

## СУЩЕСТВУЮЩИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НАВИГАЦИИ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ OUTDOOR РОБОТОВ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

К.Ю. Усенко

Томский политехнический университет

kyu2@tpu.ru

В современных автономных робототехнических устройствах приведен широкий спектр решений задачи навигации. На сегодняшний момент в работах по outdoor робототехнике для определения координат робота используют глобальные системы позиционирования, однако в экстремальных условиях, глобальная навигация с помощью GPS и ГЛОНАСС невозможна. Условия outdoor предполагают, что среда априори неизвестна и динамически изменяется, что значительно усложняет решение задачи навигации, а также обуславливают актуальность разработки и усовершенствования алгоритмов навигации.

Для эффективной навигации необходимо получать данные от среды, в которой робот оказался. В различных робототехнических системах используются различные сенсоры, такие как IMU, видеокамеры, датчики тока [1], [2], [3].

Было выделено 5 групп сенсоров (Рисунок 1).



Рис. 1. Виды сенсоров

Применение датчиков, установленных на колесах, помогает получить информацию о пройденном пути (энкодеры) и его трудоемкости (датчики тока). Инерциальные датчики позволяют определить углы наклона робота, ускорения и, в последующем, перемещение робота. Для определения расстояния до препятствий и объектов используются датчики расстояния, такие как ультразвуковые и инфракрасные дальномеры. Разновидностью инфракрасных дальномеров является LIDAR, позволяющий “видеть” мир целиком. А использование видео и аудио информация дает широкий спектр информации от детектирования препятствия, до перемещения робота относительно сцены изображения. Однако, при разработке роботов не используют один вид сенсоров, а предпочитают различные виды сенсоров, для увеличения количества информации и в последующем улучшения точности.

Исходя из условий экстремальной outdoor робототехники можно выделить следующие подзадачи навигации (Рисунок 2).



Рис. 2. Классификация подзадач задачи навигации

Рассмотрим первую подзадачу, локализация - это определение координат и угловой ориентации робота в его локальной системе координат. Для этой задачи применяются методы одометрии [1], визуальной одометрии (VO) [4], некоторые вариации фильтра Калмана [4]. Лучшие результаты показали omnidirectional visual-inertial odometry [4] (Поступательная RMSE - 1,31, Вращательная RMSE, (гр.) - 4,18) и одометрия с оценкой проскальзывания колес [1] (Поступательная RMSE - 0,83).

Для задачи классификации территории используются, в основном, нейронные сети, однако обучаются данные сети на разных типах данных. Лучшие результаты показали работы [5] и [6] классифицировав поверхности с точностью 95,1% и 97,8% соответственно.

Для построения карты местности используются разные виды SLAM [7], [8]. Из сенсоров в этом методе используются видеокамеры, стереокамеры и LIDAR [9]. На данный момент существует множество алгоритмов SLAM и направлений дальнейшего развития этого метода. Еще одной задачей является планирование пути, которое невозможно без системы определения и обхода препятствий. Для этого применяются: SLAM, нейронные сети, алгоритм RRT [3], Reinforcement learning (далее RL). Использование алгоритма обучения с подкреплением для оценки траектории движения от точки к точке показана в работе [10].

Еще одной задачей является определение роботом проходимости участков среды. В работе [3] удалось создать карту проходимости для шагающего робота. А в [11] описан алгоритм планирования пути по ровной поверхности, по возможности, избежав неровности. Также в работах [2] и [12] использовались нейросетевые методы. Для решения задачи адаптации походки в работе [13] используется карта расстояний и собственный планировщик движений. Из всего вышесказанного, можно выделить 5 методов используемых для решения задач навигации (Рисунок 3).

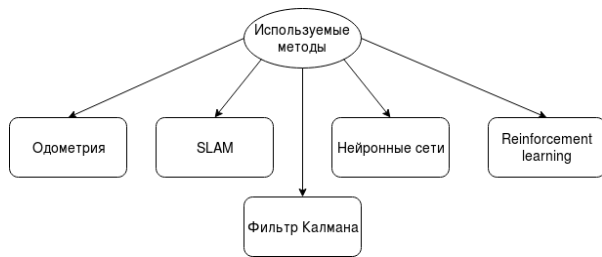


Рис. 3. Классификация используемых методов

Фильтр Калмана был выделен отдельно, так как данный метод часто используется для увеличения эффективности применения остальных приведенных методов, а также совмещения показаний с разного рода систем, для улучшения их точности [4].

Исходя из всего вышесказанного хочется отметить, что на сегодняшний момент для разных задач наиболее лучшим, с точки зрения точности и распространенности являются различные методы. Таким образом на этапе планирования решения задачи следует выбирать подходящие методы, которые в полной мере разрешают задачу исходя из ее специфики. Например, методы визуальной одометрии и одометрии с учетом проскальзывания колес на данный момент лучше всего справляются с задачей локализации. Однозначный лидер в решении задачи построения карты местности это SLAM и различные его вариации, также SLAM применяется для планирования траектории робота. Нейронные сети наиболее выгодно применять для задач: оценки проходимости, планирования траектории, и классификации территории. RL, достаточно новый метод, однако уже успешно применяется для решения задач планирования траектории и адаптации поход.

#### Список использованных источников

- Performance Analysis and Odometry Improvement of an Omnidirectional Mobile Robot for Outdoor Terrain / Genya Ishigami, Elvine Pineda, Jim Overholt, Greg Hudas, Karl Iagnemma // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. San Francisco, - CA, USA, 2011. - С. 4091-4096.
- Geometric and Visual Terrain Classification for Autonomous Mobile Navigation / Fabian Schilling, Xi Chen, John Folkesson, Patric Jensfelt // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). Vancouver, BC, Canada, - 2017. - С. 1317-1323.
- Navigation Planning for Legged Robots in Challenging Terrain / Martin Wermelinger, Peter Fankhauser, Remo Diethelm, Philipp Krusi, Roland Siegwart, Marco Hutter // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). Daejeon, Korea, - 2016. - С. 1184-1189.
- Omnidirectional Visual-Inertial Odometry Using Multi-State Constraint Kalman Filter / Milad Ramezani, Kourosh Khoshelham, Laurent Kneip // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). Vancouver, BC, Canada, - 2017. - С. 1317-1323.
- Joshua Christie, Navinda Kottege Acoustics based Terrain Classification for Legged Robots // International Conference on Robotics and Automation (ICRA). Stockholm, Sweden, - 2016. - С. 3596-3603.
- Fatemeh Ebadi, Mohammad Norouzi Road Terrain Detection and Classification Algorithm based on the Color Feature Extraction // Artificial Intelligence and Robotics (IRANOPEN). Qazvin, Iran, - 2017. - С. 139-146.
- Yonggen Ling, Shaojie Shen Building Maps for Autonomous Navigation Using Sparse Visual SLAM Features // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). - Vancouver, BC, Canada, - 2017. - С. 1374-1381.
- Yan Lu, Dezhen Song Visual Navigation Using Heterogeneous Landmarks and Unsupervised Geometric Constraints // IEEE Transactions on Robotics. - 2015. - № 3. - С. 736-740.
- Real-Time Autonomous Ground Vehicle Navigation in Heterogeneous Environments Using a 3D LiDAR / Andreas Pfrunder, Paulo V K Borges, Adrian R Romero, Gavin Catt, Alberto Elfes // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). - Vancouver, BC, Canada, - 2017. - С. 2601-2608.
- Virtual-to-real Deep Reinforcement Learning: Continuous Control of Mobile Robots for Mapless Navigation / Lei Tai, Giuseppe Paolo, Ming Liu // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). Vancouver, BC, Canada, - 2017. - С. 31-36.
- Local Behavior-Based Navigation in Rough Off-Road Scenarios based on Vehicle Kinematics / Patrick Wolf, Thorsten Ropertz, Moritz Oswald, Karsten Berns // IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). Brisbane, Australia, - 2018. - С. 719-724.
- DEFO-NET: Learning Body Deformation Using Generative Adversarial Networks / Zhihua Wang, Stefano Rosa, Linhai Xie, BoYang, Sen Wang, Niki Trigoni, Andrew Markham // IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). - Brisbane, Australia, - 2018. - С. 2440-2047.
- Robust Rough-Terrain Locomotion with a Quadrupedal Robot / Peter Fankhauser, Marko Bjelonic, C. Dario Bellicoso, Takahiro Miki, Marco Hutter // IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). - Brisbane, Australia, - 2018. - С. 5761-5768.