

УТВЕРЖДЕН

РОФ.НФДР.62.01.29.002-01 13 01-ЛУ

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
«TramPilot»

Описание программы
РОФ.НФДР.62.01.29.002-01 13 01

Листов 13

подл.Инв. №	дата	№Взам. инв.	дубл.Инв. №	дата

АННОТАЦИЯ

Настоящий программный документ содержит описание программного обеспечения «TramPilot» (далее – программа).

В документе раскрыты сведения о логической структуре и функционировании программы, о формате входных и выходных данных, описан способ загрузки программы, а также приведены требования к используемым техническим средствам и программному обеспечению, необходимым для работы программы.

Оформление программного документа «Описание программы» выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 19.402-78¹.

¹ ГОСТ 19.402-78 ЕСПД. Описание программы

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие сведения.....	4
1.1. Обозначение и наименование программы.....	4
1.2. Программное обеспечение, необходимое для функционирования программы ...	4
1.3. Языки программирования, на которых написана программа.....	4
2. Функциональное назначение	5
2.1. Классы решаемых задач	5
2.2. Назначение программы.....	5
2.3. Сведения о функциональных ограничениях на применение.....	5
3. Описание логической структуры.....	6
3.1. Алгоритм программы.....	6
3.2. Используемые методы	6
3.3. Структура программы с описанием функций составных частей и связи между ними	7
3.4. Связи программы с другими программами	10
4. Используемые технические средства.....	11
5. Вызов и загрузка.....	11
6. Входные данные	12
7. Выходные данные	12

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Обозначение и наименование программы

Обозначение программы – РОФ.НФДР.62.01.29.002-01.

Наименование программы – TramPilot.

1.2. Программное обеспечение, необходимое для функционирования программы

Для запуска и функционирования программы необходимо следующее программное обеспечение:

- Ubuntu, минимальная версия 18.04;
- драйвер L4T;
- docker, минимальная версия 19.03;
- docker-compose, минимальная версия 1.28.5.

В составе **docker**-образа:

- Uubuntu, версия 18.04+;
- CUDA Toolkit, версия 10.2+;
- cuDNN, версия 7.6.5+;
- TensorRT, версия 7.1.3+;
- OpenCV, версия 3.4.9.

1.3. Языки программирования, на которых написана программа

При разработке применялся язык программирования C/C++17, python 2.7/3.6+. Использовались средства разработки CMake 3.18, gcc 7.5.

2. ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ

2.1. Классы решаемых задач

Программа решает следующие основные задачи:

- выбор профиля скорости;
- управление режимом ограничения скорости;
- управление режимом автоторможения перед запрещающим сигналом светофора;
- управление режимом автоторможения при обнаружении на пути движения объектов типа трамвайный вагон, транспортное средство, человек;
- передачу на сервер логов и телеметрии в формате json.

2.2. Назначение программы

Программа предназначена для установки в вычислительный блок системы обеспечения активной безопасности и помощи водителю трамвая и обеспечивает управление системой. Взаимодействие с программой реализовано через графический интерфейс с сенсорным управлением на панели пульта водителя трамвая.

2.3. Сведения о функциональных ограничениях на применение

Программа является специальным программным обеспечением, предназначенным для установки в вычислительный блок системы обеспечения активной безопасности и помощи водителю трамвая.

3. ОПИСАНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

3.1. Алгоритм программы

Функциональная схема TramPilot приведена на рисунке 1.

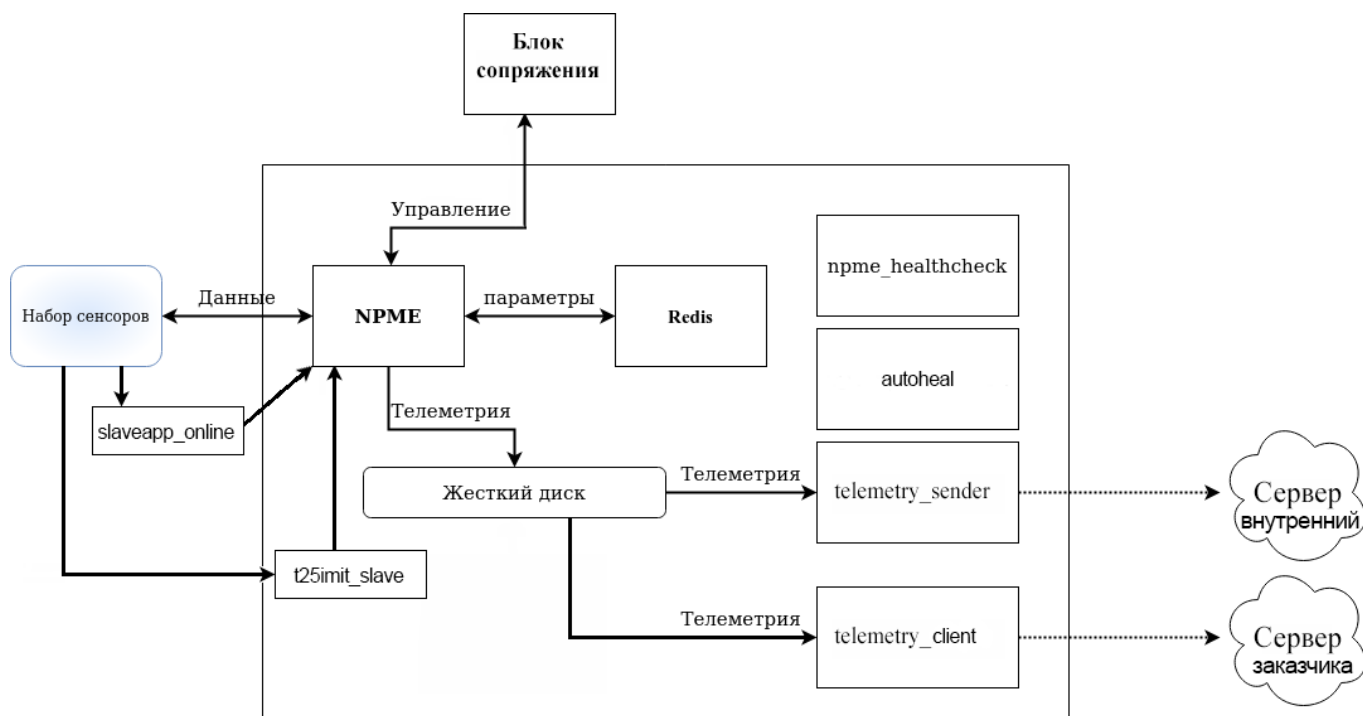


Рисунок 1 – Функциональная схема TramPilot

3.2. Используемые методы

Программа состоит из нескольких процессов, взаимодействующих между собой. Каждый модуль запускается в отдельном докер контейнере, в определенной последовательности. Для запуска всех контейнеров используется утилита **docker-compose**.

NPME – основной программный модуль TramPilot. Состоит из исполняемого файла и набора динамически подключаемых библиотек. Модуль получает данные от датчиков (видеокамера, навигационный модуль, CAN-шина сопряжения с трамваем), получает данные от вспомогательных программных модулей, распознаёт объекты на кадре, определяет местоположение трамвая в пространстве, устанавливает принадлежность к маршруту движения трамвая, восстанавливает местоположение и состояние объектов в трёхмерных координатах и определяет из них опасные, оценивает время до столкновения с ними, оценивает показания профиля скорости с учетом предсказания положения, вычисляет оптимальную скорость движения и

положение ручки хода для ее исполнения. Также происходит обработка сигналов светофоров и сопоставление их с картой и выбранным маршрутом движения.

Redis – база данных хранения параметров настроек TramPilot. Также предназначена для обмена сообщениями и параметрами между приложениями.

npme_healthcheck – утилита, которая проверяет состояние NPME на предмет некорректной работы.

autoheal – утилита, которая перезапускает NPME, в случае если по данным npme_healthcheck установлен факт некорректной работы.

telemetry_sender – программа для доставки данных телеметрии на внутренний сервер мониторинга.

telemetry_client – программа для доставки данных телеметрии на сервер мониторинга заказчика.

t25imit_slave – вспомогательный программный модуль для настройки и получения данных радара. Состоит из исполняемого файла и динамически подключаемых библиотек. Модуль устанавливает параметры работы радара, получает от него данные и поддерживает сетевую связь по стеку протоколов TCP/IP с основным программным модулем NPME.

slaveapp_online – вспомогательный программный модуль для настройки камеры, получения и обработки видеоданных. Состоит из исполняемого файла и динамически подключаемых библиотек. Модуль устанавливает параметры работы камеры, получает и обрабатывает кадры, распознает объекты на кадре и поддерживает сетевую связь по стеку протоколов TCP/IP с основным программным модулем NPME.

3.3. Структура программы с описанием функций составных частей и связи между ними

NPME (Navigator-Planner-Machinist Environment) – это основная программа управления транспортными средствами на основе данных распознавания. Функциональная схема NPME приведена на рисунке 2.

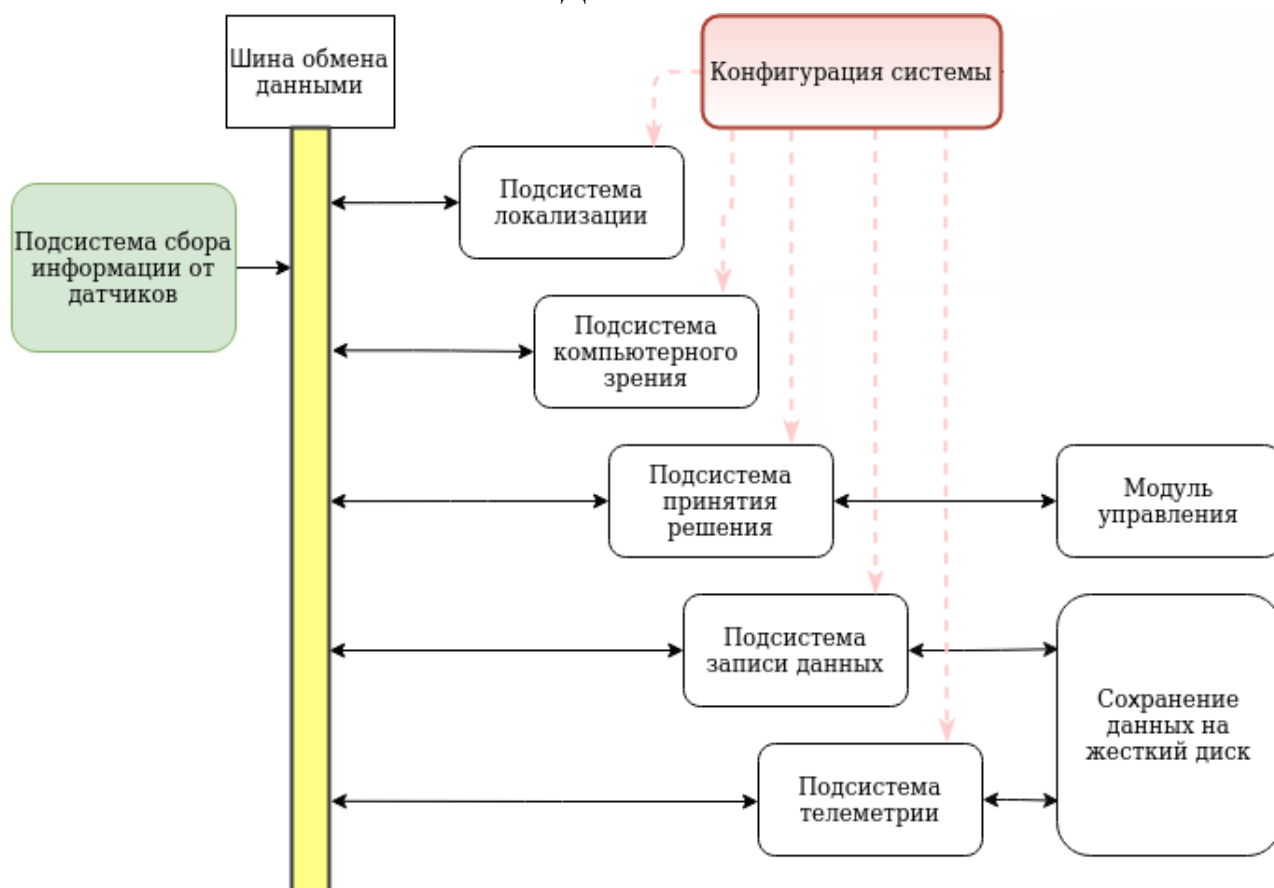


Рисунок 2 – Функциональная схема NPME.

Модуль NPME можно разделить на логические подмодули (подсистемы), каждый из которых выполняет определенную задачу. Все подмодули логически изолированы друг от друга. Разрешен обмен только согласованными и структурированными данными (фреймами). Каждый фрейм описывает необходимый и достаточный набор данных для его использования в системе. Например, image фрейм помимо самого изображения содержит данные об устройстве, с которого оно было получено, точное время съемки и ряд других необходимых данных. Передача фреймов осуществляется посредством логической шины обмена данными, что позволяет избежать неконтролируемого поведения программы.

Каждый подмодуль npme имеет ряд параметров настройки, необходимых для точного конфигурирования программы. Конфигурация осуществляется за счет файлов настройки и базы данных **Redis**. Файлы настройки позволяют описать набор физических устройств системы. База данных **Redis** применяется для хранения параметров, полученных при настройке и калибровке оборудования и специфична для конкретного трактора. Также **Redis** используется для обмена параметрами и сигналами во время работы системы. К примеру, выбор режима работы, сигналы об ошибках и ряда других параметров.

Основные подмодули NPME:

- подсистема сбора информации от датчиков;
- подсистема локализации (tram_path_ins_loc);
- подсистема компьютерного зрения;
- подсистема принятия решения (tram_planner);

- подсистема записи данных;
- подсистема телеметрии.

Подсистема сбора информации от датчиков представляет собой условный сервер и набор подмодулей захвата (кепчер). Каждый кепчер отвечает за работу с одним устройством. Это может быть камера, блок навигации, либо любой датчик, информация с которого может быть применена в программе. Каждый кепчер должен быть описан в конфигурации системы. Работа сервера представляет собой регулярный опрос подмодулей захвата. Данные, полученные за определенный промежуток времени, собираются в пакет и передаются в шину обмена данными.

Задача подсистемы локализации заключается в том, чтобы на основе данных, полученных от навигационного модуля (координаты GPS, инерциальные данные и др.) и данных из CAN-шины сопряжения с трамваем определить точное положение трамвая на карте маршрутов. Помимо координаты местоположения подмодуль вычисляет путь параметр трамвая от начала маршрута, углы ориентации в пространстве и скорость. Подмодуль локализации использует математические фильтры для сглаживания данных, получаемых от датчиков, минимизации ошибок и получения максимально точных данных на выходе.

Подсистема компьютерного зрения предназначена для получения информации об окружающей обстановке. Данные, полученные от одной или нескольких камер, проходят обработку в нейронных сетях. Далее, с помощью математических методов, программа модуль определения объектов производит синтез последних наблюдений с камеры и радара, что позволяет получить точные трехмерные координаты объектов и оценки их скоростей. Совместно с данными, полученными от подсистемы локализации, подсистема производит перерасчет положения окружающих объектов. Подсистема использует расширенный фильтр Калмана для оценки скорости, направления движения и фильтрации ошибочных предположений. На выходе получается набор объектов, содержащий необходимый набор данных для дальнейшей работы с ними. Это координаты объекта в пространстве, его классификация, скорость и направление движения.

Задачей подсистемы принятия решения является управление ручкой хода трамвая, а также тормозными механизмами. Подсистема принятия решений может быть условно поделена на три подсистемы: система предотвращения столкновений, система контроля проезда запрещающего сигнала светофора и система ограничения скорости из профиля. Система предотвращения столкновений оценивает расстояние до опасных объектов, вычисляет время до столкновения и целевую скорость, чтобы избежать его. Так же работает и система контроля светофоров, оценивая время до пересечения стоп-линии, в случае если сигнал запрещающий. Подсистема ограничения скорости оценивает минимальную целевую скорость из профиля на участке от текущего положения до предсказания положения трамвая в ближайшем будущем. После этого берется минимум от всех подсистем и отправляется в модуль поддержания скорости, который выдает необходимое положение ручки хода трамвая для достижения этой скорости. Положение ручки, применяемое трамваем,

выбирается по правилу минимум из положения ручки, выдаваемой TramPilot и положения реальной ручки трамвая.

Подсистема записи данных выполняет запись датасетов необходимых для получения полноценного набора данных со всех датчиков, включая информацию о принимаемых решениях системы. Датасеты используются для разработки и отладки алгоритмов, что позволяет наращивать функционал системы. Наравне с данными телеметрии дообучать нейронные сети. В силу того, что накапливаемый объем данных велик, то данная подсистема используется только по необходимости и в определенные моменты работы программы.

Подсистема телеметрии предназначена для сбора данных о трамвае во время его работы. Данные собираются с заданной периодичностью и пересылаются на сервер для дальнейшего анализа. Полученная информация помогает дообучать нейронные сети, оперативно выявлять неисправности системы. Также данная информация может быть использована для оценки правильности использования трамвайного вагона водителем.

3.4. Связи программы с другими программами

Программа выполняет передачу логов, отписанных в json-файлы, на сервер через сеть оператора сотовой связи стандарта GSM 900/1800 посредством технологии пакетной передачи данных GPRS по защищенному каналу TLS.

Программа выдает управляющие воздействия в CAN-шину сопряжения трамвая.

4. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА

Минимальные характеристики вычислительного блока:

- встроенный процессор CPU: не менее 4 ядра ARM Cortex-A53;
- графический сопроцессор: не хуже ARM Mali-T860MP4;
- производительность TPU вычислителя: не менее 21000 млрд. операций/с;
- вспомогательный MCU: не менее 1 ядра ARM Cortex-M4;
- интерфейс связи: Ethernet, не менее 100Base-T; CAN;
- постоянное запоминающее устройство, не менее: SSD 64 Гбайта.

Характеристики видеокамеры блока камер:

- разрешение сенсора: 2,6 (2048x1280) Мп;
- частота кадров: до 45 fps;
- динамический диапазон: до 140 дБ (HDR RAW Output, до 24-bit);
- цветность: цветная в видимом диапазоне цветов;
- формат видео данных: RAW12, RAW16;
- интерфейс передачи данных: FPDLink-III;
- тип объектива: M12x0,5 (S-Mount), HFoV 123°.

Характеристики блока навигации:

- поддержка сетей сотовой связи: HSPA+/HSDPA/UMTS/EDGE/GSM;
- LTE модем: LTE-FDD/LTE-TDD/UMTS/ HSDPA/HSUPA/HSPA+/GSM/GPRS/EDGE;
- диапазоны ГНСС: GPS/QZSS L1C/A, L2C ГЛОНАСС L1OF, L2OF BeiDou B1I, B2I Галилео E1B/C, E5b;
- число каналов: 184 шт.;
- частота обновления: 10 Гц;
- коэффициент усиления антенны ГНСС, не менее: 3 дБи;
- коэффициент усиления антенны 2G/3G/4G, не менее: 2,3 дБи;
- коэффициент усиления антенны LoRa, не менее: 0,7 дБи;
- объем внутреннего хранилища: 7 Гб;
- поддержка сим-карт типоразмера microSIM;
- интерфейс взаимодействия: Ethernet, не менее 100Base-T.

Характеристики универсального радара CPRR24.L:

- несущая частота: 24,150 ГГц;
- мощность излучаемого сигнала: не более 10 дБм;
- полоса сигнала: 200 МГц;
- максимальная дальность действия: 250 м;
- минимальная дальность действия: 0,5 м;
- точность оценки дальности: $\leq 0,2$ м, до 100 м, ЭПР 10 м²;
- сектор обзора по азимуту:
 - а) 120°, до 100 м, ЭПР 10 м²;

б) 90°, до 250 м, ЭПР 10 м²;

- точность оценки угла: 1°;
- точность оценки скорости: $\pm 0,4$ км/ч;
- интерфейс передачи данных и питания (гнездо M12, IP67): Ethernet (PoE).

5. ВЫЗОВ И ЗАГРУЗКА

Включение системы выполняется автоматически после включения сети электропитания трамвайного вагона. Последовательность операций, выполняемых при загрузке, следующая:

- самотестирование аппаратных средств;
- загрузка операционной системы, установленной в вычислительный блок;
- запуск и самотестирование интерфейсного программного обеспечения;
- запуск исполняемых файлов.

6. ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Входными данными для программы являются:

- видеопоток, поступающий с камер;
- данные, поступающие от блока навигации;
- данные, поступающие от универсального радара CPRR24.L;
- данные, поступающие от систем трамвайного вагона;
- параметры, задаваемые с помощью панели пульта водителя.

7. ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Выходными данными для программы являются:

- предупреждающие сигналы (на панели пульта водителя);
- сообщения о сбое в работе системы (на панели пульта водителя);
- сигнал на торможение (через блок сопряжения);
- json-файл событий.

[illegible][illegible]