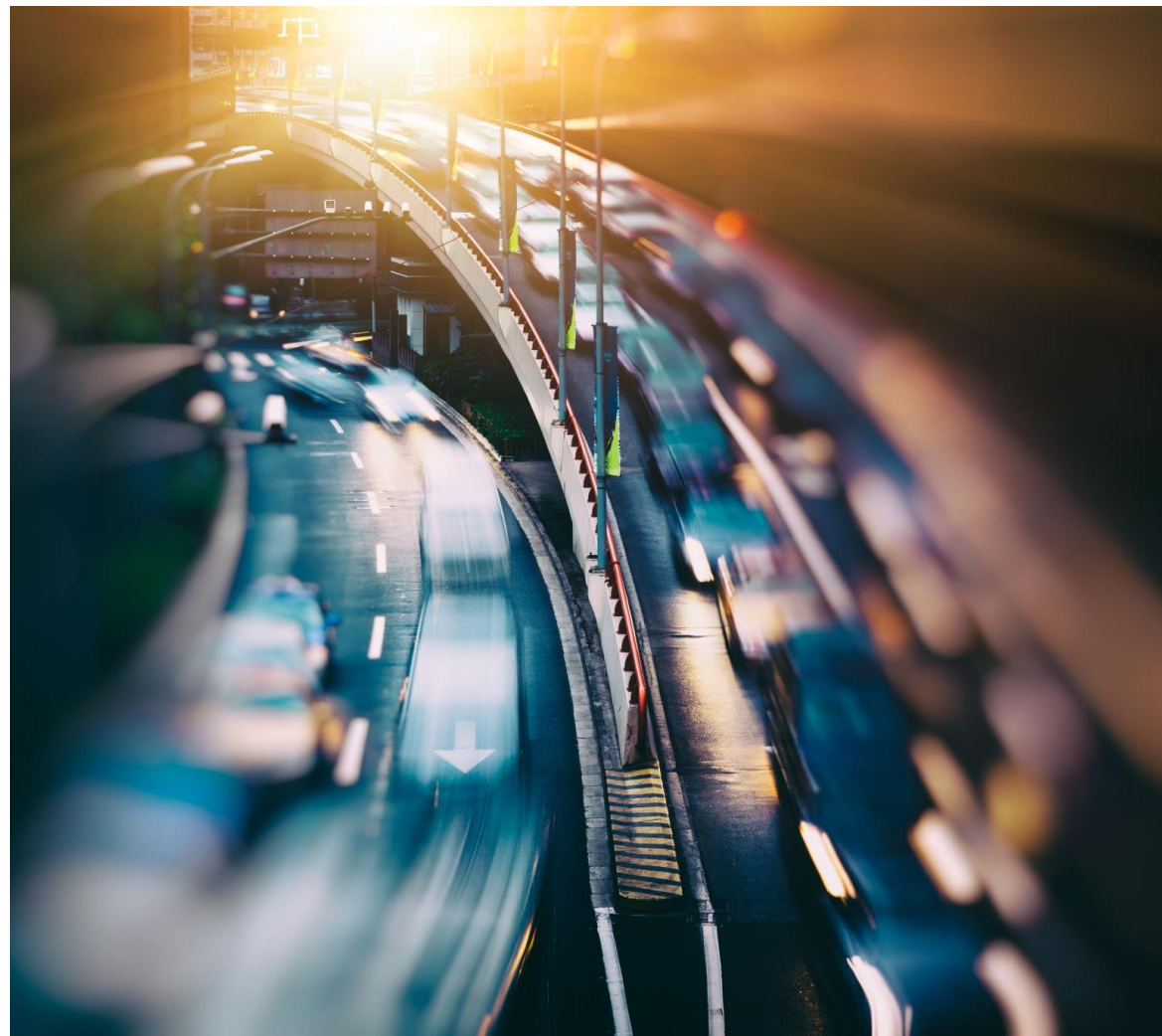
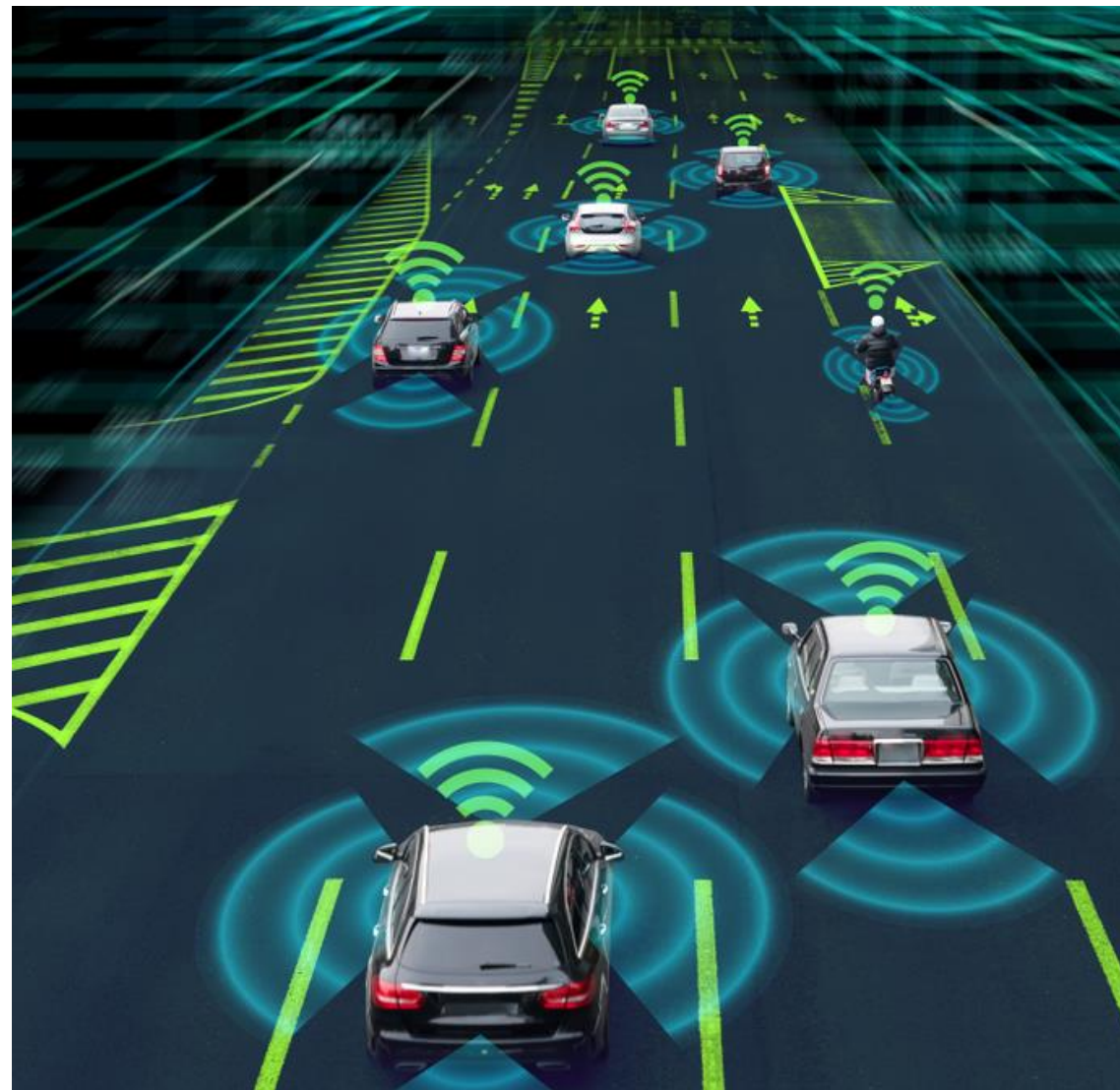


# Driving Simulation Platforms for Automated Vehicles



- Беспилотное вождение – задача на стыке областей робототехники, технического зрения, планирования движения и моделирования.
- Основная проблема: безопасное движение автономных транспортных средств в непредсказуемых условиях.



- Тестирование алгоритмов в виртуальном симуляторе – первая ступень тестирования систем беспилотного управления.
  - Возможно испытать средство в опасных сценариях или при сложных условиях
  - Тестирование может проходить быстрее, чем в условиях реального времени
  - Дешевле других типов тестирования
  - Невозможно симулировать все ситуации и условия
  - Симуляцию нельзя использовать для проверки конструкторских решений, работы сенсоров и взаимодействия системы автопилота с блоками управления автомобиля.

# CARLA

- Официальный сайт: <https://carla.org/>
- Разработчик: Intel Labs, Toyota Research Institute, Computer Vision Center

CARLA (Car Learning to Act) реализована на Unreal Engine 4 (UE4), обеспечивает качество рендеринга, реалистичную физику, базовую логику NPC.

CARLA симулирует динамический мир и обеспечивает простой интерфейс между миром и агентом. Для поддержки этой функциональности CARLA разработан как server-client system, в которой сервер запускает симуляцию и рендерит сцену. API Python клиента отвечает за взаимодействие между автономным агентом и сервером через сокеты. Клиент отправляет команды (управление авто) и мета-команды (управление сервером) на сервер и получает показания датчиков.

- Клиент - это модуль, который пользователь запускает для запроса информации или изменений в моделировании. Клиент работает с IP и конкретным портом. Он связывается с сервером через терминал. Одновременно может быть запущено много клиентов.
- Мир - это объект, представляющий симуляцию. Он действует как абстрактный слой, содержащий основные методы для создания актеров, изменения погоды, получения текущего состояния мира и т.д. Для каждой симуляции существует только один мир.
- Актер - это все, что играет роль в симуляции:
  - Транспортные средства.
  - Пешеходы.
  - Датчики.
  - Зритель.
  - Дорожные знаки и светофоры.
- Чертежи - это уже созданные макеты актеров, необходимые для его создания. В основном модели с анимацией и набором атрибутов. Некоторые из этих атрибутов могут быть настроены пользователем, другие - нет.
- Карта - это объект, представляющий смоделированный мир, в основном город.
  - Дороги, полосы и перекрестки управляются API Python с клиента.
  - Дорожные знаки и светофоры доступны как объекты, которые содержат информацию. Кроме того, симулятор автоматически генерирует остановки, уступы и светофоры при работе. У них есть ограничивающие рамки на дороге. Транспортные средства узнают о них, когда они попадают в ограничительную рамку.

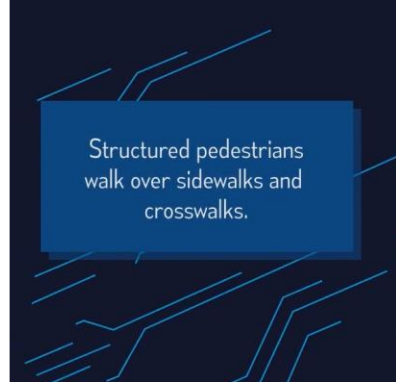
- Датчик - это субъект, прикрепленный к родительскому транспортному средству. Он следует за автомобилем, собирая информацию об окрестностях. Датчики ждут, когда произойдет какое-то событие, а затем собирают данные из моделирования. Требуются функции управления данными, данные зависят от типа датчика.
- Камеры (RGB, глубина и семантическая сегментация).
- Детектор столкновений.
- Датчик GNSS.
- Датчик IMU.
- LiDAR raycast.
- Детектор дороги.
- Детектор препятствий.
- Радар.
- RSS.





## EXTENDED SEMANTIC SEGMENTATION

More precise categorization for a better surroundings recognition.



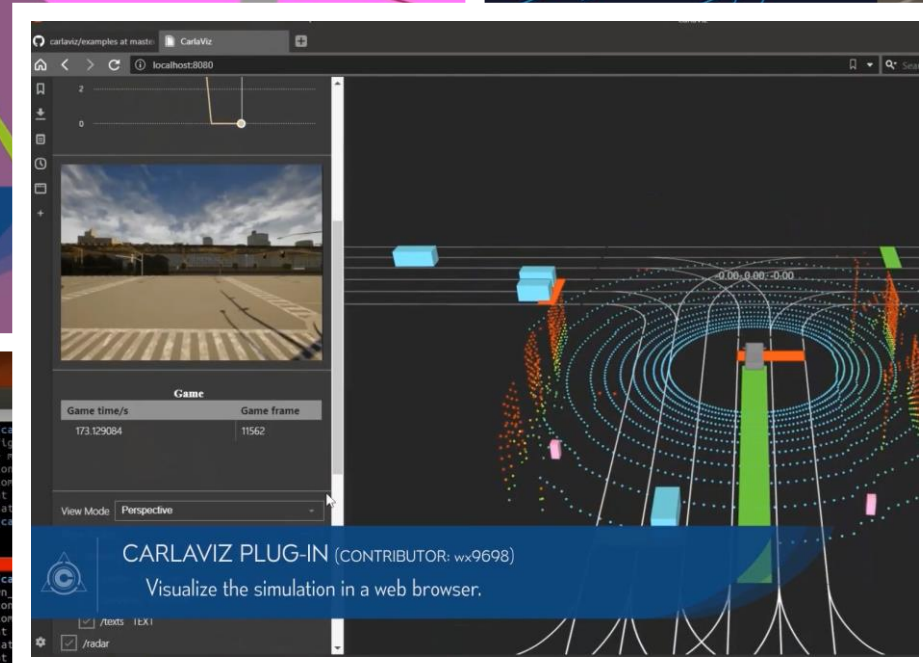
(B 4.0.X)

Structured routes.



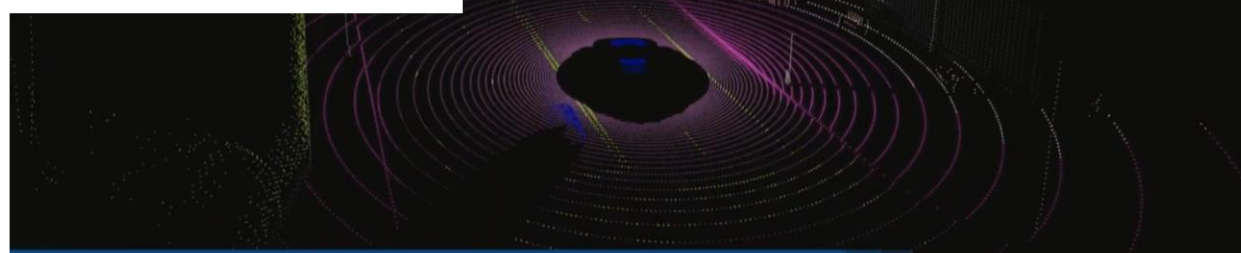
## OPENSTREETMAP INTEGRATION

3. Load the map in CARLA.



## CARLAVIZ PLUG-IN (CONTRIBUTOR: wx9698)

Visualize the simulation in a web browser.



## SEMANTIC LIDAR SENSOR

A new LIDAR sensor exposing more information per point.

- Масштабируемость: за счет серверной мультиклиентной архитектуры несколько клиентов в одном или разных узлах могут управлять разными участниками.
- CARLA предоставляет мощный API, который позволяет пользователям контролировать все аспекты, связанные с моделированием, включая создание трафика, поведение пешеходов, погоду, датчики и многое другое.
- Набор датчиков автономного вождения: пользователи могут настраивать различные наборы датчиков, включая лидары, несколько камер, датчики глубины и GPS.
- Режим быстрой симуляции – отключает рендеринг, чтобы предложить быстрое выполнение моделирования дорожного движения и поведения дороги, для которых графика не требуется.
- Пользователи могут легко создавать свои собственные карты в соответствии со стандартом OpenDrive с помощью таких инструментов, как RoadRunner .
- Интеграция ROS.

Спонсоры



**TOYOTA**  
RESEARCH INSTITUTE

**КРИТ**



**RESEARCH**  
& DEVELOPMENT



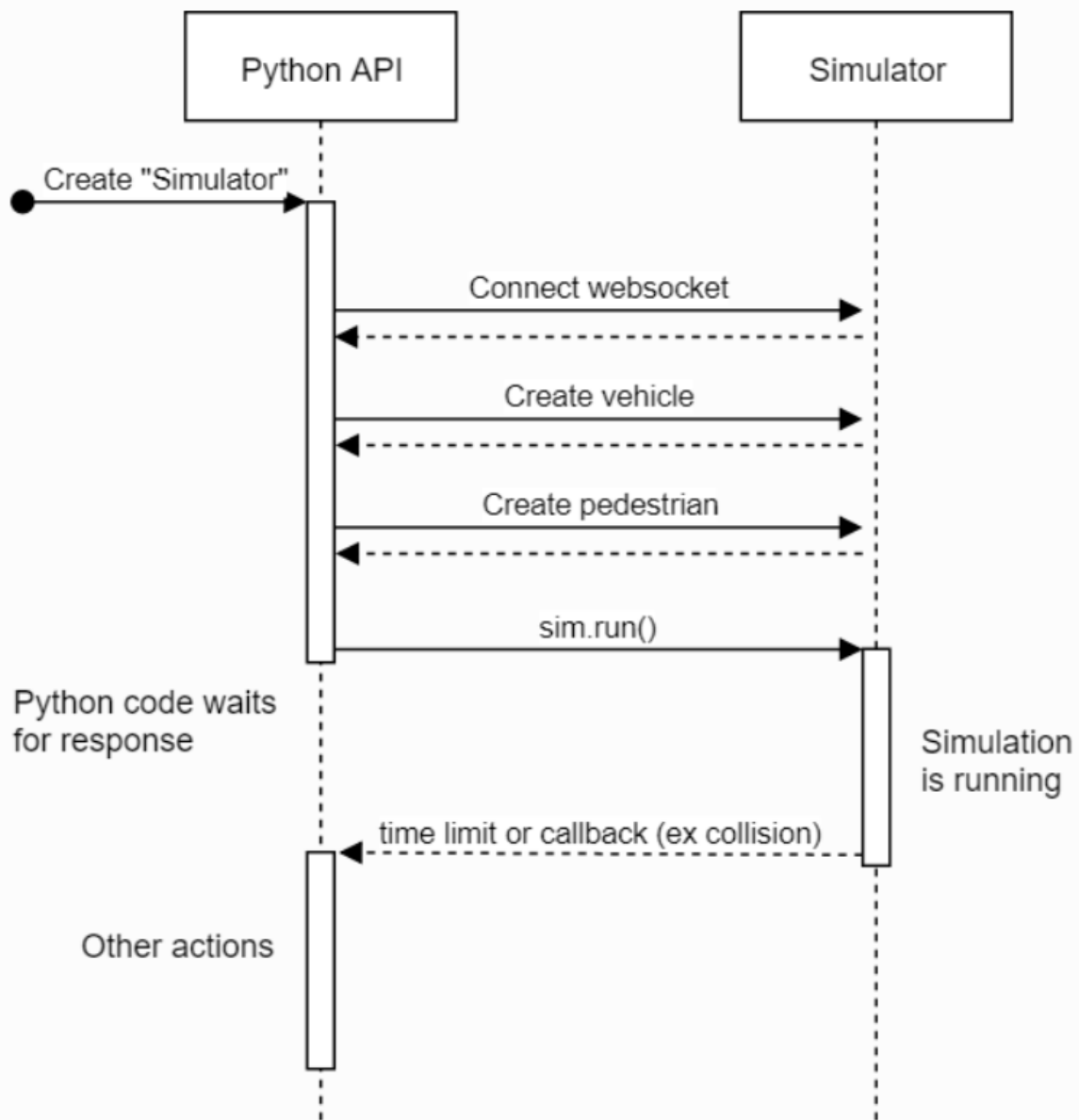
# LGSVL

- Официальный сайт: <https://www.lgsvlsimulator.com/>
- Разработчик: LG Electronics

Симулятор LGSVL был создан с помощью платформы разработки Unity в реальном времени (Unity Real-Time Development Platform) и ее конвейера рендеринга высокой четкости (HDRP или High-Definition Render Pipeline).

В настоящее время он имеет интеграцию с платформами:

- Tier IV Autoware
- Baidu Apollo 5.0 и Apollo 3.0
- ROS/ROS2



API Python предоставляет следующие основные типы:

- Simulator - основной объект для подключения к симулятору и создания других объектов.
- Agent - суперкласс транспортных средств и пешеходов.
  - EgoVehicle - автомобиль EGO с точным физическим моделированием и датчиками (контролируемый/пользовательский автомобиль).
  - NpcVehicle - транспортное средство NPC с упрощенной физикой, полезно для создания множества фоновых транспортных средств.
  - Pedestrian - пешеход, идущий по улице.

К автомобилям EGO прикреплены датчики:

- CameraSensor (датчик камеры),
- LidarSensor (LiDAR),
- ImuSensor (датчик IMU (инерциальный измерительный модуль)),
- GpsSensor,
- RadarSensor (радиолокационный датчик),
- CanBusSensor (датчик CAN-шины).

Возможен контроль карты местности, погоды, времени суток, управляемых объектов (например, светофоров). Данные классов можно настраивать.

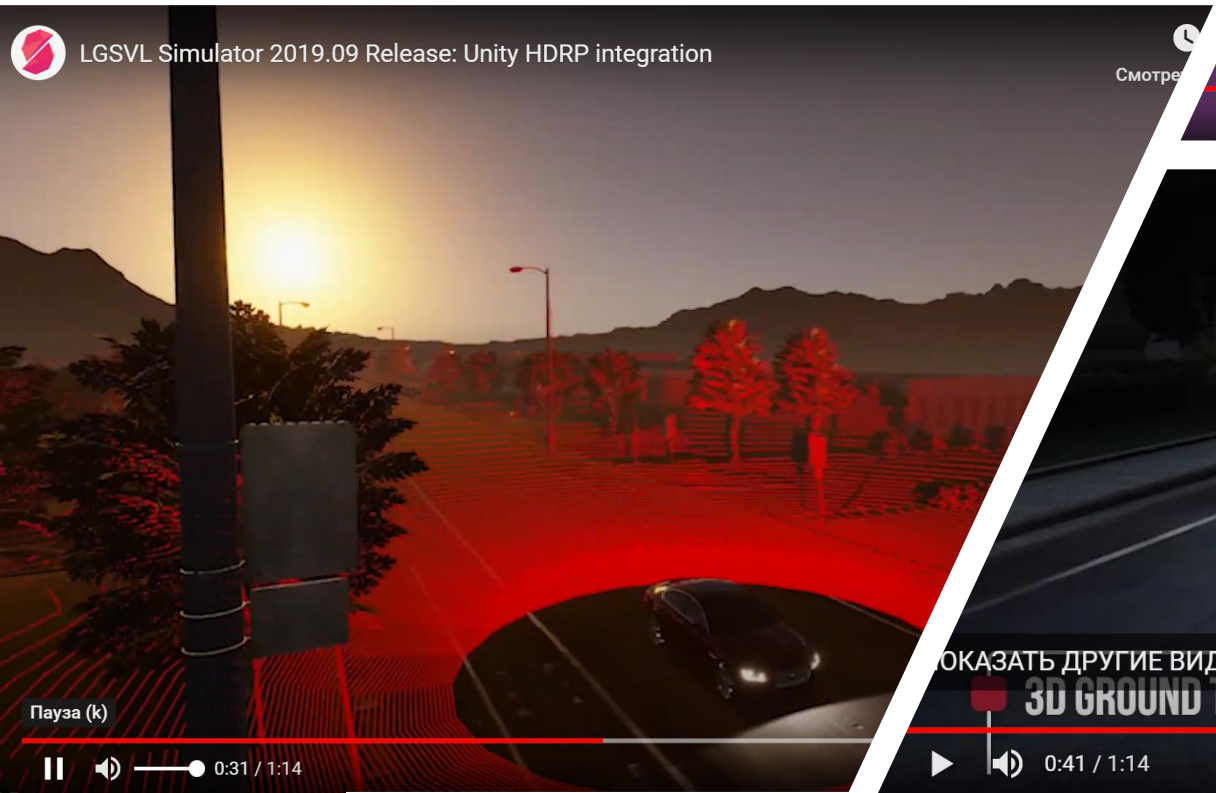
- Генерация и загрузка HD-карт
- Возможность визуализации датчиков в реальном времени (например, 128 лучевого LiDAR) и облака точек
- Реалистичные входные данные датчиков



ПОКАЗАТЬ ДРУГИЕ ВИДЕО  
Смотреть (k)

2019 Release: Unity HDRP integration

Смотреть позже Поделиться



Пауза (k)  
0:31 / 1:14

Смотреть

SEMANTIC AND DEPTH CAMERA

0:36 / 1:14

YouTube

ПОКАЗАТЬ ДРУГИЕ ВИДЕО  
3D GROUND TRUTH

0:41 / 1:14

YouTube



# Apollo

- Официальный сайт: <https://apollo.auto/index.html>
- Разработчик: Baidu

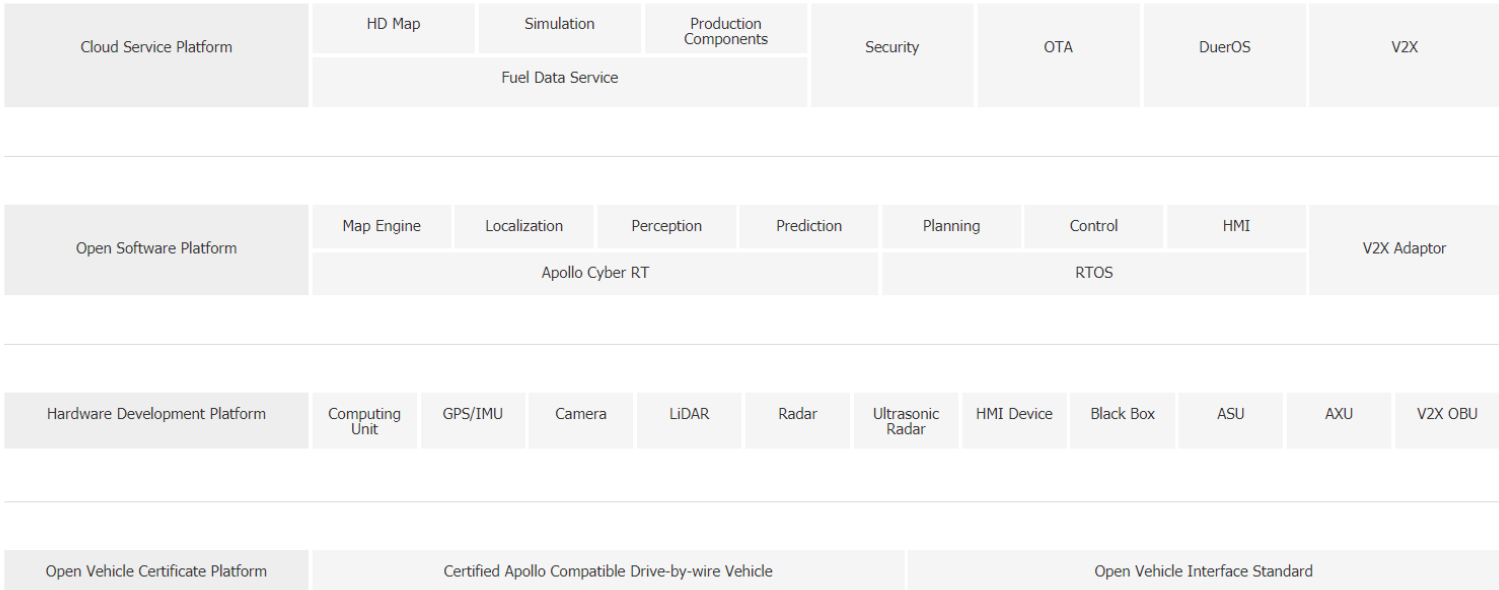
Apollo имеет ведущий картографический сервис HD, открытый автоматизированный движок моделирования вождения, End-to-end модель, сквозной алгоритм глубокого обучения.

Симулятор работает на Apollo Game Engine, разработанном с помощью Unity.

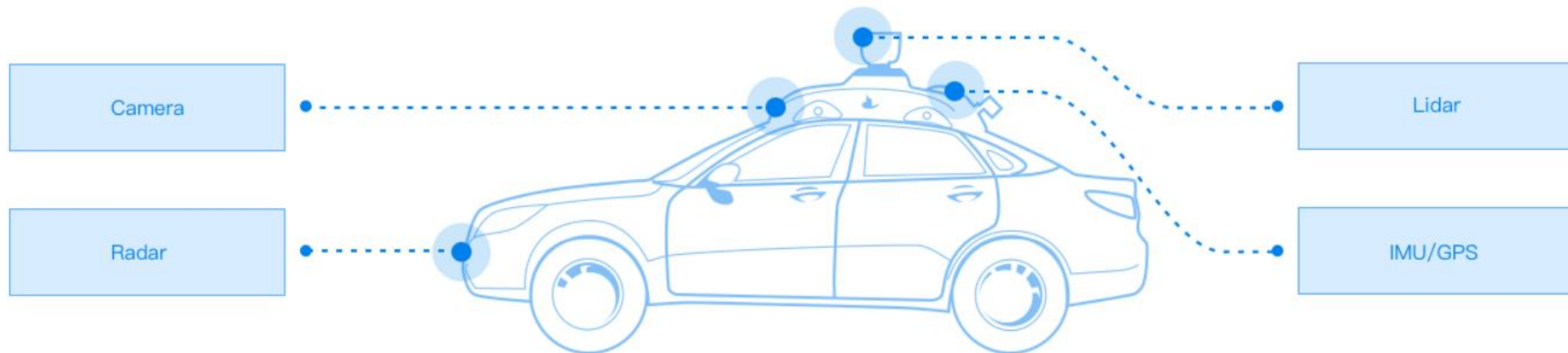
Основанный на DuerOS, Apollo обеспечивает: диалог между человеком и автомобилем, вход в систему по лицу, мониторинг усталости от вождения и т.д.

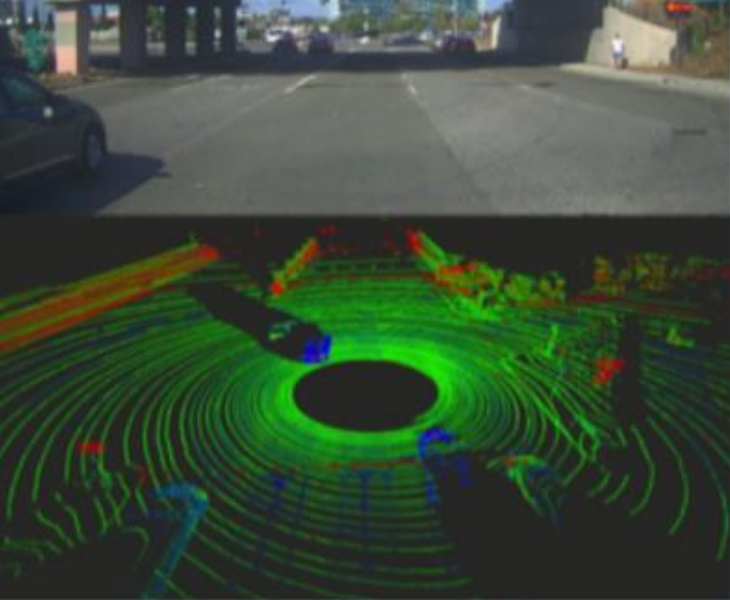
- HD-карты и локализация:
  - Baidu установила широкое применение глубокого обучения и ИИ технологий для создания карт и является одной из немногих китайских фирм, способных производить HD картографические данные в крупном масштабе.
  - Система локализации представляет собой комплексное решение для позиционирования с точностью до сантиметра на основе GPS, IMU, карта HD и различных датчиков.
- Платформа открытых данных: Apollo сформировал полноценную открытую экосистему «vehicle and cloud».
- Предоставляет собственный выбор транспорта и оборудования, систему 4S - сканирование, защита, просмотр и сохранение.

**Apollo Open Platform**



- Модуль восприятия включает в себя возможность обнаружения и распознавания препятствий и светофоров. При вводе точек LiDAR и данных RADAR:
  - submodule препятствий обнаруживает, сегментирует, классифицирует и отслеживает препятствия в области интереса, которая определяется картой высокого разрешения (HD), также прогнозирует движение препятствия и информацию о местоположении (например, курс и скорость).
  - submodule светофора обнаруживает светофор и распознает их статус на изображениях.

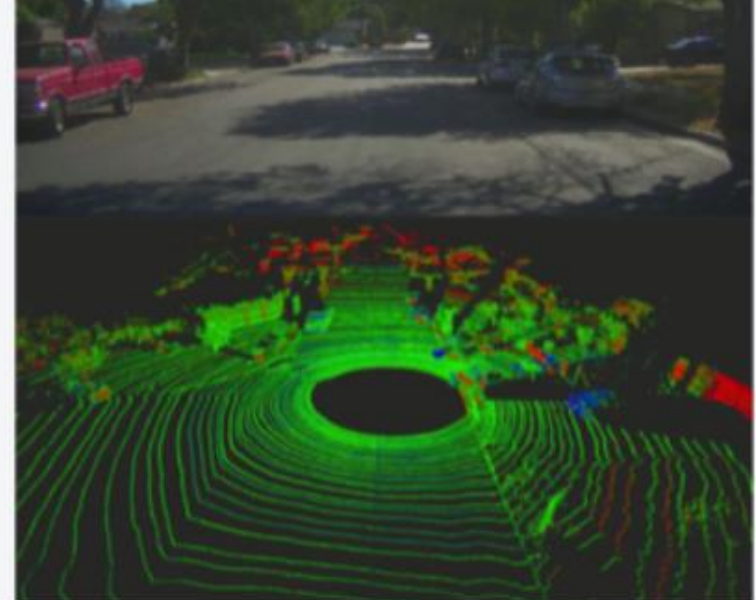




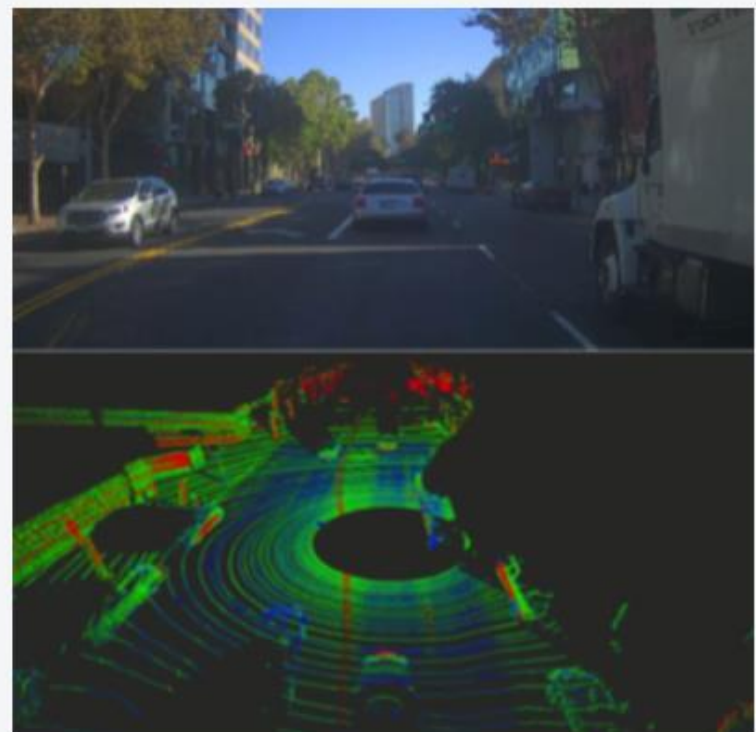
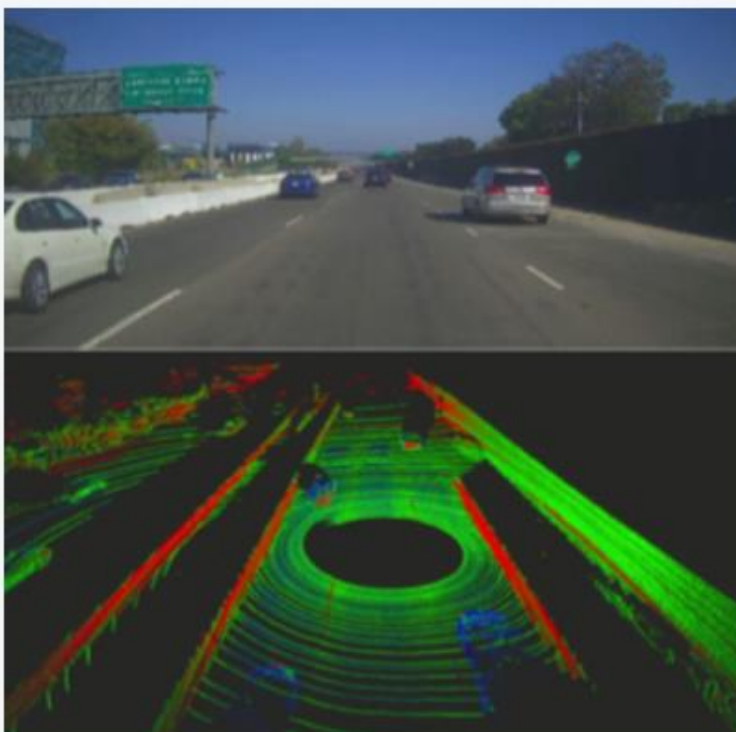
Мост



Эстакада



Обсаженная деревьями дорога





DAIMLER



HONDA



LIFAN

LOVOL



TOYOTA



# NVIDIA DRIVE

- Официальный сайт: <https://www.nvidia.com/ru-ru/self-driving-cars/drive-constellation/>
- Разработчик: NVIDIA Corporation

NVIDIA DRIVE Constellation™ - это облачная платформа симулятора виртуальной реальности, предназначенная для поддержки, разработки и проверки автономных транспортных средств.

Платформа представляет собой решение для центра обработки данных, состоящее из двух серверов:

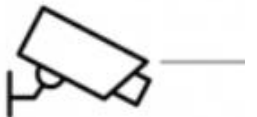
- 1) DRIVE Constellation Simulator использует графические процессоры NVIDIA с программным обеспечением DRIVE Sim для симуляции виртуального мира. Симулятор генерирует выходной сигнал датчика виртуального автомобиля, движущегося в виртуальном мире.
- 2) DRIVE Constellation Vehicle содержит автомобильный компьютер DRIVE AGX Pegasus AI, на котором запущен полный стек программного обеспечения AV для обработки смоделированных данных датчиков.

Решения от DRIVE Constellation Vehicle передаются обратно в DRIVE Constellation Simulator, что позволяет проводить тестирование аппаратного обеспечения с точностью до бита.

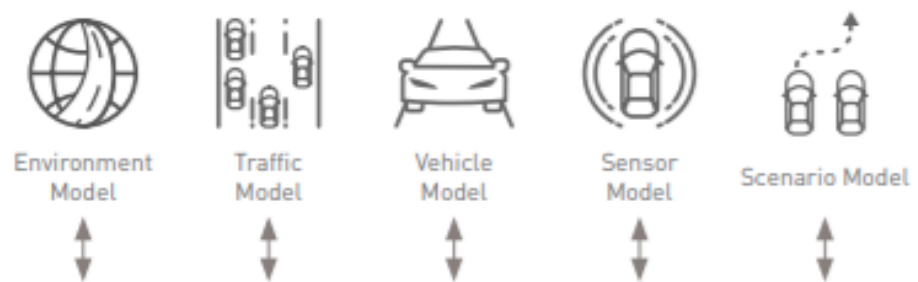
- Первый сервер:
  - Оснащен восемью графическими процессорами с архитектурой NVIDIA RTX Turing. Он позволяет DRIVE Sim генерировать данные об окружении и с датчиков.
  - Приложение DRIVE Sim создано на основе платформы NVIDIA Omniverse, которая обеспечивает основные механизмы моделирования и рендеринга. В свою очередь, симуляция в Omniverse осуществляется с помощью набора технологий NVIDIA, одним из которых является NVIDIA PhysX.
- Платформа DRIVE Constellation обеспечивает вычислительную мощность, необходимую для передачи синхронизированных данных датчиков в реальном времени.
- Второй сервер обрабатывает смоделированные данные, как будто поступающие с датчиков едущей по дороге машины.



Radar, Lidar  
IMU/GPS, CAN



Cameras

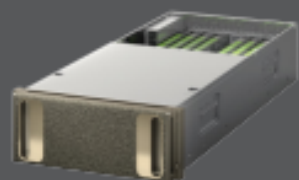


DRIVE Sim Core API

DRIVE Sim

Linux OS

DRIVE Constellation Simulator



AV Software Stack

Target AI ECU

DRIVE Constellation Computer



- Система может отличить полицейский автомобиль от такси, машину скорой помощи от автофургона, припаркованный автомобиль - от того, который через мгновение собирается выехать на полосу движения. На этом ее возможности не ограничиваются: она может идентифицировать все, начиная от движущихся по тротуару велосипедистов и заканчивая невнимательными пешеходами.



## Партнеры в автомобильной индустрии

Audi

Mercedes-Benz

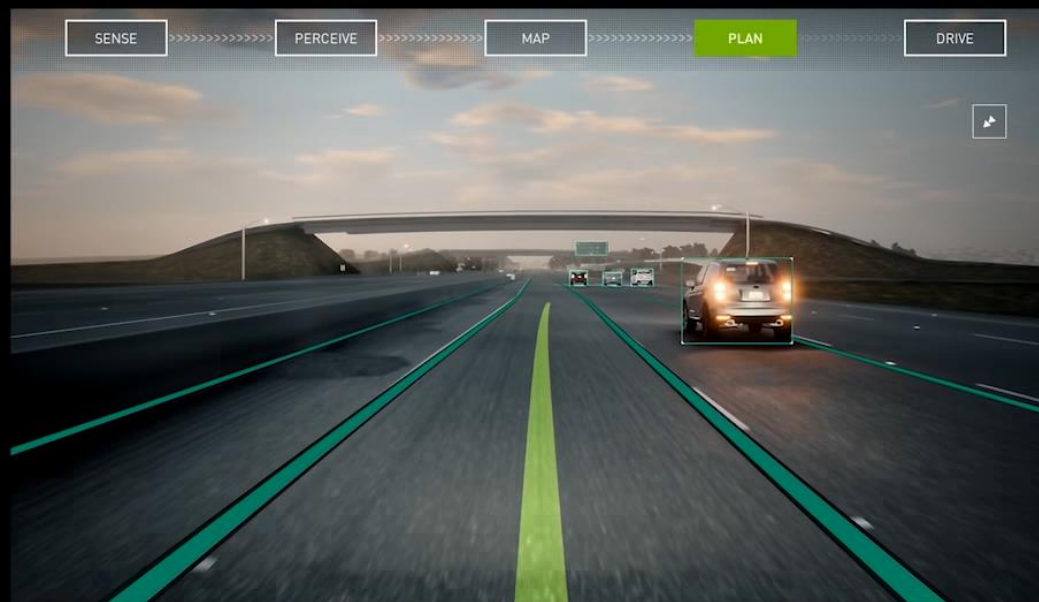
Toyota

Volvo

VW



DRIVE Sim creates the virtual world



DRIVE Constellation runs hardware-in-the-loop simulation



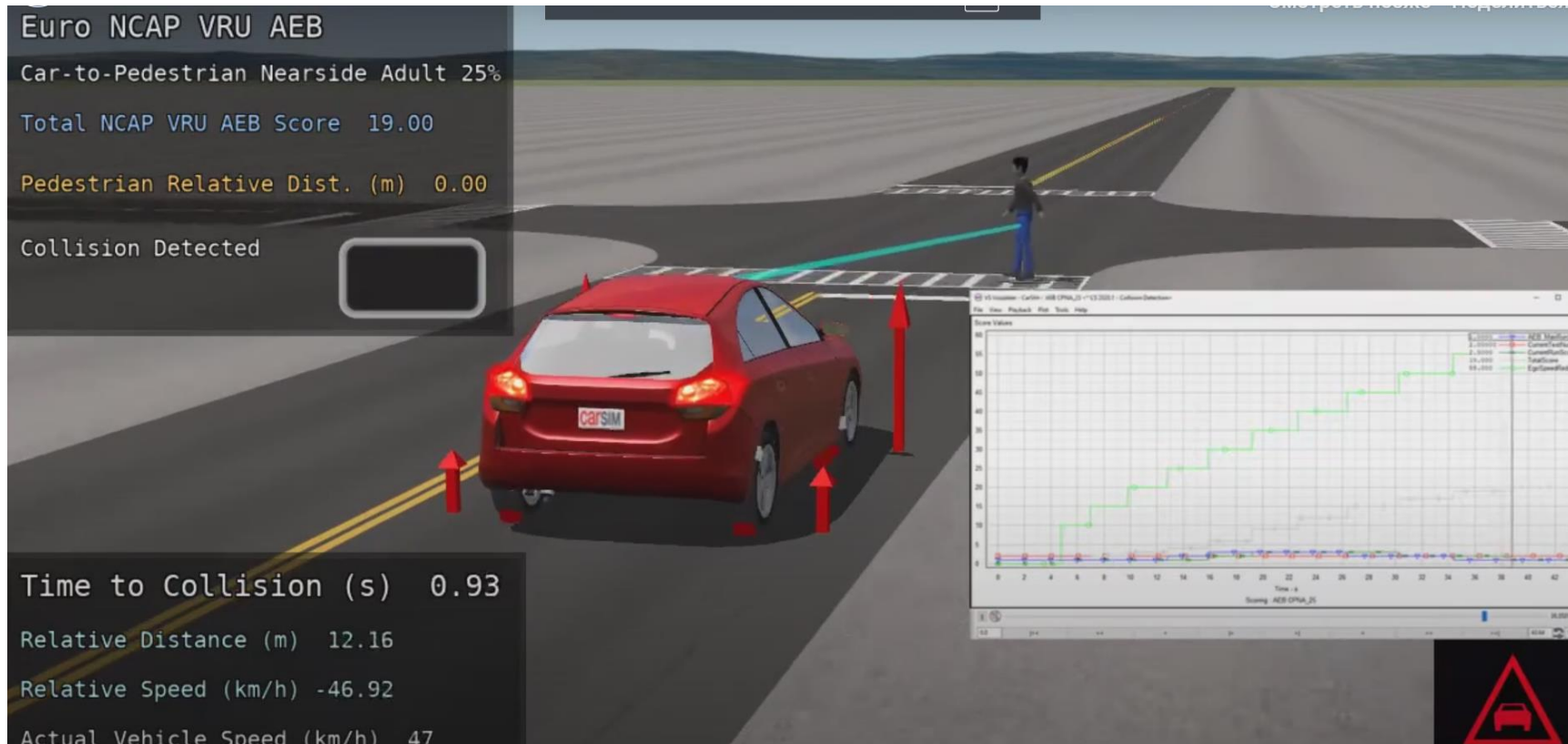
# CarSim

- Официальный сайт: <https://www.carsim.com/>
- Разработчик: Mechanical Simulation Corporation

CarSim предоставляет точный, подробный и эффективный метод моделирования характеристик легковых автомобилей и легких грузовиков. Он прошел двадцать лет реальной проверки и является универсальным и предпочтительным для анализа динамики транспортных средств, разработки активных контроллеров, расчета рабочих характеристик автомобиля и разработки систем активной безопасности нового поколения.

Создан на основе Unreal Engine.

- CarSim работает как автономное приложение; не требует никакого другого программного обеспечения для проведения моделирования и имеет стандартный интерфейс к MATLAB/Simulink, NI LabVIEW и FMI/FMU. Это позволяет пользователям создавать сложные сценарии и тестировать последовательности событий.



Возможности CarSim включают:

- Модульное определение транспортного средства: автомобильные подсистемы описаны параметрами и таблицами, которые могут быть получены из опубликованных данных и испытательных стендов. Модульный подход CarSim к проектированию, основанный на параметрах, позволяет изменять параметры и запускать моделирование в любое время.
- Показатели производительности автомобиля: CarSim предоставляет модели драйверов с разомкнутым и замкнутым циклом с точными функциями, чтобы помочь инженерам быстро обнаружить предельные возможности автомобиля или его оптимальный путь посредством сложного маневра.
- Интеграция технологий с помощью стандартных инструментов проектирования: Mechanical Simulation предоставляет унифицированные интерфейсы для других стандартных инструментов моделирования и проектирования, таких как Simulink и LabVIEW. Опытные пользователи могут разрабатывать автономные технологии с использованием Visual Studio и CarSim API.
- Команды VS: этот мощный язык сценариев предоставляет инструменты для автоматического управления тестовыми запусками, расширения модели транспортного средства, управления сложными маневрами вождения и вспомогательными датчиками модели.
- Высококачественные модели транспортных средств: CarSim включает подробные математические модели для всех комбинаций транспортных средств с независимой жесткой осью и подвеской с поворотной балкой. Дополнительные функции в математических моделях добавляют степени свободы для управления одно- и двухосными прицепами, гибкие рамы шасси и гибкие крепления трансмиссии.

- CarSim, TruckSim и BikeSim используются во всем мире более чем 110 производителями и поставщиками, а также более чем 200 университетами и правительственными исследовательскими лабораториями.
- CarSim широко используется 7 из 10 крупнейших автопроизводителей. Пользователи находят близкое соответствие между прогнозами CarSim и результатами испытаний.





# rFpro

- Официальный сайт: <http://www.rfpro.com/>

rFpro берёт начало от «rFactor Pro» в 2007 году, проекта в команде Формулы 1.

rFpro предоставляет программное обеспечение для моделирования вождения и для разработки и тестирования автономных транспортных средств, ADAS и динамики автомобиля.

В симуляторе используются технологии ISIMotor, в том числе графический движок gMotor.

Уникальная особенность rFpro по сравнению с традиционными симуляторами вождения заключается в том, что он позволяет использовать симуляцию вождения для проверки динамики дорожных транспортных средств.

- rFpro предоставляет как библиотеку наборов блоков Simulink®, так и API для клиентов, чтобы они могли писать свои собственные функциональные блоки для связи между их моделью Simulink и внешними приложениями rFpro (например, «человек-в-конуре» rFpro PHYSICS, модели датчиков Simulink и алгоритмы обнаружения внутри rFpro).
- Набор блоков Simulink обеспечивает полный контроль над условиями окружающей среды, атмосферы, погоды и освещения, так что тесты и глубокое обучение могут охватывать выполнение DOE (моделирование экспериментов) в нескольких вариациях и комбинациях условий, влияющих на камеры, датчики камеры и алгоритмы.
- Клиенты могут использовать rFpro для связи с удаленными моделями Simulink, подключившись к удаленному набору блоков. Эти наборы блоков были разработаны для работы как с MATLAB®, так и Simulink, а также с платформами реального времени, на которых модели Simulink компилируются для запуска (например, dSPACE, Speedgoat, Concurrent).



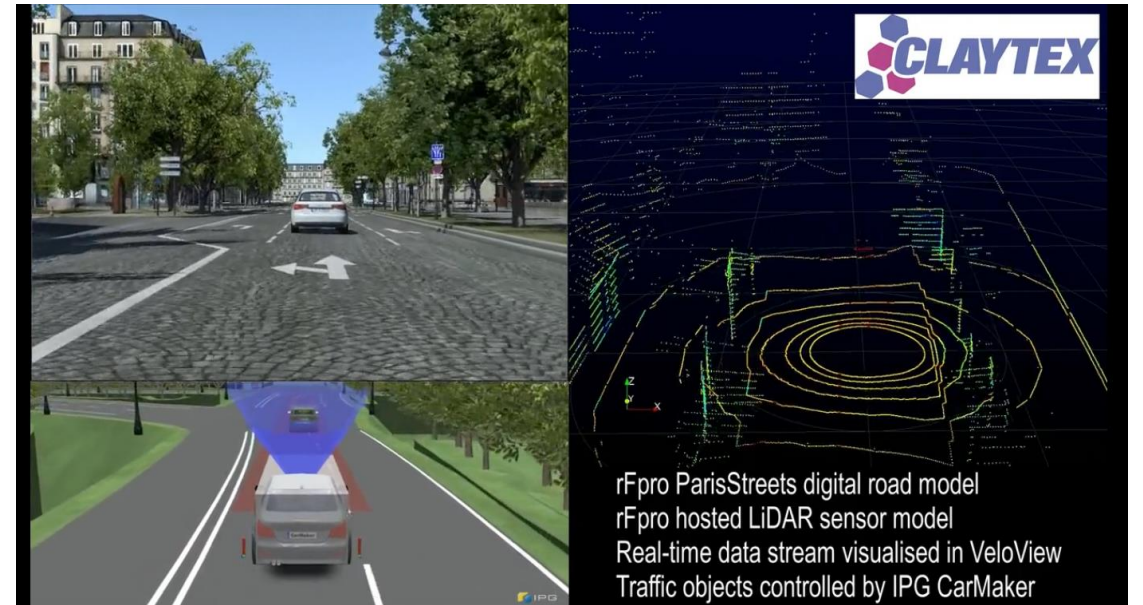
Симуляция осуществляется последовательно:

- 1) Первый шаг – симуляция мира в соответствии с законами физики. Объекты в цифровых двойниках rFpro сделаны из материалов, которые подчиняются законам физики. Атмосфера также моделируется физически, что позволяет проводить эксперименты в разное время дня и в разных погодных условиях. Такая симуляция может коррелировать с реальным миром.
- 2) Второй шаг - это симуляция взаимодействия транспортных средств с миром с помощью датчиков и динамики транспортного средства.
  - rFpro используется для тестирования и калибровки пассивных конструкций шасси, систем рулевого управления, систем управления шасси, моделей ADAS и автоматизированных датчиков, алгоритмов и систем управления, систем управления трансмиссией, контроля тяги, контроля устойчивости, вектора крутящего момента и систем управления двигателем.
  - rFpro моделирует также физику дорожного покрытия. Мелкая сетка 1x1 см охватывает поверхность и даёт возможность обучить ИИ двигаться по пути, избегая неровностей и выбоин, как люди.
  - rFpro также моделирует взаимодействие транспортных средств с реальным миром через свои датчики, камеры и LiDAR.
- 3) Третий шаг – масштабирование.
  - rFpro также может масштабировать каждый эксперимент для нескольких процессоров и нескольких графических процессоров, чтобы соответствовать сложности реального теста транспортного средства с его несколькими камерами и датчиками LiDAR. Используется метод Data Farming - такой подход позволяет воссоздавать сложные сценарии тестирования с использованием одного ПК, делая доступными высококачественные обучающие данные там, где раньше это было непозволительно по времени или по затратам.

- Команда водителей-испытателей может присоединиться к моделированию AV или ADAS. Люди случайны и непредсказуемы и поэтому ценны как для обучения, так и для тестирования систем. rFpro позволяет людям присоединяться к экспериментам без риска травм или смерти. В одном виртуальном мире могут одновременно участвовать до 50 симуляторов.







rFpro is being  
used by 50+ OEMs,  
T1s and AI vendors  
for driving simulation





# И другие:

- Autoware
- Cognata
- Cesium
- Metamoto
- ANSYS VRxperience
- CARcraft
- ...