



Круглый стол «Автономные малоразмерные высокоманевренные БПЛА мультироторного типа»

Проект - Летающая лаборатория

Заведующий лабораторией
Автайкин С.В.

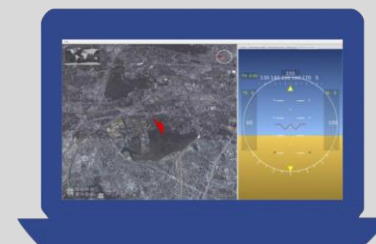
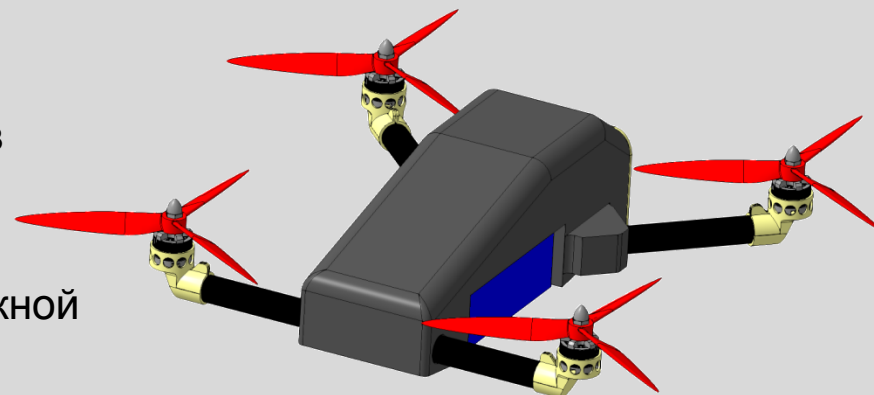




Летающая лаборатория

Программно-аппаратный комплекс предназначенный для проведения исследований в области:

- ✓ инженерно-технических подходов по улучшению весового и аэродинамического совершенства;
- ✓ систем технического зрения;
- ✓ отработки технологий пространственной ориентации в различных условиях;
- ✓ алгоритмов высокоскоростного полета и агрессивного автоматического пилотирования в пространствах сложной конфигурации;
- ✓ алгоритмов интеллектуального планирования и группового взаимодействия;
- ✓ систем принятия решений с элементами искусственного интеллекта;
- ✓ вопросов энергообеспечения, а также методов и подходов к управлению и минимизации общего потребления системы;
- ✓ технологий производства и методов снижения стоимости летальных аппаратов.





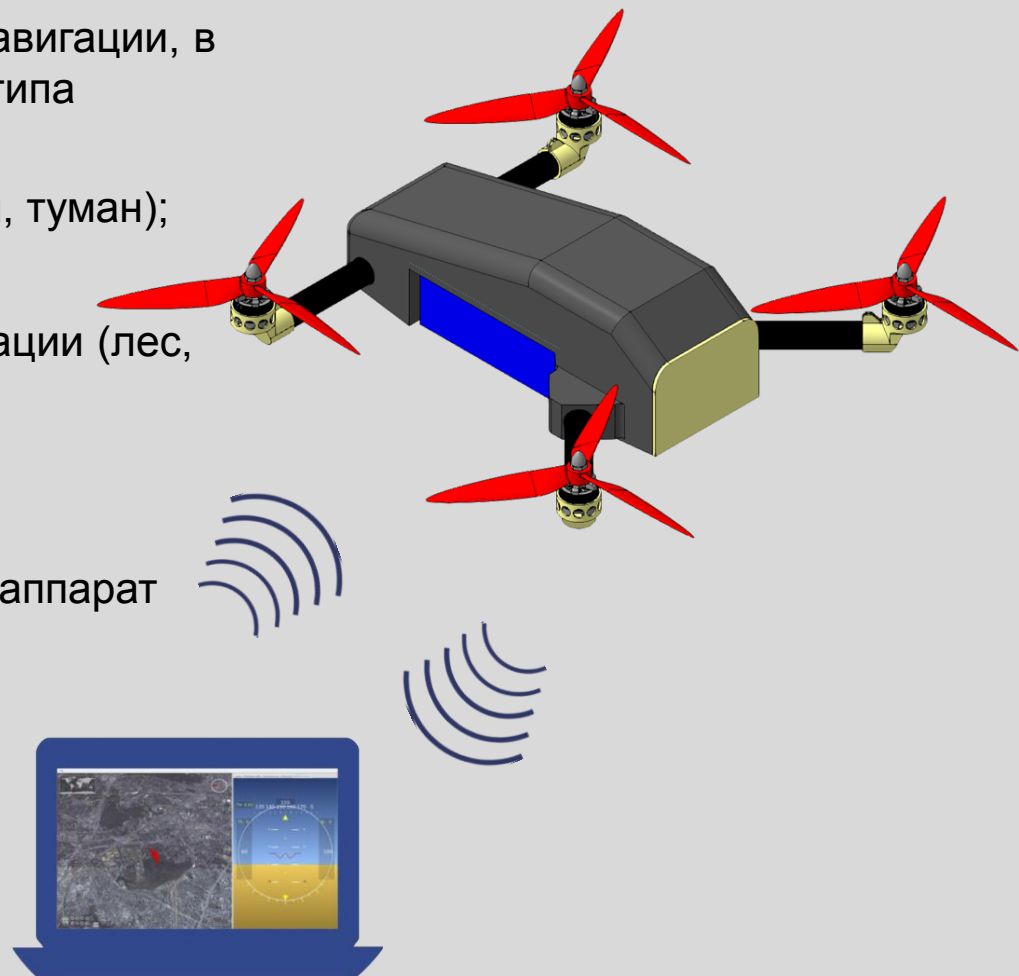
Летающая лаборатория

Задача: реализации методов и подходов к автономному высокоскоростному функционированию БПЛА в различных условиях, в том числе:

- ✓ отсутствия сигналов вспомогательных систем навигации, в том числе глобальной навигационной системы типа GPS/ГЛОНАСС;
- ✓ ограниченной оптической видимости (ночь, дым, туман);
- ✓ искаженного магнитного поля земли;
- ✓ ограниченного пространства сложной конфигурации (лес, промышленные объекты, жилые помещения).

Состав Летающей лаборатории:

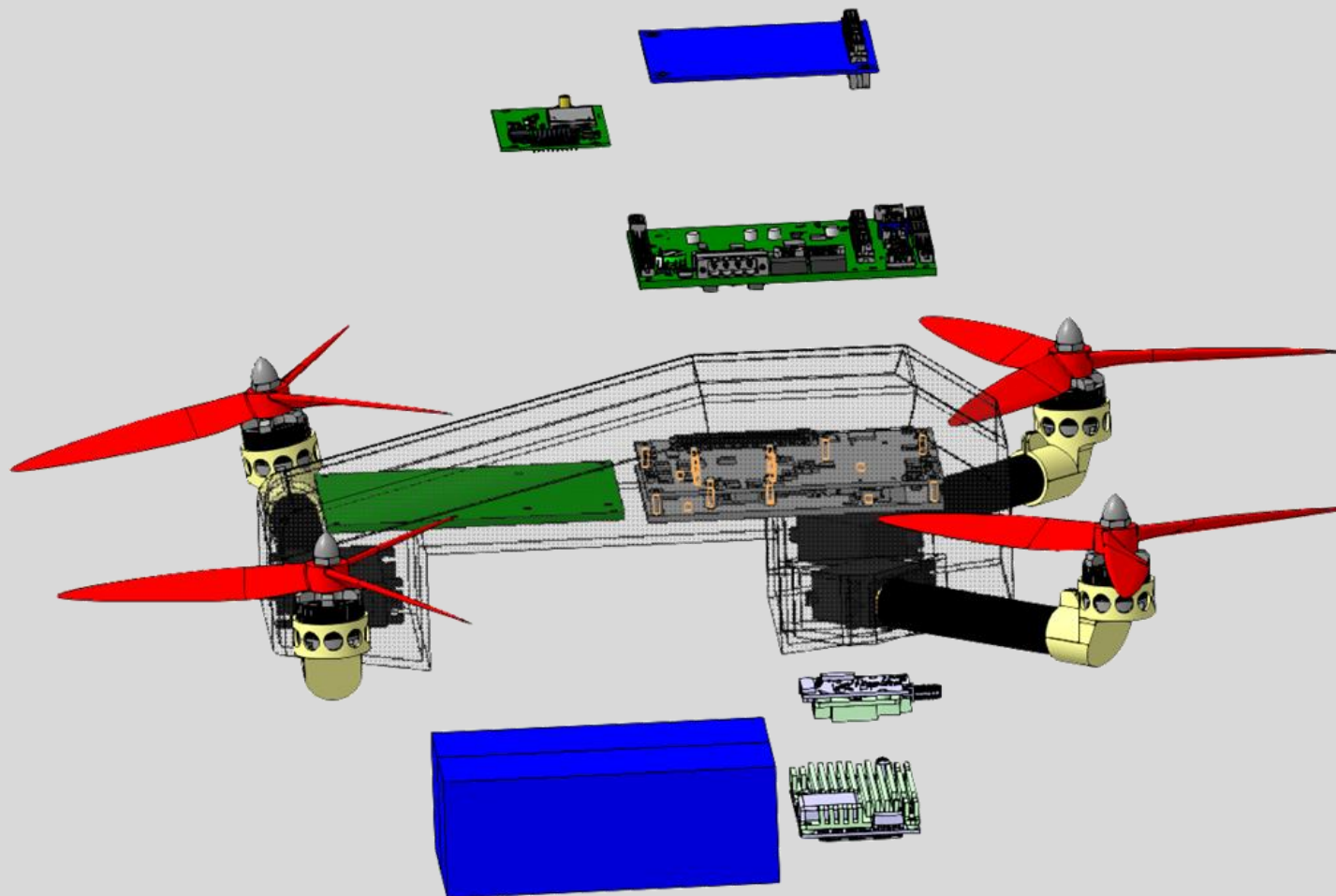
- ✓ беспилотный исследовательский летательный аппарат
- ✓ наземный пункт управления
- ✓ рабочее место разработчика





Беспилотный исследовательский летательный аппарат

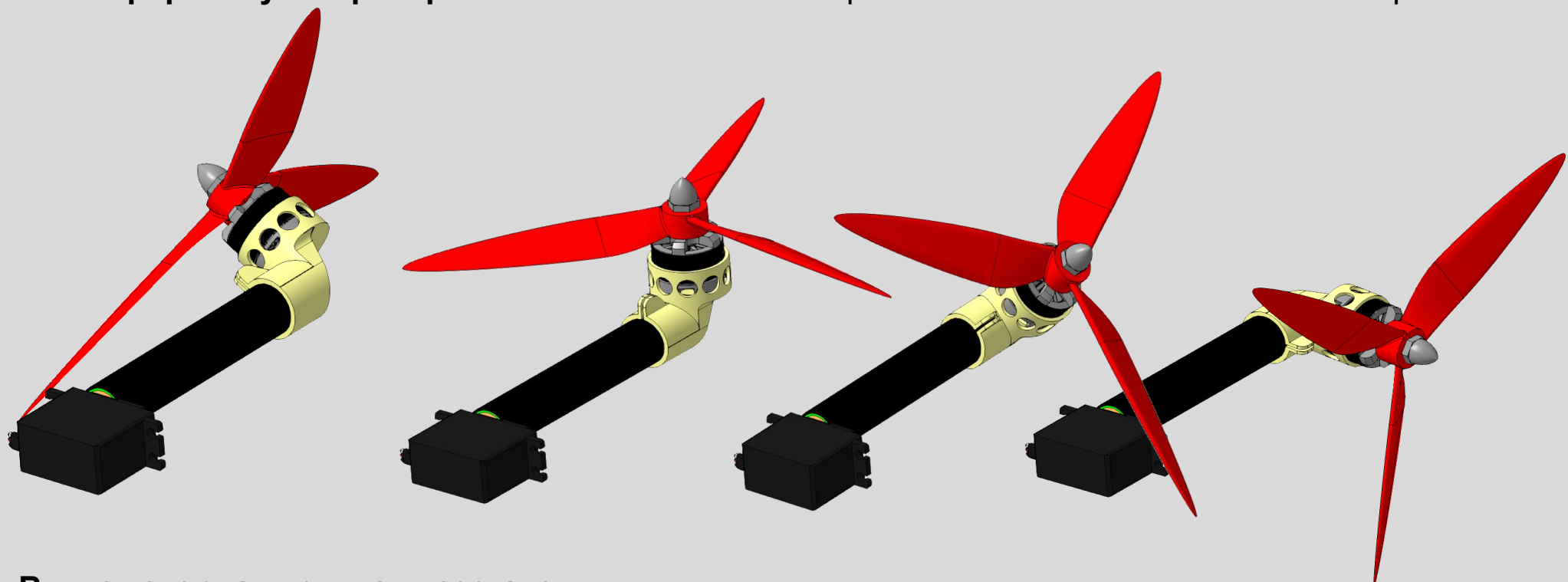
Платформа мультироторного типа – схема с четырьмя винтами с отклоняемым вектором тяги





Беспилотный исследовательский летательный аппарат

Платформа мультироторного типа – схема с четырьмя винтами с отклоняемым вектором тяги



Винтомоторная группа, в составе:

- ✓ двигатель типоразмера 2816 с характеристикой от 1300 до 1700KV
- ✓ трехлопастный винт типа 9,4x4,5
- ✓ регулятор хода собственной разработки с токоотдачей не менее 60 А
- ✓ сервопривод обеспечивающий поворот винта относительно луча на 360 градусов

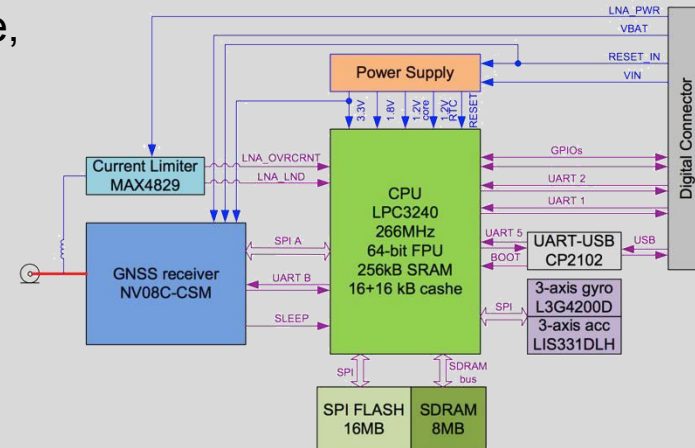


Беспилотный исследовательский летательный аппарат

Подсистема навигации

Предназначена обеспечения ориентации БИЛА в пространстве, а также для исследования и разработки программных и аппаратных методов защиты от воздействия активных систем подавления сигналов спутниковой навигации, построена на базе навигационного приемника **NV08C-RTK**. Ключевой особенностью является обеспечение навигации с высокой точностью используя фазовые измерения сигналов систем ГЛОНАСС, GPS.

NV2410 - внешняя активная антенна профессионального уровня для приема сигналов GPS L1, ГЛОНАСС L1 и SBAS (WAAS, EGNOS и MSAS) в полосе частот (от 1574 до 1606 МГц)



Беспилотный исследовательский летательный аппарат

Бортовая ЭВМ

Предназначена для организации взаимодействия подсистем бортового и сопрягаемого оборудования, комплексной обработки информации, решения задач технического зрения, навигации, управления и специальных задач.

Состав БВМ:

- ✓ Плата-носитель COM Express Type 6
- ✓ Процессорный модуль COM Express Type 6
- ✓ Дополнительные интерфейсные модули PClex-104 (опция)

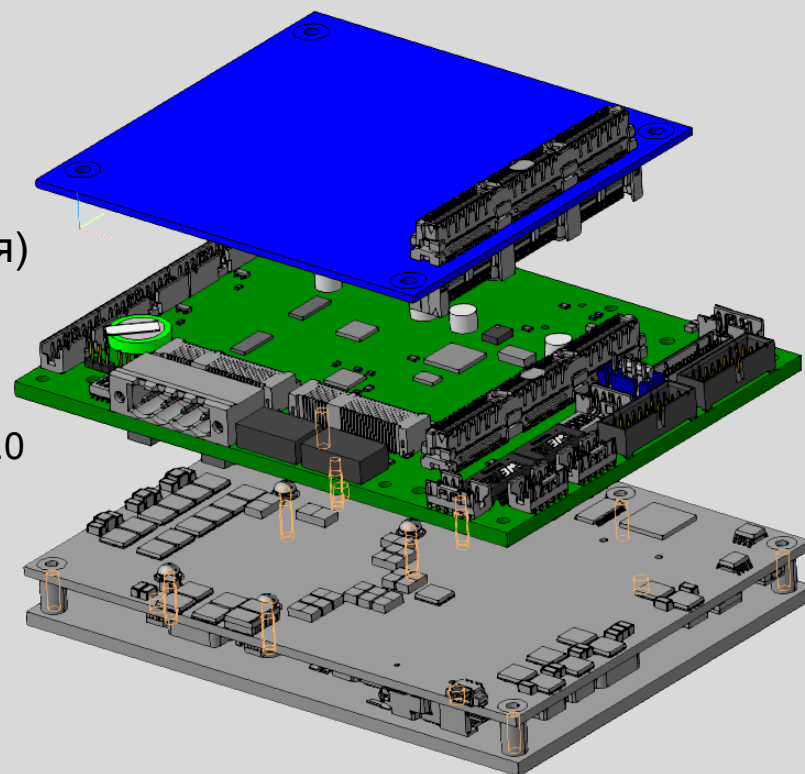
Плата-носитель собственной разработки и производства

Объем оперативной памяти – 16 Гб DDR-4 2400 МГц,
2,5 SSD - 128 Гбайт, Msata - 64 Гбайт.

Интерфейсы: COM Express Type 6 - 1 шт; SATA 6 Гб\с - 3 шт; USB 3.0 - 6 шт; USB 2.0 - 4 шт; Gigabit ETH - 2 шт; DisplayPort - 1 шт;
miniPClex\Msata - 1 шт; RS-232 - 4 шт; RS-485 - 4 шт.

Процессорный модуль Congatec 041300 система на кристалле:

4-х ядерный процессор AMD Embedded RX-421BD SOC с тактовой частотой 2.1/3.4 ГГц, графическим процессором AMD Radeon™ R7 Graphics, с тактовой частотой 800 МГц, с аппаратной поддержкой гетерогенных вычислений APIs: DirectX 12, OpenGL 4.4 and OpenCL 2.0





Беспилотный исследовательский летательный аппарат

Подсистема технического зрения

Комплекс для обнаружения и детектирования элементов внешней среды состоящий из датчиков и сенсоров, использующих активные и пассивные сигналы различной природы (световые, звуковые, инфракрасные и др.)

Состав датчиков и сенсоров системы технического, полностью интегрированный в БЭВМ :

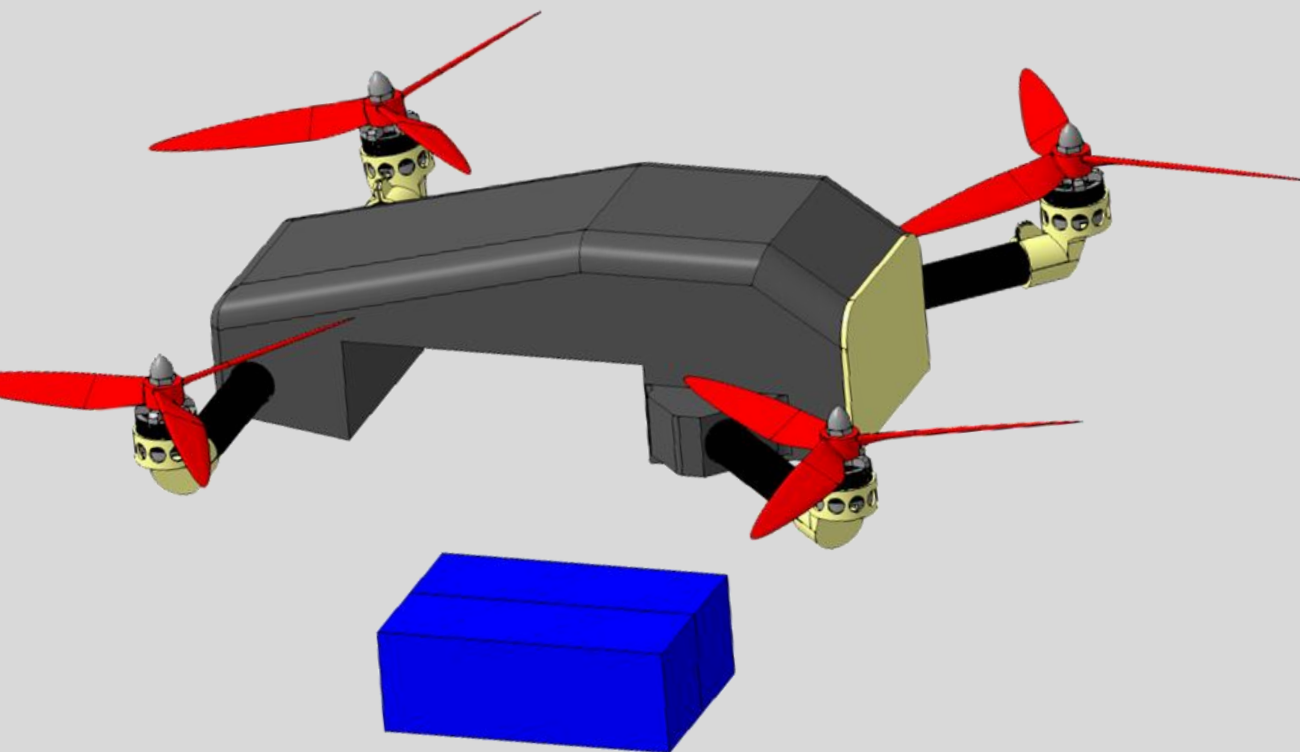
- ✓ видеокамера **xiQ MQ022CG-CM-CS** обеспечивающая цветную видеосъемку в разрешении 2048x1088 180fps
- ✓ блок бинокулярного зрения на базе модулей **MQ022CG-CM-CS**
- ✓ лазерный сканер **Velodyne LiDAR Puck LITE**
- ✓ ультразвуковые датчики **Maxbotix MB1030 LV-MaxSonar-EZ3**
- ✓ тепловизор **Seek Thermal XR**
- ✓ система камер **Intel RealSense** (камера с разрешением 1080p, инфракрасная камера и инфракрасный лазерный проектор)



Беспилотный исследовательский летательный аппарат

Подсистема энергообеспечения

Предназначена для снабжения электроэнергией всех потребителей БИЛА, обеспечения требуемого времени полета, а также летных характеристик.



Состав подсистемы :

- ✓ контроллер питания
- ✓ блок аккумуляторных батарей 4S2P 14000mAh 50C

Контроллер питания обеспечивает:

- ✓ измерение напряжений аккумуляторных батарей
- ✓ измерение потребления тока
- ✓ управление включением/выключением изделия
- ✓ коммутацию и преобразование питания DC/DC 12, 5, 3.3 В
- ✓ управление зарядом



Беспилотный исследовательский летательный аппарат

Подсистема автопилотирования

Предназначена для решения задач:

- ✓ автоматического управления БИЛА при полёте по заданной траектории
- ✓ стабилизации углов ориентации, высоты и скорости
- ✓ определения навигационных параметров (координат, углов ориентации, параметров движения)
- ✓ управления исполнительными механизмами
- ✓ управления электродвигателями

Основана на **open-source** архитектуре автопилота **Pixhawk v2.4.5** с доработками

Процессор

32bit STM32F427 ядро Cortex M4 с сопроцессором (FPU STM32F103)
168 MHz, 256 KB RAM, 2 MB Flash

Сенсоры

ST Micro L3GD20H 16 bit гироскоп
ST Micro LSM303D 14 bit акселерометр / магнитометр
Invensense MPU 6000 3-осевой акселерометр / магнитометр
MEAS MS5611 барометр

Интерфейсы

5x UART (serial ports), 2x CAN, PPM sum signal input, RSSI (PWM or voltage) input, I2C, SPI, USB, MicroSD



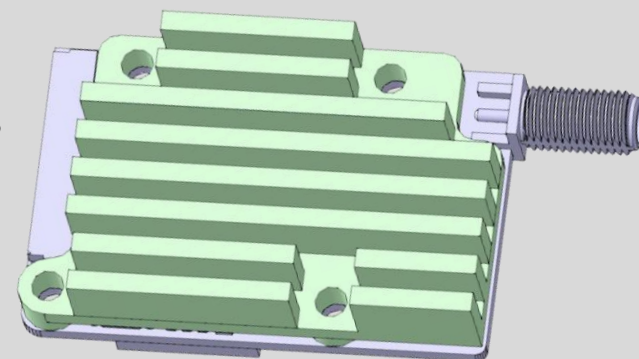


Беспилотный исследовательский летательный аппарат

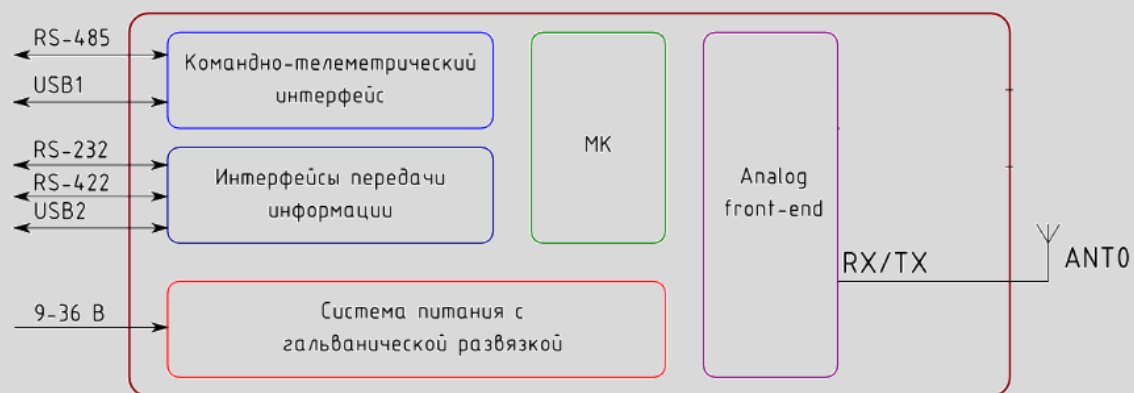
Подсистема регистрации и приема/передачи телеметрической информации и команд управления

На базе цифровой системы связи РМ-02, обеспечивает:

- ✓ регистрацию данных бортовой электроники с возможностью последующего считывания сохраненной информации, в том числе в случае разрушения БИЛА
- ✓ передачу зарегистрированной информации на наземный пункт управления
- ✓ прием/передачу команд управления



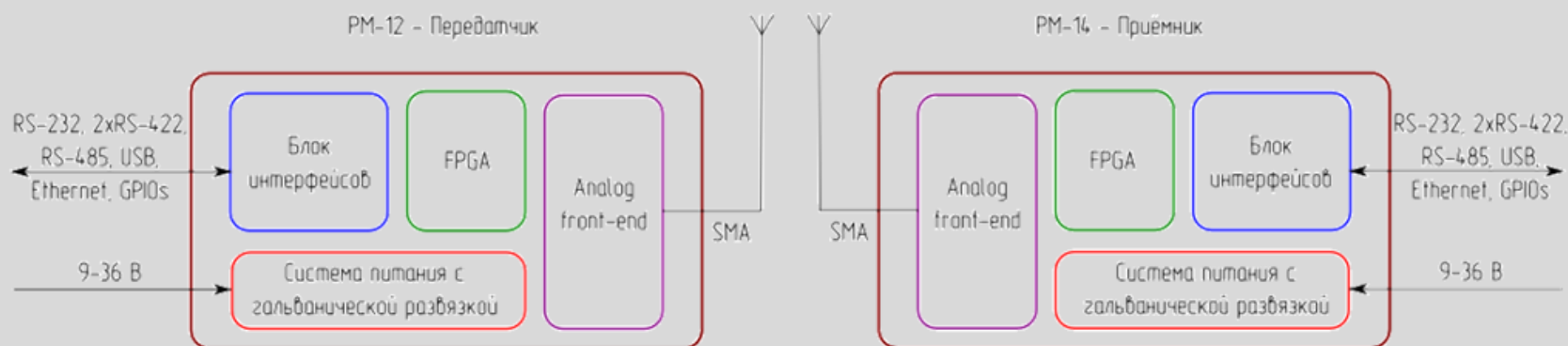
Диапазон рабочих частот, МГц	2400-2483,5
Полоса занимаемых частот	2 МГц
Скорость передачи данных, до кбит/с	250
Количество рабочих каналов	12
Дальность действия в условиях прямой видимости, не менее км	30
Выходная мощность передатчика, не более	200 мВт
Вид модуляции	FSK
Потребляемая мощность, не более	3 Вт



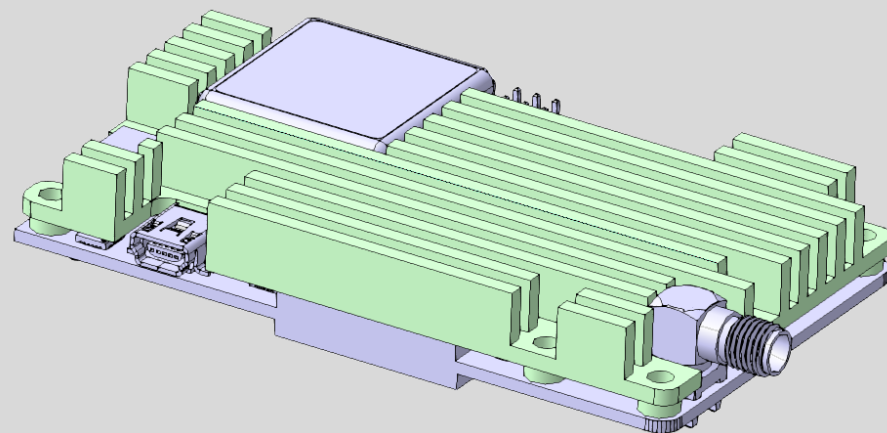
Беспилотный исследовательский летательный аппарат

Подсистема широкополосной высокоскоростной передачи данных

На базе цифровой системы связи РМ-12 предназначена для передачи аудио/видео и/или других типов информации на наземный пункт управления



Диапазон рабочих частот, МГц	2400–2483,5
Полоса занимаемых частот	5–20 МГц
Скорость передачи данных, до Мбит/с	20
Количество рабочих каналов	6
Дальность действия в условиях прямой видимости, не менее (остронаправленная антенн НСУ)	30 км
Выходная мощность передатчика, не более	+30 дБм
Потребляемая мощность, не более	10 Вт





Наземный пункт управления

Носимая ЭВМ выполнена на базе ноутбука, архитектуры x86

Ручной пульт управления Spektrum DX7s

Приемо-передатчик РМ-02 и приемник РМ-14 с комплектом антенн А-01:

- ✓ рабочий диапазон частот – 2,4–2,5 ГГц
- ✓ КСВ в рабочем диапазоне частот, не более – 1,5
- ✓ поляризация – вертикальная
- ✓ ширина диаграммы направленности (гор.) – 68 град, (верт.) – 57 град.
- ✓ коэффициент усиления – 9 дБи

Автономный источник питания обеспечивает автономную работу наземного пункта управления при отключении внешнего питания в течение не менее 2 часов. Выполнен на базе бензинового (дизельного) генератора с возможностью подключения к штатной системе питания автомобиля, обеспечивает автоматический заряд и переключение источника питания при работе от сети 220 В и бортовой сети автомобиля.

Транспортная упаковка БИЛА выполнена на базе ударопрочных кейсов PELI 015100-0019-110 - кейс 1510М с усиленной колесной базой. Внутри транспортной упаковки выполнены специализированные ложементы для укладки компонентов летающей лаборатории и их защиты от нежелательных воздействий во время транспортировки.

В транспортной упаковке располагается **одиночный комплект ЗИП** БИЛА





Рабочее место разработчика

Представляет собой набор программных библиотек, среду симуляции и соответствующий набор документации и может быть развернуто на любом персональном компьютере

Состав:

- ✓ программные библиотеки разработчика
- ✓ конструкторская документация на аппаратное обеспечение
- ✓ среда симуляции
- ✓ справочная документация

Для **подсистемы автопилотирования** на базе Pixhawk выбрано и модифицировано программное обеспечение PX4, распространяющееся под лицензией BSD. Преимущества прошивки PX4 в интегрированной многопоточности, Unix/Linux-подобной среде программирования, открытом исходном коде

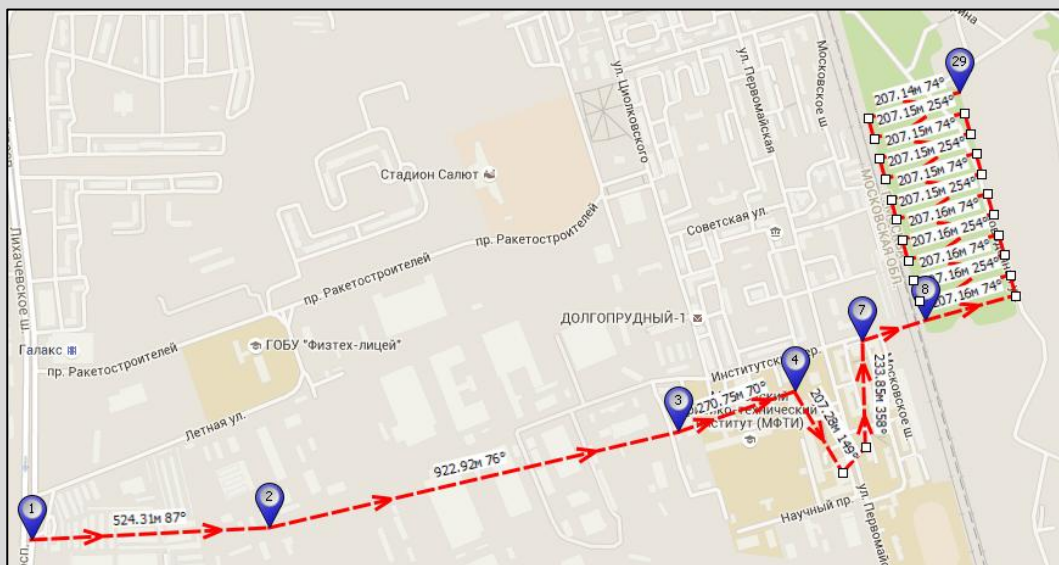
В модифицированную версию ПО PX4 вошли следующие изменения:

- работа по протоколу Фотон
- обработка информации с внешних датчиков
- поддержка систем технического зрения для отработки технологий пространственной ориентации в различных условиях
- интеграция с программным комплексом управления беспилотными аппаратами
- интеграция с системой моделирования Gazebo

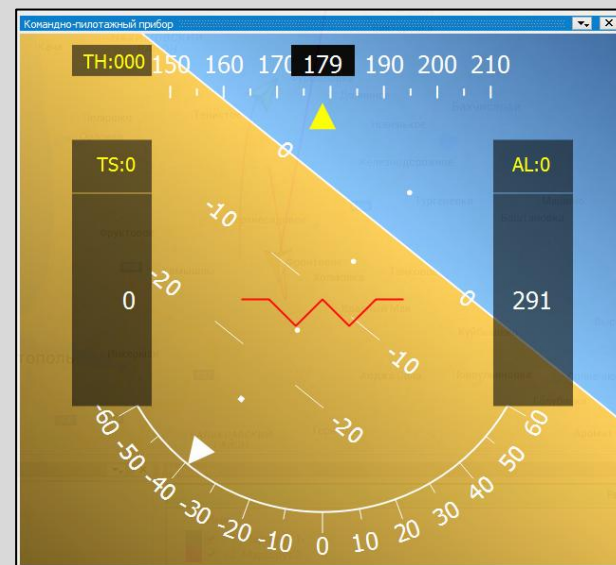


Рабочее место разработчика

Управление режимами работы БИЛА осуществляется посредством программного комплекса управления беспилотными аппаратами, собственной разработки



МПУ - Построение траекторий движения



МПУ - Подключаемый модуль - КПП

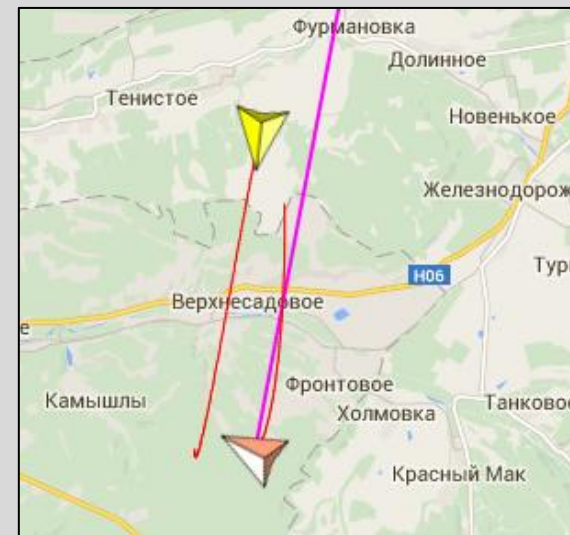
Программное обеспечение управления беспилотными аппаратами предназначено для управления разнородными беспилотными аппаратами, обладающими различными реализациями бортового программного обеспечения, а также поддерживающие различные протоколы обмена "Земля-Борт"



Рабочее место разработчика

Телеметрические сообщения			
Введите строку поиска...			
Время	Компонент	Устройство	Сообщение
10:45:39.509	encoder.sbus	Новое устройс...	Получена квитанция на команду: read(10000, 12, 1)
10:45:41.349	encoder.sbus	Новое устройс...	Команда ожидает в очереди: unread(10000, 12, 1)
10:45:41.350	encoder.sbus	Новое устройс...	Получена квитанция на команду: unread(10000, 12, 1)
10:45:55.988	encoder.sbus	Новое устройс...	Команда ожидает в очереди: read(10000, 17, 1)
10:45:55.990	encoder.sbus	Новое устройс...	Получена квитанция на команду: read(10000, 17, 1)
10:45:58.269	encoder.sbus	Новое устройс...	Команда ожидает в очереди: unread(10000, 17, 1)
10:45:58.270	encoder.sbus	Новое устройс...	Получена квитанция на команду: unread(10000, 17, 1)
10:46:03.169	encoder.sbus	Новое устройс...	Команда ожидает в очереди: unread(10000, 6, 1)
10:46:03.170	encoder.sbus	Новое устройс...	Получена квитанция на команду: unread(10000, 6, 1)
10:46:06.328	encoder.sbus	Новое устройс...	Команда ожидает в очереди: read(10000, 4, 1)
10:46:06.329	encoder.sbus	Новое устройс...	Получена квитанция на команду: read(10000, 4, 1)
10:46:07.689	encoder.sbus	Новое устройс...	Команда ожидает в очереди: unread(10000, 4, 1)
10:46:07.690	encoder.sbus	Новое устройс...	Получена квитанция на команду: unread(10000, 4, 1)
10:46:11.929	encoder.sbus	Новое устройс...	Команда ожидает в очереди: read(1024, 0, 14)
10:46:11.930	encoder.sbus	Новое устройс...	Получена квитанция на команду: read(1024, 0, 14)
10:46:24.648	encoder.sbus	Новое устройс...	Команда ожидает в очереди: read(1024, 10, 1)
10:46:24.649	encoder.sbus	Новое устройс...	Получена квитанция на команду: read(1024, 10, 1)

МПУ - Логирование командно-телеметрической информации



МПУ - Управление несколькими БИА

Основные особенности систему управления беспилотными аппаратами:

- ✓ подготовку и ввод полетного задания в навигационную систему БИА и управление его полетом
- ✓ управление БИА в ручном, полуавтоматических и автоматических режимах
- ✓ прием, хранение и отображение полученной с борта БИА телеметрической информации
- ✓ прием, хранение и отображение информации с борта БИА, полученной по каналу широкополосной высокоскоростной связи
- ✓ возможность одновременного применения и управления несколькими БИА с одного МПУ
- ✓ возможность подключения сторонних программных модулей обработки, полученной с БИА информации



Рабочее место разработчика

Подсистема технического зрения

Для обработки информации с элементов технического зрения используется библиотека OpenCV с поддержкой OpenCL. Эта библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом. Также в библиотеку добавлены модули с более узкой специализацией



Основные компоненты для x86/amd64

Операционная система: GNU Linux

Дистрибутив Linux: Ubuntu

Язык программирования: C/C++, Python

Программная инфраструктура для работы с роботизированными системами ROS + модули для работы с подсистемой автопилотирования

Интерфейс программирования приложений (API)

МПУ позволяет создавать и встраивать свои модули в программу.

Пользователь может создавать модули управления и отображения телеметрии для своих специализированных устройств.

Сторонние программные модули реализованы на языке Python для обработки информации в реальном времени при подключении к МПУ. Для постобработки любые средства для работы с БД SQLite.

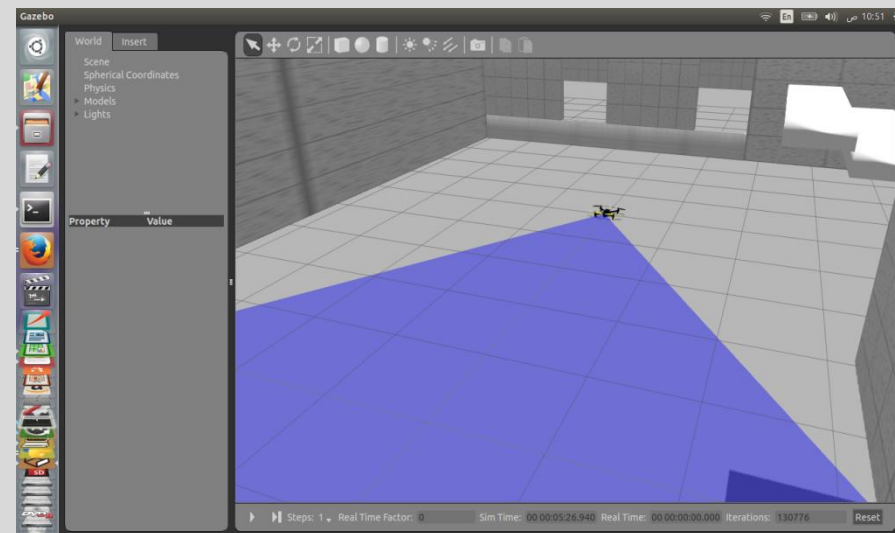
Скрипты реализованы с помощью языка Qml. Подсветка синтаксиса реализована в Qt Creator (или в любом другом JavaScript редакторе). Проверка синтаксических ошибок осуществляется с помощью встроенных средств QtCreator.

Рабочее место разработчика

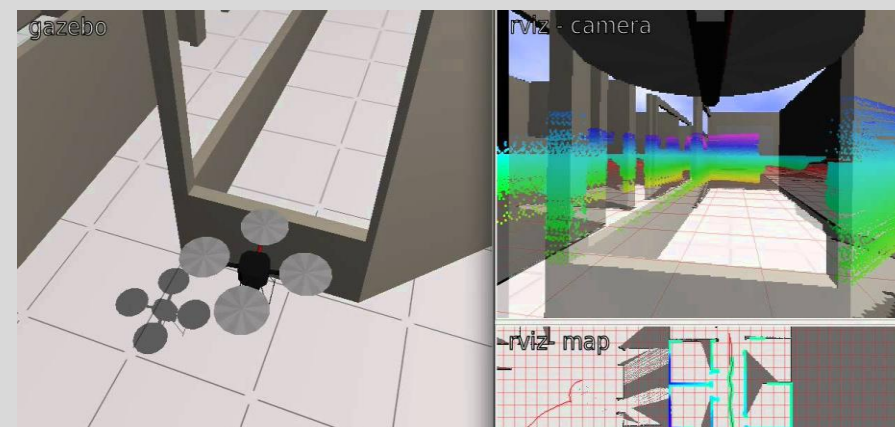
Среда симуляции - открытая среда моделирования робототехнических и беспилотных систем Gazebo разрабатываемая некоммерческой организацией OSRF

Основные возможности Gazebo:

- ✓ встроенная система отображения 3D моделей OGRE
- ✓ возможность использования различных библиотек симуляции физического мира (ODE, Bullet и др)
- ✓ моделирование различных сенсоров и датчиков (лазерные дальномеры, 2D/3D камеры, системы позиционирования и т.д.)
- ✓ возможность дополнения модели с помощью подключаемых модулей (новые датчики, среды, модели и прочее)
- ✓ интеграция с программной платформой ROS (Robot Operating System)
- ✓ поддержка симуляции подсистемы PX4 и ее взаимодействия со средой симуляции
- ✓ поддержка программно-аппаратного режима работы с Pixhawk с ПО PX4
- ✓ поддержка формирования выходных сигналов и их передача в подсистему автопилотирования PX4



HiL симуляция PX4



Моделирование лидара в Gazebo



Летающая лаборатория

Краткие технические характеристики:

- ✓ практический барометрический потолок - 500 м
- ✓ диаметр (с учетом диаметра винтов) - 700 мм
- ✓ диаметр по центам винтов - 350 мм
- ✓ общий вес с учетом подвеса - до 3 кг
- ✓ максимальный взлетный вес - 4 кг
- ✓ высота (с учетом антенны GPS\ГЛОНАСС и подвеса) - 250 мм
- ✓ максимальная горизонтальная скорость - 15 м/с
- ✓ максимальная вертикальная скорость - 5 м/с
- ✓ время непрерывной работы - 30 минут
- ✓ диапазон рабочих температур - минус 5 до плюс 35 градусов Цельсия



Лаборатория перспективных систем управления

Спасибо за внимание!

