



## Соревнование FIRA - Автономные автомобили

### Правила игры (Базовый уровень)

Гранатов Михаил Георгиевич  
Челябинский Государственный Университет  
Лаборатория робототехники  
CEO Cobotory LLC  
454001, г. Челябинск,  
ул.Братьев Кашириных, 129  
Академия Робозум, CEO  
Robozoom96@gmail.com

Соруш Садегнехад  
Лаборатория проектирования биоинспирированных систем  
Машиностроительный факультет  
Амirkабирский технологический университет  
Тегеран, 158754413, Иран  
s.sadeghnejad@aut.ac.ir

Мухаммед Джавад Хаги  
Научно-исследовательский центр робототехники  
Факультет мехатроники  
Профессионально-технический университет  
Тегеран, 1435761137, Иран  
javadgerman@aut.ac.ir

Мир Алиреза Атари  
Исследовательская группа ARAS  
Электротехнический факультет  
Технологический университет им. К.Н. Тоози  
Тегеран 16315-1355, Иран  
miralireza.athari@ee.kntu.ac.ir

Фарзад Ахмадинежад  
Лаборатория мобильной робототехники  
Факультет робототехники  
Амirkабирский технологический университет  
Тегеран, 158754413, Иран  
f.ahmadinejad@aut.ac.ir

#### **Аннотация**

*Соревнования FIRA – Автономные автомобили фокусируется на том, чтобы вдохновить исследователей на разработку беспилотных транспортных средств. В соревнованиях FIRA - Автономные автомобили имеются два полигона. Первый представляет из себя гоночную трассу, а второй – городскую среду. Для каждого полигона разработана своя система оценки, а итоговый балл определяется как сумма результатов обоих испытаний.*

## Беспилотные транспортные средства.

### [FAC-1] Правила игры

Робототехническая платформа автомобильного типа (далее по тексту автомобиль), используемая для этого соревнования, должна иметь электрическое питание. Автомобили, работающие на топливе, не могут использоваться в этом соревновании. Пожалуйста, помните, что для участия в соревновании автомобиль должен соответствовать следующим ограничениям:

- Длина: 300-550 мм
- Ширина: 150-350 мм
- Высота: **не ограничена**
- Наличие электрического питания

Минимальные размеры автомобиля не ограничиваются. Имейте ввиду, что автомобиль должен иметь рулевую систему на базе трапеции Аккермана.

К соревнованию допускаются как полноприводные автомобили, так и автомобили с двумя ведущими колёсами. За несколько минут до каждого группового заезда автомобиль будет помещаться на карантин. Автомобили, участвующие в этом соревновании, должны иметь 4 колеса и рулевой механизм, основанный на трапеции Аккермана. Ниже на изображении показан пример допущенного к соревнованию автомобиля, который оснащен рулевым механизмом на базе трапеции Аккермана.

Просьба учитывать, что инфракрасные датчики линии использовать не разрешается. По общим вопросам, связанным со всеми мероприятиями FIRA (игровое поле, освещение, ответственность судей) просьба обращаться к разделу FIRA - Общие правила игры.

Важно отметить, что каждая команда может иметь только один автомобиль или платформу для соревнований. Хотя замена платформы запрещена, допускается модифицировать отдельные компоненты автомобиля в случае ремонта.



## **[FAC-2]: Ход игры**

Соревнования состоят из двух этапов: предварительного и финального. Команды допускаются до финального этапа в зависимости от баллов, набранных на предварительном этапе. Баллы, набранные на предварительном этапе, будут обнулены при переходе в финал. Порядок заездов команд определяется жеребьевкой за день до соревнований. Для команд, которые не участвовали в основной жеребьевке будет проводиться отдельная, а их заезды будут проходить в начале соревнований.

Соревнования состоят из двух частей, для каждой из которых имеется своя система оценивания. Итоговые баллы формируются как сумма результатов двух частей. Первая часть соревнований называется «Автономная гонка». Каждый автомобиль должен пройти гоночный трек в автономном режиме один или несколько раз в зависимости от этапа. Вторая часть называется «Автономное вождение в городе». Каждый автомобиль должен выполнить специальное задание, такое как навигация с использованием дорожных знаков. Далее в документе более подробно представлено описание каждой из частей соревнований.

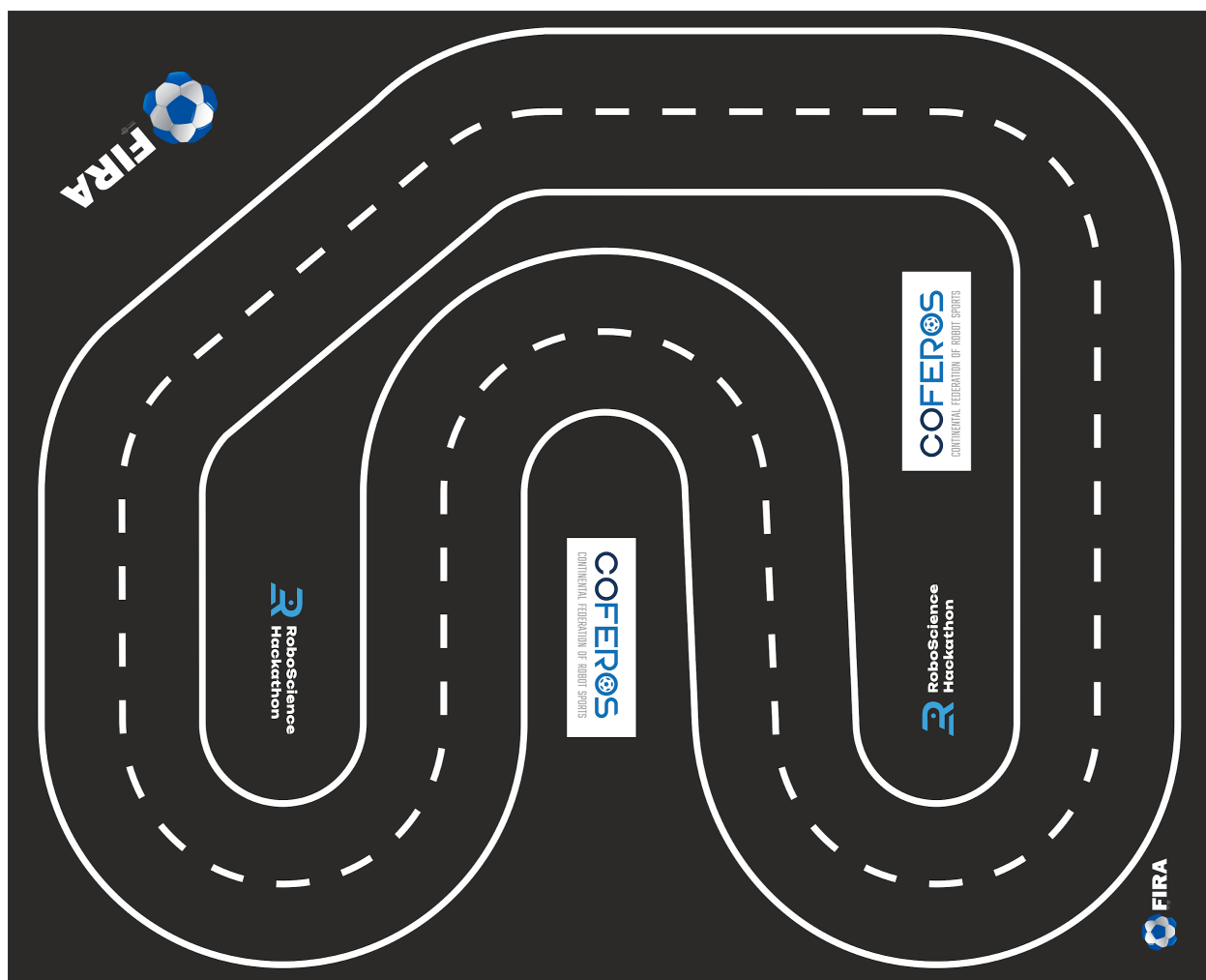
## **[FAC-3]: Автономная гонка**

В ходе гоночной части соревнования каждый автомобиль должен проехать несколько кругов по гоночному треку полностью в автономном режиме. На трассе имеются несколько контрольных точек, через которые должен пройти автомобиль в ходе заезда. За

каждую пропущенную контрольную точку накладывается штраф. В зависимости от этапа, на трассе могут быть размещены препятствия, которые автомобиль должен объехать.

В ходе этой части соревнований каждой команде предоставляется определенный интервал времени, в течении которого она может выполнить 5 заездов. Оценка этой части определяется как максимальный балл, полученный в ходе заездов. Ширина трека составляет  $50 \text{ см} \pm 10\%$ . На треке имеется как минимум один поворот с внешним радиусом  $1.5 \text{ м} \pm 10\%$ , поэтому автомобиль команды должен быть способен его пройти.

Ниже на рисунке показан пример гоночного трека:



Как показано на рисунке, трек изображен на поверхности перемещения с использованием двух белых или черных сплошных линий по бокам и одной пунктирной линией посередине, которая имеет тот же цвет, что и боковые. Цвет разметки будет выбираться в зависимости от цвета фона поверхности, поэтому автомобиль команды должен уметь

распознавать оба варианта. Контрольные точки обозначены зеленым цветом, а линия старта/финиша – красным. Контрольные точки не обязательно должны иметь какие-либо обозначения, картинка показана лишь для примера. Линия старта/финиша обозначается цветом, отличным от цвета разметки, но не обязательно красным.

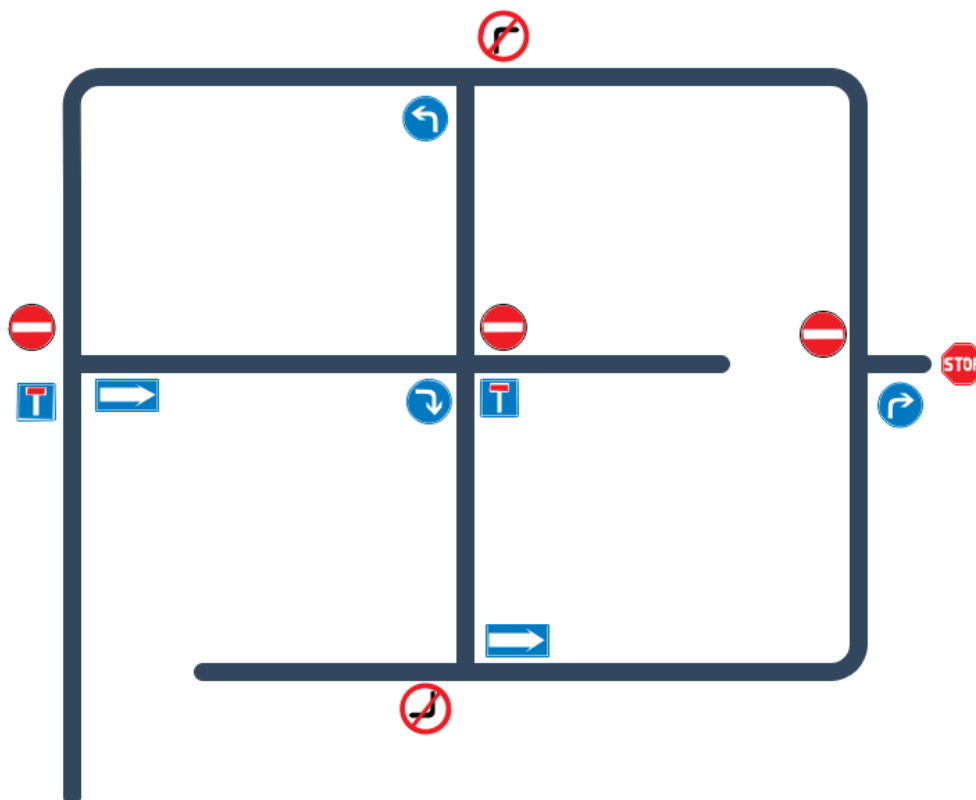
Толщина разметки составляет минимум 2 см, а длина разрыва пунктирной линии – минимум 5 см. В зависимости от этапа, на трассе могут присутствовать препятствия и автомобили должны их объезжать. Если автомобиль столкнется с препятствием на треке или за его пределами, текущий заезд будет завершен.

### **[FAC-4]: Автономное вождение в городе**

В этой части соревнований автомобиль должен автономно перемещаться в условиях городской среды. Автомобили начинают движение со стартовой позиции и перемещаются по улицам, осуществляя навигацию на основе распознавания дорожных знаков, линий разметки, пешеходной зебры, а также используя другие данные, получаемые с помощью бортовых датчиков. На трассе имеются несколько контрольных точек, каждая из которых обозначена специальными метками. Каждое неверное действие, сделанное машиной в ходе заезда, будет наказываться штрафом. Размеры штрафов подробно представлены в разделе начисления баллов.

В ходе этой части соревнований каждой команде предоставляется определенный интервал времени, в течении которого она может выполнить 3 заезда. Оценка этой части определяется как максимальный балл, полученный в ходе заездов. Ширина трека составляет  $60 \text{ см} \pm 10\%$ .

Для облегчения распознавания дорожных знаков перед каждым из них будет размещен маркер. Тип маркеров - AprilTag (семейство 36h11), размеры маркера находятся в диапазоне от 4 см x 4 см до 8 см x 8 см. На рисунке ниже показан пример схемы полигона (рисунок приведен для демонстрационных целей, он не должен восприниматься как конкретная уличная схема).

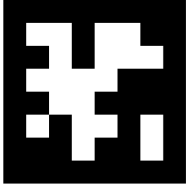
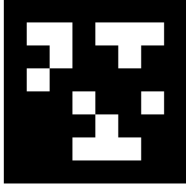
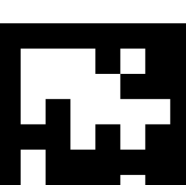


На рисунке сверху автомобили должны начинать движение из правой нижней части и перемещаться по улицам согласно дорожным знакам, пока не достигнут конечного пункта. При обнаружении знака «STOP» автомобиль должен остановиться. Между двумя перекрестками имеется хотя бы одна контрольная точка. Автомобиль должен двигаться по правильной полосе, а каждый неверный поворот наказывается соответствующим штрафом. Каждая улица имеет одну из схем разметки, показанных на рисунке ниже:



Вариант разметки, представленный слева означает одностороннее движение, а вариант справа – двустороннее движение. Если автомобиль выезжает с улицы с односторонним движением на улицу с двусторонним движением, то он должен перемещаться по правильной полосе. Если автомобиль перемещается по улице с двусторонним движением, он не может перестраиваться на другую полосу. Каждая некорректная смена полосы приводит к начислению штрафных баллов.

Список дорожных знаков представлен ниже:

| Название знака  | Изображение знака                                                                   | Маркер знака                                                                         | Действия автомобиля                                                            |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Въезд запрещен  |    |    | Автомобиль не должен въезжать на улицу, в начале которой установлен этот знак. |
| Тупик           |    |    | Автомобиль не должен въезжать на улицу, в начале которой установлен этот знак. |
| Движение вправо |   |   | Необходимо повернуть на дорогу, находящуюся справа от перекрестка.             |
| Движение влево  |  |  | Необходимо повернуть на дорогу, находящуюся слева от перекрестка.              |
| Движение прямо  |  |  | Необходимо двигаться прямо                                                     |

|      |                                                                                   |                                                                                    |                                                                           |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Стоп |  |  | Необходимо остановиться (знак устанавливается в конечном пункте движения) |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|

Автомобили также должны остановиться как минимум на 3 секунды перед стоп-линией каждого перекрестка. В случае, если автомобиль проедет перекресток без остановки, то будут начислены штрафные баллы. Размеры линий разметки аналогичны тем, которые были указаны в предыдущей части правил. В зависимости от этапа, на улице могут находиться препятствия. Если автомобиль столкнется с препятствием, текущий заезд будет завершен.

Перед пешеходной зеброй каждого перекрестка на расстоянии около одного сантиметра расположена стоп-линия, перед которой должен остановиться автомобиль .



## **[FAC-5]: Начисление баллов**

Каждая часть соревнований имеет свои собственные правила начисления баллов, которые представлены далее.

### **[FAC-5-1]: Степень автономности**

Автомобили должны выполнять задания полностью в автономном режиме. Это может быть достигнуто за счет использования вычислительной системы на борту автомобиля или за его пределами. Итоговая оценка будет умножаться на коэффициент в соответствии со степенью автономности. Коэффициент определяется следующим образом:

| Степень автономности | Ка (коэффициент) |
|----------------------|------------------|
|----------------------|------------------|

|                                                          |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| Вычислительная система находится за пределами автомобиля | 0.5 |
| Вычислительная система располагается на автомобиле       | 1   |

Каждая команда может сделать выбор между использованием для навигации дорожных знаков или меток AprilTag, но баллы будут умножаться на различные коэффициенты, представленные в таблице:

| Степень автономности | Ка (коэффициент) |
|----------------------|------------------|
| Метки AprilTag       | 1                |
| Дорожные знаки       | 1.3              |

### [FAC-5-2]: Правила начисления баллов в ходе соревнований «Автономная гонка»

Во время гонки очки будут рассчитываться на основе общего времени. Общее время — это сумма времени, затраченного автомобилем на прохождение трассы или прохождение некоторых контрольных точек и других штрафов, которые будут добавлены к общему времени в зависимости от того, насколько хорошо машина следовала по трассе автономно. Таблица штрафов представлена ниже:

| Определение штрафа                               | Размер штрафа в секундах                                         |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Пропущенная контрольная точка (за каждую)        | $+ 0.5 * \frac{T_{stage}}{\text{Number of all checkpoints}}$ (s) |
| Потерянные элементы робота на трассе (за каждый) | $+ 0.2 * \frac{T_{stage}}{\text{Number of all checkpoints}}$ (s) |

Оценка за эту часть соревнований вычисляется в соответствии со следующей формулой:

$$S_{AR} = (1 + \max\{\frac{T_{stage} - T_{total}}{T_{stage}}, 0\}) * 35 * \text{cp}$$

Время этапа ( $T_{stage}$ ) — это количество времени, которое каждая команда должна провести в гонке на каждом этапе, которое варьируется на предварительном и финальном этапе. Например, если команде дано 200 секунд и она может закончить соревнование за 100

секунд и не потерять ни одного контрольного пункта (например, если она наберет 14 контрольных точек), она получит 735 очков.

Otsenka etoy chasti rasschityvayetsya po sleduyushchey formule:

### [FAC-5-3]: Правила начисления баллов в ходе соревнований «Автономное вождение в городе»

В этой части соревнований автомобили должны выехать из стартовой точки, проехать по улицам, осуществляя навигацию с помощью знаков, достичь пункта назначения и остановиться. Каждая контрольная точка, которая была достигнута автомобилем, дает команде 60 баллов. Сумма этих баллов минус сумма штрафов, полученных в ходе выполнения задания определяет оценку за эту часть соревнований. Таблица штрафов представлена далее

| Определение штрафа                                                                          | Штрафные баллы |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Проезд перекрестка без остановки                                                            | -10            |
| Неправильный выбор направления движения на перекрестке                                      | -30            |
| Неправильное перестроение между полосами движения (один раз за участок между перекрестками) | -20            |

### [FAC-5-4]: Итоговые баллы

Итоговые баллы определяются как сумма баллов, заработанных в автономной гонке и в автономном вождении в городе:

$$S_T = S_{AR} + S_{AUD}$$

Примечания:

- Финишная линия считается контрольной точкой.
- Робот должен полностью находиться на дороге при прохождении контрольной точки, в противном случае контрольная точка считается пропущенной.
- Количество баллов за каждую из частей соревнований не может быть отрицательным.

- Если автомобиль сталкивается с препятствием, текущий заезд завершается. Если автомобиль выезжает за пределы дороги, это считается столкновением с дорожным барьером и заезд завершается.
- Капитан команды может сказать «Стоп» в ходе заезда, что приводит к завершению заезда.
- Касание или управление автомобилем без произнесения команды «Стоп» приводит к обнулению результатов заезда.
- На финальном этапе гоночный трек может быть соединен с городской средой. Автомобили должны быть способны продолжать движение в городской среде после завершения гонки.

Эти замечания относятся как к автономной гонке, так и автономному вождению в городе.

## [FAC-6]: Техническое описание и видео

Каждая команда должна прислать **техническое описание** и видео о своем автомобиле. Шаблон технического описания можно найти на сайте FIRA. **Техническое описание** должно содержать информацию как об аппаратном, так и о программном обеспечении, используемом в автомобиле.

## [FAC-7]: Изменение правил

Настоящие правила могут быть изменены техническим комитетом за любое время до соревнований. Команды должны регулярно проверять настоящие правила и отслеживать все внесенные изменения. Последняя официальная версия правил соревнований FIRA Автономные автомобили всегда доступна по ссылке [this](#)

Дата последних изменений: 17 ноября 2023 (v1.2.5\_RU)