорики пытается оценить насколько данное состояние корректно. В случае если полученное состояние и наблюдаемая картина не совпадают, master корректирует состояние slave специальным сигналом. В некоторых случаях данный механизм позволяет повысить точность картографирования, возникающих из-за ошибок одометрии.

Эксперимент 3 Сравнение методов. Была рассмотрена зависимость времени построения карты от количества роботов для различных методов (рис. 6). Время построения карты – это время, когда роботы построят полную карту заданного полигона. Для методов ГМ и ГМО этот момент наступает тогда, когда у всех роботов не остается зон с локальными минимумами. Количество экспериментов в серии равно 20.

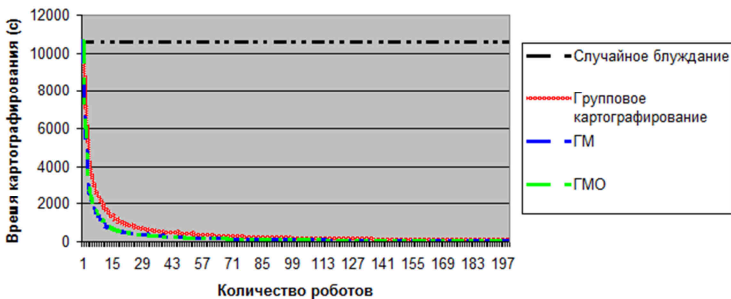


Рис. 6. Сравнение методов

В данном примере площадь полигона $S=100\text{м}^2$, скорость роботов $V=2\text{м/с}$, дальность датчиков $R=30\text{см}$. Максимальное количество

роботов – 200. Метод ГМ работает быстрее метода ГМО максимум на 14%.

4 Заключение

Таким образом, реализована процедура картографирования и навигации в группе роботов со слаборазвитой сенсорикой. Выбор такого рода роботов обосновывается тем, что они исследуют достаточно большие территории (линейные размеры робота отличаются минимум на два порядка от линейных размеров полигона). Кроме того, используется достаточно большие ($\approx 100-150$ шт) группировки роботов. В части картографирования и навигации используются хорошо известные алгоритмы и методы, однако использование локального взаимодействия вместе с элементами языкового общения (просьба о помощи, обмен картами с целью уточнения маршрутов картографирования) позволяет уменьшить время выполнения данной процедуры и может увеличить его точность.

Список литературы

- [Dorigo, 2013] Dorigo M., Floreano D., Gambardella L.M., Mondada F. et al. Swarmanoid: A Novel Concept for the Study of Heterogeneous Robotic Swarms // IEEE Robotics & Automation Magazine. - 2013. -Vol. 20, Issue 4. - P 60-71.
- [Konolige, 2006] Konolige K., Fox D., Ortiz C. et al. Centibots: Centibots: Very Large Scale Distributed Robotic Teams // Springer Tracts in Advanced Robotics. - 2006. - Vol. 21. - P 131-140.
- [Castellanos, 2004] Castellanos J.A., Neira J., Tardos J.D. Limits to the consistency of the EKF-based SLAM. In Intelligent Autonomous Vehicles (IAV-2004) (Lisboa, PT, July 2004).
- [Карпов, 2011] Карпов В.Э. Коллективное поведение роботов. Желанное и действительное // Современная мехатроника. Сб. научн. трудов Всероссийской научной школы (г.Орехово-Зуево, 22-23 сентября 2011), Орехово-Зуево: , 2011, с.35-51, -132с. (doc)
- [Montemerlo, 2002] Montemerlo M., Thrun S., Koller D., Wegbreit B. Fastslam: A factored solution to the simultaneous localization and mapping problem. In AAAI-2002 (Vancouver, BC, July 2002).
- [Thrun, 2006] S. Thrun and M. Montemerlo. The graph SLAM algorithm with applications to large-scale mapping of urban structures. Int. Journal of Robotics Research , 25(5-6):403, 2006.
- [Roumeliotis, 2000] S. I. Roumeliotis and G. A. Bekey. Synergetic localization for groups of mobile robots. In IEEE Conference on Decision and Control, volume 4, pages 3477–3482, 2000.
- [Nettleton, 2003] E. Nettleton, S. Thrun, H. Durrant-Whyte, and S. Sukkarieh. Decentralised SLAM with low-bandwidth communication for teams of vehicles. In Field and Service Robotics (FSR), Japan, July 2003.