



Руководство пользователя



Моделирование датчиков систем помощи водителю с помощью модулей UM Sensors и UM Video Flow

Рассмотрены возможности программного комплекса "Универсальный механизм" по моделированию датчиков в системах помощи водителю (ADAS) и экспорту видеоданных.

Оглавление

32. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДАТЧИКОВ СИСТЕМ ПОМОЩИ ВОДИТЕЛЮ	1-3
32.1. ПРИМЕРЫ	1-4
32.1.1. Примеры с лучевыми датчиками и радиомаяками	1-4
32.1.2. Примеры с камерами и экспортом видеопотока	1-5
32.2. ДАТЧИК GPS.....	1-9
32.2.1. Основные понятия и определения	1-9
32.2.2. Геодезическая система координат.....	1-10
32.2.3. Горизонтальная топоцентрическая система координат.....	1-11
32.2.4. Положение глобальной системы координат UM в геодезической системе координат	1-11
32.2.5. Настройка параметров датчика GPS	1-13
32.3. ЛУЧЕВЫЕ ДАТЧИКИ	1-14
32.3.1. Математическая модель лучевого датчика	1-14
32.3.2. Настройка параметров лучевого датчика	1-15
32.4. РАДИОМАЯКИ	1-18
32.5. РАССТОЯНИЕ, АЗИМУТ И ВОЗВЫШЕНИЕ	1-21
32.6. МОНИТОР ЛУЧЕВЫХ ДАТЧИКОВ И РАДИОМАЯКОВ	1-22
32.7. КАМЕРА.....	1-23
32.7.1. Настройка камеры.....	1-23
32.7.2. Использование монитора камер	1-27
32.7.3. Организация приема видеопотока	1-28
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	1-32

1. Моделирование датчиков систем помощи водителю

Системы помощи водителю (**ADAS** – [Advanced Driver-Assistance Systems](#)) – это набор технических устройств (датчиков, бортовых компьютеров) и алгоритмов, которые помогают водителю в быстром принятии решений для безопасного и легкого управления транспортным средством. Такие системы могут идентифицировать и различать объекты (пешеход, автомобиль, полоса разметки, дорожный знак, перекрёсток и др.) и предупреждать водителя при быстром сближении с пешеходом, автомобилем, при пересечении полосы разметки и о возможности возникновения других опасных ситуаций на дороге. Эффективное выполнение системой этих функций во многом зависит от свойств используемых датчиков (сенсоров).

В модуле UM SENSORS реализовано моделирование следующих типов датчиков:

- датчик GPS;
- лучевой датчик;
- радиомаяк;
- камера.

1.1. Примеры

Конфигурации с предустановленными датчиками описаны для модели [{Данные УМ}\SAMPLES\Automotive\TruckTrailer](#). Эти две конфигурации с датчиками используют сцены, разработанные с помощью модуля **UM Scene**. Для корректной загрузки сцен необходимо установить **базу стандартных 3D моделей**. Эта база не входит в инсталляцию Универсального механизма и должна быть скачана и установлена дополнительно, <http://www.universalmechanism.com/download/umscenecollection.exe>.

1.1.1. Примеры с лучевыми датчиками и радиомаяками

1. Загрузите модель [{Данные УМ}\SAMPLES\Automotive\TruckTrailer](#).
2. Загрузите нужную конфигурацию с помощью пункта меню **Файл | Загрузить конфигурацию**, см. рис. 1.1. В модели описано две конфигурации: [**Industrial zone Trajectory 1 + Ray sensor**] и [**Industrial zone Trajectory 1 + Beacon**]. Первая – с лучевыми датчиками, вторая – с радиомаяками. Общий вид главного окна после загрузки конфигурации [**Industrial zone Trajectory 1 + Ray sensor**] показан на рис. 1.2.
3. Запустите моделирование и вы увидите обнаруженные объекты в мониторе датчиков.

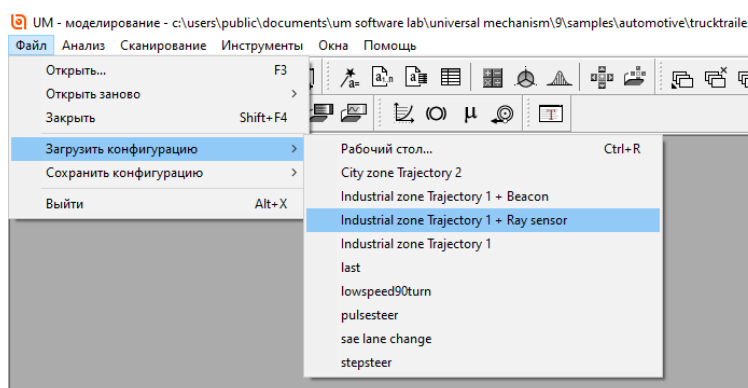


Рис. 1.1. Загрузка конфигурации

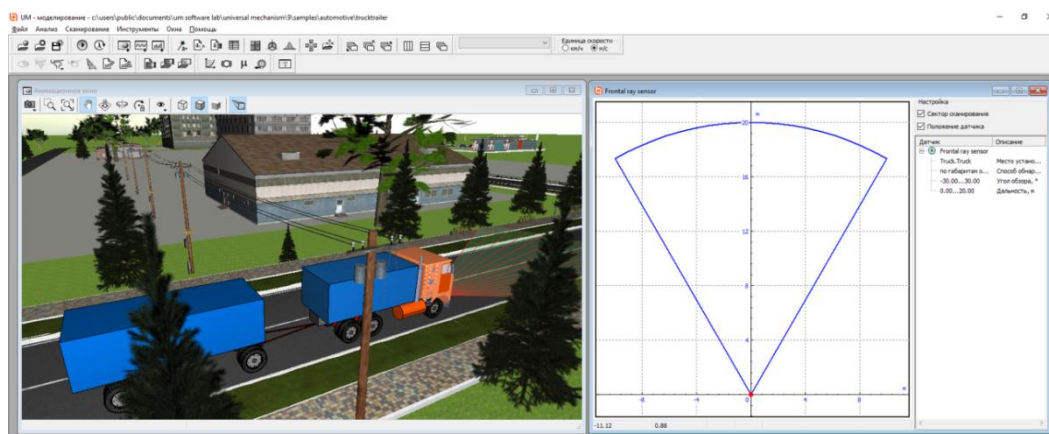


Рис. 1.2. Общий вид главного окна после загрузки конфигурации [**Industrial zone Trajectory 1 + Ray sensor**]

1.1.2. Примеры с камерами и экспортом видеопотока

Пример 1

1. Загрузите модель [{Данные УМ}\SAMPLES\Automotive\TruckTrailer](#).
2. Загрузите нужную конфигурацию [**Industrial zone Trajectory 1 + Camera**] с помощью пункта меню **Файл | Загрузить конфигурацию**, см. рис. 1.3. В этой конфигурации модель тягача оснащена камерой, установленной сверху на лобовом стекле и направленной вперёд. Общий вид главного окна после загрузки конфигурации показан на рис. 1.4.
3. Запустите моделирование. В окне монитора камеры вы увидите изображение с этой камеры.

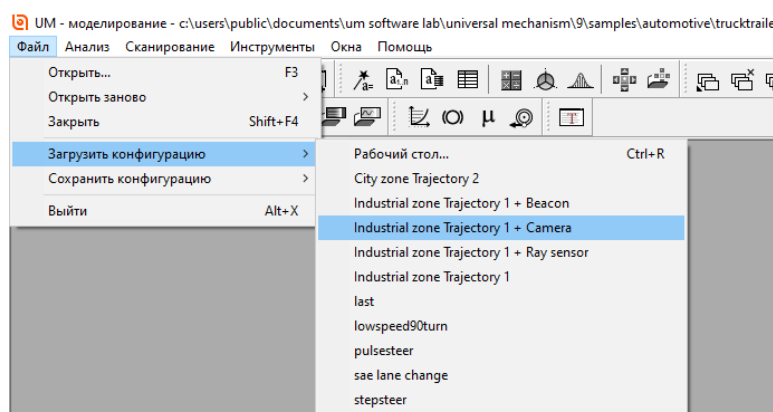


Рис. 1.3. Загрузка конфигурации

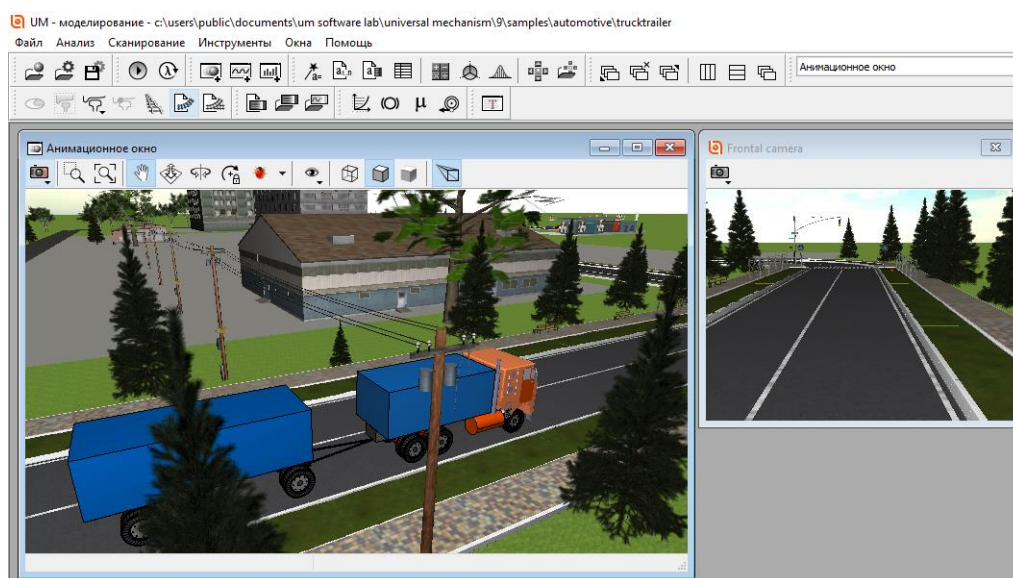


Рис. 1.4. Общий вид главного окна после загрузки конфигурации [**Industrial zone Trajectory 1 + Camera**]

4. Далее рассмотрим действия, необходимые для экспорта видеопотока в Matlab. Запустите Matlab. Откройте файл [{UM Data}\Video Flow\UMVideoFlowTestReceiver.m](#) и запустите его выполнение с помощью кнопки **Панель инструментов | EDITOR** |

- Run** или клавиши **F5**. Программный код, реализованный в файле **UMVideoFlowTestReceiver.m** перейдет в режим ожидания данных от внешнего источника по протоколу TCP/IP.
5. Переключитесь в Универсальный Механизм. Откройте диалог настройки датчиков с помощью пункта главного меню **Инструменты | Датчики**. Дважды щелкните левой кнопкой мыши на строке с описанием камеры, см. рис. 1.5. Откроется окно **Настройка камеры**, см. рис. 1.6..

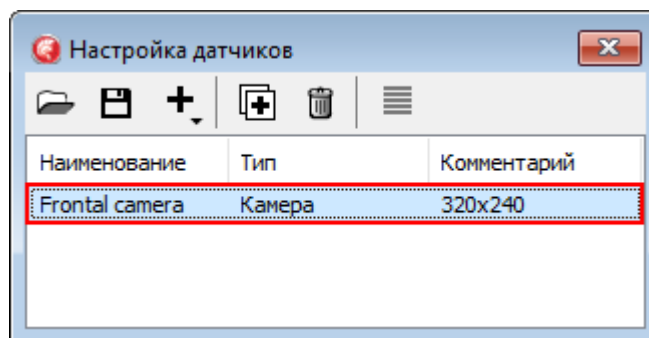


Рис. 1.5. Диалог настройки датчиков

6. В окне **Настройка камеры** перейдите на вкладку **Экспорт видео**, поставьте флажок в поле **Экспортировать видео**, нажмите кнопку **Подключиться**, а затем **ОК**, см. рис. 1.6

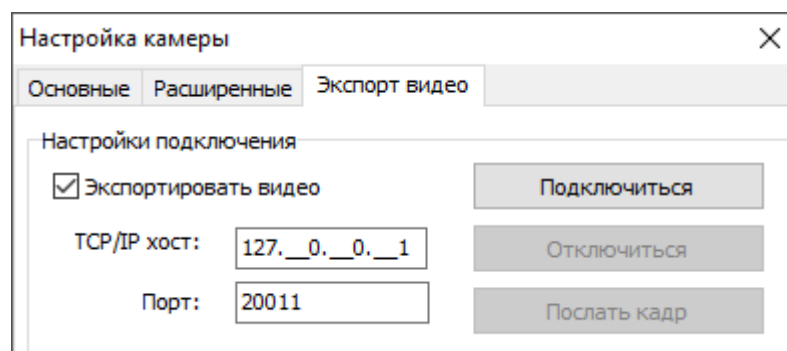


Рис. 1.6. Диалог настройки экспорта видеопотока

В командном окне Matlab будут выведены параметры подключения и камеры:

```
Connected via TCP/IP {Date} {Time}, Host: 127.0.0.1, Port: 20011
```

```
Camera data:
```

```
Focal length: 7.5 mm  
Sensor size: 6.4 x 4.8 mm  
Image type: 8-bit color RGB  
Image resolution: 320 x 240  
FoV: 46.2 x 35.5 deg  
FPS: 25
```

7. Запустите процесс моделирования в Универсальном Механизме при помощи пункта меню **Анализ | Моделирование**, а затем кнопка **Интегрирование**. Matlab начнет

прием видеок кадров с выбранной камеры. Дождитесь завершения процесса моделирования. Вместе с ним будет остановлена передача видеок кадров и выполнено отключение приемника.

Пример 2

1. Загрузите модель [{Данные УМ}\SAMPLES\Automotive\Audi A3](#).
2. Загрузите конфигурацию [Road signs and marking recognition with camera] с помощью пункта меню **Файл | Загрузить конфигурацию**. В этой конфигурации модель автомобиля оснащена камерой, установленной сверху на лобовом стекле и направленной вперёд. Скорость движения автомобиля (60 км/ч) и дорожное покрытие (мостовая с характерными неровностями) создают для работы камеры условия, приближенные к реальным.
3. Попробуйте изменить параметры камеры. Откройте диалог настройки датчиков из главного меню **Инструменты | Датчики**. В окне **Настройка датчиков** дважды щелкните левой кнопкой мыши на строке с описанием камеры, см. рис. 1.7, п. 1. В появившемся диалоге настройки камеры перейдите на вкладку **Расширенные** и измените параметры камеры, например, как показано на рис. 1.7. Нажмите **ОК**.

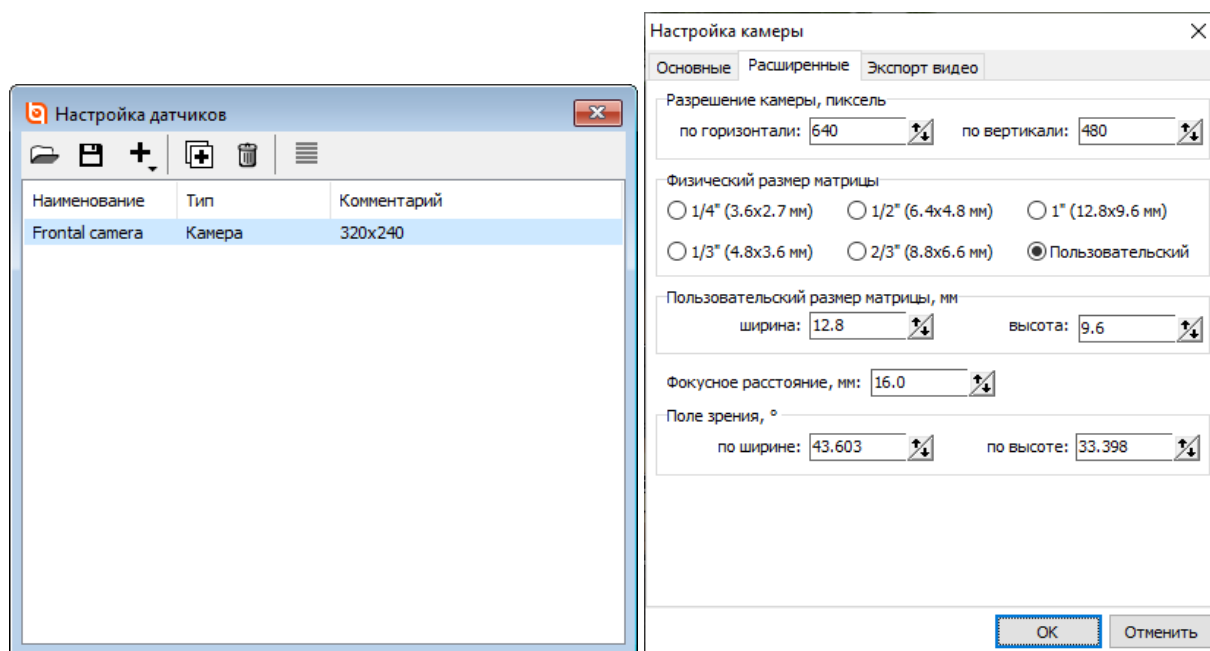


Рис. 1.7. Диалог настройки расширенных параметров камеры

4. Переключитесь в Matlab и запустите на выполнение файл **UMVideoFlowTestReceiver.m**.
5. Вернитесь в Универсальный Механизм. Перейдите на вкладку **Настройка камеры | Экспорт видео**, поставьте флажок **Экспортировать видео**, если он не поставлен и нажмите кнопку **Подключиться**. Затем нажмите кнопку **Послать кадр**.

На экране появится окно Matlab с изображением, полученным с камеры, см. рис. 1.8. После этого Универсальный Механизм выполнит отключение от программы-приемника, а программа приемник завершит свою работу. Если приём изображения прошел успешно,

размер изображения в целом и объектов, попавших в кадр, соответствуют вашим ожиданиям, можно переходить к отправке видеопоследовательности, как описано выше в Примере 1.

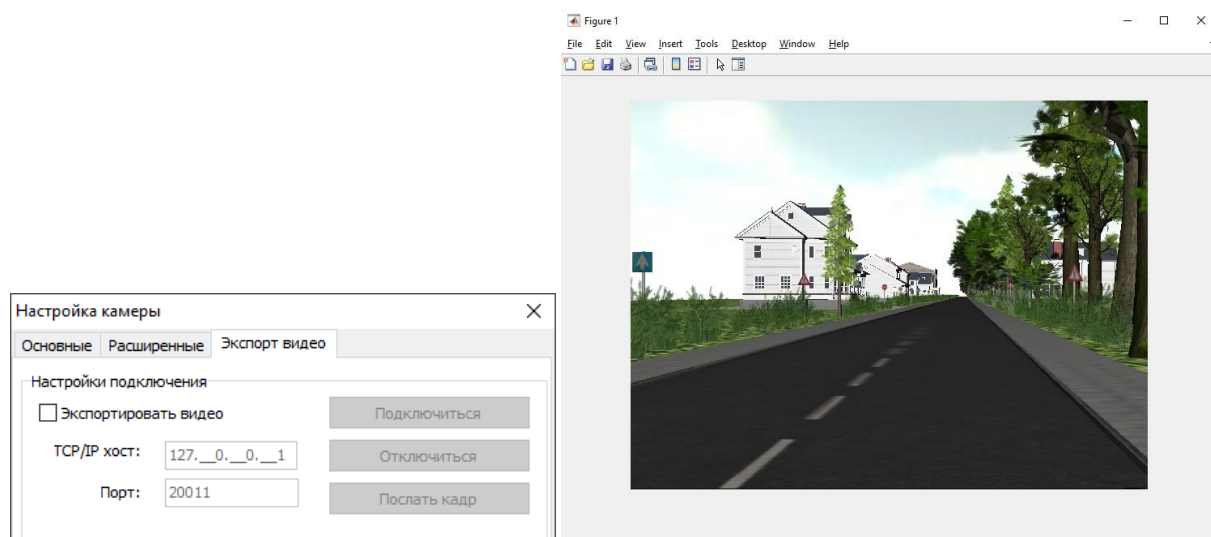


Рис. 1.8. Отправка и прием одного кадра

Работа с камерой и видеопотоком описана в п. 1.7 "Камера", стр. 1-23 настоящего руководства более подробно.

1.2. Датчик GPS

1.2.1. Основные понятия и определения

GPS (Global Position System) – глобальная система местоопределения [1] (часто ошибочно называется "Глобальной системой позиционирования" [2]). Её подсистемы показаны на рис. 1.9¹.

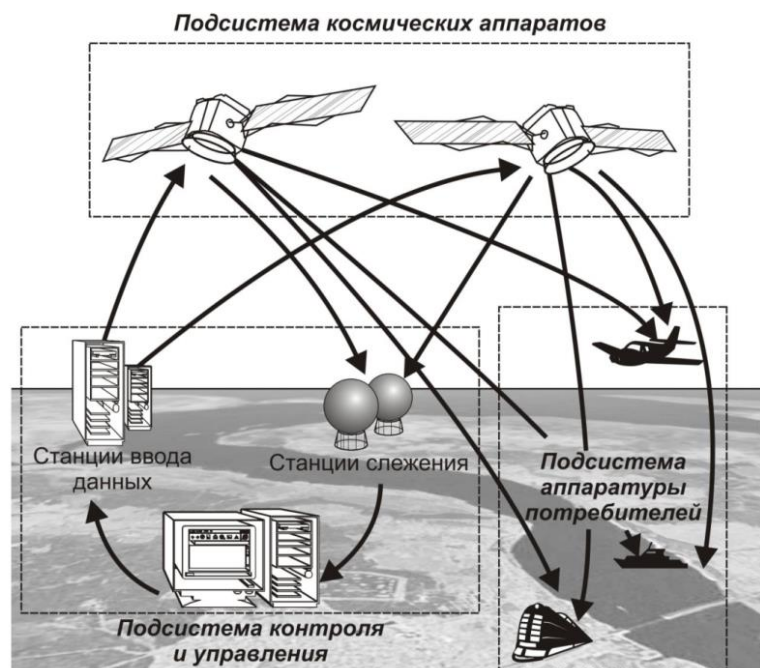


Рис. 1.9. Элементы глобальной системы местоопределения (GPS, GNSS)

Чтобы стать потребителем этой системы необходимы специальные устройства. Одним таким устройств является датчик GPS.

Датчик GPS (приёмник) – радиоприёмное устройство, которое принимает радиосигналы от спутниковой навигационной системы. По радиосигналам спутников GPS приёмники пользователей устойчиво и точно определяют текущие координаты местоположения, время и скорость объекта в любой точке земной поверхности, в любое время суток и в любую погоду [3]. Поэтому применение датчиков GPS помогает контролировать движение автомобильного транспорта, обеспечивая безопасность дорожного движения. Необходимым условием успешного использования датчика GPS является подключение его к спутниковой системе навигации.

Спутниковая система навигации (Global Navigation Satellite System, GNSS) состоит из космического оборудования и наземного сегмента (систем управления). В настоящее время только две спутниковые системы обеспечивают полное и бесперебойное покрытие

¹ Иллюстрация из главы учебника «Аэронавигация», готовящегося к печати в СПб ГУГА. Авторы главы Ю.И. Либерман, А. В. Липин, Ю. Н. Сарайский. – URL: <http://uaecis.com/files/13/teoria%20SNS.pdf> (Дата: 25.03.2020).

земного шара – [GPS](#) и [ГЛОНАСС](#) [4]. Ими управляют министерства обороны США и РФ соответственно.

Для математической обработки сигналов, получаемых от GPS и ГЛОНАСС, используются **наборы параметров Земли** ("Датум" от лат. Datum) WGS-84 и ПЗ-90.11 соответственно [5].

WGS-84 (World Geodetic System 1984) – «Мировая геодезическая система 1984 года». В настоящее время действует шестая версия системы координат WGS-84, отнесенная к эпохе 2005.0 [4].

ПЗ-90.11 – государственная геоцентрическая система координат «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90), отнесенная к эпохе 2010.0 [6].

Эпоха – понятие, введение которого обусловлено влиянием прецессии и нутации оси вращения Земли на точность определения местоположения объекта.

Местоположение – понятие, которое имеет смысл только в выбранной системе координат. При моделировании дорожного движения наибольший интерес представляют геодезическая и топоцентрическая системы координат [5].

1.2.2. Геодезическая система координат

С хорошим приближением реальную форму Земли можно заменить эллипсоидом вращения (референц-эллипсоидом), рис. 1.10.

Геодезические координаты определяют положение точки на поверхности референц-эллипсоида. В этой системе координатами являются широта (B) и долгота (L) точки M , а исходными линиями – меридианы и параллели.

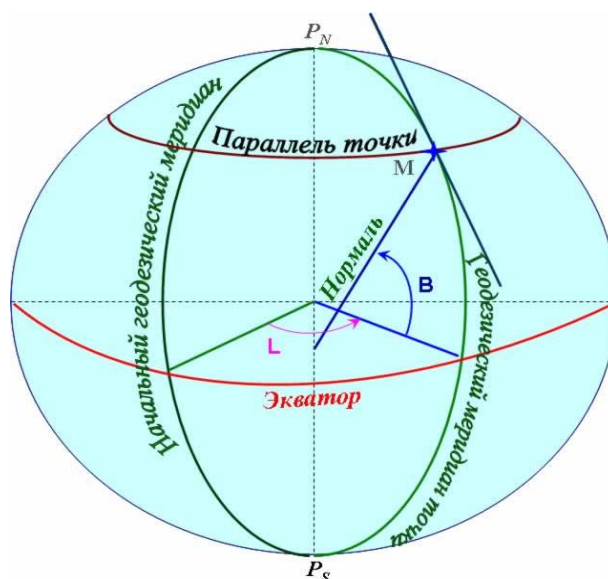


Рис. 1.10. Геометрическая модель Земли

Широта отсчитывается от экватора к северу и югу от 0° до 90° и называется северной или южной. Северную широту считают положительной, а южную – отрицательной.

За начальный меридиан принят Гринвичский меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию в окрестностях Лондона.

Геодезической долготой называется двугранный угол, составленный плоскостью начального меридиана и меридиана данной точки **М** см. рис. 1.11. Долгота отсчитывается от начального меридиана на восток и на запад от 0 до 180°. Восточная долгота обозначается со знаком "плюс", а западная – со знаком "минус".

Геодезической высотой точки **М** является ее высота над поверхностью референц-эллипсоида, которая соответствует уровню моря.

При решении инженерных задач желательно перейти от геодезических координат к более простой прямоугольной (декартовой) системе координат. С этой целью используется топоцентрическая система координат.

1.2.3. Горизонтальная топоцентрическая система координат

Топоцентрические координаты – система координат, в которой положение наблюдаемого объекта определяется от точки наблюдения на земной поверхности (точка **М** на рис. 1.11).

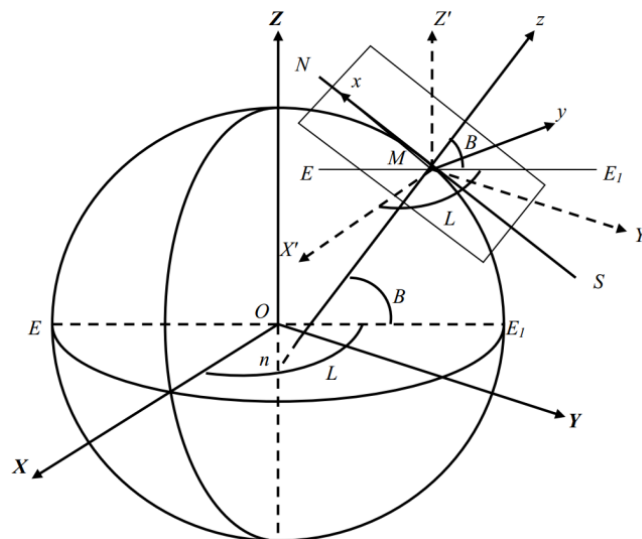


Рис. 1.11. Топоцентрическая система координат (x, y, z) и её связь с прямоугольной геоцентрической (X, Y, Z) и геодезической (B, L, H) системами координат

В топоцентрической горизонтальной системе (x, y, z) ось z совмещена с нормалью к поверхности эллипсоида, а оси x и y расположены в касательной плоскости. При этом ось x лежит в плоскости геодезического меридиана и направлена на север, а ось y – на восток. Отметим, что рассмотренная система является левой.

1.2.4. Положение глобальной системы координат УМ в геодезической системе координат

В УМ моделирование ведётся в прямоугольной правой системе координат СК0. Также в УМ принято, что базовая инерциальная система координат (СК0), относительно которой исследуется движение автомобиля, удовлетворяет следующим стандартным требованиям (рис. 1.12):

- ось Z вертикальна, ось X соответствует положению продольной оси экипажа при его идеальном положении в момент начала движения;
- начало координат расположено на уровне дороги в ее идеальном горизонтальном состоянии.

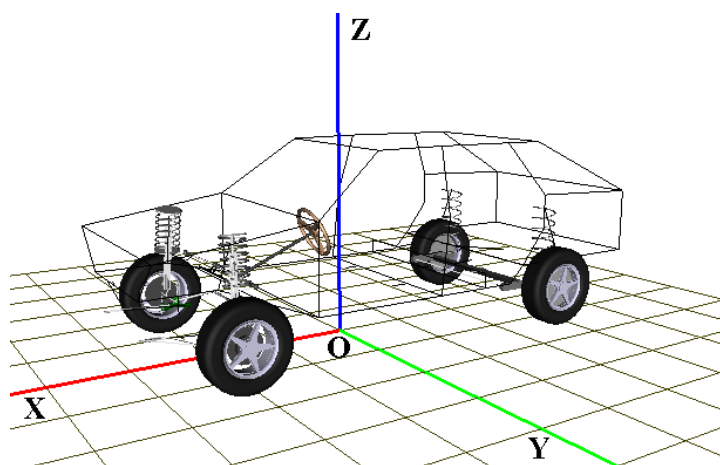


Рис. 1.12. Базовая система координат СК0

Положение СК0 UM в общеземной системе координат задаётся в окне **Общие настройки датчиков** (пункт меню **Инструменты | Датчики**, далее **Общие настройки датчиков**), см. рис. 1.13. Положение начала отсчёта задаётся широтой, долготой и высотой. Ось Z глобальной СК0 UM совпадает с нормалью к касательной плоскости эллипсоида, а оси X и Y лежат в этой касательной плоскости. Угол между осью X глобальной СК0 UM и направлением на север задаётся в поле **Азимут**.

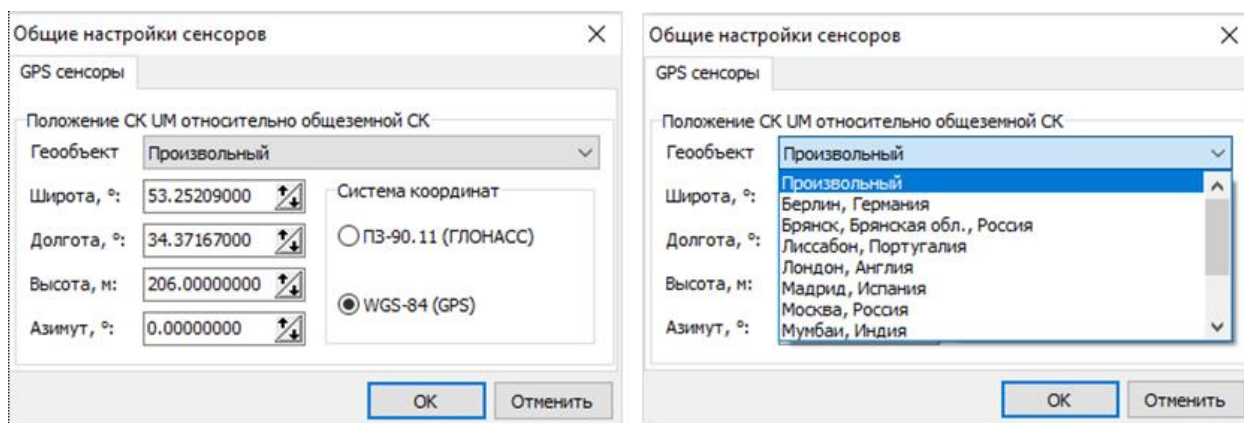


Рис. 1.13. Положение глобальной СК0 UM в общеземной СК

Для упрощения ввода геодезических координат введено понятие "геообъект". Это объект, с которым связывается начало глобальной СК0 UM. При выборе названия объекта из выпадающего списка поля, соответствующие его геодезическим координатам, заполняются автоматически.

1.2.5. Настройка параметров датчика GPS

Рассмотрим порядок задания параметров датчика GPS при создании моделей систем помощи водителю (ADAS) в программе **Универсальный механизм**.

Добавление датчиков происходит по типовому сценарию, который с небольшими изменениями, зависящими от типа датчика, одинаков для любых датчиков. В этом разделе он будет рассмотрен на примере настройки параметров модели датчика GPS.

Работа с датчиками начинается с выбора в главном меню программы пунктов **Инструменты | Датчики** и открытия окна **Настройка датчиков**. Оно состоит из панели инструментов и списка доступных датчиков. На рис. 1.14. номерами обозначены кнопки на панели инструментов, позволяющие выполнять следующие действия:

- 1 – загрузить конфигурацию датчиков из файла;
- 2 – сохранить конфигурацию датчиков в файл;
- 3 – добавить датчик;
- 4 – дублировать выбранный датчик;
- 5 – удалить выделенные датчики;
- 6 – вызвать диалог общих настроек датчиков.

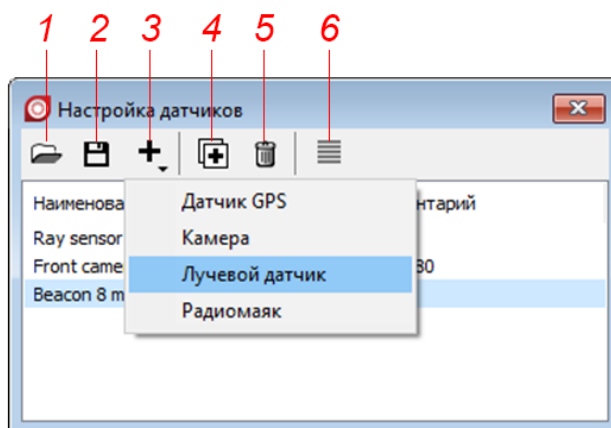


Рис. 1.14. Окно **Настройка датчиков**

При выборе пункта меню **Добавить датчик | Датчик GPS** откроется окно **Настройка датчика GPS**, см. рис. 1.15, Для задания параметров GPS датчиков предусмотрены следующие поля.

Как и любой другой датчик, датчик GPS идентифицируется именем, которое необходимо указать в поле **Имя**. Поле **Комментарий** служит для указания дополнительных сведений.

Любой датчик должен быть связан с объектом моделируемой дорожной сцены. Этот объект – как правило, это кузов автомобиля – выбирается в списке **Прикреплён к телу**. Положение датчика в локальной системе координат тела, к которому он прикреплен, задается в группе полей **Положение датчика**.

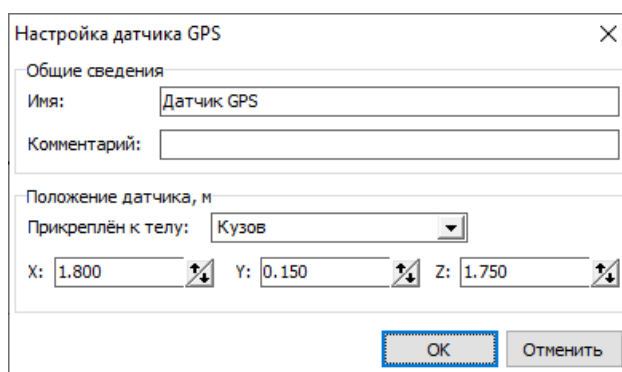


Рис. 1.15. Настройка датчика GPS

1.3. Лучевые датчики

Новые технологии систем помощи водителю включают обеспечение безопасного движения автомобиля, помощь в различных дорожных условиях – в плотном трафике, при остановках и стартах в заторах, в условиях плохой освещенности, при парковке и смене полосы. С этой целью на транспортном средстве устанавливаются радары и лазерные датчики [7].

Радар (Radar – Radio Detection and Ranging, радиообнаружение и измерение дальности) излучает электромагнитные волны в направлении объекта и получает сигнал – эхо, по времени возвращения которого рассчитывается расстояние до объекта. Радары характеризуются дальностью (150–200 м), широкой областью обзора, высокой точностью (1%), разрешением (0,1 м), значительной устойчивостью к загрязнениям и условиям освещения, способностью работать в сложных погодных условиях. Однако вследствие своей высокой цены радары обычно применяются в автомобилях верхнего рыночного сегмента.

Лидар (Lidar – Light Identification Detection and Ranging, обнаружение, идентификация и определение дальности с помощью света) – датчик, полностью аналогичный радару, за исключением того, что вместо радиоволн в нем применяется лазерный луч, за счет чего обеспечивается стоимостная эффективность.

Принцип действия оптоэлектронной измерительной технологии лидара основан на измерении расстояния, при котором определяется время, которое затрачивает луч на путь до отражателя и обратно. Датчик посылает короткий световой импульс. Отраженный от цели импульс регистрируется датчиком, и данные о нем передаются связанному с датчиком электронному блоку. Бортовой компьютер выполняет его ранжирование – вычисляет расстояние, скорость и относительное положение объекта, от которого отразился луч.

1.3.1. Математическая модель лучевого датчика

Реализованная математическая модель лучевого датчика позволяет пользователю расширить свои общие знания и улучшить понимание принципов работы датчика активного сканирования. Она не ограничивается спецификой конкретной технологии, применимой, например, только для лидаров или только для лазерных сканеров. Она реализует общие принципы работы всех этих устройств и благодаря этому может использоваться для про-

верки стандартных технических характеристик любого активного датчика сканирования на системном уровне.

Модель лучевого датчика строится на таких простых понятиях, как направление поиска, поле обзора, способ обнаружения объекта и количество выпускаемых лучей. Более сложные понятия, такие как точность измерения дальности, разрешение по дальности, угловая точность, угловое разрешение или прозрачность среды и другие, в неё не включены.

1.3.2. Настройка параметров лучевого датчика

Последовательность настройки параметров лучевого датчика, за исключением некоторых особенностей, специфичных только для этих устройств, полностью совпадает с настройкой датчика GPS, которая описана в п. 1.2.5. Поэтому рассмотрим порядок задания параметров лучевого датчика, уделив основное внимание особенностям настройки таких датчиков, см. рис. 1.16.

Группы полей **Общие сведения** и **Положение датчика** были рассмотрены при описании датчика GPS. В группе полей **Ориентация датчика** задаётся направление лучей датчика указанием углов поворота относительно осей координат, см. рис. 1.17.

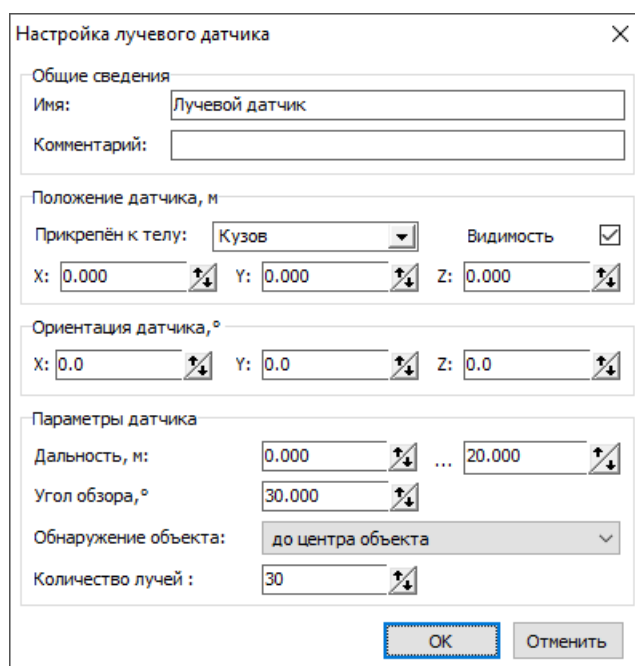


Рис. 1.16. Настройка лучевого датчика

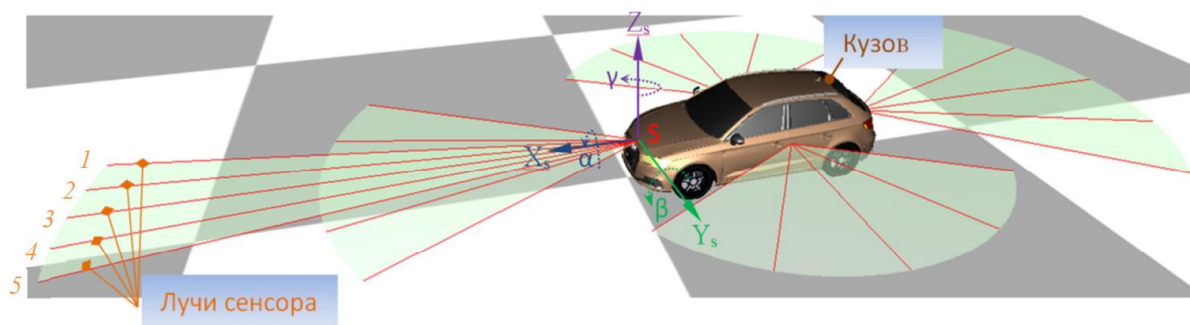


Рис. 1.17. Задание направления сканирования лучевого датчика

Область, в которой датчик может обнаружить цель, определяется **Дальностью** (минимальным и максимальным расстоянием в метрах) и **Углом обзора**, который измеряется в градусах относительно заданного направления поиска цели. Эта поля объединены в группу **Параметры датчика**. К этой же группе отнесены поля, позволяющие задать способ обнаружения цели и указать количество лучей датчика.

В поле **Обнаружение объекта** в зависимости от целей моделирования можно выбрать способ обнаружения цели, рис. 1.18.

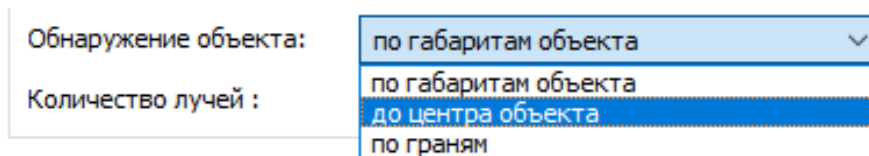


Рис. 1.18 Задание способа обнаружения объекта

Различия между тремя способами обнаружения объекта показаны на рис. 1.19.

В первом случае (при определении объекта **по габаритам**) каждый луч определяет расстояние от точки пересечения с габаритами объекта до места установки датчика. Это лучи с номерами 3, 4 и 5.

Во втором (**до центра объекта**) – все лучи определяют расстояние от геометрического центра объекта до места установки датчика.

В третьем (**по деталям**) – каждый луч определяет расстояние от точки пересечения с конкретной деталью сложного объекта до места установки датчика. Это лучи с номерами 3 и 4.

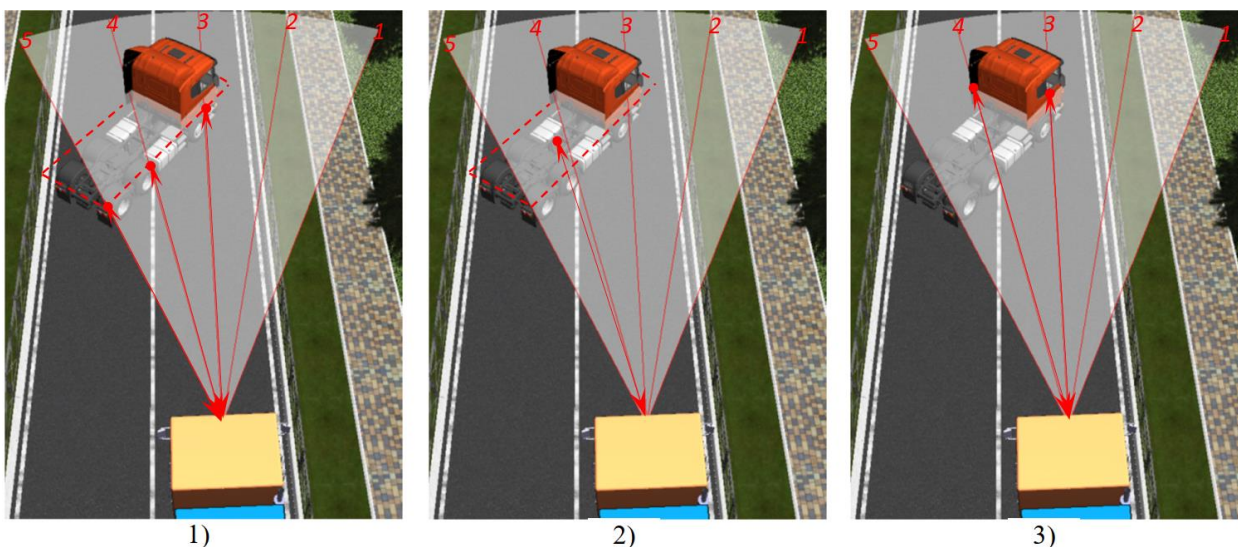


Рис. 1.19 Способы обнаружения объектов:
 1) по габаритам объекта; 2) до центра объекта; 3) по деталям.
 Числами 1–5 отмечены номера лучей датчика

При расчёте лучевого датчика для каждого луча вычисляются следующие показатели, см. рис. 1.20. Нумерация лучей задаётся против часовой стрелки и показана на рис. 1.17 и рис. 1.19.

- **[ObjectDetected]** – признак обнаружения пересечения луча с объектом. Если объект обнаружен, то значение переменной равно единице, если нет – нулю. Если объект не обнаружен, то все показатели, перечисленные ниже, для него равны нулю.
- **[Range]** – расстояние до точки пересечения луча с объектом;
- **[Azimuth]** – азимут луча в градусах в системе координат датчика. Подробнее см. в п. 1.5 "*Расстояние, азимут и возвышение*", стр. 1-21. Азимут каждого конкретного луча имеет постоянный азимут в СК датчика.
- **[Elevation]** – возвышение луча в градусах в системе координат датчика. Подробнее см. в п. 1.5 "*Расстояние, азимут и возвышение*", стр. 1-21. В настоящей реализации лучевых датчиков все лучи располагаются в плоскости XY системы координат датчика и имеют нулевое возвышение. Фактически этот показатель зарезервирован для будущего использования.
- **[DopplerVelocity]** – доплеровская скорость – проекция относительной скорости датчика и точки объекта, в которой луч пересекает этот объект, на прямую, проходящую через них. Скорость имеет положительное значение, если эти точки сближаются.
- **[WorldPositionX, Y, Z]** – положение точки пересечения луча с объектом в СК0 в проекции на соответствующую ось.

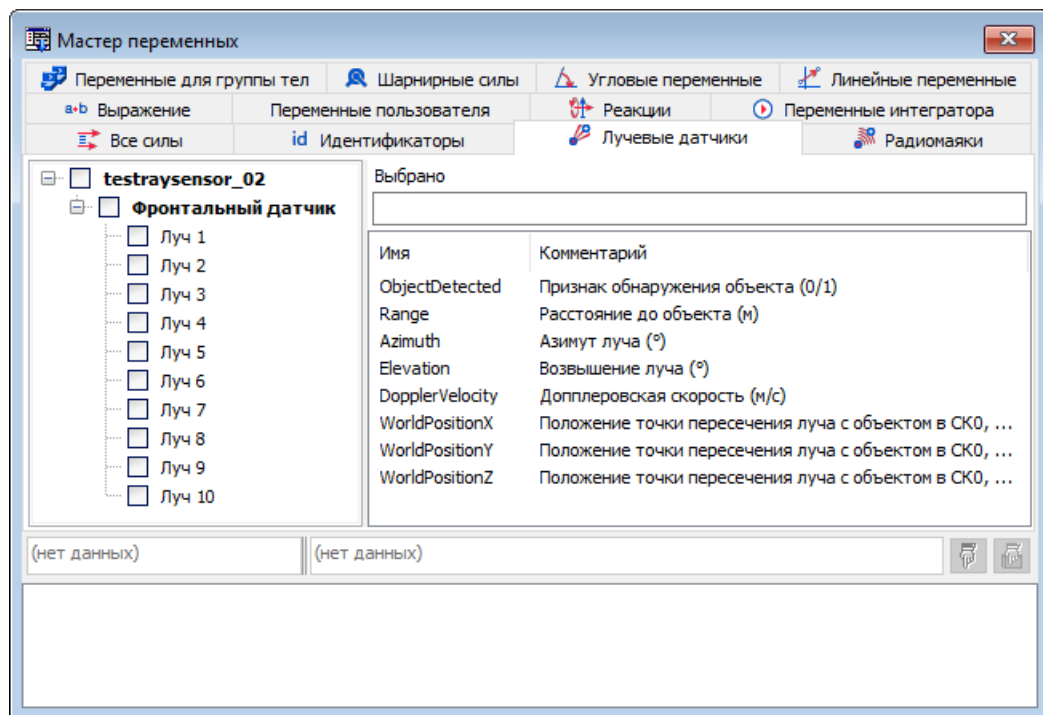


Рис. 1.20. Переменные для лучевых датчиков

1.4. Радиомаяки

Датчик типа **радиомаяк** обеспечивает быстрое, простое и универсальное решение для обнаружения объекта, которое не привязано к конкретной технологии.

Датчики этого типа можно использовать для сценариев, в которых требуется простой датчик. Типичные примеры его применения: настройка контроллеров и тестирование алгоритмов принятия решения. Эксперименты считаются простыми, когда нет явной необходимости генерировать необработанную информацию от датчиков; генерируются только показания верхнего уровня, такие как информация о дальности и угле. Тем не менее, радиомаяки предоставляют точную информацию. Если необходимы более сложные данные или датчик должен использоваться в соответствии с некоторым принципом сканирования, то следует использовать другие типы датчиков.

Радиомаяк можно настроить по положению, ориентации, углу обзора; также можно указать зону обнаружения цели в виде диапазона расстояний до неё, от минимального до максимального.

Порядок его настройки аналогичен порядку настройки лучевого датчика, описанного в предыдущем разделе. Редактирование параметров радиомаяка выполняется в диалоге **Настройка радиомаяка**, рис. 1.21. Направление, в котором ищется цель, задаётся углами поворота вокруг осей координат X, Y, Z. В этом направлении зона, в которой датчик может обнаруживать цель, задается углом при вершине конуса и диапазоном расстояний до цели.

Настройка радиомаяка

Общие сведения

Имя:

Комментарий:

Положение датчика, м

Прикреплён к телу: Видимость

X: Y: Z:

Ориентация датчика, °

X: Y: Z:

Тип датчика

Приёмник Передатчик Приём./Передат.

Параметры приёмника

Дальность, м: ...

Угол конуса, °:

Макс. кол-во объектов:

Параметры передатчика

Радиус сферы, м:

OK Отменить

Рис. 1.21. Параметры радиомаяка

Радиомаяки работают следующим образом. Каждый радиомаяк может быть приёмником, передатчиком или приёмником и передатчиком одновременно. Радиомаяки (приёмники и передатчики) устанавливаются на объекты сцены. Приёмники имеют зону обнаружения, определяемую максимальной и минимальной дальностью и углом конуса. Приёмники обнаруживают все передатчики, попавшие в зону обнаружения, в том числе находящиеся вне зоны прямой видимости. Пример такой ситуации показан на рис. 1.22, где объект 5 является видимым, несмотря на то, что его закрывает объект 3. Объекты 6 и 7 невидимы, потому что находятся вне зоны видимости радиомаяка 1.

Каждый приёмник может обнаруживать не более чем N передатчиков, где N – максимальное количество объектов, указанное в параметрах приёмника, см. рис. 1.21. Если в зоне обнаружения приёмника будет обнаружено передатчиков больше, чем максимальное количество объектов, то отбор производится по минимальному расстоянию до приёмника.

Приёмник, попавший в зону обнаружения другого приёмника, не будет обнаружен. Обнаруживаются только передатчики.

Радиус сферы в параметрах передатчика – это радиус сферы, которая изображается вокруг передатчика для лучшего представления о положении передатчика в каждый момент времени. Радиус сферы используется только для визуализации и не влияет на обнаружение передатчика.

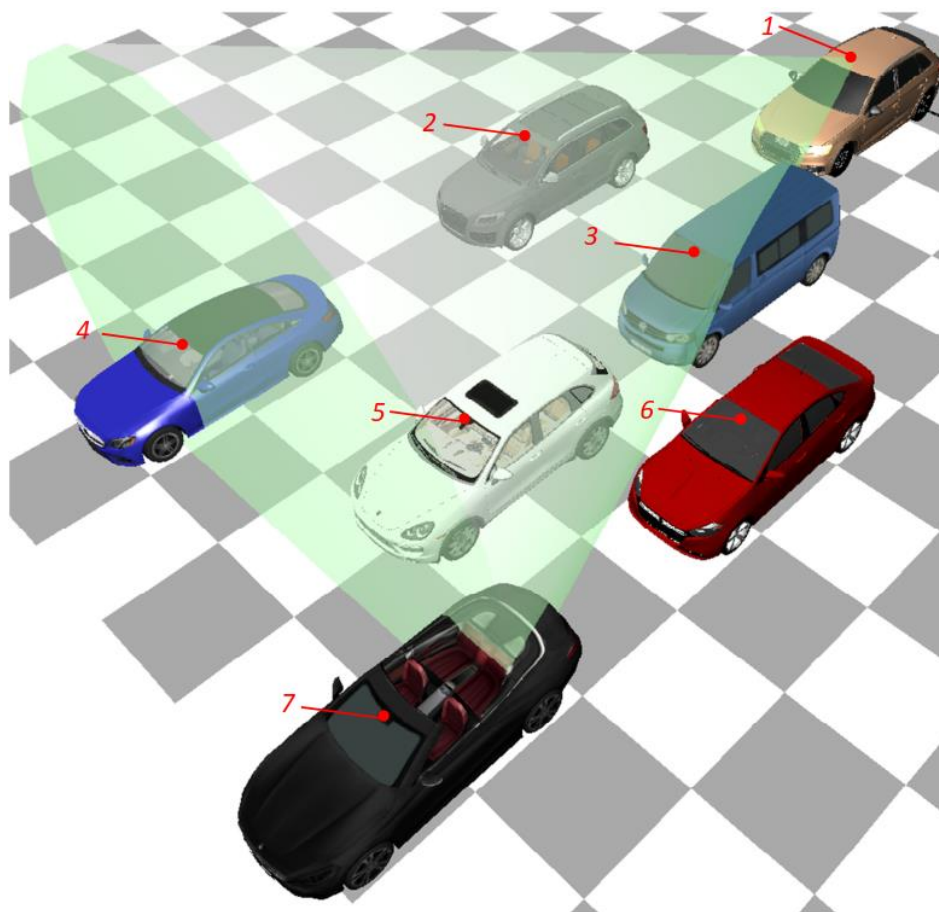


Рис. 1.22. Обнаружение объектов с помощью радиомаяка 1: объекты 2, 3, 4 и 5 – видимы; объекты 6 и 7 – невидимы

На каждом шаге интегрирования приёмник сканирует все передатчики и для каждого передатчика в зоне обнаружения вычисляются следующие показатели, см. рис. 1.23.

- **[ObjectDetected]** – признак обнаружения передатчика. Если объект обнаружен, то значение переменной равно единице, если нет – нулю. Если объект не обнаружен, то все показатели для него равны нулю.
- **[Range]** – расстояние до обнаруженного передатчика. Если на луче не обнаружен объект, то расстояние до объекта равно нулю.
- **[Azimuth]** – азимут передатчика в градусах в системе координат датчика. Подробнее см. в п. 1.5 "Расстояние, азимут и возвышение", стр. 1-21.
- **[Elevation]** – возвышение передатчика в градусах в системе координат датчика. Подробнее см. в п. 1.5 "Расстояние, азимут и возвышение", стр. 1-21.
- **[DopplerVelocity]** – доплеровская скорость – проекция относительной скорости приёмника и передатчика на прямую, проходящую через них. Скорость имеет положительное значение, если объекты сближаются.
- **[WorldPositionX, Y, Z]** – положение обнаруженного передатчика в СК0 в проекции на соответствующую ось.

В дерево объектов в левой части окна на рис. 1.23 попадают только приёмники. Количество объектов для каждого датчика определяется максимальным количеством обнаруживаемых объектов в параметрах приёмника, см. рис. 1.21.

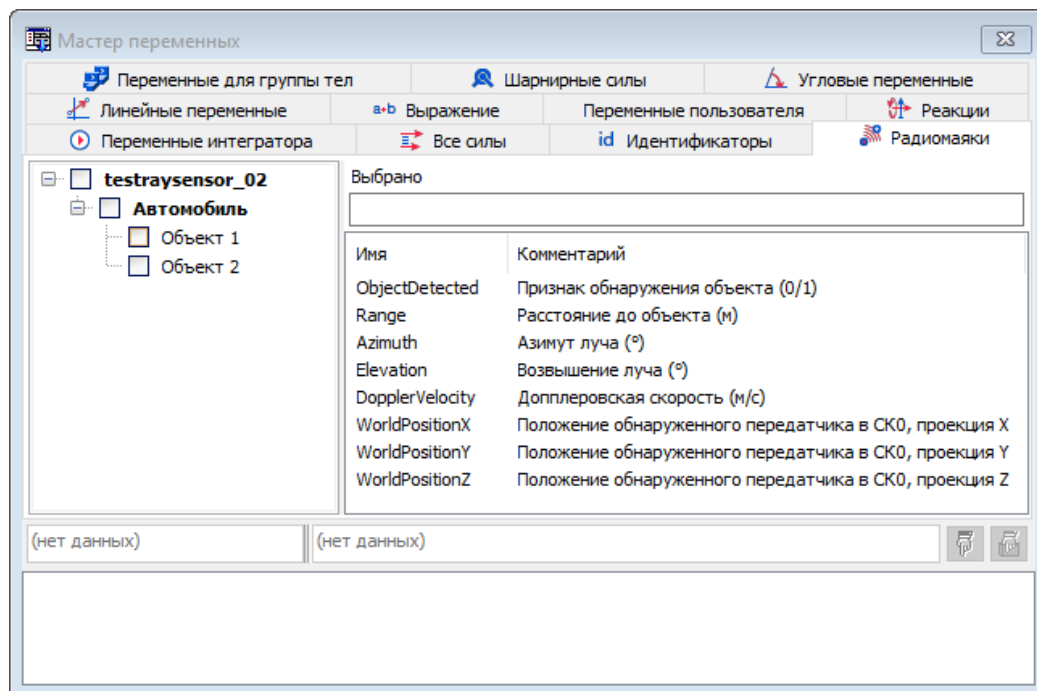


Рис. 1.23. Переменные для радиомаяков (приёмников)

1.5. Расстояние, азимут и возвышение

Азимут – это угол от оси X датчика до проекции линии от датчика до цели на плоскость XY датчика, на рис. 1.24 обозначен как α . Положительные значения азимута соответствуют повороту оси X по часовой стрелке, если смотреть с конца оси Z .

Возвышение – это угол между линией от датчика до цели и её проекцией на плоскость XY датчика, см. угол β на рис. 1.24. Положительные значения возвышения соответствуют направлению кратчайшего поворота оси X к Z .

Расстояние до цели на рис. 1.24 обозначено как R .

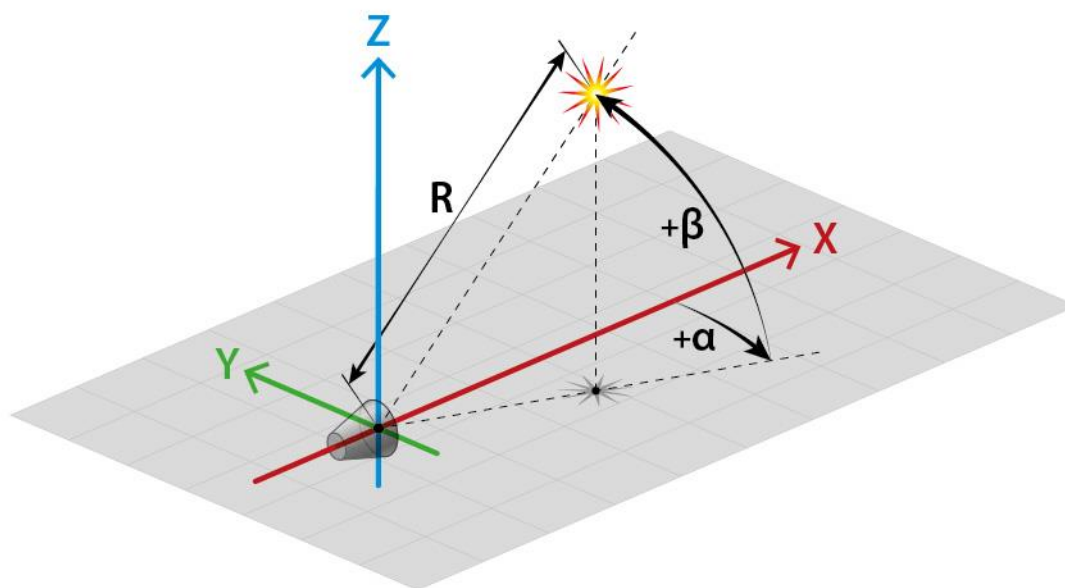


Рис. 1.24. Система координат датчика, расстояние до цели, азимут и возвышение объекта/луча

1.6. Монитор лучевых датчиков и радиомаяков

Объекты, обнаруженные лучевыми датчиками и радиомаяками в каждый момент времени, отображаются в специальных окнах – мониторах лучевых датчиков и радиомаяков. Рассмотрим работу с ними на примере радиомаяка.

Чтобы вызвать монитор радиомаяков необходимо в главном меню программы **UM Simulation** выбрать пункты **Инструменты | Монитор радиомаяков**, см. рис. 1.25.

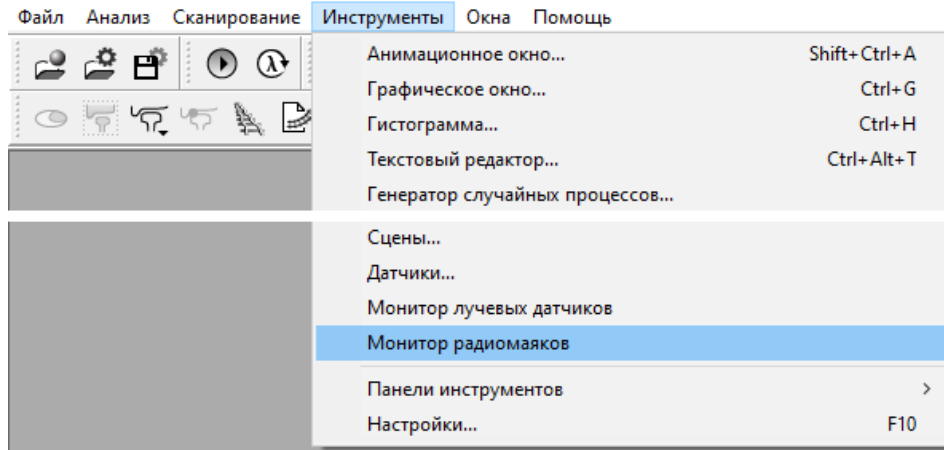


Рис. 1.25. Вызов монитора радиомаяков

Откроется окно монитора радиомаяков, см. рис. 1.26. В его левой части находится графическое поле (1), в котором рисуется проекция конуса луча радиомаяка (2). Синими маркерами (3) отображаются объекты, попадающие в поле зрения радиомаяка. Красным маркером (4) в начале координат отмечен выбранный датчик. В правой части окна находится список доступных радиомаяков (5). Перемещаясь по этому списку, любой из них можно сделать активным.

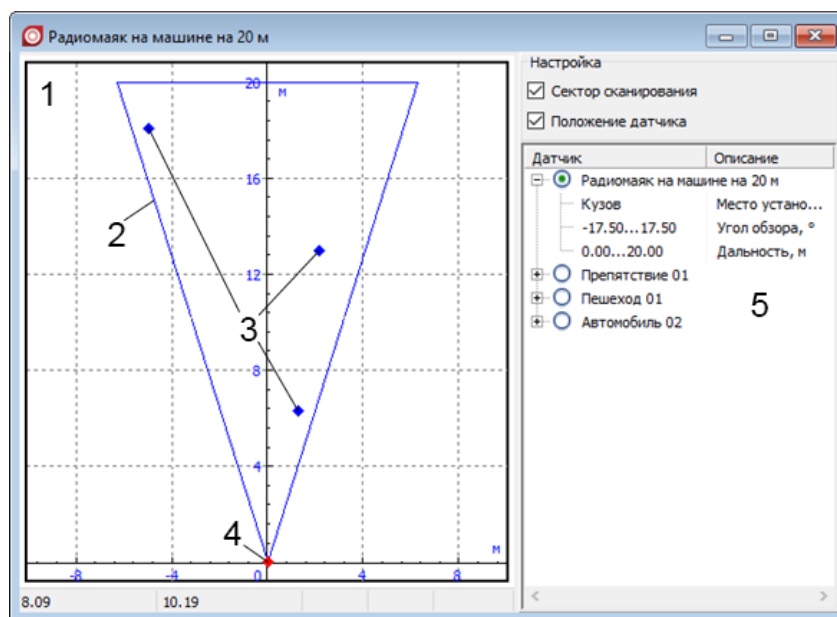


Рис. 1.26. Окно монитора радиомаяков

Замечание Если в вашей модели несколько лучевых датчиков или радиомаяков, и вы хотите наблюдать за ними одновременно, вам следует открыть несколько мониторов и в каждом окне выбрать датчик для наблюдения.

1.7. Камера

Камера представляет собой виртуальную видеокамеру, которая устанавливается на модели транспортного средства, созданной в UM, и является одним из компонентов систем ADAS. Камера формирует последовательность изображений, видимых с точки, где она установлена, с заданным шагом по времени. Последовательность изображений может сохраняться как видеофайл или передаваться в сторонние приложения в реальном времени с использованием протокола TCP/IP. Поскольку камеру можно установить на любую модель, созданную в UM, ее использование не ограничено автомобильной отраслью. Камера может применяться всюду, где требуется визуальный контроль при работе механических систем, например, в задачах робототехники, при разработке симуляторов, а также при необходимости создания видеофрагментов, иллюстрирующих работу механизмов.

1.7.1. Настройка камеры

Для создания камеры в главном меню выберите пункт **Инструменты | Датчики**. Появится окно **Настройка датчиков**, далее выберите **Камера**, см. рис. 1.27.

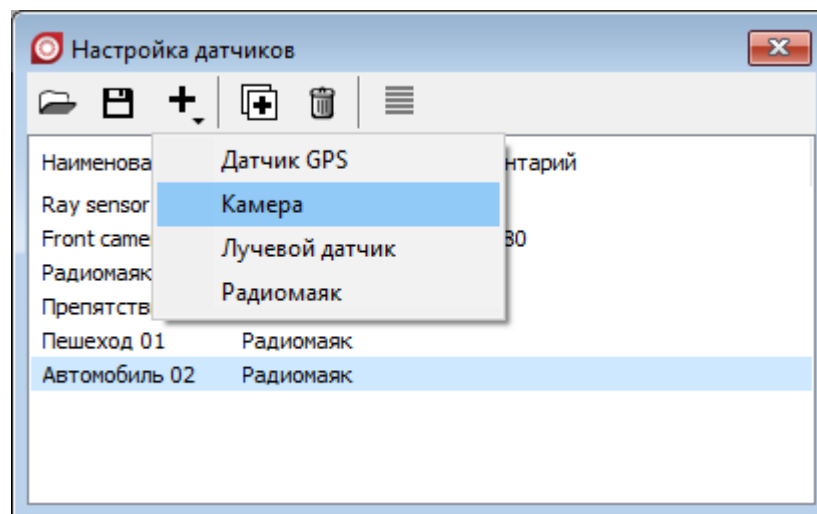


Рис. 1.27. Добавления камеры

Диалоговая форма настроек датчика типа камера состоит из трёх вкладок: **Основные**, **Расширенные** и **Экспорт видео** (рис. 1.28, 1.19 и 1.20 соответственно). Рассмотрим только уникальные параметры камеры.

На закладке **Основные** задаются реквизиты камеры, описанные ниже.

- **Параметры камеры**

- **Цветность:** из выпадающего списка следует выбрать цветность изображения.
Цветное: RGB, 8 бит на цвет; **монохромное:** градации серого, 8 бит.

- **Шаг по времени в секундах:** промежуток времени между соседними видеокадрами. Величина шага должна быть кратна шагу представления результатов, который задается в инспекторе моделирования объекта. Рекомендуемое значение: 0.04 с, что соответствует частоте 25 кадров в секунду. Частота кадров выводится для справки под полем для ввода шага.

На вкладке **Расширенные** задаются параметры светочувствительной матрицы виртуальной камеры, описанные ниже.

- **Разрешение камеры:** размер изображения в пикселях по горизонтали и вертикали.
- **Физический размер матрицы:** выбор матрицы камеры из предустановленных популярных типовых размеров согласно общепринятой системе обозначений или задание пользовательского размера матрицы.
- **Пользовательский размер матрицы:** ширина и высота сенсора в миллиметрах.
- **Фокусное расстояние:** фокусное расстояние камеры в миллиметрах.
- **Поле зрения:** поле зрения камеры в угловых градусах по горизонтали и вертикали.

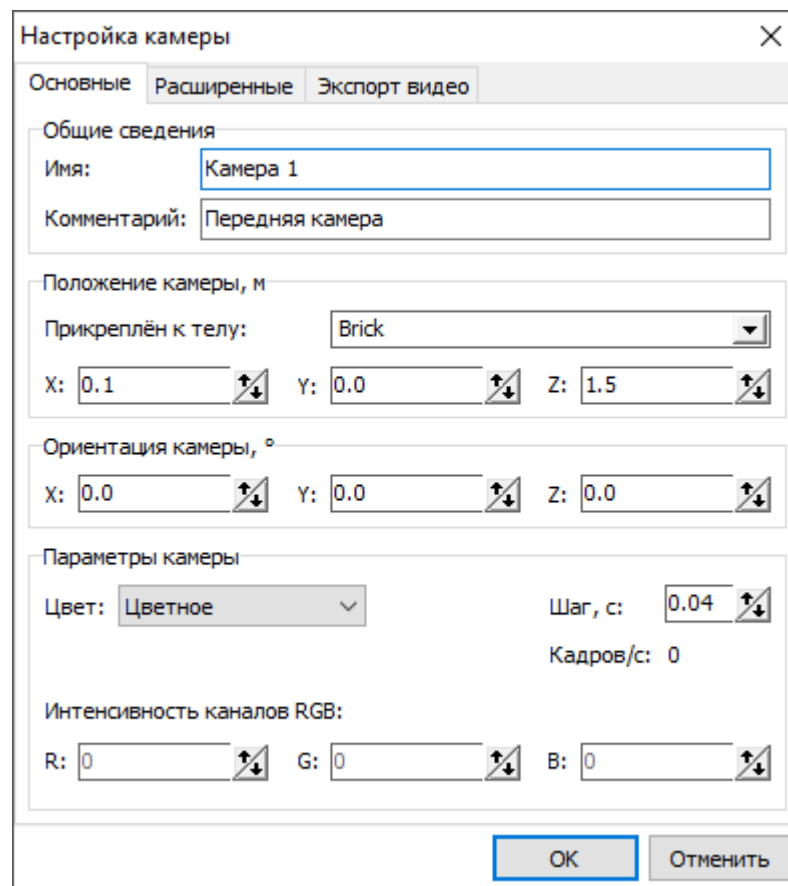


Рис. 1.28. Окно настройки камеры: вкладка **Основные**

Физические размеры матрицы, фокусное расстояние и поле зрения камеры связаны между собой следующими соотношениями:

$$\text{Поле зрения по горизонтали} = 2 \cdot \arctg \left(\frac{\text{Ширина матрицы}}{2 \cdot \text{Фокусное расстояние}} \right) \cdot \frac{180}{\pi},$$

$$\text{Поле зрения по вертикали} = 2 \cdot \arctg \left(\frac{\text{Высота матрицы}}{2 \cdot \text{Фокусное расстояние}} \right) \cdot \frac{180}{\pi}.$$

Разрешение изображения по горизонтали и вертикали инициализируется по умолчанию следующими значениями:

$$\text{Ширина изображения} = 640,$$

$$\text{Высота изображения} = \text{Ширина изображения} \cdot \left(\frac{\text{Высота матрицы}}{\text{Ширина матрицы}} \right).$$

Таким образом, добиться желаемого поля зрения камеры можно двумя способами. Первый способ состоит в задании пользователем физических размеров матрицы и фокусного расстояния. В этом случае углы зрения камеры по горизонтали и вертикали будут вычислены автоматически по формулам, приведенным выше. Второй способ предполагает непосредственное задание углов зрения по горизонтали и вертикали, тогда размер матрицы будет вычислен автоматически, а заданное фокусное расстояние останется неизменным. В обоих случаях размеры изображения в пикселях по горизонтали и вертикали будут пропорциональны ширине и высоте матрицы, соответственно. Ведущим является размер в пикселях, задаваемый первым; второй будет вычислен, исходя из соотношения сторон кадра, которое, в свою очередь, определяется физическими размерами матрицы. Изменение фокусного расстояния также приведет к пересчету углов зрения камеры при сохранении значений остальных параметров.

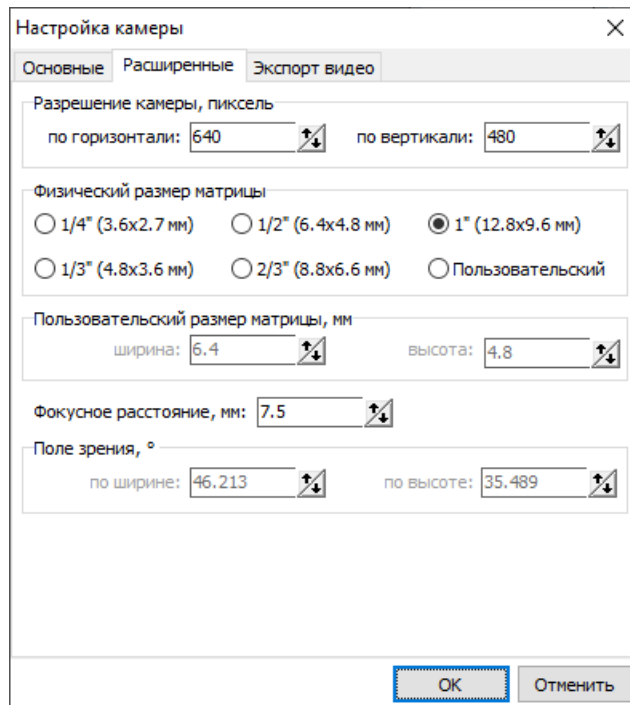


Рис. 1.29. Настройка камеры: вкладка **Расширенные**

На вкладке **Экспорт видео** задаются параметры соединения TCP/IP, которые будут использованы для экспорта кадров при моделировании.

- **Настройки подключения**
 - **Экспортировать видео:** при отмеченном флажке одновременно с началом процесса моделирования будет начат экспорт последовательности видеок кадров, формируемых настраиваемой камерой.
 - **TCP/IP хост:** IP-адрес компьютера в сети, который будет принимать экспортируемые данные. По умолчанию используется адрес **127.0.0.1**, позволяющий устанавливать соединение и передавать информацию в программу-приёмник, работающую на том же компьютере, что и программа моделирования.
 - **Порт:** номер порта (по умолчанию **20011**).
- **Подключиться:** будет предпринята попытка подключения к программе-приёмнику. Программа-приёмник должна быть запущена заранее и находиться в режиме ожидания приема. Кнопка **Подключиться** используется для тестирования. В случае если флажок **Экспортировать видео** включен, и настройки подключения корректны, подключение будет выполнено автоматически при запуске процесса моделирования.
- **Отключиться:** будет выполнено отключение от программы-приёмника.
- **Послать кадр:** будет выполнена немедленная отправка одного кадра с настраиваемой камерой. Программа-приёмник должна быть запущена заранее и находиться в режиме ожидания приема.

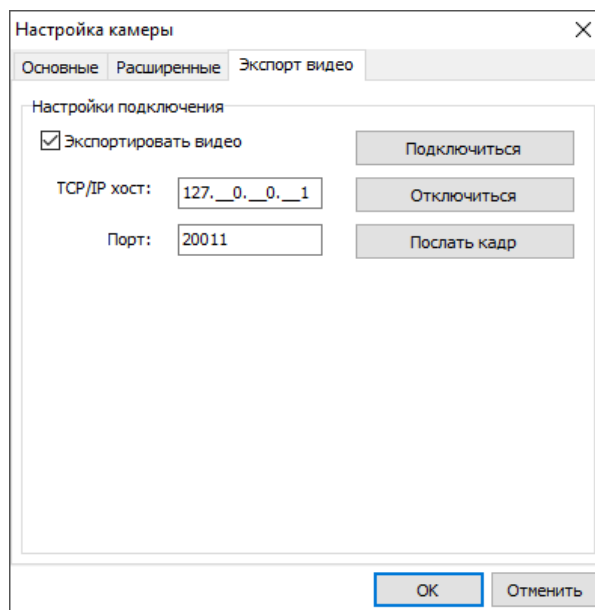


Рис. 1.30. Настройки камеры: вкладка **Экспорт видео**

После того, как камеры созданы, настроены и сохранены, а флажок **Экспортировать видео** активирован, при запуске процесса моделирования начнется экспорт кадров, получаемых камерой и их прием программой-приемником. Программа-приёмник должна быть запущена заранее и находиться в режиме ожидания. Такими программами могут служить специализированные модули, разработанные в MATLAB/Simulink, SimInTech или других системах моделирования. Предполагается, что программы-серверы анализируют экспортируемые изображения, распознают дорожные знаки и дорожную разметку, а также нахо-

дящихся в поле зрения камеры участников дорожного движения и препятствия и используют полученную информацию для обеспечения работы систем ADAS и автопилотирования.

1.7.2. Использование монитора камер

Для контроля работы камер служит монитор камер. Для создания окна монитора камеры в контекстном меню окна настройки датчиков нужно выбрать пункт **Показать окно монитора датчика**, см. рис. 1.31.

Если создано несколько камер, в окне монитора камер можно переключаться между ними, выбирая соответствующие строки в списке, см. рис. 1.32.

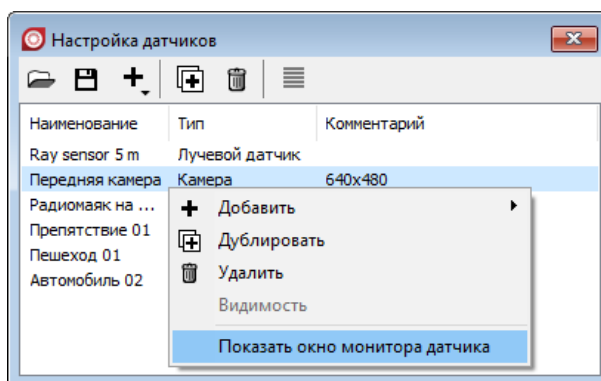


Рис. 1.31. Настройки камеры: показать окно монитора камеры

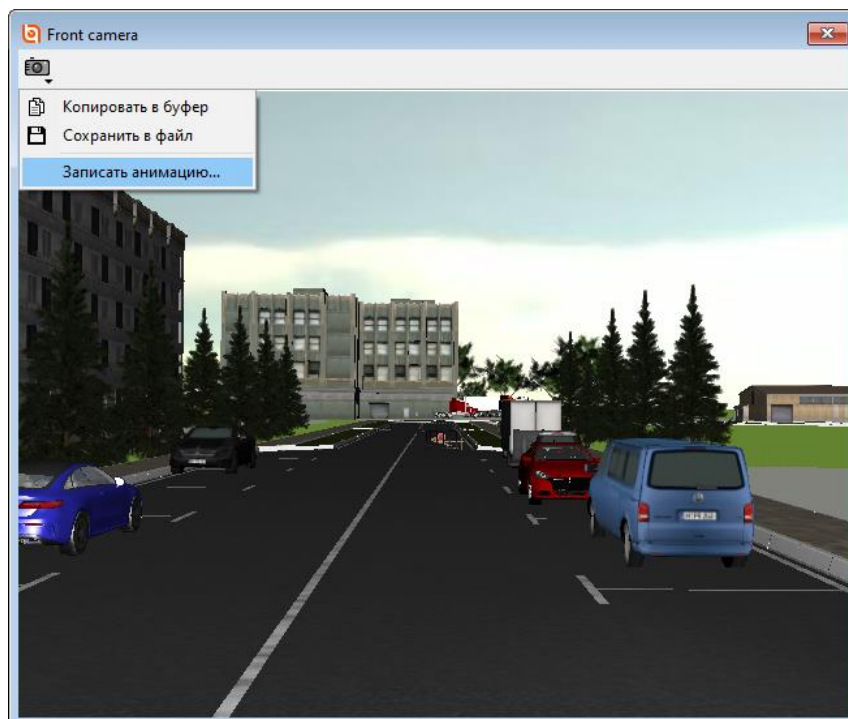


Рис. 1.32. Настройки камеры: окно монитора камеры

Окно монитора камер предоставляет следующие возможности, см. рис. 1.32:

- копирование изображения в буфер обмена;

- сохранение изображения в файл;
- запись анимации в файл.

Для выбора любого из этих действий нужно нажать на кнопку с изображением камеры в панели инструментов окна.

При выборе действия **Записать анимацию** будет открыт диалог настроек параметров записи, см. рис. 1.33.

- **Записать анимацию:** если выбрано это действие, запись начнётся одновременно с началом процесса моделирования.
- **Шаг:** промежуток времени между соседними кадрами в секундах.
- **Имя файла:** имя видеофайла на диске.
- **Масштаб по времени:** коэффициент, позволяющий сократить или увеличить продолжительность анимации в файле по сравнению с реальным временем.
- **Кодек:** выбор видекодека из списка. В настоящее время доступны следующие варианты: без сжатия, Microsoft Video 1, Lagarith Lossless Codec, TechSmith Screen Capture Codec.

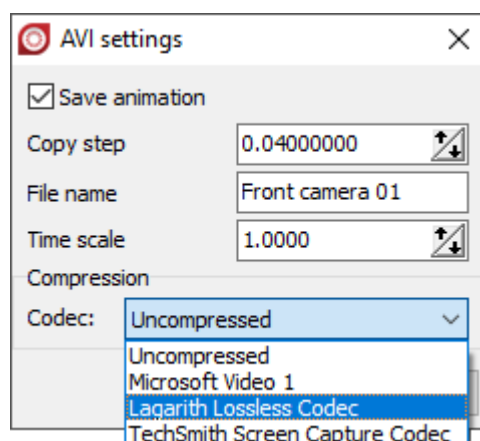


Рис. 1.33. Настройка записи анимации

1.7.3. Организация приема видеопотока

Рассмотрим организацию приема видеопоследовательности на примере простейшей программы-приёмника в среде MATLAB (файл UMVideoFlowTestReceiver.m). Программу следует запустить перед началом экспорта видеок кадров из UM.

После удаления всех объектов из проекта, освобождения системной памяти и очистки командного окна создается объект TCP/IP:

```
clear all; close all; clc;  
t = tcpip('127.0.0.1', 20011, 'NetworkRole', 'server', 'Timeout', 600);
```

Следует указывать те же принимающий хост и номер порта, что и в настройках камеры в UM. Значение параметра Timeout задает время в секундах, в течение которого программа-приёмник будет ожидать приема. Если прием не начнется (или прервется), соединение будет разорвано по истечении этого времени.

Задается размер буфера: количество байт, которые могут быть одновременно поставлены в очередь приема. Размер буфера может быть произвольным; в случае, если введено слишком большое значение, MATLAB выдаст предупреждение об этом. Значение, выставленное по умолчанию для наглядности, складывается из 84 байт для приема управляющей структуры данных и количества байт для приема двух цветных (RGB, 8 бит на цвет) изображений размером 1200×900 пикселей.

```
t.InputBufferSize = 84 + 1200*900*3*2;
```

Открывается объект TCP/IP:

```
fopen(t);
```

С этого момента программа-приемник готова к приему данных из UM. При подключении в нее будет передана управляющая последовательность данных из 21 числа типа int32, которую необходимо принять для инициализации всех параметров. После приема данные удаляются из буфера:

```
indata = fread(t,21,'int32');  
flushinput(t);
```

Структура управляющих данных инициализируется следующим образом:

```
% Координаты датчика в системе координат объекта, к которому он прикреплен  
f1 = 'CameraPosition'; v1 = indata(1:3);  
  
% Размеры корпуса автомобиля вдоль осей координат  
f2 = 'CarBodySize'; v2 = indata(4:6);  
  
f3 = 'FrameRate'; v3 = indata(7); % Частота кадров  
  
f4 = 'Channels'; v4 = indata(8); % 0 - одна камера camera, 1 - две,  
% в текущей версии не используется  
  
f5 = 'Colors'; v5 = indata(9); % 1 - RGB, 0 - grayscale  
  
% Параметры преобразования кадра из RGB в grayscale:  
f6 = 'IntensityFactors'; v6 = indata(10:12); % seR, seG, seB  
  
f7 = 'StereoBase'; v7 = indata(13); % Стереобаза, мм,  
% в текущей версии не используется  
  
f8 = 'FocalLength'; v8 = indata(14); % Фокусное расстояние, мм  
  
f9 = 'SensorType'; v9 = indata(15); % Типоразмер матрицы  
  
% Ширина и высота матрицы. Передаются целые числа, поэтому размеры матрицы  
% предварительно умножаются, а после приема делятся на 100.  
f10 = 'SensorSize'; v10 = indata(16:17).*100;  
  
% Размер изображения по горизонтали и по вертикали:  
f11 = 'ImageResolution'; v11 = indata(18:19);  
  
% Углы зрения по горизонтали и по вертикали, предварительно умножаются,  
% а после приема делятся на 100000  
f12 = 'FieldOfViewDeg'; v12 = indata(20:21).*100000;  
  
% Формируется структура данных:
```

```
CameraInitData = ...
struct (f1, v1, f2, v2, f3, v3, f4, v4, f5, v5, f6, v6, f7, v7, f8, v8, f9, v9, f10, v10, f11, v11,
f12, v12);
```

```
clear indata; % Принятые данные удаляются из памяти
```

Задаются размеры кадров в пикселях:

```
w = v11(1,1); h = v11(2,1);
```

Для корректного завершения приема данных и закрытия видеофайла в качестве одного из способов можно использовать счетчик кадров count. Зная модельное время и шаг по времени можно вычислить количество кадров, которое будет принято и прервать бесконечный цикл, в котором идет прием, например:

```
MaxFrames = 1000;
```

Существует возможность записи принимаемых кадров в видеофайл из программы-приёмника. Для этого создается видеообъект:

```
writerObj = VideoWriter('d:\ReceivedVideo.avi');
writerObj.FrameRate = v3; % частота кадров
writerObj.Quality = 85; % качество видео, число от 0 до 100
open(writerObj);
```

Дальнейшая работа программы-приёмника сводится к последовательному приему массивов целых чисел и созданию из них кадров, образующих видеопоследовательность:

```
if v5 == 1 % высылаются цветные изображения
    index = 1;
    while keep_receiving % цикл приема изображений
        indata = fread(t, h*w*3, 'uint8'); % прием чисел, формирующих один кадр
        count = count + 1; % счетчик принятых кадров
        for i = 1:h % цикл по строкам
            for j = 1:w % цикл по столбцам
                RGBMatrix(h-i+1,j,1) = indata(index+2)/255; % формирование массива
                RGBMatrix(h-i+1,j,2) = indata(index+1)/255; % размером
                RGBMatrix(h-i+1,j,3) = indata(index)/255; % w*h*3
                index = index+3;
            end
        end
        index = 1;
        frame = im2frame(RGBMatrix); % изображение преобразуется в видеокادر
        writeVideo(writerObj, frame); % видеокادر записывается в видеообъект
        imshow(RGBMatrix); % отображает принятый кадр
        flushinput(t); % удаление данных из буфера приема
        if count > MaxFrames % проверка количества принятых кадров
            keep_receiving = 0; % прекращение приема
        end
    end
end
close(writerObj);
end
```

При передаче из UM монохромных изображений приём можно организовать следующим образом:

```
if v5 == 0 % высылаются монохромные изображения
    GrayscaleImage = zeros(h,w); % выделение памяти на один кадр
    index = 1;
```

```
while keep_receiving
    indata = fread(t, h*w, 'uint8');
    count = count + 1;
    for i = 1:h
        for j = 1:w
            GrayscaleImage(i,j) = indata(index);
            index = index + 1;
        end
    end
    flushinput(t);
    if count > MaxFrames
        keep_receiving = 0;
    end
end
end
```

Рассмотренная программа-приёмник может быть переработана пользователем в соответствии с его потребностями.

Дальнейшая работа с принятыми изображениями может вестись, например, с использованием MATLAB Automated Driving Toolbox, который предоставляет пользователю богатый инструментарий для анализа изображений применительно к автоматизированным системам помощи водителю (ADAS). Подробное описание доступно в документации по MATLAB, см., например, <https://www.mathworks.com/help/driving>.

Список литературы

- [1] G. Xu и Y. Xu, GPS: Theory, Algorithms and Applications 3rd ed. -: Springer, 2016 - 489 р..
- [2] Б. К. Леонтьев, GPS: Все, что Вы хотели знать, но боялись спросить. Неофициальное пособие по глобальной системе местопределения, Литературное агентство «Бук-Пресс», 2006. - 352 с.
- [3] Kaplan E. D. и . C. J. Hegarty, Understanding GPS Principles and Applications 2nd ed.-: Springer, 2007, - 723 р..
- [4] В. Hofmann-Wellenhof, Н. Lichtenegger и Е. Wasle, GNSS - Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo, and more Springer Wien NewYork, 2008 – 546 р..
- [5] МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ ГОСТ 32453-2017. Глобальная навигационная спутниковая система. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ. Методы преобразований координат определяемых точек. Издание официальное.- Москва: Стандартинформ, 2017, - 23 с..
- [6] Постановление Правительства Российской Федерации от 26 ноября 2016 г. № 1240 «Об установлении государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы».
- [7] Сыроева С., Датчики. Актуальные технологии и применения датчиков автомобильных систем активной безопасности. Часть 1. Новые технологии и применения датчиков автомобильных систем помощи водителю URL: www.kite.ru/assets/files/pdf/2006_08_34.pdf.
- [8] PIDA: LiDAR in ADAS Applications Will Experience Most Rapid Growth. URL:<https://en.ctimes.com.tw/DispNews.asp?O=HK2C3A8BPUQSAA00NB> (Дата: 04.03.2019).
- [9] Electronics-Driver Assistance Systems. Техническая информация Hella. Hella 2003, 2004, 2005. www.hella.com.
- [10] T. Yoshida, H. Kuroda, T. Nishigaito. Adaptive Driver-assistance Systems. http://www.hitachi.com/ICSFiles/afieldfile/2004/11/26/r2004_04_104_1.pdf.
- [11] В. И. Арнольд, Математические методы классической механики: Учеб. Пособие для вузов. – 3-е изд. испр. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1989. – 472 с.