

геометрии разметки при высоких летних температурах, снижает грязевовлечение, что особенно актуально в жарких климатических условиях;

– пластичность покрытия при минусовых температурах, у отечественных производителей не более плюс 4°C, обычно 8°C (обеспечивает более длительный срок эксплуатации в зимнее время за счет стойкости к холодному растрескиванию).

Для промышленного освоения разработанных материалов были созданы научно-образовательный центр и инновационное малое предприятие ООО «ИП «Союз».

Таким образом, разработанные составы термопластиков с использованием аппретированного наполнителя показали, что по многим показателям они отвечают предъявленным требованиям и превосходят свойства термопластиков, выпускаемых промышленностью.

#### **Список литературы**

1. Костова Н.З. Новые стандарты и материалы для разметки дорог / Н.З. Костова, В.М. Юмашев // Труды Союздорнии. – М., 2007. – Выпуск 209. – 119 с.
2. Методические рекомендации по выбору и применению материалов для разметки автомобильных дорог / ред. Ж. Иноземцева. – М.: ФГУП Союздорнии, 2002. – 42 с.
3. Хацкин В.Л. Регулирование эксплуатационной долговечности термопластиков / В.Л. Хацкин // Труды Союздорнии. – М., 2005. – Выпуск 206. – 148 с.

УДК 712.252

#### **АВТОНОМНАЯ МАШИНА ДЛЯ ГОЛЬФА: РАЗРАБОТКА КОНФИГУРАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА И КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРЫ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

*Шимчик И.А., старший научный сотрудник АНО ВО «Университет Иннополис», г. Казань, Россия;*

*Магид Е.А., профессор, руководитель лаборатории интеллектуальных робототехнических систем ЛИРС АНО ВО «Университет Иннополис», г. Казань, Россия*

#### **AUTONOMOUS GOLF CART: VEHICLE CONFIGURATION AND SOFTWARE ARCHITECTURE CONCEPT**

*Shimchik I.A., Senior Researcher, «Innopolis University», Kazan, Russia;*

*Magid E.A., professor, Head of Intelligent Robotic Systems Laboratory, «Innopolis University», Kazan, Russia*

#### **Аннотация**

Происходящие в последнее десятилетие ключевые изменения в методах управления транспортными потоками и отдельными транспортными средствами (ТС), в том числе в транспортировке людей, напрямую связаны с появлением новых технологий беспилотного управления ТС. В статье описан подход к разработке автономного гольф-кара, который оперирует на закрытых территориях с ограниченным движением для ТС. Благодаря системе бортовых датчиков, машина производит позиционирование на местности, бортовой компьютер рассчитывает оптимальный маршрут движения с учетом рельефа местности и технических возможностей гольф-кара, а при движении гольф-кар определяет динамические препятствия и корректирует маршрут.

## Abstract

The key changes in traffic management and individual vehicles control that occurred in the past decade are directly connected to the unmanned vehicle control technologies advances. This paper presents our approach to autonomous golf cart development, which targets for operating in private areas without regular vehicles access. Onboard computer of an autonomous golf cart will be designed to utilize sensory information about terrain and technical capabilities of the vehicle itself in order to perform localization, calculate an optimal travelling route from start to target on a given map, recognize dynamic obstacles and adjust the route in real time.

**Ключевые слова:** автономное транспортное средство, беспилотный автомобиль, мобильный робот, гольф-кар, моделирование.

**Key words:** autonomous vehicle, unmanned car, mobile robot, golf cart, modeling.

## 1. Введение

Развитие технологий в последние десятилетия достигло такого уровня, что роботы постепенно замещают человеческий труд в космических и военных отраслях, производстве, развлечениях и даже в роли наших домашних помощников. Автоматизация касается и транспорта: уже существуют «умные» парковки и светофоры, системы-помощники водителю для построения маршрута движения и управления ТС. Следующим шагом в этой области является выполнение автомобилем полностью всех функций водителя в автономном или полуавтономном режимах. Например, система, внедренная на серийный автомобиль Tesla ModelS,<sup>1</sup> обеспечивает автономность ТС на автомагистралях при определенной скорости, погодных условиях, дорожной обстановке. Технологии автономного управления, не требующие постоянного участия сертифицированного водителя в процессе движения ТС, постепенно проникают в наше общество и со временем вытеснят быстро устаревающие классические ТС. Помимо замены водителя в автомобилях на дорогах массового пользования, активно внедряются автоматические линии метро [1], ведутся работы по использованию автоматических погрузчиков на складах [2] и других территориях с ограниченным для частных машин доступом [4], компания Google разрабатывает машину, в которой водитель полностью заменен интеллектуальным автопилотом [3].

В данной статье представлен первый этап разработки автономного гольф-кара – малогабаритного ТС для обслуживания клиентов, которое способно оперировать на полях для гольфа и обеспечивать перемещение игроков (во время игры, при перемещении между полями и пр.). Область применения разрабатываемого прототипа автономной машины не ограничивается полями для гольфа, а также включает в себя парки, туристические зоны, территории аэропортов. В статье рассмотрены основные компоненты, обеспечивающие автономность гольф-кара, архитектура программного обеспечения, алгоритмы, используемые машиной для выполнения задач. Раздел 2 описывает используемое оборудование и основные компоненты системы. В разделе 3 описана программная архитектура системы и связи между основными модулями. Раздел 4 представляет первые шаги по разработке симуляции системы. Раздел 5 является заключительным разделом, в котором подводятся итоги проведенной работы и описываются наши дальнейшие шаги по разработке автономного гольф-кара.

## 2. Конфигурация автономной машины

Для обеспечения автономности гольф-кара необходимо выбрать компоненты для получения информации об окружающей среде и компоненты управления машиной. В таблице 1 перечислены основные датчики, необходимые для построения адекватной динамической модели окружающего пространства в режиме реального времени и определения положения автомобиля на местности. Для превращения классического

---

<sup>1</sup>Tesla Model S features, <https://my.teslamotors.com/models/design?source=models-features1>

гольф-кара в автономный помимо сенсоров требуются: система приводов, обеспечивающая управление автомобилем; платформа для вычислений; интерактивный дисплей для отображения состояния машины и принятия команд от пользователя.

Основные функциональные системы автономного гольф-кара включают в себя:

1) систему приводов, которая контролирует управление гольф-каром и подачу световых сигналов при выполнении маневров, в том числе управление рулевым колесом, педалями акселерации и тормоза, указателями поворота;

2) систему питания, которая обеспечивает подачу электрического тока с необходимыми характеристиками для приводов, сенсоров и вычислительной платформы;

3) вычислительную платформу, которая представляет собой бортовой компьютер, необходимый для поддержания автономности. На таком бортовом компьютере, например, выполняются задачи моделирования окружающей среды, комплексирование и обработка полученных датчиками данных, вычисление маршрута;

4) систему безопасности, которая предоставляет возможности быстрого отключения автономного режима работы и включение режима экстренного торможения;

5) интерактивный пользовательский интерфейс, который обеспечивает взаимодействие между пользователем и гольф-каром, отображает текущий статус ТС, принимает команды от пользователя, предоставляет возможность выбора точки назначения и параметров движения;

6) систему датчиков, которая служит для получения информации о состоянии окружающей среды, а также о состоянии гольф-кара. На основе этих сенсорных данных строится модель окружающего мира, определяются положение машины и динамические препятствия;

7) систему принятия решений – это сложная система с элементами искусственного интеллекта, которая определяет, какие действия должна выполнять машина в соответствии с командами пользователя и текущими ограничениями, накладываемыми окружающей средой, техническими характеристиками машины и датчиков, а также мерами безопасности.

Таблица 1

#### Система датчиков

Оборудование	Назначение
Лидар <sup>1</sup> на бампере	Определение препятствий на уровне колес, определение высотного профиля маршрута движения
Лидар на крыше	Определение препятствий, определение профиля карты. Датчик расположен под углом, направлен по диагонали вниз, чтобы определять препятствия в диапазоне от поверхности земли до крыши гольф-кара
ГЛОНАСС/GPS	Датчик глобального позиционирования
IMU <sup>2</sup>	Датчик определяет мгновенные ускорения гольф-кара по трем осям в единицу времени
Камера	Отвечает за определение динамических препятствий (пешеходы, животные, другие ТС) и меток на дороге
Лидар на левой и правой стороне	Определение препятствий слева и справа от автомобиля, построение профиля территории
Энкодеры в колесах	Датчики положения, которые определяют углы вращения колес, а также угол поворота рулевого колеса

<sup>1</sup>Лидар (англ. «Lidar» – LightDetectionAndRanging) – датчик расстояния, работа которого основана на технологиях получения и обработки информации об объектах при помощи активных оптических систем, использующих явления отражения и рассеяния света.

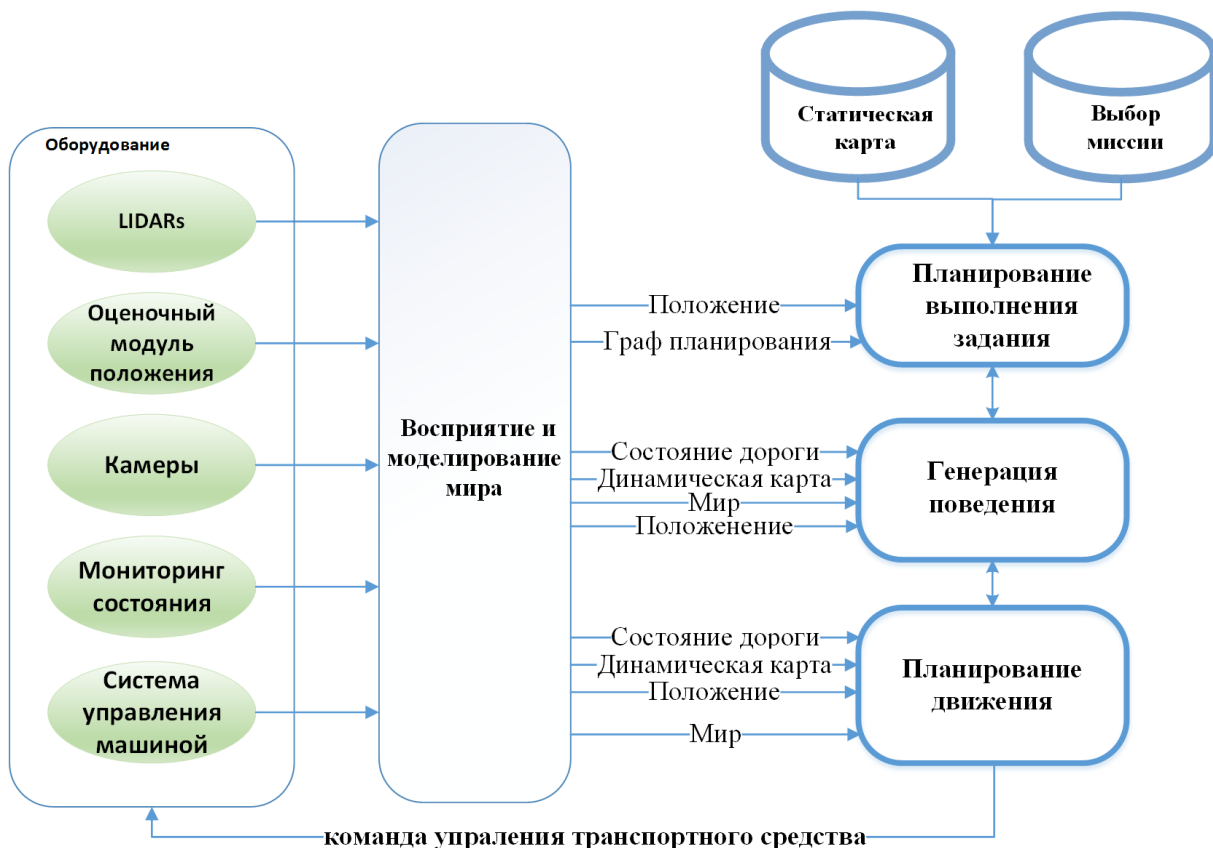
<sup>2</sup>IMU (англ. Inertialmeasurementunit) – инерциальный измерительный блок.

### 3. Архитектура программного обеспечения

Гольф-кар, оперирующий на поле для гольфа и обеспечивающий транспортировку игроков, должен выполнять следующие высокоуровневые задачи:

- построение маршрута к точке, выбранной пользователем на карте;
- следование маршруту;
- определение динамических препятствий: людей, животных, других гольф-каров;

• парковка. С учетом перечисленных выше высокоуровневых задач и архитектуры описанных в аналогичных работах систем [4, 5], нами построена архитектура программного обеспечения автономного гольф-кара. Компоненты архитектуры и связи между ними показаны на рис. 1. Информация об окружающей среде и состоянии гольф-кара (положение, угол поворота, скорость, ускорение и т.д.) собирается системой восприятия и моделирования мира (СВММ), которая отвечает за комплексирование сенсорной информации и ее обработку в режиме реального времени. СВММ распределяет обработанные данные по соответствующим функциональным блокам, которые также получают на вход информацию о самой миссии («Выбор миссии») и статическую карту местности («Статическая карта»), и отвечают за глобальную миссию (блок «Планирование выполнения задания», БПВЗ), локальную координацию и модификацию действий (блок «Генерация поведения», БГП), а также за перевод высокоуровневых команд в низкоуровневые команды по управлению машиной (блок «Планирование движений», БПД). При этом в задачу СВММ входит внесение в статическую карту местности динамических изменений, идентифицированных на основе анализа полученной в режиме реального времени сенсорной информации.



### 4. Разработка симуляции

Одним из первых этапов создания автономного гольф-кара является создание модели симуляции. В качестве среды симуляции выбрано программное обеспечение

Gazebo<sup>1</sup>, которое широко используется для симуляции робототехнических систем и обеспечивает тесную интеграцию с ROS (англ. RobotOperating System, Операционная система для роботов) [6], фреймворком для разработки программ для роботов. Использование среды Gazebo позволяет нам создавать и тестировать основные алгоритмы управления автономной машиной в реалистичной симуляции, а на следующем этапе осуществить перенос алгоритмов на реальную машину, который потребует минимального количества изменений алгоритмов и ПО ввиду тесной интеграции с системой ROS.

На рис. 2 представлена модель симуляции ландшафт среды и автономного гольф-кара.

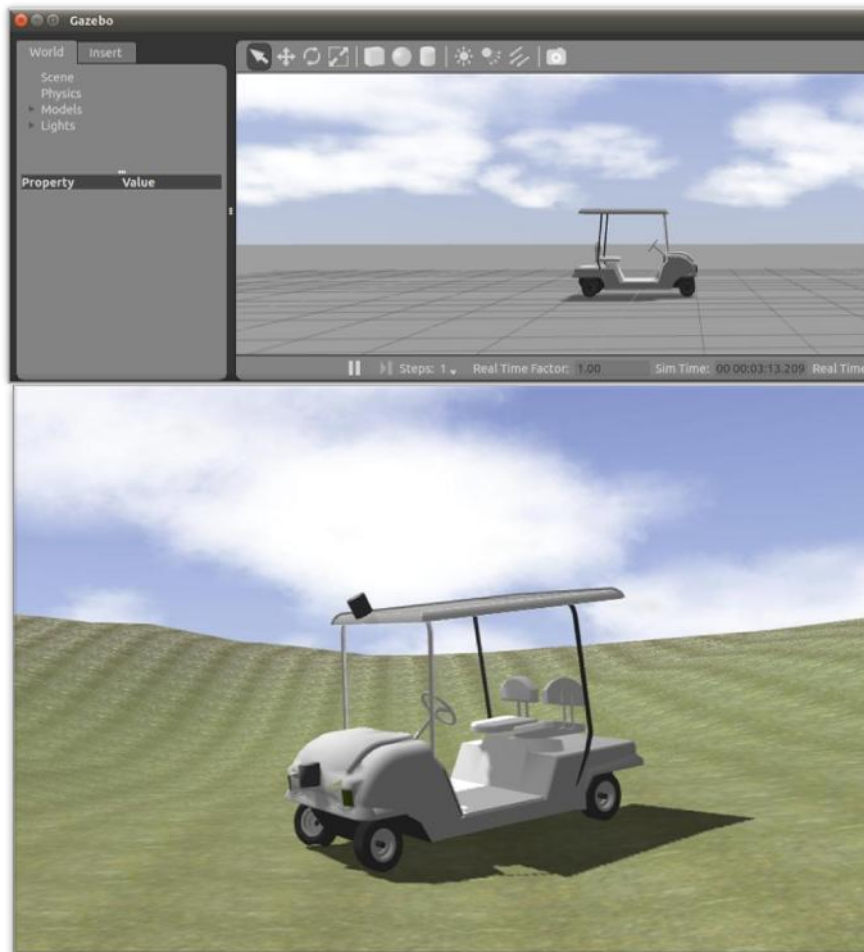


Рис. 2. Модель симуляции гольф-кара

При моделировании гольф-кара были учтены характеристики машины, радиус разворота, радиус колес, расположенные на машине датчики. Симуляция позволяет с высокой степенью достоверности оценить алгоритмы, отвечающие за получение данных с лазерных дальномеров (ЛИДАРов), энкодеров, эмулировать работу глобальной системы позиционирования ГЛОНАСС или GPS, проверить алгоритмы поиска пути, навигации и определения динамических препятствий.

## 5. Заключение

В данной работе мы описали первый этап разработки автономного гольф-кара, оперирующего на полях для гольфа для обеспечения транспортировки игроков. Проведен выбор необходимого оборудования, разработана архитектура системы, создана симуляция гольф-кара в среде ROS/Gazebo. В дальнейшем будет проведена отладка и оценка алгоритмов в среде симуляции. Затем алгоритмы будут перенесены на

<sup>1</sup>Среда симуляции, Gazebo, <http://gazebosim.org/>

переоборудованный в соответствии с нашими разработками гольф-кар и проведена верификация разрабатываемой системы с последующей валидацией при помощи ее тестирования реальными пользователями.

## **6. Благодарность**

Данное исследование было поддержано Российским Фондом Фундаментальных Исследований (Договор № НК 15-57-06010/15, научный проект № 15-57-06010 «Локализация, картографирование и поиск пути для беспилотного наземного робота (БНР) при помощи группы беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с использованием активного коллективного технического зрения и планированием в общем доверительном пространстве группы роботов»).

## **Список литературы**

1. Ghantous-Mouawad M.; Schon W.; Boulanger J.L.; Churchill G., «Converting a Conventional Metro Line into Automated Operation: Identifying and Managing The Safety Process of the Traffic in Migration Phase» in *The first Institution of Engineering and Technology International Conference on System Safety*, pp.217-226, 2006.
2. You S.J.; Ji S.H., «Design of a multi-robot bin packing system in an automatic warehouse» in *11th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*, vol.02, pp.533-538, 2014.
3. Poczter S.L.; Luka M.J., «The Google Car: driving toward a better future?», in *Journal of Business Case Studies*, vol.10(1), pp.7-14, 2014.
4. Pendleton S.; Uthaicharoenpong, T.; Chong, Z.J.; Fu, Guo M.J.; Qin, B.; Liu, W.; Shen, X.; Weng, Z.; Kamin, C.; Ang, M. A. et al. «Autonomous Golf Cars for Public Trial of Mobility-on-Demand Service» in *International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.245-251, 2015.
5. Silva M.; Garrote L.; Moita F.; Martins M.; Nunes U. «Autonomous electric vehicle: Steering and path-following control systems» in *16th IEEE Mediterranean on Electrotechnical Conference*, pp.442-445, 2012.
6. Ivaldi S.; Peters J.; Padois V.; Nori, F. «Tools for simulating humanoid robot dynamics: A survey based on user feedback» in *14th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, pp.842-849, 2014.