

К.В. Чайка

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

## Анализ средств планирования траекторий движений произвольного количества роботов

*В настоящее время автономные роботы получают широкое применение, и очень остро стоит проблема автоматического планирования траектории их передвижения, будь то робот-манипулятор или колесный робот. Для решения этой проблемы существуют различные средства, но задача приобретает несколько другое направление, если говорить об ее применимости к реальным роботам, а не моделям, и в случаях, когда требуется выполнить планирование для группы роботов, чьи траектории движения могут пересекаться и таких роботов, может быть в общем случае произвольное количество. В данной работе проведен анализ средств, позволяющих выполнять планирование траекторий движения роботов. Рассмотрены подходы, применяемые в этих средствах, способы планирования траекторий движения группы роботов и возможность их интеграции с ROS (Robot Operating System) с целью использования на реальном роботе. Дальнейшим направлением является построение демо-модели планирования траекторий нескольких роботов и применение выбранного средства для планирования траекторий колесных роботов в проекте Duckietown.*

### Автономные роботы, планирование движения, планирование траекторий

#### Введение

Широкое распространение в настоящее время получают автономные транспортные средства. Для исследований в этой области в Массачусетском технологическом институте был создан открытый проект Duckietown[1], основной идеей которого является использование небольших автономных ботов в качестве аппаратной платформы. Важной проблемой в области автономных транспортных средств является планирование траекторий движения роботов. И особенную важность эта проблема приобретает при планировании траектории движения группы роботов.

Целью работы является исследование способов и подходов к планированию движения группы роботов на примере модели робота проекта Duckietown.

Объект исследования - средства для планирования траекторий движения роботов.

Предмет - характеристики и возможности средств планирования.

Для достижения цели требуется решить следующие задачи:

- Изучение существующих решений в области планирования движения группы роботов.
- Определение средств, используемых для решения задачи планирования группы роботов.
- Исследование способов представления модели робота и алгоритмов планирования.

#### Обзор предметной области

Интерес для данного исследования имеют в первую очередь средства планирования, не являющиеся узкоспециализированными разработками или студенческими проектами без дальнейшего развития. Также есть проблема применимости существующих решений к реальным роботам, в частности, под управлением фреймворка ROS[2] (Robot Operating System). Далее будут рассмотрены наиболее известные средства планирования: MoveIt![3], TMKit (Task-Motion Planning Framework)[4], OMPL (Open Motion Planning Library)[5], Simox[6].

- MoveIt! - открытый фреймворк для управления роботами в области планирования движений, манипуляцией с предметами с учетом физических сил, на них действующих. Этот фреймворк активно используется для управления большим числом роботов, среди которых PR2[7], HOLLIE[8], AR10 Robotic Hand[9] и другие.

- TMKit - фреймворк с открытым кодом для планирований движений с простым с точки зрения использования интерфейсом. Разрабатывается как проект Kavraki Lab - часть исследовательского института Техаса. На данный момент имеет статус alpha1.
- OMPL - библиотека для планирования движений, имеющая реализации абстрактных планировщиков; не ориентирована на какую-то конкретную область.
- Simox - набор инструментов для C++ содержащих три библиотеки для 3D моделирования роботизированных систем, для планирования на основе выборки и планирования захвата.

## **Критерии сравнения**

Для возможности сравнения рассматриваемых средств необходимо обозначить критерии сравнения их характеристик и возможностей.

### *Интеграция с ROS*

Важным критерием является интеграция средства планирования с Robot Operating System. Это позволит с минимальными усилиями внедрить планировщик в уже существующую архитектуру.

### *Простота использования и конфигурации*

Планирование движений - наукоемкая задача, поэтому чем меньше порог вхождения может обеспечить то или иное средство планирования, тем предпочтительнее оно для использования. Будем считать, что средство требует высокий порог вхождения, если от пользователя требуется знание алгоритмов, используемых планировщиком и/или с уравнениями движений, физическими свойствами объектов.

### *Поддержка и документация*

Важным критерием при выборе используемого инструмента является наличие подробной и полной документации, а также возможность поддержки - наличие форума или средства обратной связи с разработчиками.

## **Выбор направлений исследования**

В результате обзора аналогов было определено, что существует ряд средств для планирования движения роботов, в том числе мобильных. Большинство этих средств имеют поддержку планирования движения группы роботов, некоторые - неявным образом.

На основании этого, требуется:

- Изучить подходы, используемые в этих средствах для планирования траектории одного робота.
- Исследовать подход, используемый для планирования траекторий группы роботов в случае, если он отличается, от ситуации с одним роботом.
- Определить формат представления модели робота для каждого из средств.
- Выяснить способы представления модели нескольких роботов, возможно ли это сделать явно, и как это отражается на модели робота в противном случае.
- Выяснить формат исходных данных для средства планирования, способы автоматической генерации данных на основании известного окружения, включая других роботов, их начальных координат и координат назначения каждого робота.
- Определить, как подходы к генерации будут отличаться при невозможности явного планирования траекторий группы роботов.
- Рассмотреть способы интеграции данных решений в проект на ROS, что для этого потребуется, какие возникают при этом ограничения.
- Сравнить выбранные средства и способы планирования движения групп роботов, которые они реализуют. На основании чего сделать выводы о применимости данных решений по отношению к мобильным роботам в проекте Duckietown.

## Описание исследования

Детально рассмотрим средства планирования для составления описания каждого из них по следующим параметрам:

- Каким образом реализован механизм планирования.
- Поддерживается ли планирование совместных траекторий нескольких роботов.
- Как, в каком формате задается описание робота.
- Что требуется для использования средства в ROS.

### *MoveIt!*

Для планирования траектории одного робота MoveIt! использует библиотеку OMPL. Рассматриваемый фреймворк является фактически оберткой этой библиотеки, но, в отличие от самой OMPL, ориентирован на использование с роботами. OMPL имеет поддержку планирования совместных траекторий нескольких роботов, но в MoveIt! явным образом она отсутствует. Попытка внедрения этой возможности в фреймворк связана с большими его изменениями, и на данный момент она не планируется, однако это ограничение возможно обойти.

Описание робота для MoveIt задается в URDF (Unified Robot Description Format)[10], на основании которого самим фреймворком генерируется SRDF (Semantic Robot Description Format)[11] и еще некоторые требуемые ему данные. Для взаимодействия с планировщиком MoveIt предоставляет интерфейс для программ на языках C++ или Python, с помощью которого можно задавать цели для передвижения, определять взаимодействие с объектами и другие действия. Данный фреймворк позволяет планировать движение роботов-манипуляторов с произвольным количеством "конечностей" с учетом возможных коллизий, что может быть использовано и другим образом — есть возможность представить несколько роботов как несвязанные между собой компоненты некоего абстрактного робота, что позволит обойти ограничение на совместное планирование траекторий. Для этого в URDF описании абстрактного робота требуется задать описание каждого фактического робота, в том числе с учетом взаимного расположения роботов в пространстве. Так как MoveIt! сам использует ROS для своей работы, не требует дополнительных усилий для того, что бы наладить их взаимодействие.

### *TMKit (Task-Motion Planning Framework)*

TMKit тоже использует библиотеку OMPL помимо собственного алгоритма и тоже не предоставляет поддержки планирования совместных траекторий нескольких роботов. Для описания робота может использоваться либо формат URDF, либо формат описания сцены, предоставляемый библиотекой amino, которая используется в TMKit. API для языков программирования отсутствует, поэтому цели и их описание должны быть заданы в формате Probabilistic Planning Domain Definition Language (PPDDL), а вот средство генерации таких файлов в TMKit уже есть. Несмотря на то, что фреймворку можно указать имя ros-пакета, в котором находится описание робота в формате URDF, поддержки ROS у него нет. Также, из-за специфичного формата описание задач для планирования и отсутствия уже готового API, использование фреймворка на реальном роботе будет осложнено.

### *OMPL*

OMPL предоставляет абстрактную реализацию алгоритмов планирования - без ориентации на определенные роботы или устройства. Библиотека также сама не предоставляет какие-либо средства обнаружения коллизий или описания окружения, поэтому используется обычно внутри более специализированных фреймворков и других средств планирования. Окружение и описание робота для OMPL должны быть заданы в формате collada[12]. Collada - основанный на XML формат обмена данными между 3D-приложениями. ROS предоставляет конвертер из URDF в collada.

С использованием этой библиотеки можно выполнять планирование совместных траекторий нескольких роботов явным образом. Но об интеграции с ROS или использовании этой библиотеки для решения прикладных задач говорить не имеет смысла по той причине, что сама библиотека не является готовым к использованию фреймворком, но может являться его основой с точки зрения алгоритмов планирования.

## Simox

Simox фактически является набором C++ библиотек для 3D симуляции и планирования роботизированных систем. Основные из них:

- VirtualRobot – отвечает за представление модели робота. Исходное описание робота задается в виде XML, структура которого определена конкретно библиотекой Simox. Этот формат представления отличается от URDF и стандартных средств позволяющих сконвертировать URDF в этот формат нет.
- Saba[13] – отвечает за планирование движений и позволяет использовать как свои планировщики, так и пользовательские
- Grasp Studio[14] – специализированная библиотека для планирования движений захвата. В частности, для движения пальцев роботизированной модели человеческой руки.

Платформа позволяет выполнять планирование совместных траекторий нескольких роботов, описание каждого из которых должно быть задано в виде соответствующего XML файла, но возможностей для интеграции с ROS она не предоставляет.

### Таблица сравнения по критериям

Результаты сравнения по критериям можно представить в виде следующей таблицы:

Аналог	Интеграция с ROS	Простота	Поддержка	Планирование траекторий группы
MoveIt!	+	+/-	+	-/+
TMKit	-	+	-	-
OMPL	-	-	+	+
Simox	-	+/-	-/+	+

### Выводы по итогам сравнения

По результатам сравнения, Фреймворк MoveIt! имеет очевидное преимущество перед другими аналогами. Он имеет подробную документацию, что значительно упрощает работу с ним, использует все возможности OMPL, при этом является ориентированным на использование в роботах. Также, весомым преимуществом является его полная интеграция с ROS, чего не поддерживается другими рассматриваемыми фреймворками.

### Заключение

Представлены результаты сравнительного анализа фреймворков для планирования траекторий движения роботов. Выделены и обоснованы критерии сравнения аналогов.

Были исследованы следующие средства: MoveIt!, TMKit, OMPL, Simox с целью сравнения используемых в них подходов к реализации самого механизма планирования, формата описания робота и его окружения, а также возможности интеграции с ROS. Важным критерием было выяснение возможности поддержки совместного планирования движения группы роботов.

По результатам исследования было выяснено, что планирование траекторий группы роботов явным образом поддерживается только в библиотеках OMPL и в Simox. При этом использование OMPL напрямую крайне затруднительно ввиду того, что это абстрактная библиотека, и она не является робото ориентированной. Именно поэтому предпочтительно рассматривать средства, которые ее используют. Библиотека TMKit вообще не предоставляет поддержку планирование траекторий группы. MoveIt! явным образом тоже не имеет такой возможности, но это ограничение можно попытаться обойти. Также, на фоне Simox, выбор в пользу MoveIt! можно считать более предпочтительным ввиду его полной интеграции с ROS.

Дальнейшим направлением исследования является проведение более подробного исследования возможностей планирования траекторий нескольких роботов с MoveIt! в ROS и построение полноценной демо-модели.

## Список литературы

1. Страница исследовательского проекта Duckietown [Электронный ресурс] URL: <http://duckietown.org/>
2. Официальный сайт фреймворка ROS [Электронный ресурс] URL: <http://www.ros.org/>
3. Официальный сайт фреймворка MoveIt! [Электронный ресурс] URL: <http://moveit.ros.org>
4. Официальный сайт фреймворка [Электронный ресурс] URL: <http://tmkit.kavrakilab.org/>
5. Официальный сайт библиотеки The Open Motion Planning Library [Электронный ресурс] URL: <http://ompl.kavrakilab.org/>
6. Официальный сайт платформы Simox[Электронный ресурс] URL: <http://simox.sourceforge.net/>
7. Официальный сайт проекта PR2 [Электронный ресурс] URL: <http://www.willowgarage.com/pages/pr2/overview>
8. Официальный сайт проекта HOLLIE [Электронный ресурс] URL:<https://www.fzi.de/forschung/projekt-details/hollie/>
9. Официальный сайт проекта AR10 Robotic Hand [Электронный ресурс] URL:<http://www.active-robots.com/ar10-humanoid-robotic-hand>
10. Описание формата URDF [Электронный ресурс] URL: <http://wiki.ros.org/urdf>
11. Описание формата SRDF [Электронный ресурс] URL: <http://wiki.ros.org/srdf>
12. Описание формата collada [Электронный ресурс] URL: <https://www.khronos.org/collada/>
13. Описание средства планирования Saba [Электронный ресурс] URL: <https://gitlab.com/Simox/simox/wikis/Saba>
14. Описание средства планирования GraspStudio [Электронный ресурс] URL: <https://gitlab.com/Simox/simox/wikis/GraspStudio>
15. Документация фреймворка TMKit[Электронный ресурс] URL: <http://tmkit.kavrakilab.org/usergroup0.html>
16. Документация платформы Simox [Электронный ресурс] URL: <https://gitlab.com/Simox/simox/wikis/home>
17. Список рассылки MoveIt! [Электронный ресурс] URL: <https://groups.google.com/forum/#!forum/moveit-users> 11.Open Motion Planning Library: A Primer / Kavraki Lab Rice University. November 11, 2017. URL: [http://ompl.kavrakilab.org/OMPL\\_Primer.pdf](http://ompl.kavrakilab.org/OMPL_Primer.pdf)

K.V. Chayka

*Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”*

## **Analysis of means for planning the trajectories of movements of an arbitrary number of robots**

*Currently, autonomous robots are widely used and the problem of automatic planning of their movement trajectory, whether it's a robot manipulator or a wheeled robot, is very acute. The task takes a slightly different direction, if we talk about its applicability to real robots, and not models, and in cases where the robots whose trajectories of motion are required to build, become more than one. In this paper, an analysis is made of the tools that allow planning trajectories of several robots and considered the possibility of their integration with the ROS (Robot Operating System) for use on a real robot. A further direction is the construction of a demo-model for planning the trajectories of several robots.*

**Autonomous robots, motion planning, trajectory planning**