

УДК 004.896

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МОБИЛЬНОГО РОБОТА АВРОРА ЮНИОР В СРЕДЕ ROS/GAZEBO

К.С. Шабалина ([ks.shabalina@it.kfu.ru](mailto:ks.shabalina@it.kfu.ru)), А.Г. Сагитов  
([sagitov@it.kfu.ru](mailto:sagitov@it.kfu.ru)), Е.А. Магид ([magid@it.kfu.ru](mailto:magid@it.kfu.ru))

Высшая школа информационных технологий и  
интеллектуальных систем, Казанский Федеральный  
Университет, Казань

**Аннотация.** Эксперименты являются важным инструментом для разработки надежных алгоритмов управления робототехническими системами (РТС), однако их проведение, как правило, дорогостоящее и требует большого количества времени. До проведения сложных натурных экспериментов рекомендуется осуществить предварительное моделирование и тестирование РТС в симуляционной среде, что существенно удешевляет разработку и повышает безопасность РТС, экспериментаторов и окружающей среды. Обязательным условием моделирования экспериментов является создание достаточно точной модели РТС, которая сохраняет основные физические свойства реального робота. В данной работе представлен процесс разработки модели российского мобильного робота Аврора «Юниор» в среде ROS/Gazebo с целью дальнейшей апробации алгоритмов автономной навигации<sup>1</sup>.

**Ключевые слова:** неголономный робот, симуляция, Аврора Юниор, Gazebo, ROS.

### Введение

В последние десятилетия широкое использование симуляций стало неотъемлемой частью исследований в области робототехники. Использование симуляторов помогает удешевить и ускорить разработку РТС, является более безопасным инструментом первичной верификации идей и алгоритмов, а также позволяет тестировать новые концепции и алгоритмы, независимо от наличия требуемого оборудования у научной группы. Моделирование может применяться для всех типов РТС и задач на начальных этапах развития проекта.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-58-70002).

Симуляторы стали прогрессивными инструментами, которые позволяют воспроизводить сложные среды и использовать определяемую пользователем физику, что дает возможность создавать модели РТС, которые ведут себя максимально близко к реальному поведению робота. Gazebo является одним из самых популярных 3D-симуляторов роботов, который успешно используется для симуляции БЛА [Sagitov et al., 2017] и БНР [Afanasyev et al., 2015], [Sokolov et al., 2017], и для проведения различных экспериментов, включая тестирование базовых движений роботов, планирование пути и коллаборативное взаимодействие с другими роботами [Yao et al., 2017], эксперименты с манипуляторами [Qian et al., 2014] и моделирование сценариев поисково-спасательных операций [Kohlbrecher et al., 2014]. Другие специализированные симуляторы (например, UWSim [Kermorgant, 2014]) позволяют моделировать водную среду для автономных подводных роботов.

В рамках задачи по созданию стека навигации и разработке алгоритмов передвижения (англ. locomotion algorithms) и автономной навигации для мобильного робота Аврора «Юниор» была построена модель в симуляторе Gazebo и проведено тестирование алгоритмов управления. В данной работе представлен процесс разработки модели РТС Аврора «Юниор».

## 2 Робот Аврора «Юниор»

Аврора «Юниор» - мобильный неголономный робот (англ. car-like mobile robot) российского производства компании Аврора Роботикс (см. Рис. 1) [Avroga Robotics, 2018]. Первоначально робот был спроектирован для обучения студентов алгоритмам автономного движения. Для этого «Юниор» выполнен как безопасное решение (вес робота составляет ~43,5 кг) для тестирования и проверки автономного движения как внутри помещения, так и в полевых условиях, а благодаря своим небольшим линейным размерам, он легко транспортируется внутри лабораторных помещений одним или двумя студентами.

Робот обладает рулевым механизмом, соответствующим реальным полноразмерным машинам. Таблицы 1 и 2 демонстрируют линейные размеры и весовые характеристики робота, соответственно. «Юниор» состоит из внешнего корпуса (англ. robot shell), шасси (металлические опоры), источника питания (свинцово-кислотный аккумулятор Delta DTM 1233 L), бортовых датчиков и вычислительного блока (ноутбук модели Acer TravelMate P2). Другим немаловажным преимуществом робота является открытое программное обеспечение (ПО) и возможность усовершенствования аппаратного обеспечения. Последнее может быть легко заменено или могут быть добавлены новые элементы в систему РТС (например, дополнительные датчики). «Юниор» имеет предустановленную

ОС Linux Ubuntu 16.04 LTS и Робототехническую Операционную Систему ROS версии Kinetic. Компания-производитель также предоставляет открытые пакеты контроля и управления натурным роботом.

## 2.1 Робототехническая операционная система

Робототехническая Операционная Система (англ. Robot Operating System, ROS) представляет собой популярный открытый фреймворк для командной разработки программного обеспечения роботов. Атомарной единицей среды является пакет (англ. package), который должен решать определенную задачу для конкретной модели робота. Согласно идеологии, ROS пакеты могут быть улучшены любым разработчиком, а новые пакеты – добавлены в общую базу знаний с описанием инструкции по использованию и составных модулей ROS.

Для моделирования робота Аврора «Юниор» был выбран симулятор Gazebo: симулятор является открытым ПО, имеет прямую интеграцию с ROS, что позволяет легко разрабатывать программные пакеты для робота и его модели, а также легко тестировать разработанные алгоритмы в режиме симуляции. Gazebo предоставляет достаточно точную симуляцию различных типов существующих роботов (БНР, БЛА, манипуляторы), а также позволяет создавать собственные модели роботов. Симулятор учитывает заданную физику мира и модели, что позволяет проводить эксперименты (например, верификацию новых алгоритмов) с роботами в режиме симуляции. Также симулятор позволяет создавать желаемую среду для робота, добавлять различные препятствия и другие объекты, и предоставляет различные плагины, которые симулируют различные типы датчиков. Формат описания модели в Gazebo представлен в двух способах – SDF (Simulation Description Format) и URDF (Unified Robot Description Format). Симулятор поддерживает STL и DAE форматы полигональных трехмерных сеток - *мешей* (англ. mesh, структурная сборка из вершин, ребер, граней 3D модели, состоящая из многоугольников) для объектов.

Для описания модели робота Аврора «Юниор» в Gazebo был использован формат URDF (рус. Унифицированный Формат Описания Робота. URDF представляет собой файл формата XML, который описывает робота с помощью определенных тегов. Существуют основные теги, которые необходимы для описания визуальной структуры робота (его «скелета»): link и joint, звено и сустав (сочленение), соответственно. Звенья соединяются между собой с помощью суставов, представляя собой древовидную структуру модели робота. Другие теги предназначены для описания внутренних характеристик звеньев и суставов, добавления плагинов датчиков и их настройки, указания контроллеров суставов и их характеристик.



Рис. 2. Аврора «Юниор» робот.

### 3 Модель робота в Gazebo

Проект модели робомобиля состоит из нескольких пакетов, разделенных по функциональному предназначению: *avrora\_description*, *avrora\_gazebo*, *avrora\_control*. Такое разделение представляет удобный и понятный способ к пониманию основных задействованных модулей модели. Пакет *avrora\_description* содержит описание модели для Gazebo: описание модели в URDF, используемые трехмерные сетки и материалы модели. Пакет *avrora\_gazebo* включает конфигурацию модели для её правильной загрузки в симуляторе Gazebo. Пакет *avrora\_control* описывает конфигурацию суставов модели и их геометрию: тип сустава, коэффициенты ПИД регулятора и другие ROS настройки контроллеров.

Основными элементами робомобиля, представляющими модель, были выбраны следующие: *base\_link* (внешний каркас робота), *right\_steer\_link* (правая часть рулевой рейки, часть будущего механизма системы подвески робота согласно системе Аккермана), *right\_steer\_wheel* (переднее правое колесо), *right\_drive\_wheel* (заднее правое колесо), *left\_steer\_link* (левая часть рулевой рейки, часть будущего механизма системы подвески робота согласно системе Аккермана), *left\_steer\_wheel* (переднее левое колесо), *left\_drive\_wheel* (заднее левое колесо). Для того, чтобы модель робомобиля визуально соответствовала реальному роботу, были использованы трехмерные сетки частей робота для данных элементов и некоторых датчиков, рассмотренных ниже (САПР-модель была представлена компанией-производителем) (см. Рис. 2).

Таблица. 1. Линейные размеры робота

• Параметр	Размер (мм)	Размер (м)
Диаметр диска	204	0,204
Диаметр колеса	260	0,26
Ширина колеса	110	0,11
Продольная длина всего робота	1112	1,112
Высота робота	570	0,57
Ширина робота	650	0,65

Таблица. 2. Весовые характеристики элементов Авроры «Юниор»

• Элемент	Вес (кг)
Колесо	0,9
Корпус робота	8,5
Крышка робота	3,0
Датчик Nokuyo	0,16
Датчик Kinect	0,45
Вес всего робота	43,5

Все звенья модели были заданы в пропорциях, соответствующих пропорциям и размерам реального робота. Чтобы адаптировать инерционные характеристики робота к модели, был рассчитан упрощенный инерционный тензор для её звеньев. В процессе была заменена сложная структура трехмерной сетки каркаса робота (`base_link`) сплошным кубоидным объектом (англ. `solid cuboid`); структуры трехмерных сеток рулевых колес (`right_steer_wheel`, `left_steer_wheel`) заменены на сплошной цилиндр (англ. `solid cylinder`) для вычисления приближенных тензоров инерции звеньев модели. Коллизии звеньев были указаны с учетом структуры трехмерных сеток всех звеньев и в том же размере, что и звенья. URDF формат позволяет описывать следующие типы суставов: призматический (англ. `prismatic`), вращательный с лимитами (англ. `revolute`), вращательный без лимитов (англ. `continuous`), «плавающий» (англ. `floating`) и неподвижный (англ. `fixed`). Подробные определения суставов представлены ниже. Неподвижные соединения жестко соединяют два звена друг с другом; в конструируемой модели были использовали эти соединения для жесткого прикрепления датчиков робота к основному корпусу.

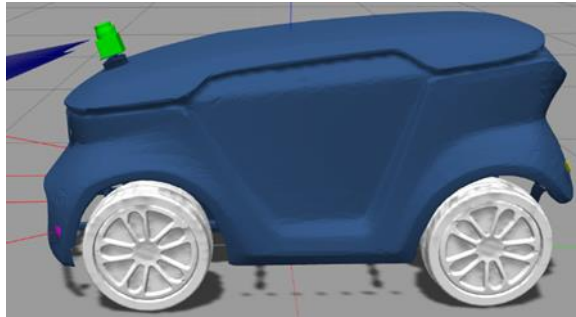
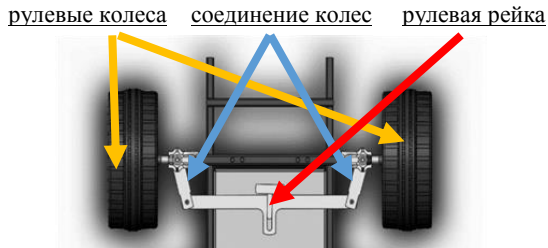


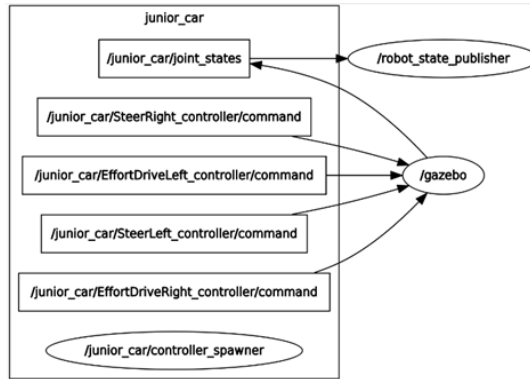
Рис. 3. Модель Авроры «Юниор» в среде ROS/Gazebo

Вращательный сустав без лимитов позволяет вращать шарнир вокруг указанной оси без верхнего и нижнего пределов угла поворота; такой тип был использован для моделирования движения колес робота: *left\_steer\_wheel\_joint*, *left\_drive\_wheel\_joint*, *right\_steer\_wheel\_joint*, *right\_drive\_wheel\_joint*. В свою очередь, вращательный тип сустава с ограничением был применен к рулевым механизмам модели (*left\_steer\_joint* and *right\_steer\_joint*), для последующей разработки системы подвески и управления моделью согласно системе Аккермана (см. Рис. 3).

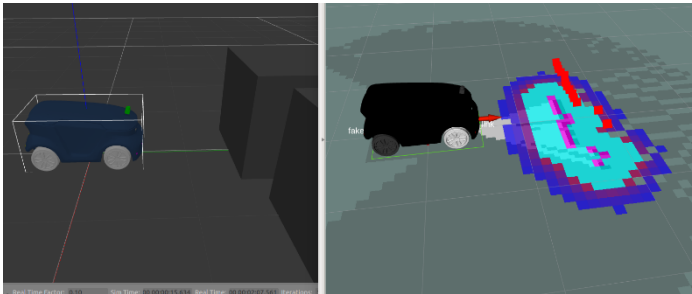
Рис. 4. Схема шасси робота Авроры «Юниор».



Так как на реальном роботе используются два мотора для движения задних колес (на каждое колесо отводится отдельный мотор, однако они вместе контролируются через единый ROS пакет) и один мотор для организации рулевого механизма, были сконфигурированы следующие ROS-контроллеры для суставов: контроллеры положения *SteerRight\_controller* и *SteerLeft\_controller* (ROS *JointPositionController*), контроллеры усилий *EffortDriveRight\_controller* и *EffortDriveLeft\_controller* (ROS *JointEffortController*). Контроллеры положения относятся к суставам рулевого механизма, контроллеры усилий относятся к суставам задних колес (так как на реальном роботе моторами оснащены два задних колеса). Рисунок 4 показывает финальную схему работы контроллеров в среде ROS.



**Рис. 5. Визуализация в `qt_graph` топиков модели Аврора "Юниор" (топики датчиков не визуализированы).**



**Рис. 6. Слева - модель робота Аврора "Юниор" в Gazebo, справа - визуализация данных с датчиков и топиков в Rviz.**

Таблица 3 представляет список датчиков робота Аврора «Юниор» и их имплементация в среде ROS и Gazebo. Модели датчиков были помещены в том же положении и ориентации, как и на реальном роботе, для получения точных данных с датчиков. Все плагины датчиков были сконфигурированы согласно техническому описанию существующих датчиков. Для визуализации датчиков использовалось ПО Rviz (входит в фреймворк ROS). Пример визуализации виртуального датчика лазерного дальномера изображен на рисунке 5.

Таблица. 3. Датчики робота и их плагины в ROS/Gazebo

• Датчик	Пакет в ROS	Плагин в Gazebo
ЛИДАР Hokuyo	hokuyo_node	laser_controller
Microsoft Kinect	freemove_stack	camera_plugin
GPS	ur_nmea_driver	novatel_gps_sim
УЗ датчики	ur_rangefinder_driver	sonar
IMU	myahrs_driver	imu_plugin

## 4 Заключение

В данной работе было представлено моделирование робота Аврора «Юниор» в симуляторе Gazebo, среде ROS. Для построения модели был использован формат URDF, поддерживаемый симулятором. Основные элементы Авроры «Юниор» были импортированы из трехмерных сеток, предоставленных компанией-производителем робота. Были добавлены соответствующие контроллеры для моделирования рулевого управления модели «Юниор» и соответствующие реальному роботу датчики.

В рамках будущей работы будет выполнена настройка ПИД-регуляторов для контроллеров модели и разработана симуляция рулевого управления и движения согласно модели Аккермана. По завершении этапа моделирования робота, готовая модель будет применена для задач кооперативного поиска пути в моделируемой городской среде [Andreychuk et al., 2017].

## Список литературы

- [Afanasyev et al., 2015] Afanasyev I., Sagitov A., Magid E. ROS-based SLAM for a Gazebo-simulated mobile robot in image-based 3D model of indoor environment // 2015 International Conference on Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems – Springer, Cham 2015. – С. 273-583.
- [Andreychuk et al., 2017] Andreychuk A., and Yakovlev K. Applying MAPP Algorithm for Cooperative Path Finding in Urban Environments. // 2017 International Conference on Interactive Collaborative Robotics. – Springer, Cham, 2017. – С. 1-10.
- [Aurora Robotics, 2018] Aurora Robotics' 18, - <https://aurora-robotics.com/ru/>.
- [Kermorgant, 2014] Kermorgant O. A dynamic simulator for underwater vehicle-manipulators // 2014 International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots – Springer, Cham 2014. – С. 25-36.
- [Kohlbrecher et al., 2014] Kohlbrecher, S., Meyer, J., Graber, T., Petersen, K., Von Stryk, O. and Klingauf, U. Kowalsky R. Robocuprescue 2014-robot league team hector Darmstadt (Germany) // RoboCupRescue, 2014.
- [Qian et al., 2014] Qian, W., Xia, Z., Xiong, J., Gan, Y., Guo, Y., Weng, S., Deng, H., Hu, Y. and Zhang, J. Manipulation task simulation using ros and gazebo // 2014



- International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO, 2014) – IEEE 2014. – C. 2594-2598.
- [Sagitov et al., 2017]** Sagitov A., and Gerasimov Y. Towards DJI Phantom 4 Realistic Simulation with Gimbal and RC Controller in ROS/Gazebo Environment // 2017 International Conference on Developments in eSystems Engineering, –IEEE, 2017. – C. 262-266.
- [Sokolov et al., 2017]** Sokolov, M., Afanasyev, I., Lavrenov, R., Sagitov, A., Sabirova, L. and Magid, E. Modelling a crawler-type UGV for urban search and rescue in Gazebo environment // 2017 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB 2017), –2017. – C. 360-362.
- [Yao et al., 2017]** Yao, W., Dai, W., Xiao, J., Lu, H. and Zheng, Z. A simulation system based on ros and gazebo for robocup middle size league //2017 International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO, 2017) – IEEE 2017. – C. 54-59.