



Андрей Куминов <http://github.com/akumidv>  
Сообщество devDV (Хабаровск) <http://t.me/devDV>

# БПЛА ИТ-шнику: УСТРОЙСТВО, СБОРКА И ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ



**РЕГУЛИРОВАНИЕ БПЛА**

# РЕГИСТРАЦИЯ

Постановление Правительства РФ от 25 мая 2019 года № 658.

Дроны от **150 гр.** до **30 кг.**  
нужно прислать номер  
дрона (для сборного -  
придумать) и его фото.



Учёт беспилотных гражданских воздушных судов с максимальной взлётной массой от 0,15 до 30 кг

[← Вернуться](#)

Учет беспилотных гражданских воздушных судов с максимальной взлетной массой от 0,25 килограмма до 30 килограммов, ввезенных в Российскую Федерацию или произведенных в Российской Федерации

Показаны услуги: [Все услуги](#)

## Электронные услуги

- 1 Внесение информации о беспилотном воздушном судне в базу данных и формирование учётной записи и учётного номера
- 2 Внесение изменений в учётную запись при изменении информации о технических характеристиках беспилотного воздушного судна
- 3 Внесение изменений в учётную запись при смене владельца беспилотного воздушного судна
- 3 Внесение изменений в учётную запись при утере или хищении беспилотного воздушного судна
- 3 Исправление опечаток и ошибок в документах, выданных в результате предоставления услуги
- 3 Снятие беспилотного воздушного судна с учёта



Услугу предоставляет

Федеральное агентство  
воздушного транспорта

На этой странице

[Электронные услуги](#)

<https://www.gosuslugi.ru/405742>

# УПРАВЛЕНИЕ

Лицензия пилота на  
управление и  
сертификат обучения

НЕ НУЖНЫ

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
(МИНТРАНС РОССИИ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
(РОСАВИАЦИЯ)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ РУКОВОДИТЕЛЯ

Ленинградский пр-т, д. 37, корп. 2, Москва,  
ГСП-3, 125167, Телетайп 111495  
Тел. (499) 231-50-09, факс (499) 231-55-35  
e-mail: rusavia@scaa.ru

15.04.2021 №

На №

№

от

Уважаемый

Федеральным агентством воздушного транспорта рассмотрено Ваше обращение от 01.04.2021 о намерении проведения воздушной съемки с квадрокоптера на территории города Москвы.

В рамках установленной компетенции сообщаем, что в настоящее время нормативными правовыми актами Российской Федерации не предусмотрено получение сертификата эксплуатанта и свидетельства внешнего пилота физическими лицами для управления беспилотными гражданскими воздушными судами (далее - БВС) с максимальной взлетной массой от 0,25 до 30 кг.

<https://habr.com/ru/post/599399/>

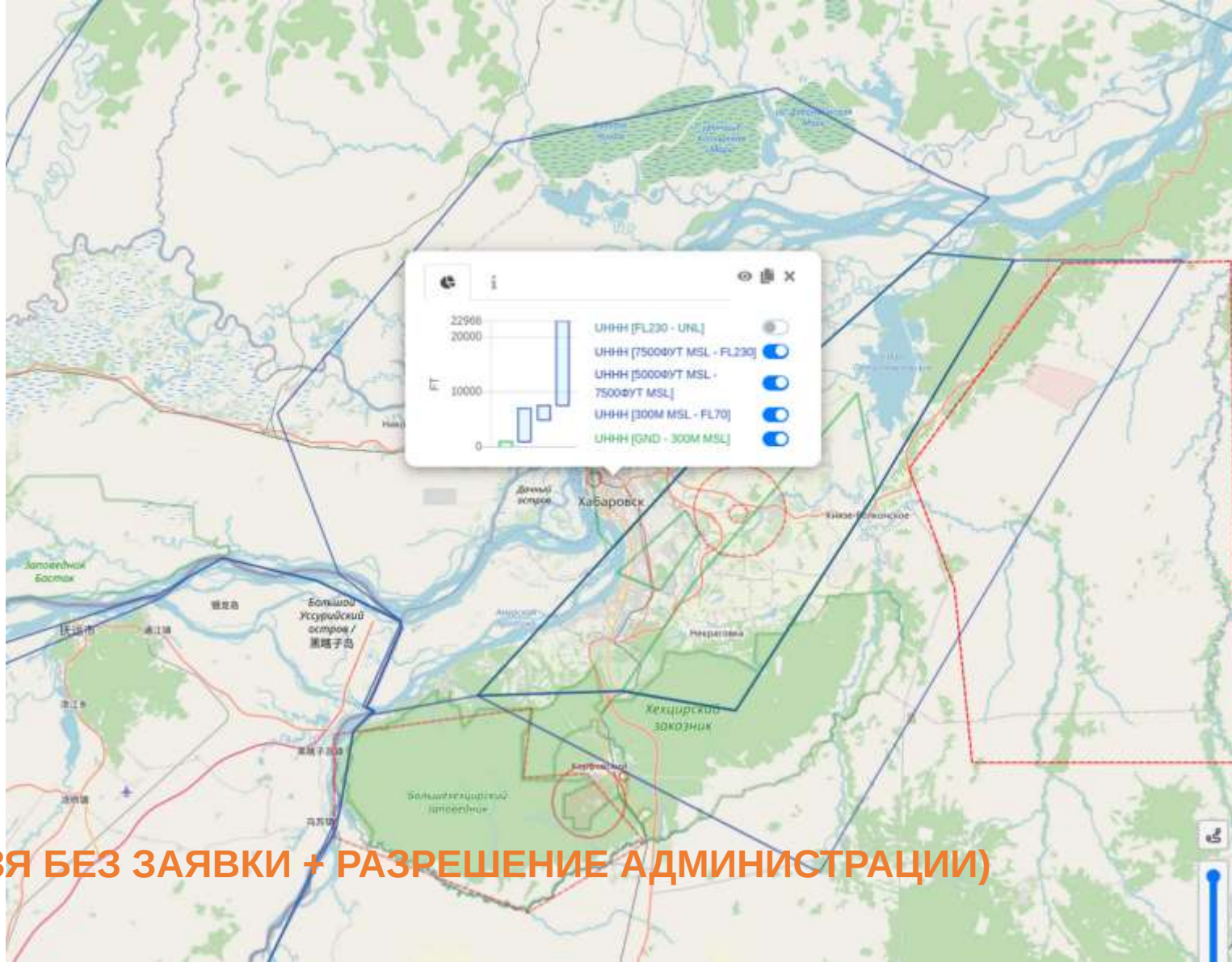
# ПОЛЕТЫ ДО 150 М ВЫСОТОЙ

- Высота до 150 м.
- Светлое время суток и в пределах видимости БПЛА
- Вне запретных зон [fpln.ru](http://fpln.ru)
- Вне населенных пунктов

## РАЗРЕШЕНИЕ НЕ НУЖНО

- В населенных пунктах нужно разрешение администрации, для которого нужно предоставить страховку.





**НЕЛЬЗЯ БЕЗ ЗАЯВКИ + РАЗРЕШЕНИЕ АДМИНИСТРАЦИИ)**



**МОЖНО БЕЗ ЗАЯВКИ (РАЗРЕШЕНИЕ АДМИНИСТРАЦИИ)**

fpln.ru

# РАЗРЕШЕНИЕ НУЖНО

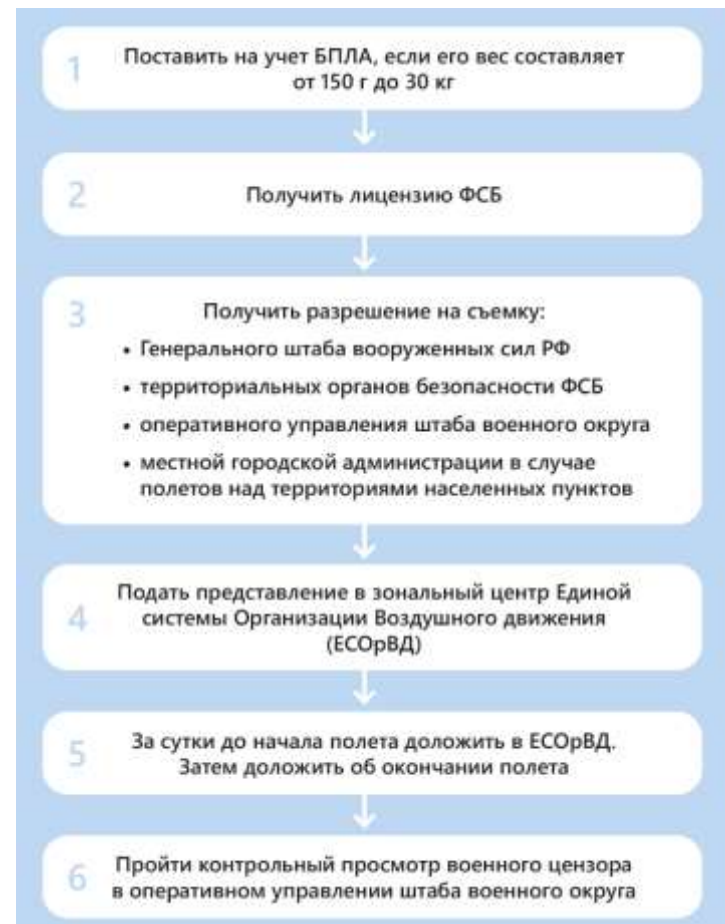
- Полеты выше 150м
- В запрещенных зонах

Получение временного режима для  
“единоличного использования” в центре  
Единой системы ОрВД



# РАЗРЕШЕНИЕ НА СЪЕМКУ

Нужно получать в  
минобороны, ФСБ и т.д.



# ШТРАФЫ

Несоблюдение правил использования БПЛА, ст. 11.4 КоАП РФ:

- 20–50 тысяч рублей для граждан;
- 50–150 тысяч рублей для должностных лиц;
- 250–500 тысяч рублей для организаций.

Нарушение право неприкосновенности личной жизни, ст. 137 УК РФ:

- штраф до 200 тысяч рублей или лишение свободы сроком до 24 месяцев

**РАДИО**

# РАЗРЕШЕННЫЕ ЧАСТОТЫ

Решение ГКРЧ №07-20-03-001 от 7 мая 2007 года «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия»

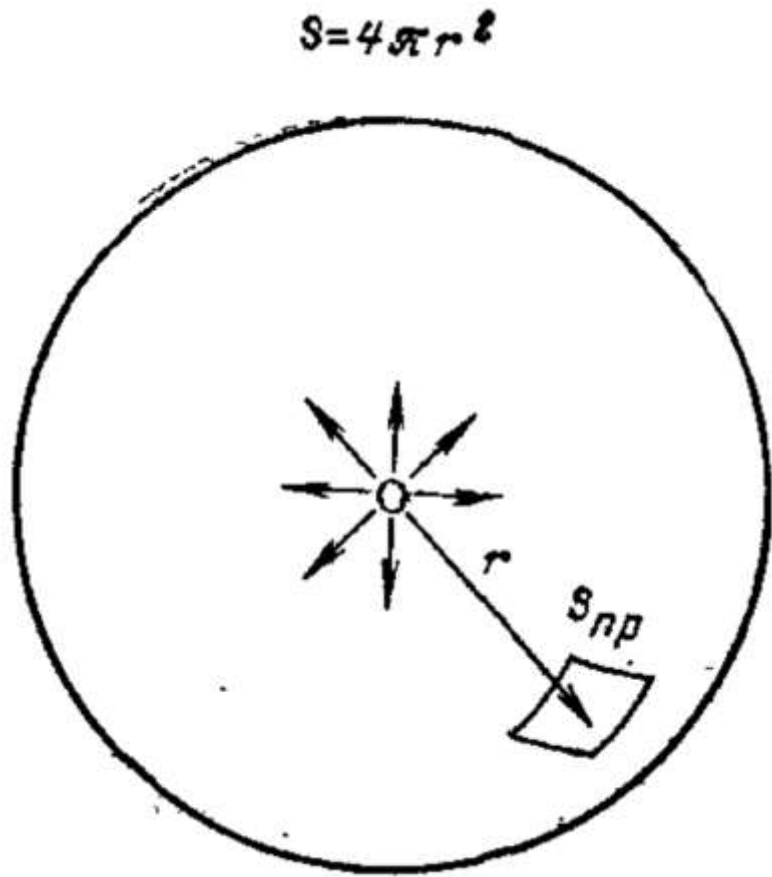
Частота, МГц	Мощность	Регистрация	Назначение
26,957-27,283	10мВт		Управление моделями
28,0-28,2, 40,66-40,7 (усил.антенны 3Дб)	1Вт		Управление моделями
40,66-40,70 (усил.антенны 3Дб)	20мВт		Не специализир.уст-ва
433,075-434,79	20мВт		Не специализир.уст-ва
459 - 460	31мВт	Требуется	Не специализир.уст-ва



# РАЗРЕШЕННЫЕ ЧАСТОТЫ

Частота, МГц	Мощность	Регистрация	Назначение
864–865, 866–868, 868,7–869,2	25 мВт		Устройства интернета вещей» и сетей транспортной телематики с 1.12.2020 только производства РФ
864-865, 868,7-869,2	25 мВт		Неспециализир.уст-ва
2400 (2400-2483,5)	100 мВт		Устройства малого радиуса действия для передачи данных (Wi-Fi), вне помещений антенна до 10м
5725-5875	25 мВт		Не специализир.уст-ва, антенна не выше 5м
5795-5815	200мВт	Требуется	Телематические уст-ва на транспорте
5150-5350	100 мВт		Устройства малого радиуса действия для передачи данных в помещениях
5650-5825	100 мВт		На борту воздуш.судов выше 3км

# КАК РАБОТАЕТ РАДИОКАНАЛ?



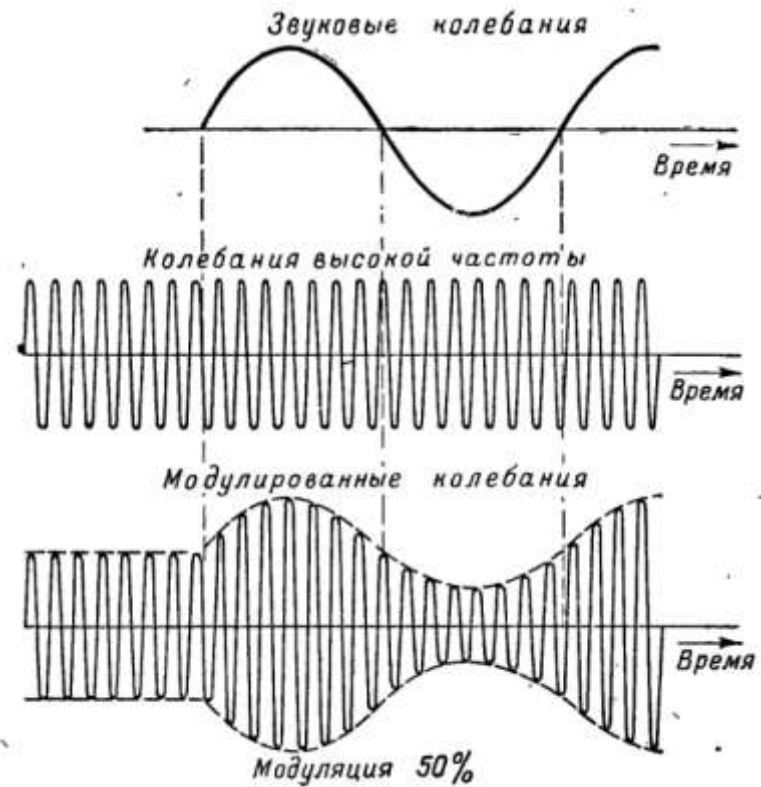
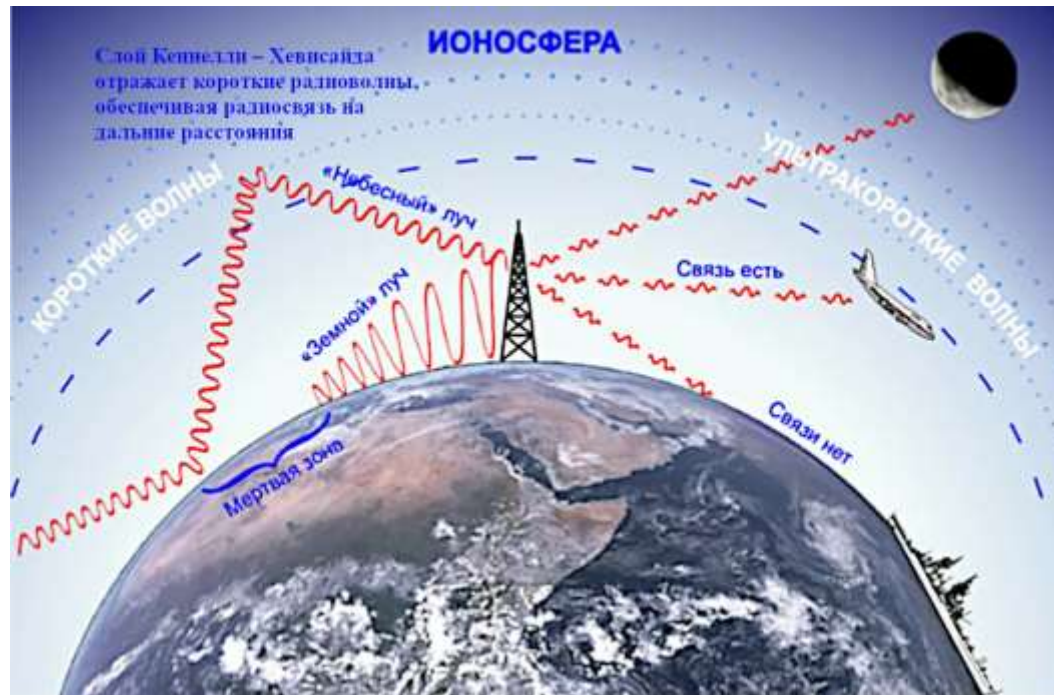
Потери передачи сигнала  $L$

$$L = S_{\text{пр}} \frac{G_{\text{пер}}}{4\pi r^2},$$

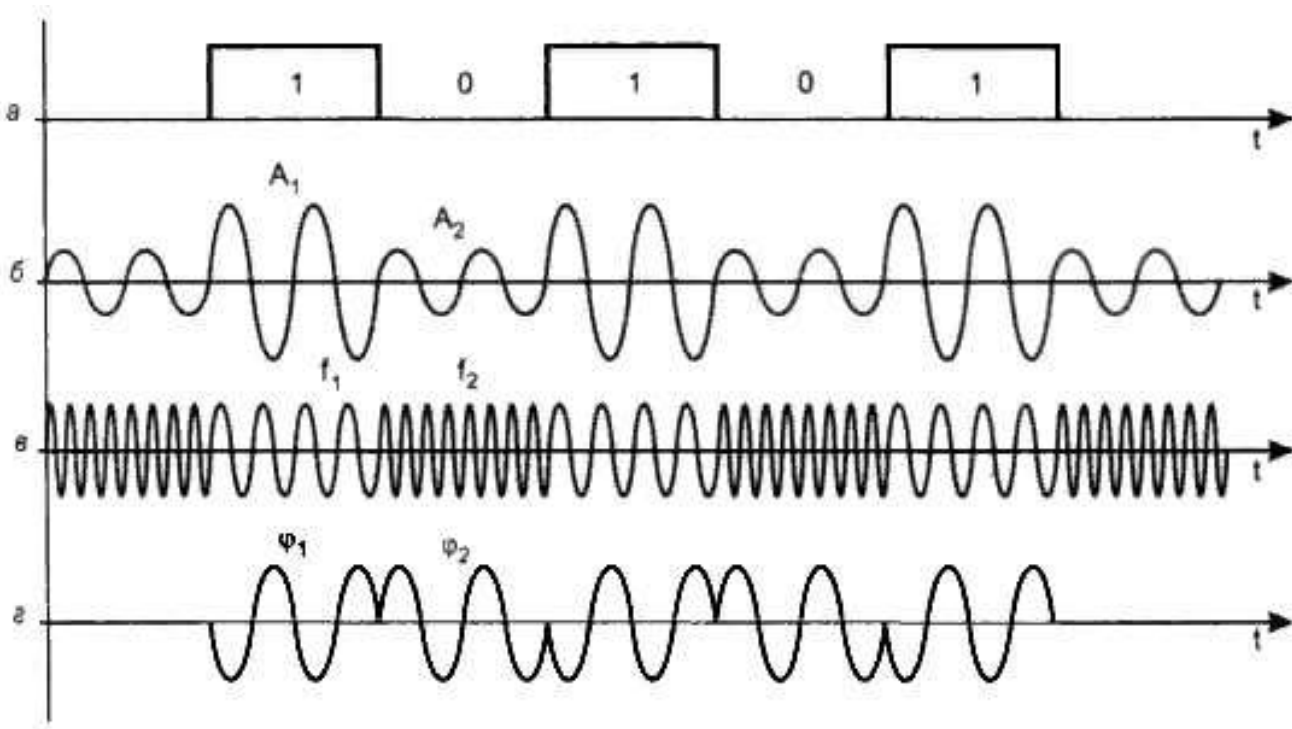
Где:

- $G_{\text{пер}}$  – усиление антенны (направленной)
- $S_{\text{пр}}$  – площадь приема антенны
- $r$  – расстояние от передатчика

# ЧАСТОТА, ДЛИНА ВОЛНЫ, МОДУЛЯЦИЯ



# МОДУЛЯЦИЯ ЦИФРОВОГО СИГНАЛА



Амплитудная, частотная и фазовая модуляции дискретного сигнала



# ГАРМОНИКИ

Кратны основной частоте

Частота 144, гармоники:

.1я 288Мгц

.2я 432Мгц

.3я 576Мгц

.4я 720Мгц

.5я 864Мгц

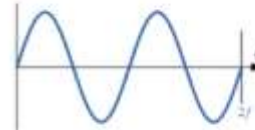
.6я 1008Мгц

.7я 1152Мгц

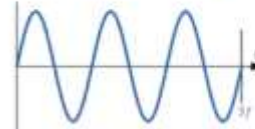
Первая гармоника



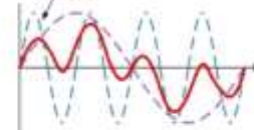
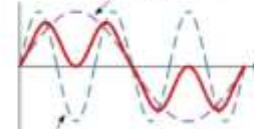
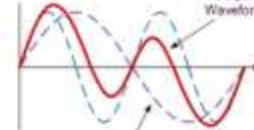
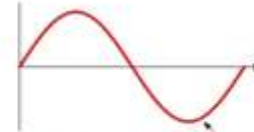
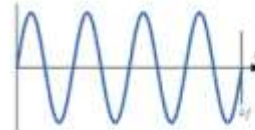
Вторая гармоника



Третья гармоника



...



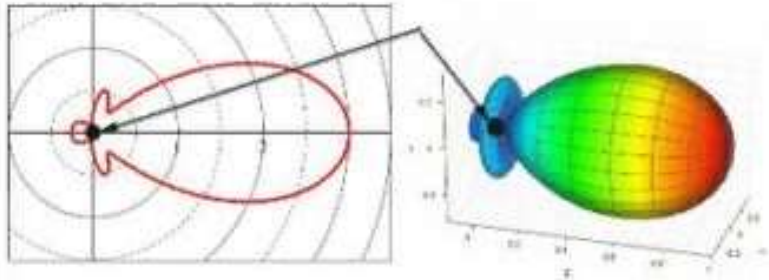
Итоговая форма волны

# РАЗМЕР АНТЕННЫ И ДЛИНА ВОЛНЫ

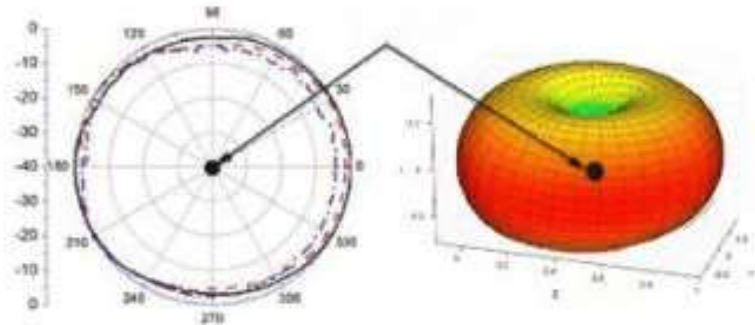


# НАПРАВЛЕННАЯ И НЕНАПРАВЛЕННАЯ АНТЕННА

## Диаграмма направленности



направленная антенна



круговая антенна

Отличаются коэффициентом усиления – во сколько раз нужно увеличить мощность у не направленной антенны, чтобы получить сигнал той же мощности

# ПРИМЕР УКВ АНТЕННЫ ДЛЯ СВЯЗИ ЧЕРЕЗ ЛУНУ

432 МГц – 128 антен, нужно 25Вт для связи





# **ПРИМЕНЕНИЕ И ЗАДАЧИ МАССОВОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

# ДРОН — ЭТО НОСИТЕЛЬ

## Оснащение дрона:

- Видео и датчики
- Крепление для перевозки груза
- Сброс
- Распыление
- Устройства: радиоретранслятор, освещение, съем информации...



# ПРИМЕНЕНИЕ

	Видео	Грузовой подвес	Распыление	Сброс	Подвес устройств
Аэрофотосъемка, картография и топографическая съемка	Привязка	✓			
Сельское хозяйство	Распознавание	✓	✓		✓
Поисково-спасательные работы	Распознавание	✓		✓	✓
Обследование инфраструктуры	Распознавание				✓
Экологический мониторинг	Распознавание				✓
Доставка	Распознавание зоны	✓		✓	

# ПРИЧИНЫ ПОПУЛЯРНОСТИ

Дешевый носитель (час):

- «Ан-2» ~30-35 т.р.

- «Ми-8» ~80-100 т.р.

- Самолетный БПЛА 10-30кг ~5-10 т.р.

- Коптер (без оператора) — 0,05-1 т.р.

# СЕБЕСТОИМОСТЬ ЧАСА РАБОТЫ 3 КГ КОПТЕРА БЕЗ ОПЕРАТОРА

Расходные материалы на 500 часов работы (500 циклов зарядки 3х аккумуляторов по 20 мин.):

•Комплект двигателей x1 — 3 т.р.

•Аккумулятор x3 — 9 т.р.

•Пропеллеры x10 — 3 т.р.

•Электричество  $500 \times 0.25 \text{ кВт} \times 6 \text{ руб.} = 0.75 \text{ т.р.}$

•Остальное оборудование, приведенная с 5 тыс. часов к 500 часам  
стоимость 40 тыс.руб. -> 4 тыс.руб.

$19,75 \text{ тыс.руб. за } 500 \text{ часов} = 39.5 \text{ руб./час}$

**УДЕШЕВЛЕНИЕ — СНИЖЕНИЕ РОЛИ ОПЕРАТОРА**



# ЗАДАЧИ ИЗ-ЗА МАССОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- .Управление трафиком и контроль
- .Противодействие нарушениям и безопасность
- .Автоматическая дозарядка/заправка
- .Обслуживание/ремонт/запчасти
- .Обучение
- .Страхование



*DJI Matrice M210  
3,8кг  
+  
Cessna 172N*





# СИЛА УДАРА ДРОНА

$$F = m \cdot V / t, m = F / g$$

$$.2\text{кг} \cdot 50\text{км/ч} / (0.05\text{ с} \cdot 3,6) = 544\text{ Ньютон} = 56\text{ кг}$$

$$.2\text{кг} \cdot 100\text{км/ч} / (0.05\text{ с} \cdot 3,6) = 1110\text{ Ньютон} = 112\text{ кг}$$

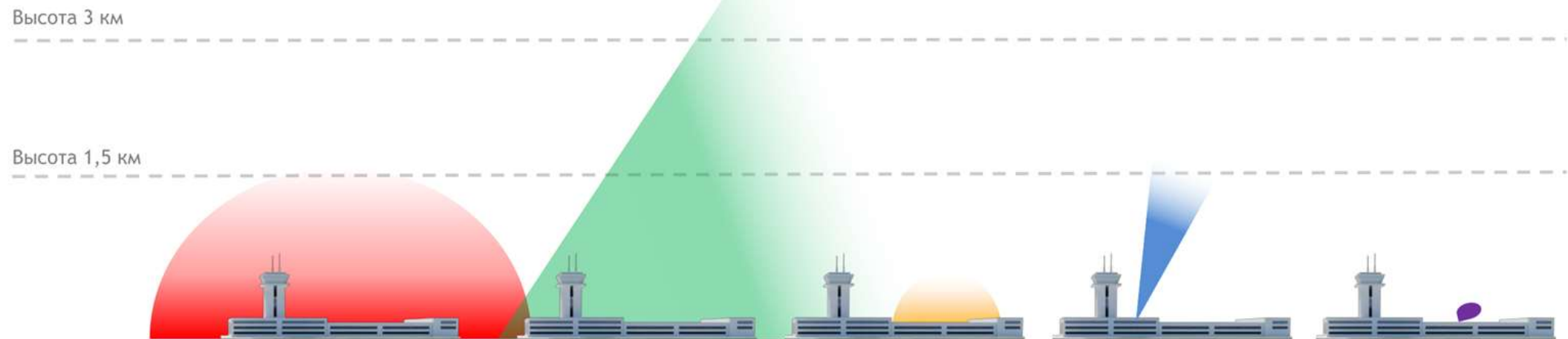
$$.5\text{кг} \cdot 50\text{км/ч} / (0.05\text{ с} \cdot 3,6) = 1388\text{ Ньютон} = 140\text{ кг}$$

$$.5\text{кг} \cdot 100\text{км/ч} / (0.05\text{ с} \cdot 3,6) = 2776\text{ Ньютон} = 280\text{ кг}$$

Удар Тайсона 800 кг, среднего боксера 200 кг.



# ПЕЛЕНГАЦИЯ ДРОНА



Характеристика	Радиочастотное обнаружение (сканирование радиоэфира)	Радиолокационные станции (эффект Доплера)	Лидар (лазерный радар)	Визуальное обнаружение (видеоаналитика)	Обнаружение по звуку (аудиоаналитика)
Дальность	1,5 км	3 км	до 400 м	1,2 км	100 м
Достоинства	Зона обнаружения купол	Возможность обнаружения дронов в режиме радиомолчания	Возможность обнаружения дронов в режиме радиомолчания	Возможность обнаружения дронов в режиме радиомолчания	Возможность обнаружения дронов в режиме радиомолчания
Недостатки	Невозможность обнаружения дронов в режиме радиомолчания	Угол 60 градусов, уязвимы для проникновения с высоты	Уязвимы для всех видов дронов	Критически малая дальность и высота обнаружения	Уязвимы для всех видов дронов

ХАРАКТЕРИСТИКА	РАДИОЧАСТОТНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ	РЛС	ЛИДАР («лазерный радар»)	ВИЗУАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ	ОБНАРУЖЕНИЕ ПО ЗВУКУ
Обнаружение дронов летящих на удалении от 1,5 км	●	✓	✗	✗	✗
Обнаружение дронов летящих на высоте от 1,5 км	●	●	✗	✗	✗
Одновременное обнаружение нескольких дронов	✓	✓	✓	✗	✓
Помехоустойчивость к птицам	✓	✗	●	●	✓
Устойчивость к другим помехам	✓	✓	✓	●	✗
Автоматическое распознавание цели дрон/птица	✓	●	✓	●	✓
Возможность автоматической нейтрализации дронов без визуальной верификации оператором	✓	✗	✗	✗	✗
Автоматическая классификация типа/модели дрона для выбора наилучшей тактики нейтрализации	✓	✗	✗	●	●
Определение координат дрона с целеуказанием для камеры и средств нейтрализации	✓	✓	✓	●	✗
Определение координат пилота	●	✗	✗	✗	✗
Выявление дрона в режиме радиомолчания	✗	✓	✓	✓	✓
Обнаружение ночью	✓	✓	✓	●	✓
Отсутствие радиоизлучения и необходимости проверки на электромагнитную совместимость	✓	✗	✓	✓	✓



Выполняется



Выполняется с ограничениями



Не выполняется

# ПЕРЕХВАТ

## Радиоэлектронные

1. Постановка помех с целью прерывания канала управления дроном с наземной станцией
2. Постановка помех с целью прерывания связи дрона со спутниками навигационных систем
3. GPS/ГЛОНАСС спуфинг (фальсификация навигационных координат)
4. Перехват управления дроном



## Физические

1. Уничтожение с применением оружия
2. Применение дрона или дрессированной крупной хищной птицы службой ТБ

# ТИПЫ И ОСОБЕННОСТИ



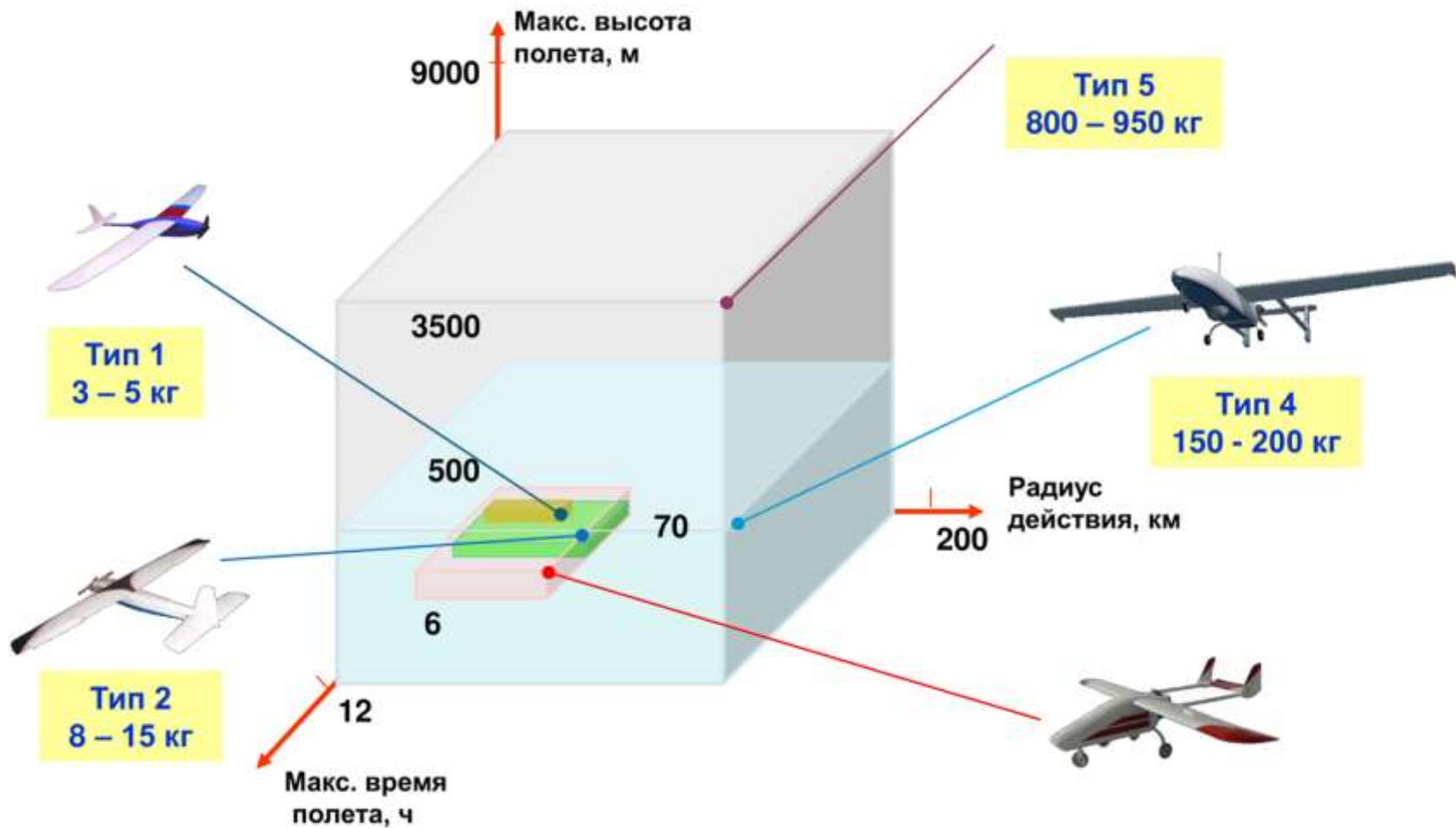
# КОНСТРУКЦИЯ

- БПЛА самолетного типа
- Привязные БПЛА
- БПЛА вертолетного типа
- Конвертопланы
- Радиоуправляемые планеры
- Мультикоптеры





# Высота, время полета и вес



- БиКоптер



- Три-коптер



- Квадрокоптер



- Гексакоптер

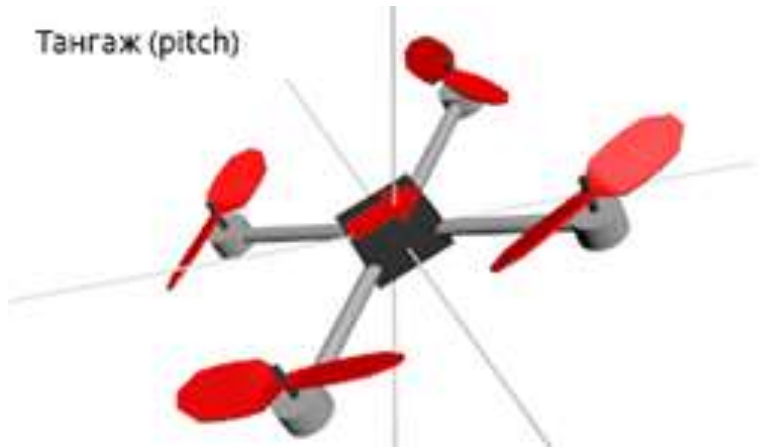
- Октокоптер



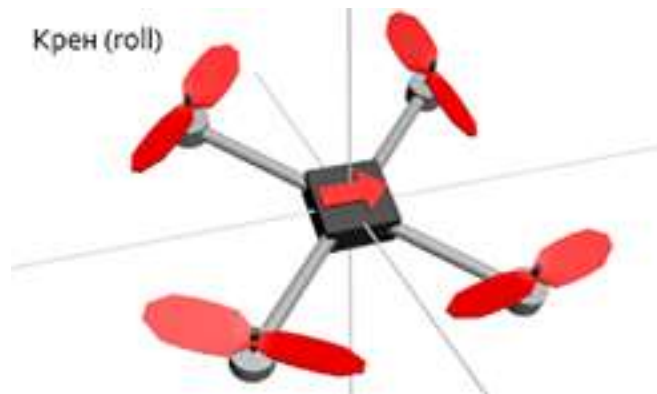
**УПРАВЛЕНИЕ**

# ТАНГАЖ, РЫСКАНИЕ, КРЕН

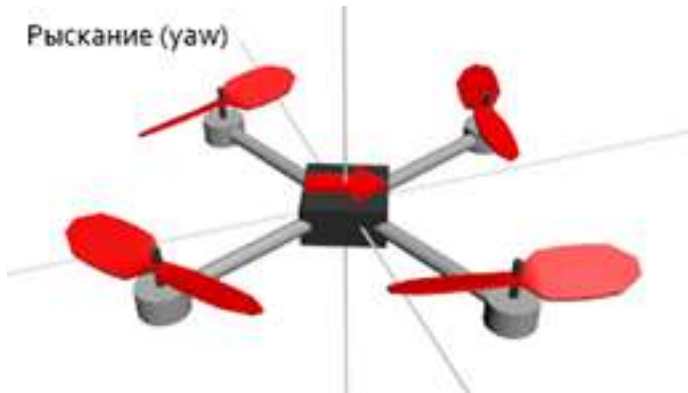
Тангаж (pitch)



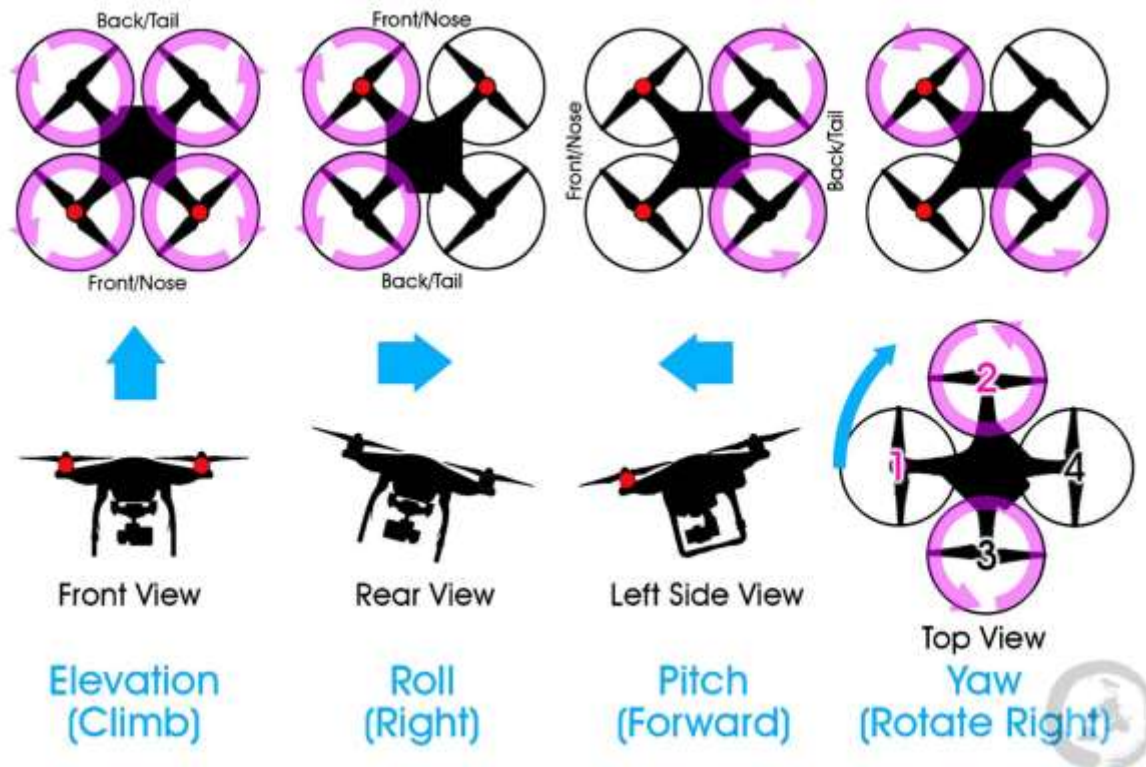
Крен (roll)



Рыскание (yaw)



# УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯМИ

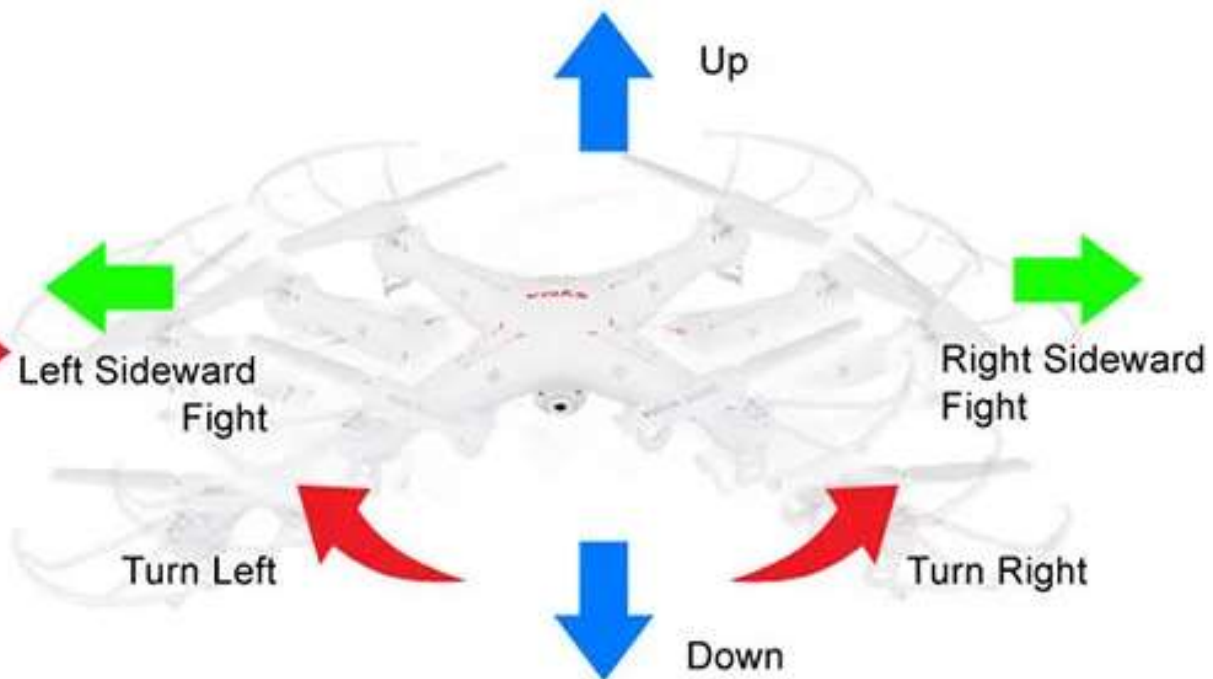






Forward

Backward



Up

Left Sideward  
Flight

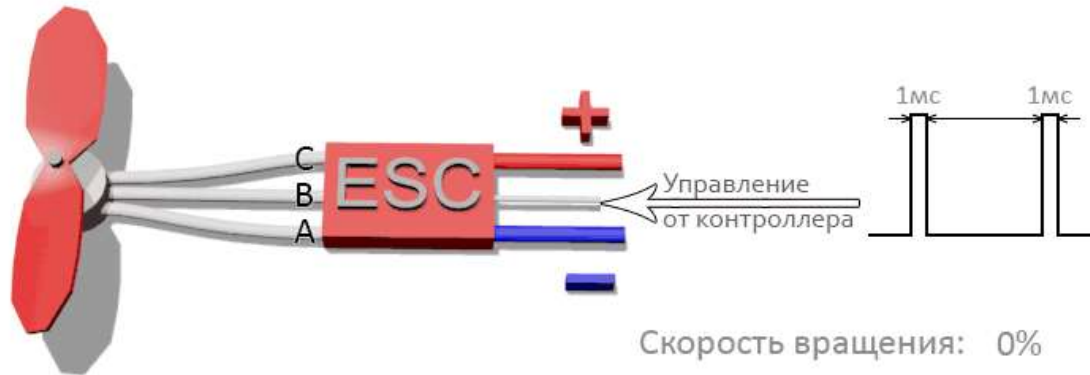
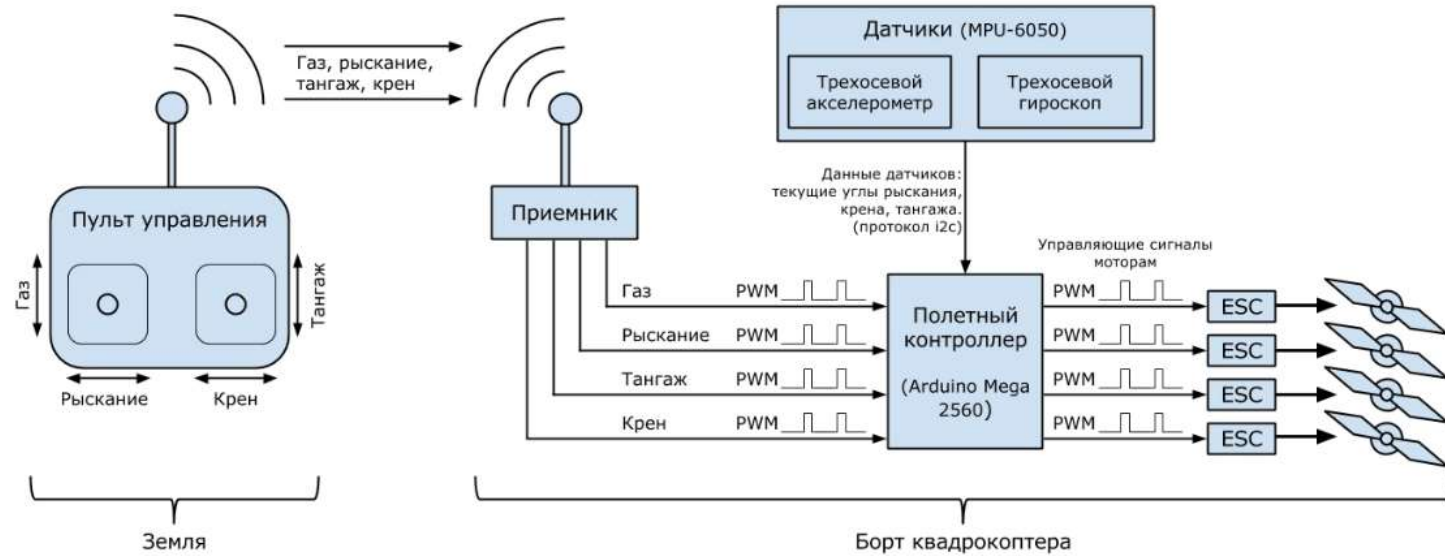
Right Sideward  
Flight

Turn Left

Turn Right

Down

# СИГНАЛЫ



**УСТРОЙСТВО**

# PAMA - 2тр



# ПУЛЬТ 10тр

- Протокол связи:
- FlySky, ELRS
- Расширяемость
- Настраиваемость





# OPEN TX

- ПО для радиопередатчиков
- OpenTX Companion - эмуляторы для радиоканалов



**ЭНЕРГИЯ**

# АККУМУЛЯТОР 2.5тр

1S — 3,7v, 3S — 11,1

Емкость 2,2Ah x 11,1v = 22 Вт.

Макс. токоотдача 30с: 30 x 2,2 Ah = 66A

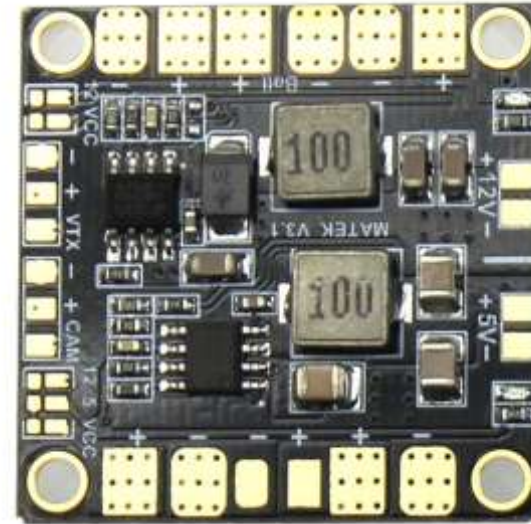
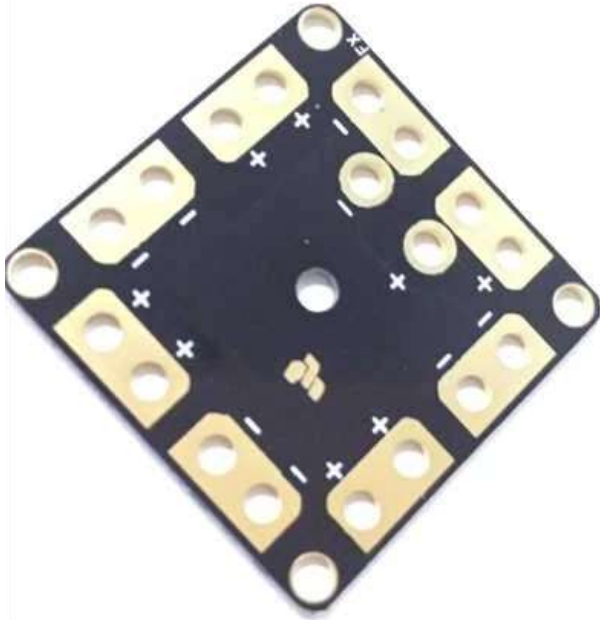


# ЗАРЯДКА 2тр



# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПИТАНИЯ

0.3тр



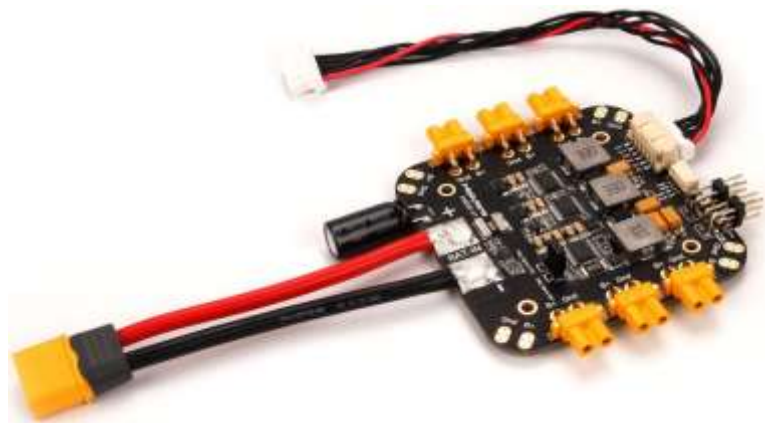
# МОДУЛЬ ПИТАНИЯ АРМ 0.4тр

Питает контроллер и датчики.  
Для сервоприводов и  
моторов отдельный

•Разъем

•Макс. напряжение — 4S

Есть совмещенные с  
распределением питания 3тр





# ПРОВОДА

## Выбор сечения автомобильного провода

Номинальное сечение, мм <sup>2</sup>	Сила тока в одиночном проводе, А при длительной нагрузке и температуре окружающей среды, °С			
	20 °С	30 °С	50 °С	80 °С
0,5 мм <sup>2</sup>	17,5 А	16,5 А	14 А	9,5 А
0,75 мм <sup>2</sup>	22,5 А	21,5 А	17,5 А	12,5 А
1,0 мм <sup>2</sup>	26,5 А	25 А	21,5 А	15 А
1,5 мм <sup>2</sup>	33,5 А	32 А	27 А	19 А
2,5 мм <sup>2</sup>	45,5 А	43,5 А	37,5 А	26 А
4,0 мм <sup>2</sup>	61,5 А	58,5 А	50 А	35,5 А
6,0 мм <sup>2</sup>	80,5 А	77 А	66 А	47 А
16,0 мм <sup>2</sup>	149 А	142,5 А	122 А	88,5 А

# ПАДЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ОТ ТОКА

$$R = (\rho l) / S$$

Медь: 0,0175 Ом·мм<sup>2</sup>/м

$$U = I * R$$

I, A \ S, мм <sup>2</sup>	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25
1	0,0175	0,0117	0,0070	0,0044	0,0029	0,0018	0,0011	0,0007
2	0,0350	0,0233	0,0140	0,0088	0,0058	0,0035	0,0022	0,0014
3	0,0525	0,0350	0,0210	0,0131	0,0088	0,0053	0,0033	0,0021
4	0,0700	0,0467	0,0280	0,0175	0,0117	0,0070	0,0044	0,0028
5	0,0875	0,0583	0,0350	0,0219	0,0146	0,0088	0,0055	0,0035
6	0,1050	0,0700	0,0420	0,0263	0,0175	0,0105	0,0066	0,0042
7	0,1225	0,0817	0,0490	0,0306	0,0204	0,0123	0,0077	0,0049
8	0,1400	0,0933	0,0560	0,0350	0,0233	0,0140	0,0088	0,0056
9	0,1575	0,1050	0,0630	0,0394	0,0263	0,0158	0,0098	0,0063
10	0,1750	0,1167	0,0700	0,0438	0,0292	0,0175	0,0109	0,0070
15	0,2625	0,1750	0,1050	0,0656	0,0438	0,0263	0,0164	0,0105
20	0,3500	0,2333	0,1400	0,0875	0,0583	0,0350	0,0219	0,0140
25	0,4375	0,2917	0,1750	0,1094	0,0729	0,0438	0,0273	0,0175
30	0,5250	0,3500	0,2100	0,1313	0,0875	0,0525	0,0328	0,0210
35	0,6125	0,4083	0,2450	0,1531	0,1021	0,0613	0,0383	0,0245
50	0,8750	0,5833	0,3500	0,2188	0,1458	0,0875	0,0547	0,0350
100	1,7500	1,1667	0,7000	0,4375	0,2917	0,1750	0,1094	0,0700



SamElectric.ru

**ДВИГАТЕЛИ**

# ДВИГАТЕЛИ 2,5тр

- KV rpm/V — 920KV
- Тип — бесщеточный
- Направление вращения CW/CCW
- Напряжение - 2-3S
- Вес 27г
- Тяга 420 гр
- Пропеллер M5x12мм
- Макс ток
- Мощность
- Эффективность g/W



**ВВ Сечение провода и пайка. Перегрев может привести к возгоранию**

# ПРОПЕЛЛЕРЫ — 0.4тр

.9443 94мм x 4.3 мм шаг

.1045 10мм x 4.5мм шаг

.1205 12 мм x 5мм шаг

.Направление CW, CCW



# ECS electronic speed control - 0,8тр

- Ток — 20A
- Макс ток — 25A
- Напряжение 2-4S
- Вес 28гр
- Выход 2A/5V
- Настраиваемость



<https://github.com/bitdump/BLHeli>



**СВЯЗЬ**

# СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ



Pilot's RC Transmitter



RC receiver

Flight Controller

# RC RECEIVER: ПРИЕМ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ - 1тр

•Протокол, частота, выход:

- ExpressLRS (2,4ГГц) — PPM Rx
- FlySky (2,4ГГц) — требует PPM Encoder

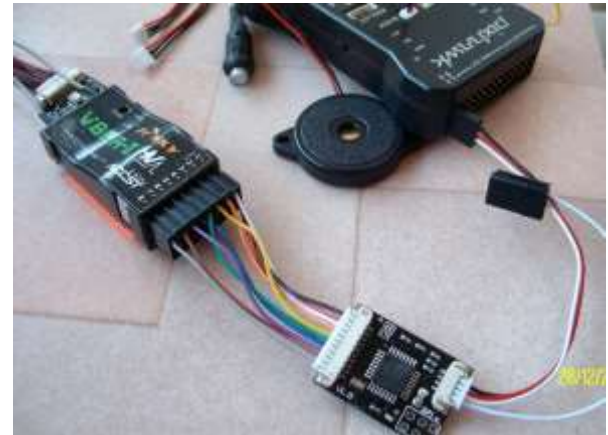


# PPM ENCODER — 0.5тр

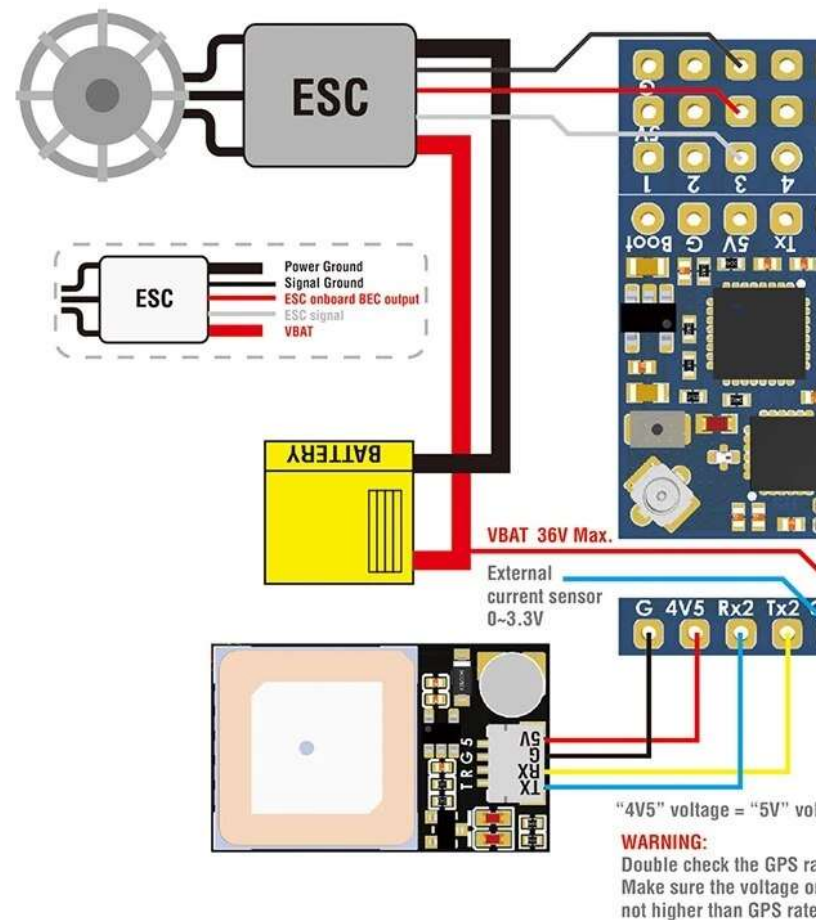
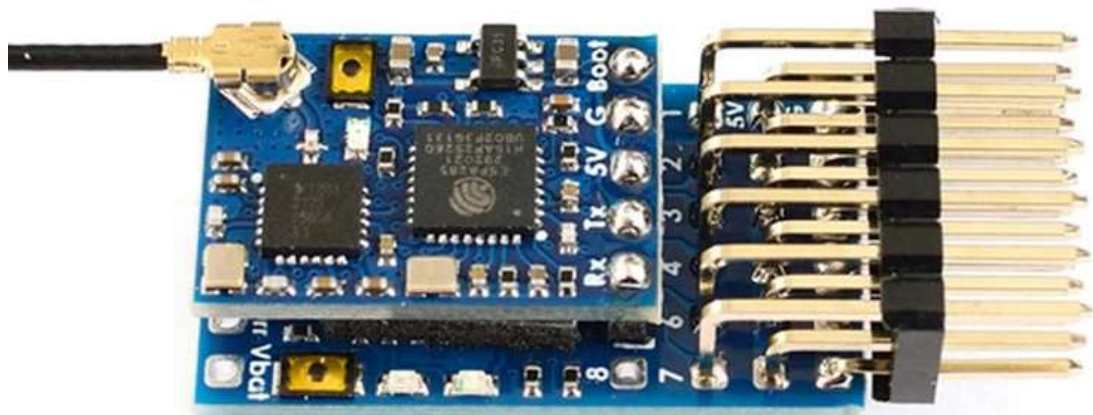
Кодер PPM позволяет кодировать до 8 сигналов PWM (с широтно-импульсной модуляцией) в один сигнал PPM (с позиционной модуляцией импульса).



Channel 1	Roll	Set to center (1500 $\mu$ s)
Channel 2	Pitch	Set to center (1500 $\mu$ s)
Channel 3	Throttle	Set to low (900 $\mu$ s)
Channel 4	Yaw	Set to center (1500 $\mu$ s)
Channel 5	...	Remain at last value
Channel 6	...	Remain at last value
Channel 7	...	Remain at last value
Channel 8	...	Remain at last value



# ELRS С ЭНКОДЕРОМ



# ПЕРЕДАЧА/ПРИЕМ ТЕЛЕМЕТРИИ

5тр

Опционально — можно  
передавать через видеоканал  
OSD

## SiK Telemetry Radio

Скорость передачи: до  
250кБод, типовая 112Кбод

<https://github.com/ArduPilot/SiK>

<https://ardupilot.org/copter/docs/common-sik-telemetry-radio.html>

[https://docs.px4.io/v1.9.0/en/telemetry/sik\\_radio.html](https://docs.px4.io/v1.9.0/en/telemetry/sik_radio.html)

Radio V5  
433MHZ 1000MW





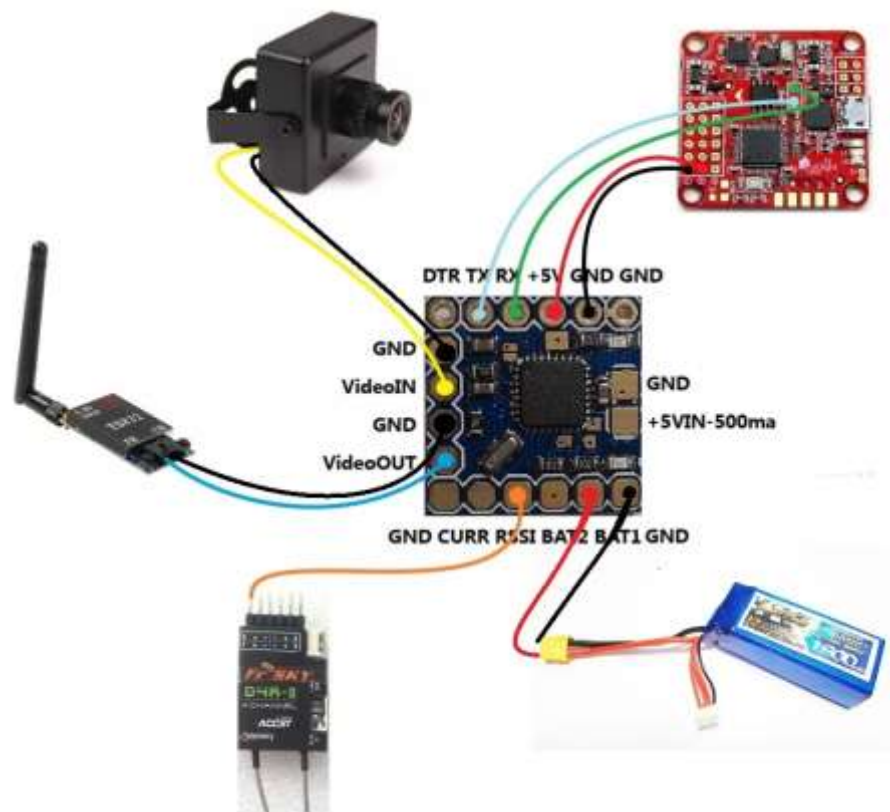
# GPS МОДУЛЬ С КРЕПЛЕНИЕМ 1,5тр



**ВИДЕО**

# KAMEPA + OSD 2тп

OSD - on screen display



# ПЕРЕДАТЧИК ВИДЕОСИГНАЛА — 1,5тр

- Частота — 5,8ГГц
- Мощность: 10мВт/25мВт/200мВт/  
500 мВт/1Вт
- Кол-во каналов — 40 шт.
- Способ настройки каналов и  
МОЩНОСТИ



# ОТОБРАЖЕНИЕ ВИДЕО СИГНАЛА

•Очки 40тр

•Телефон

•Экран 4тр



# ПРИЕМНИК ВИДЕОСИГНАЛА 2тр





# **КОНТРОЛЛЕР, АВТОПИЛОТ И КОМПОНЕНТЫ**

# Holybro pix32 / PixHawk 2.4.8 — 7,5тp

168 MHz  
FMUv2



<https://github.com/pixhawk/Hardware>

# Lithium Ion Polymer Battery

Power the Lipo. The type of battery is either 3S or 4S depending on your ESC and Motor combination.



## Battery Warning

Provides an audio alarm when the battery power gets below a pre-defined level.

## Power Module

Power the Pylot.

## Switch

Allows the operator to safely power down the Lipo.

## Telemetry

Telemetry provides a secondary means of controlling the Lipo. It can allow you to view your aircraft's ground station software (on a tablet or laptop PC) in real time. The telemetry module receives data from the Lipo or a ground station.

## Telemetry

USB Cable

## Tablet

A tablet or laptop PC connects to the Pylot via telemetry, allowing the operator to view aircraft ground station software in real time.

## Camera

A small camera such as the GoPro is used for live video. A GoPro is recommended.

## Gimbal

A gimbal stabilizes the camera in real time and usually helps compensate for the Lipo's tilt.



## Motor 1

Motor 1



## 4 in 1 ESC

The electronic speed controller (ESC) allows the Pylot to control the speed of each individual motor.



## Motor 2

Motor 2



## Servo Connections

Pylot has a built-up power supply provided by the ESC to power the 4 in 1 ESC.

## Buzzer

Provides an audio signal that beeps when the Lipo is low.

## PPM 5um Receiver

Transmits PPM signals from the Pylot to the receiver. For alternative use, you can use a PPM receiver which outputs a PPM signal to the motor.

## Note

It is very easy to make a mistake when connecting the Pylot. This module is designed to help you avoid this.

## Note

It is very easy to make a mistake when connecting the Pylot. This module is designed to help you avoid this.

## GPS & Compass

The GPS and Compass are used to determine the location of the aircraft in real time. The GPS also provides altitude data.



## Receiver

The Receiver receives PPM signals from the transmitter, allowing the operator to control the Lipo.

## Note

It is very easy to make a mistake when connecting the Pylot. This module is designed to help you avoid this.

## Transmitter

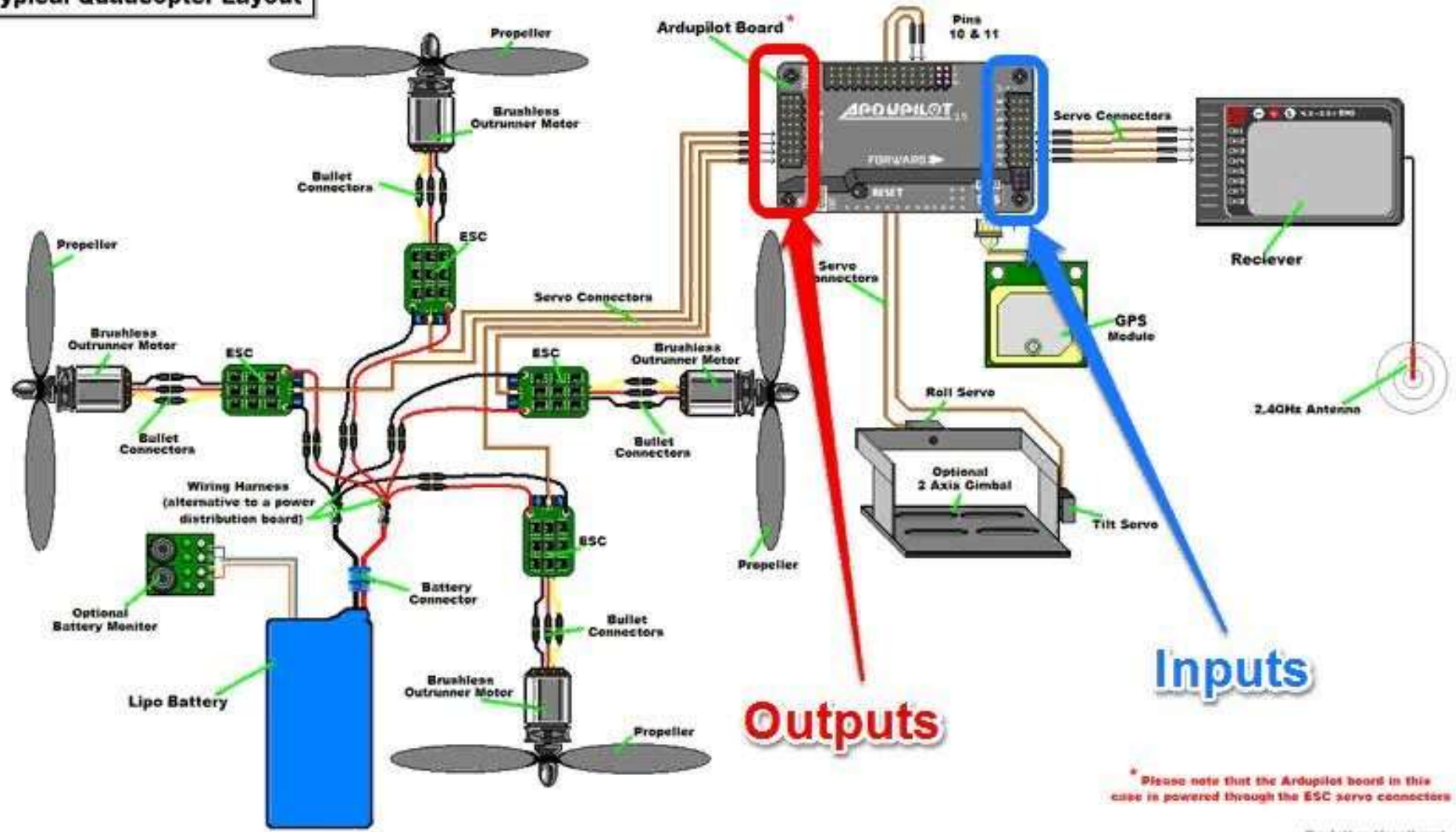
The transmitter is the primary way to control the Lipo. It sends PPM signals to the receiver, which then controls the Lipo.



# ARM: Ardupilot/Arducopter — 4 тp



# Typical Quadcopter Layout



\* Please note that the Ardupilot board in this case is powered through the ESC servo connectors



# PixHawk 6x/6c

6x — 35 тр. (7тр без модуля)

6c — 20 тр.

Процессор

STM32H753/STM32H743

480МГц, 2МБ Flash, 1МБ RAM

6c — нет шины для внешнего  
блока автопилота





# Pixhawk 6x + Cube

~35 тр.

Чип STM32H753  
(крипто сопроцессор)

ПО автопилотов:  
ArduPilot, PX4 Autopilot



# PX4 Pixhawk + CUAV V5/X7

~35тр

ПО автопилотов: ArduPilot, PX4 Autopilot

	V5+	X7
Processor	STM32F765 +STM32F1	STM32H743
Frequency	216MHZ	480MHZ
RAM	512K	1024K
Flash	2048K	2048K

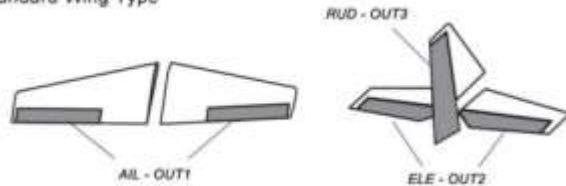


# HobbyEagle A3 Pro

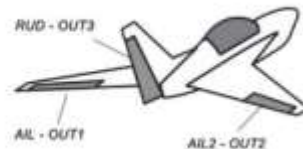
1,5 тр

Настраиваемый  
контроллер

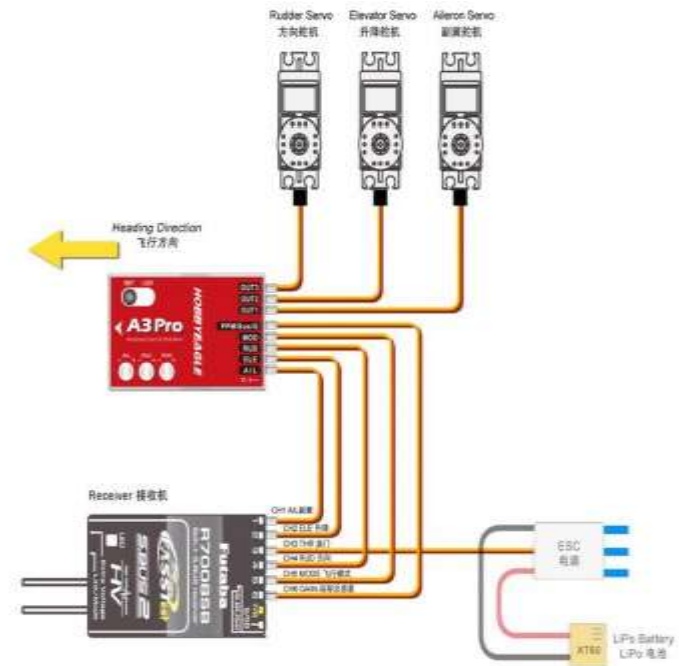
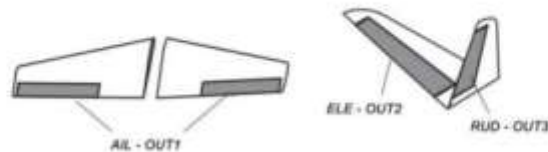
Standard Wing Type



Flying Wing (Delta)



V-TAIL



# BeagleBone

~7 тр

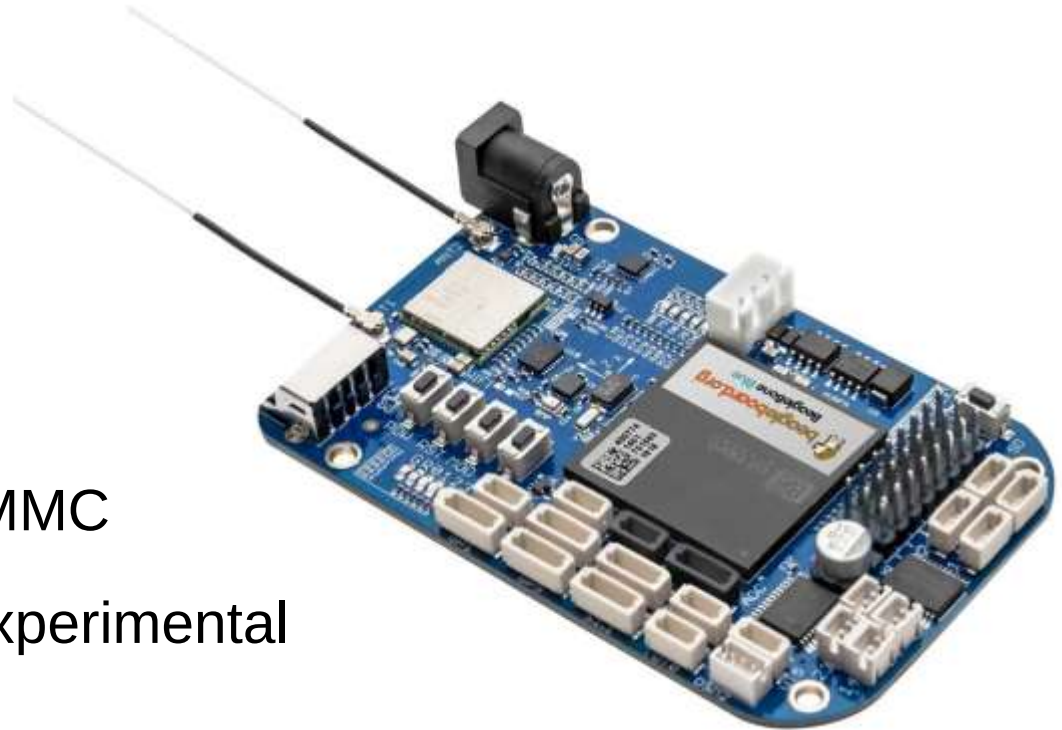
AM335x 1GHz ARM Cortex-A8

Графический ускоритель SGX530  
2x PRU 32-бит 200 МГц PRUs

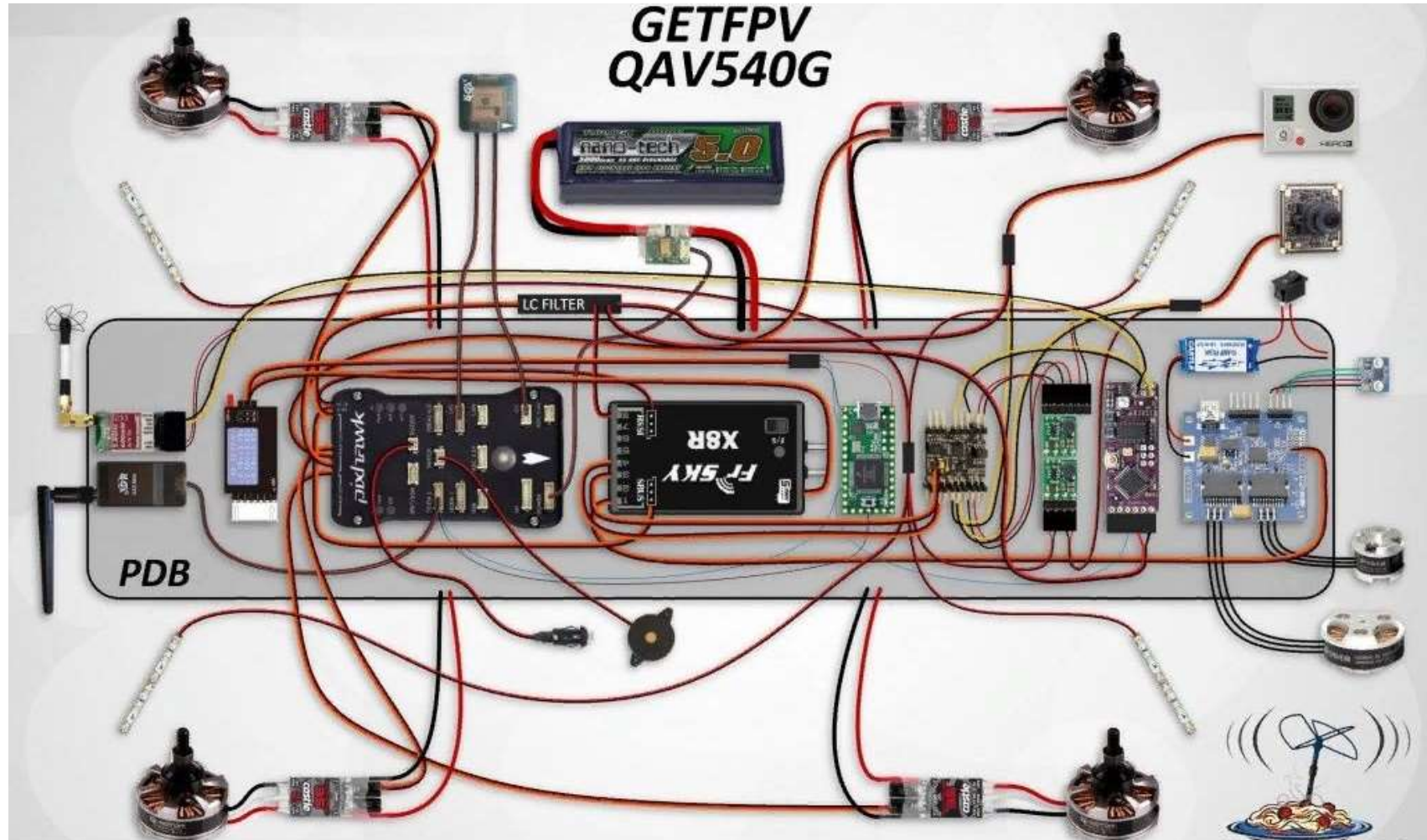
512 Мб DDR3 800 МГц RAM

4 Гб встроенной флэш-памяти eMMC

ПО автопилотов: Ardupilot, PX4 experimental



# СПАГГЕТИ НЕ ТОЛЬКО В JavaScript



# **ПРОТОКОЛЫ УПРАВЛЕНИЯ/ТЕЛЕМЕТРИИ/ ВИДЕО**



	range	open source	commercial	2.4 GHz Lora/SX128x	processor	mostly targeted at	radio link	bi-directional link
DragonLink	LR		commercial			drone	full	yes
RFD900	LR		commercial			drone	full	yes
Dronee Zoon	LR		commercial			drone	?	yes
SiK	short	open source	commercial			drone	no	yes
CrossFire	LR		commercial		PIC	all ?	full	yes*
Tracer	short		commercial	SX128x	PIC	FPV racer	full	-
Ghost	*		commercial	SX128x	STM32	FPV racer/flier	full	-
Siyi FM30	*		commercial	SX128x	STM32*	drone	full	yes
UltimateLRS	medium		hobby				full	yes
Qczek LRS	LR		hobby				?	-
OpenLRSng		open source	hobby				?	
ExpressLRS	LR	open source	hobby & commercial	SX128x	ESP*	FPV racer	very narrow	no

+ video systems: DJI, EZWifiBroadcast, OpenHD, DroneBridge, Ruby, ...

© www.olliw.eu



# ExpressLRS

- Основано на LoRa чипсете Semtech SX127x/SX1280 с Espressif или STM32 Процессором
- ELRS 2.4 GHz or 900 Mhz, до 1000Hz пакет (200 Hz для 900Мгц)
- Телеметрия (Betaflight Lua Compatibility)
- Обновления через Wifi
- Джойстик, дисплей
- Керамические антенны
- Регулирование частоты через скрипт на Lua
- Скорость: 115 200bps, 400 000bps

<https://github.com/ExpressLRS/ExpressLRS>

# mLRS (LoRa для IoT)

• Частоты и скорость:

- 2.4 ГГц 50Гц 3,5кбайт/с
- 915/868/433 МГц МГц
  - 31Гц 2,5 кбайт/с
  - 19Гц 1 кбайт/с

• Не интегрирована с MAVLink для OpenTx

• Разрешенная мощность 25мВт

• 10-30 км, 2Вт до 240 байт/с, антенна 2м (8тр)

<https://github.com/olliw42/mLRS>

<https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/>

<https://github.com/sandeepmistry/arduino-LoRa>

**ЗАЯВЛЕНО:** для 20 dBm/100 мВт

Антенны 2 dBi

	50 Hz	31 Hz	19 Hz
2.4 GHz	7 km	10 km	15 km
868/915 MHz	-	26 km	42 km

**Из паспорта для LoRa TX/TX**

RF Parameter	Value	Remark
Working frequency	433 MHz	Default: 433MHz
Transmitting power	20 dBm	Default: 20dBm(About 100mW)
Receiving sensitivity	-146 dBm	Air data rate: 0.3kbps
Air data rate	0.3k~19.2kbps	Default: 2.4kbps
Test distance	3000 meter	In open and clear air, with maximum power, 5dBi antenna gain, height of 2m, air data rate: 2.4kbps

# LoRa БОЛЬШИЕ ДИСТАНЦИИ

.50 км радиомодем XZ-DT25-NX: 20 тр

- 25Вт
- 8dBi антенна выше 2м
- частота ~140/230/430МГц

.70-100 км передатчик XZ-DT25-N-50: 28тр

- 50 Вт
- направленная антенна выше 2 м
- частоты ~140/230/430МГц
- Вес 0.5кг



# OpenLRSng

# / Ultimate LRS

.Частоты  
433/868/915

.Последний коммит  
5 лет назад

.Оборудование на  
алиэкспресс нет

<https://github.com/openLRSng/openLRSng>

<https://openlrsng.org/>

.Скорость TX =  
57600, RX = 19200

.На алиэкспресс  
есть orangeTx 1Вт  
433Мгц

<http://www.itluxembourg.lu/site/ultimate-lrs/>

# LTE

- Частоты в Европе 450, 700, 800, 900, 1500, 1800, 2100, 2300, 2600, 3500, 3700
- Теоретический предел скорости 1 Гбит/сек — от 3,2 км (2600 МГц) до 19,7 км (450 МГц)
- 5 мс задержка для маленьких IP-пакетов в оптимальных условиях
- Терминал, движущийся со скоростью 350 км/ч или 500 км/ч
- До 100 км
- Модификацию LTE вероятно применяет DJI



# ВИДЕО: Ez-WifiBroadcast



EZ-WifiBroadcast

- Задержка glass-to-glass ~125ms.
- Raspberry Pi V1 и V2 камеры
- HDMI камеры через HDMI-CSI адаптеры
- До 1920x1080p 30fps разрешение и 12Mbit битрейт
- Поддержка 2.3/2.4/2.5Ghz и 5.2Ghz to 5.8Ghz
- Диапазон от 300m до 3km. Специальными настройками достигается до 30км.

<https://github.com/rodizio1/EZ-WifiBroadcast>

# ВИДЕО: OpenHD Digital FPV



- SBC (контроллер) в виде Raspberry Pi, есть специализированные
- Адаптер WiFi 2.3/2.4/2.5GHz, 5.2-5.8GHz.
- Видео, управление, телеметрия
- Wifi адаптер до 800мВт (несколько километров с направленной антенной)

# ВИДЕО: Ruby FPV

- От 2т.р. на Raspberry 3b
- Wifi адаптер до 800мВт (несколько километров с направленной антенной)



<https://rubyfpv.com/>

<https://github.com/PetruSoroaga/RubyFPV>

# ВИДЕО: DroneBridge

• 300 м - 14+ км диапазон  
(500 м - 2 м стандартные  
адаптеры)

• 1080p

• Двухнаправленный



Основано на Wifibroadcast — трансляция HD video используя wifi radios.  
8 лет назад последний коммит

<https://github.com/DroneBridge/DroneBridge>

**ТРЕНАЖЕРЫ**

# LIFTOFF: FPV Drone Racing





# FPV Freerider Recharged



**ПО АВТОПИЛОТОВ**



Часть Linux Foundation

Не привязанная к поставщикам

Проекты:



<https://www.dronecode.org>

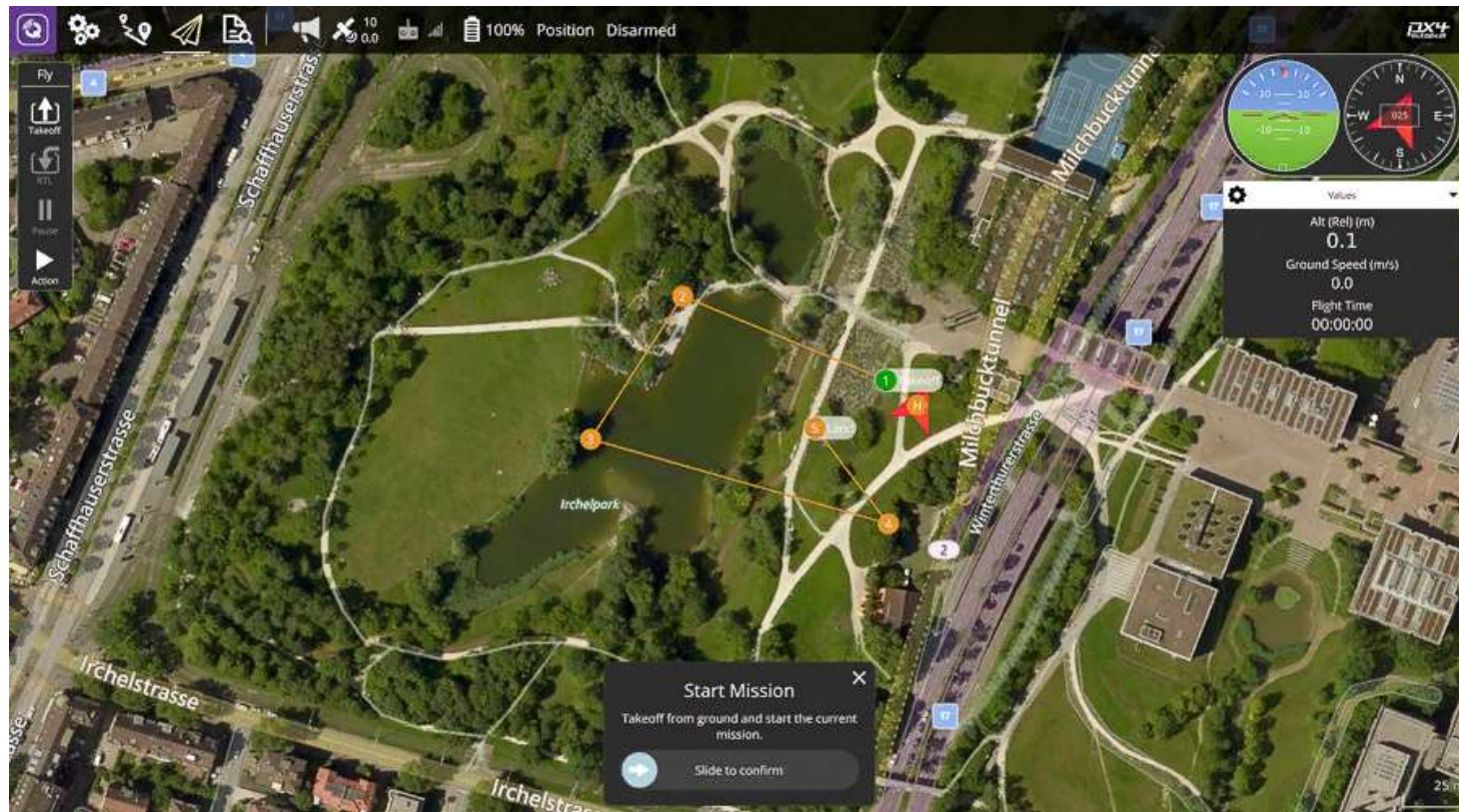
# PX4 autopilot

- Контролер полетов дронов, но также: роверы, корабли, роботы
- Автопилот



# QGroundControl

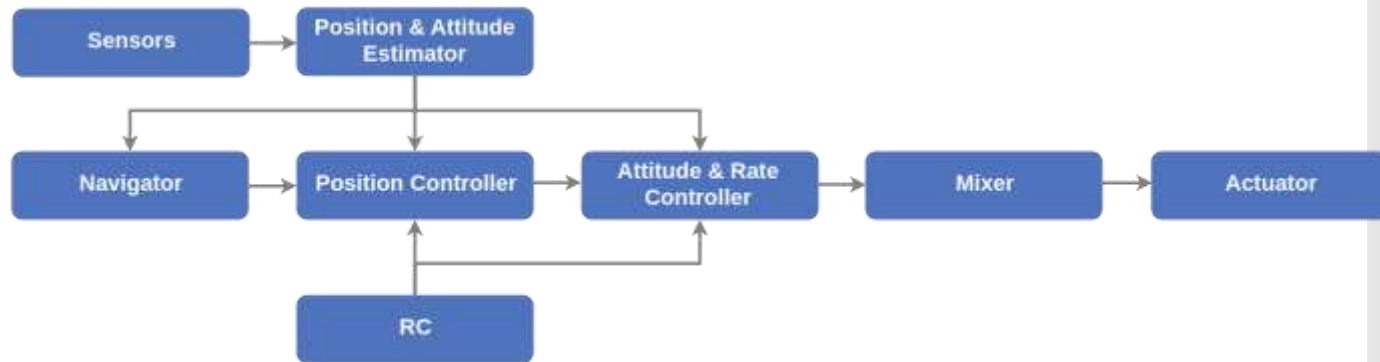
- Маршруты
- Прием телеметрии
- Обновление



# PX4 Development

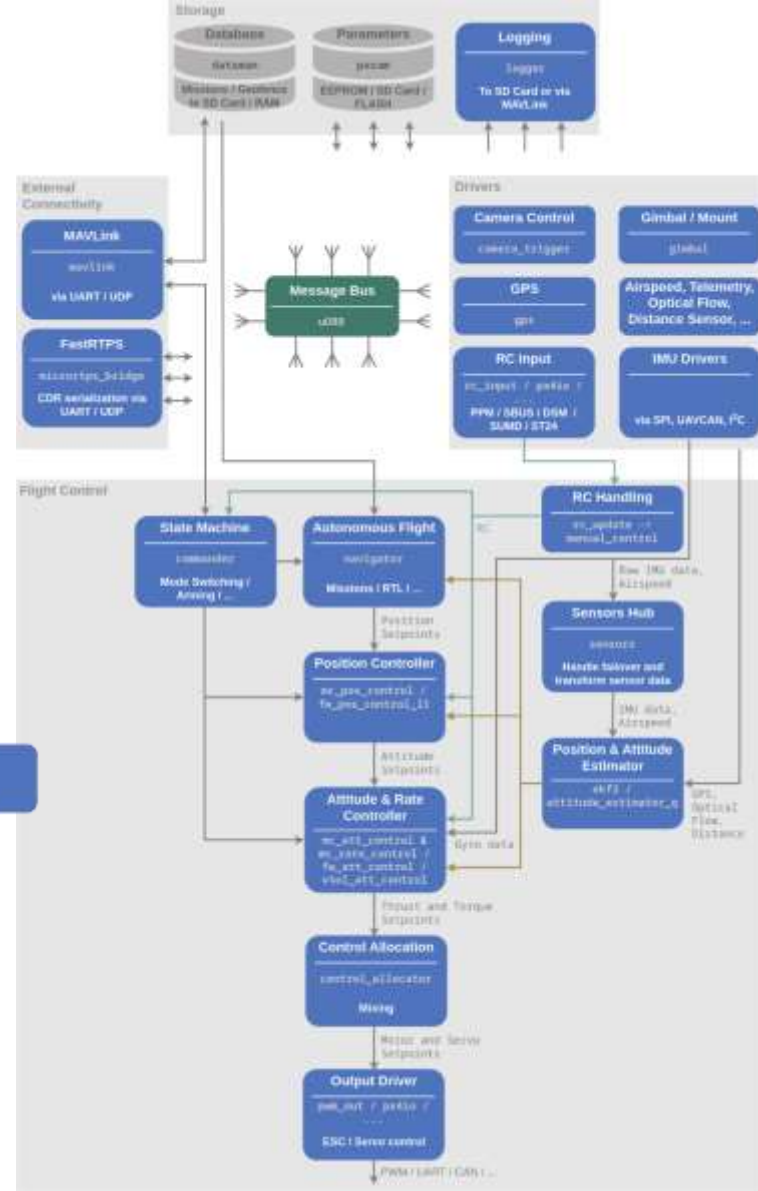
• На устройстве

• Софтверная эмуляция



<https://docs.px4.io/main/en/development/development.html>

<https://github.com/PX4/PX4-Devguide>





# ArduPilot



Copter -- Plane --  
Rover -- Sub --  
Antenna Tracker

<https://ardupilot.org/>



# Mission Planner

FLIGHT DATA

FLIGHT PLAN

INITIAL SETUP

CONFIG/TUNING

SIMULATION

TERMINAL

HELP

DONATE

COM3

115200

CONNECT

Distance: 0.7989 km  
Prev: 522.46 m AZ: 67  
Home: 462.94 m



Zoom

Action

GEO -35.040907  
117.832747  
11.40

☐ Grid [View KML](#)

GoogleSatelliteMap

Status: loaded tiles

Load WP File

Save WP File

Read WPs

Write WPs

Home Location

Lat -35.04173272

Long 117.8277683

Alt (abs) 38

Waypoints

WP Radius 2 Loiter Radius 50 Default Alt 100 ☐ Absolute Alt ☐ Verify Height [Add Below](#) Alt Warn 20

	Command					Lat	Long	Alt	Delete	Up	Down	Grad %	Dist	AZ
1	WAYPOINT	0	0	0	0	-35.0407928	117.8277898	100	X	⬆️	⬆️	95.7	104.5	1
2	WAYPOINT	0	0	0	0	-35.0406786	117.8260410	100	X	⬆️	⬆️	0.0	159.7	275
3	WAYPOINT	0	0	0	0	-35.0417239	117.8251612	100	X	⬆️	⬆️	0.0	141.2	215
4	WAYPOINT	0	0	0	0	-35.0428395	117.8259873	100	X	⬆️	⬆️	0.0	145.1	149
5	WAYPOINT	0	0	0	0	-35.0427165	117.8274572	100	X	⬆️	⬆️	0.0	134.5	84



- Протокол сообщений для коммуникации с дроном
- Протокол сообщения на шине с контроллером полета

# Clover - Клевер

- Конструктор + симулятор
- Готовый Raspberry Pi образ для запуска
- Документация
- Сообщество



<https://github.com/CopterExpress/clover>

**ЭМУЛЯТОРЫ**



Коллекция библиотек для различных языков для взаимодействия с MAVLink системами:

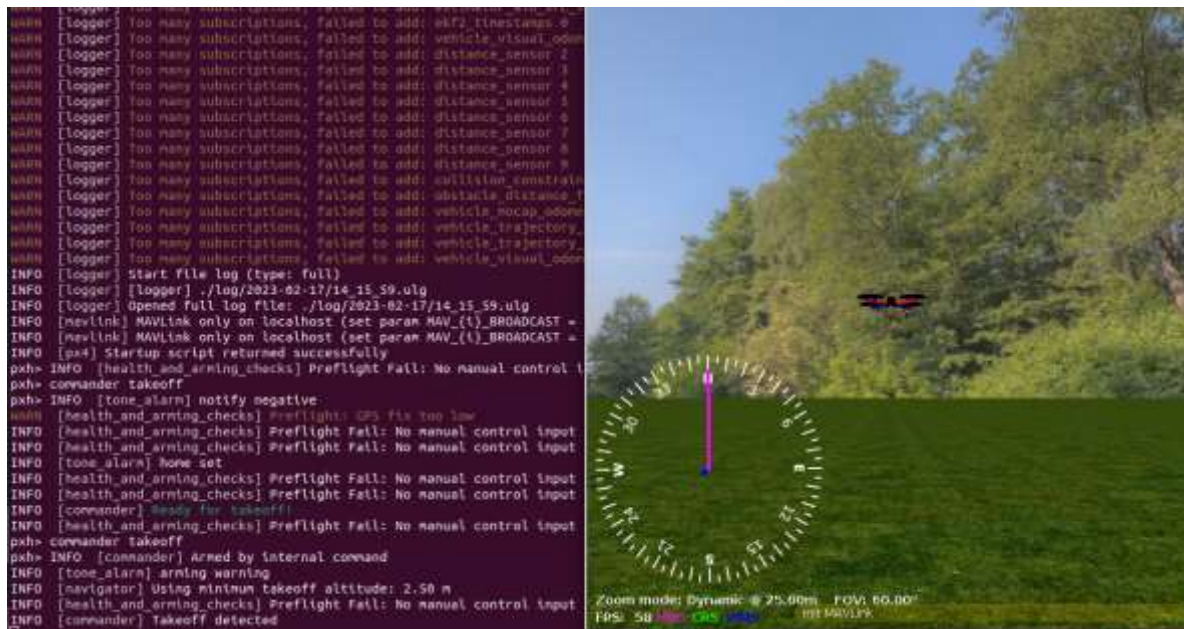
- контроллерами дронов,
- эмуляторами,
- камерами
- наземными системами

<https://mavsdk.mavlink.io/>

Установить окружение <https://github.com/PX4/PX4-Autopilot/blob/main/Tools/setup/ubuntu.sh>



# PX4 Firmware



```
wget https://github.com/PX4/PX4-Autopilot/blob/main/Tools/setup/ubuntu.sh
wget https://github.com/PX4/PX4-Autopilot/blob/main/Tools/setup/requirements.txt
./ubuntu.sh
pip3 -r requirements.txt
git clone https://github.com/PX4/Firmware.git PX4_Firmware
```

# CXEMA



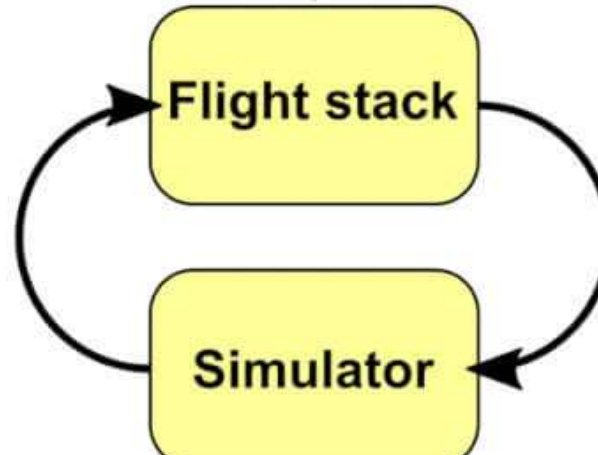
**Control signals / Telemetry**



## **PX4 inputs from simulator**

Sensor and other message

- HIL\_SENSOR
- HIL\_GPS
- HIL\_OPTICAL\_FLOW
- HIL\_RC\_INPUTS\_RAW
- HIL\_STATE\_QUaternion

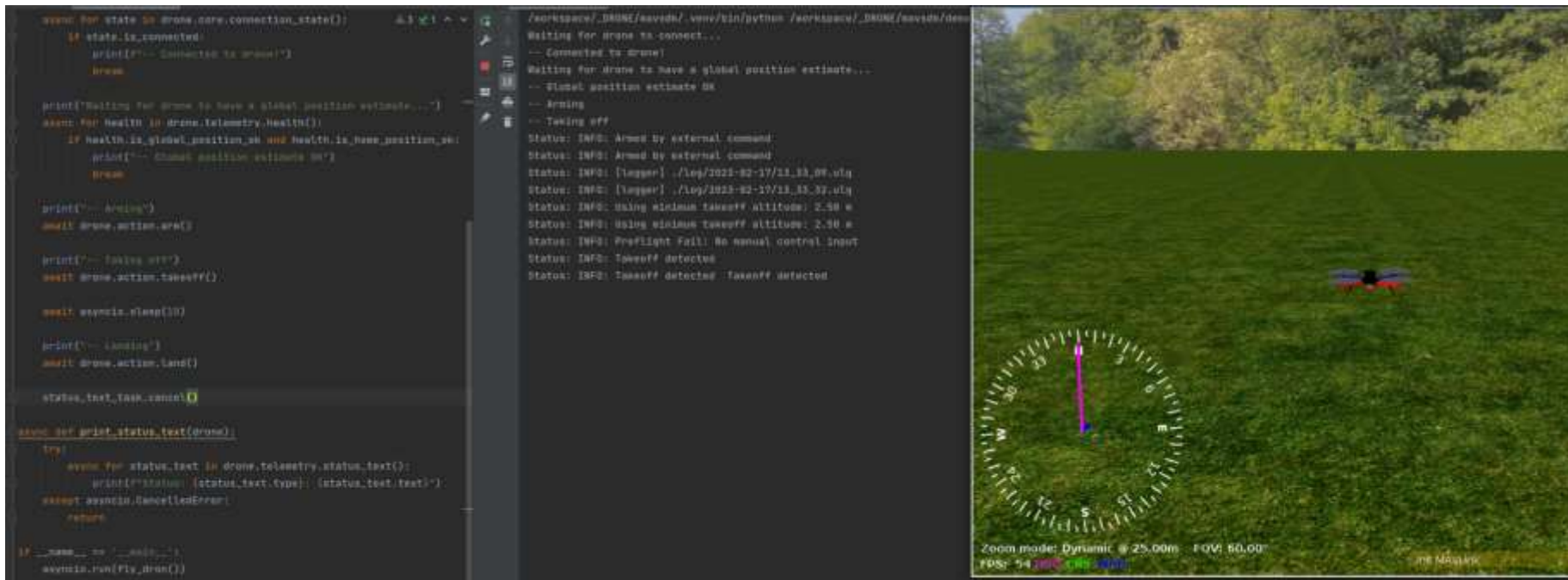


## **PX4 motor/actuator outputs**

Motor and actuator value messages

- HIL\_ACTUATOR\_CONTROLS

# jMAVSim with SITL: quadro



```
cd PX4_Firmware
make px4_sitl jmavsim
```

<https://github.com/PX4/jMAVSim>

# Gazebo: Quadrotor, Plane, VTOL

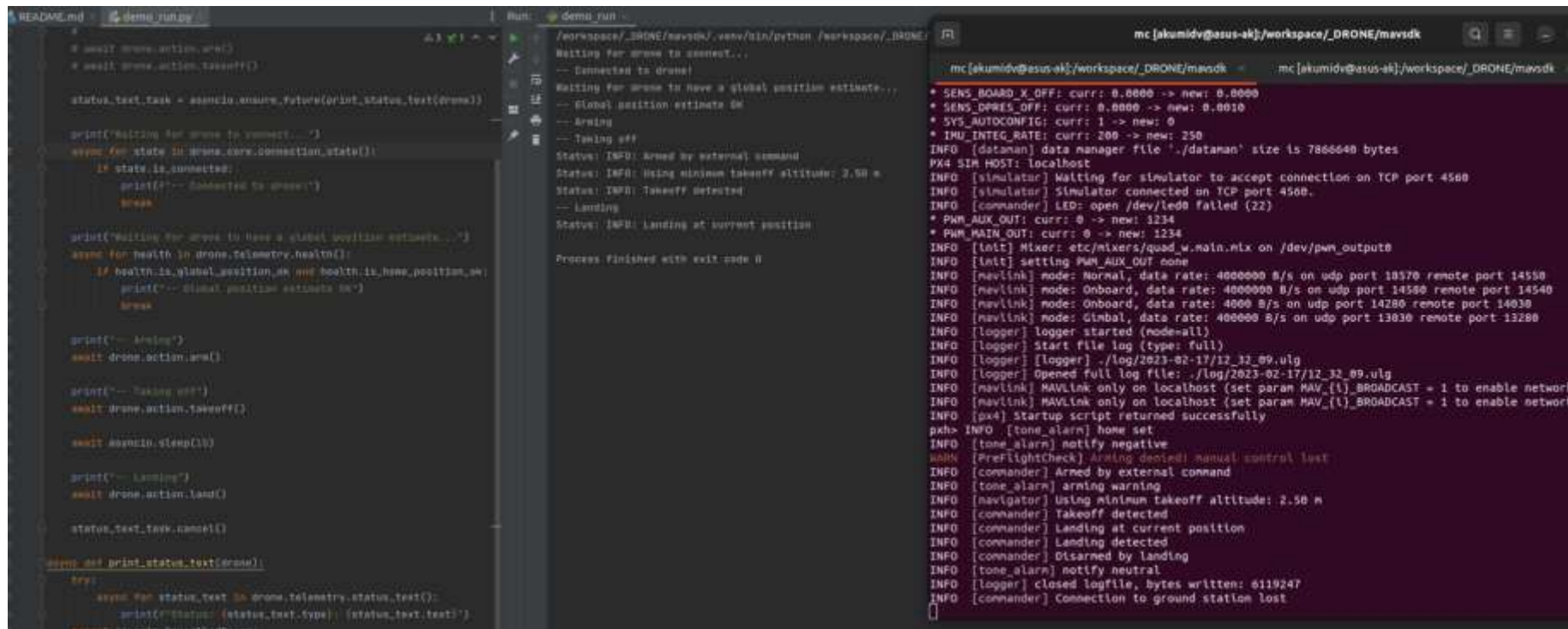


<https://gazebo-sim.org/home>

<https://github.com/jonasvautherin/px4-gazebo-headless>



# GAZEBO + DOCKER + PYTHON



The image shows a development environment with a code editor on the left and a terminal on the right. The code editor displays a Python script named `demo_run.py` that interacts with a drone simulation. The script includes comments for actions like connecting, arming, taking off, landing, and sending status text. The terminal window shows the output of the script, which includes status messages from the drone and MAVLink logs from the simulation.

```
README.md demo_run.py Run: demo_run
# wait drone action arm()
# wait drone action takeoff()

status_text_task = asyncio.ensure_future(print_status_text(drone))

print("Waiting for drone to connect...")
async for state in drone.connection_state():
    if state.is_connected():
        print("-- Connected to drone!")
        break

print("Waiting for drone to have a global position estimate...")
async for health in drone.telemetry.health():
    if health.is_global_position_ok and health.is_home_position_ok:
        print("-- Global position estimate OK")
        break

print("-- Arming")
await drone.action.arm()

print("-- Taking off")
await drone.action.takeoff()

await asyncio.sleep(10)

print("-- Landing")
await drone.action.land()

status_text_task.cancel()

@asyncio.coroutine
def print_status_text(drone):
    try:
        async for status_text in drone.telemetry.status_text():
            print("Status: (%s,%s,%s) (%s,%s,%s)" % (status_text.type, status_text.text))
    except asyncio.CancelledError:
        pass
```

```
mc [akumidv@asus-ek]:/workspace/_DRONE/...
Waiting for drone to connect...
-- Connected to drone!
Waiting for drone to have a global position estimate...
-- Global position estimate OK
-- Arming
-- Taking off
Status: INFO: Armed by external command
Status: INFO: Using minimum takeoff altitude: 2.50 m
Status: INFO: Takeoff detected
-- Landing
Status: INFO: Landing at current position

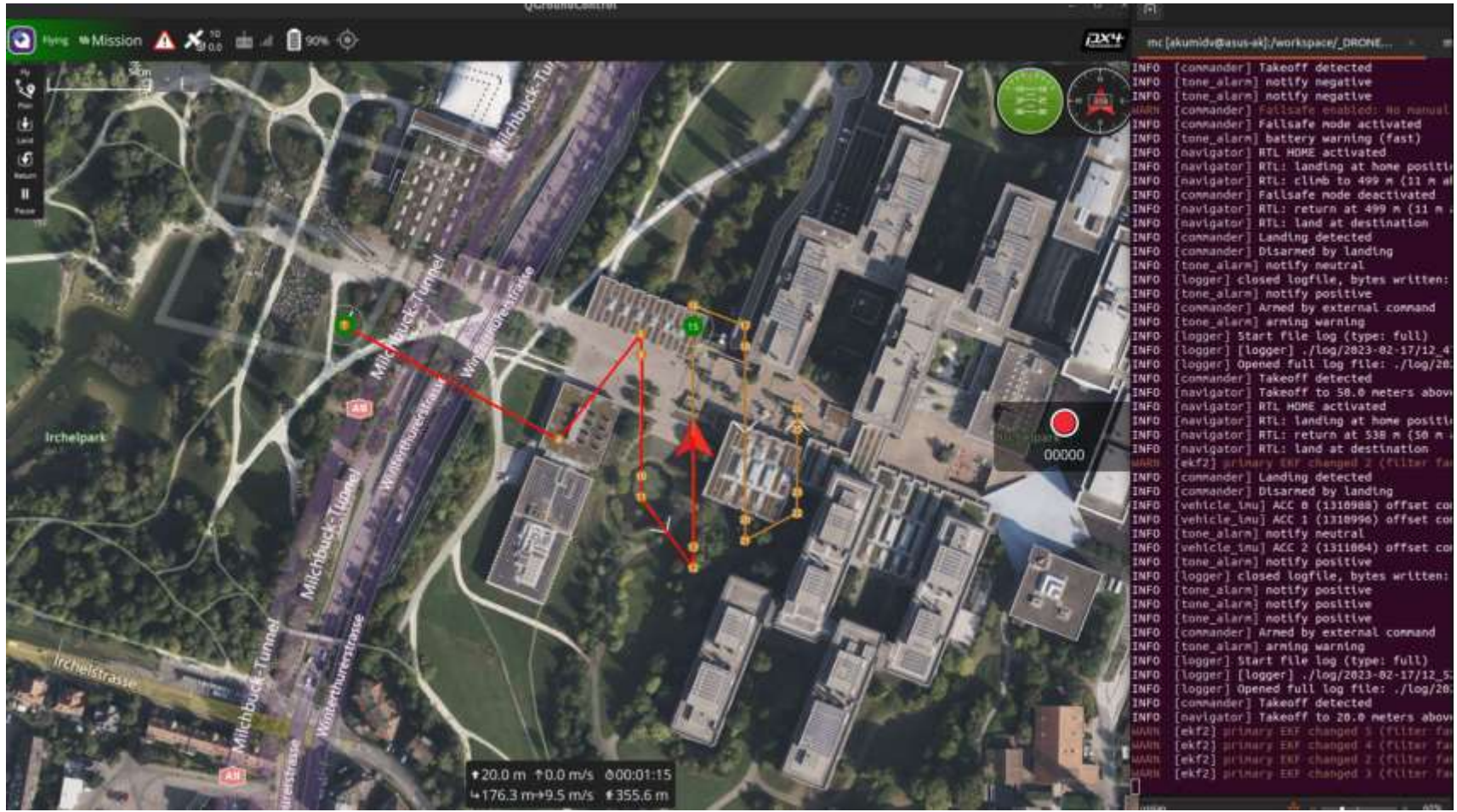
Process finished with exit code 0

mc [akumidv@asus-ek]:/workspace/_DRONE/mavsdk
* SENS_BOARD_X_OFF: curr: 0.0000 -> new: 0.0000
* SENS_BOARD_Y_OFF: curr: 0.0000 -> new: 0.0010
* SYS_AUTOCONFIG: curr: 1 -> new: 0
* IMU_INTEG_RATE: curr: 200 -> new: 250
INFO [dataman] data manager file './dataman' size is 7866648 bytes
PX4 SIM HOST: localhost
INFO [simulator] Waiting for simulator to accept connection on TCP port 4560
INFO [simulator] Simulator connected on TCP port 4560.
INFO [commander] LED: open /dev/led0 failed (22)
* PWM_AUX_OUT: curr: 0 -> new: 1234
* PWM_MAIN_OUT: curr: 0 -> new: 1234
INFO [init] Mixer: etc/mixers/quad_w.maln.mlx on /dev/pwm_output0
INFO [init] Setting PWM_AUX_OUT cone
INFO [navlink] mode: Normal, data rate: 4000000 B/s on udp port 18570 remote port 14550
INFO [navlink] mode: Onboard, data rate: 4000000 B/s on udp port 14550 remote port 14540
INFO [navlink] mode: Onboard, data rate: 4000 B/s on udp port 14280 remote port 14030
INFO [navlink] mode: Gimbal, data rate: 400000 B/s on udp port 13030 remote port 13280
INFO [logger] logger started (mode=all)
INFO [logger] Start file log (type: full)
INFO [logger] [logger] ./log/2023-02-17/12_32_09.ulg
INFO [logger] Opened full log file: ./log/2023-02-17/12_32_09.ulg
INFO [navlink] MAVLink only on localhost (set param MAV_{i}_BROADCAST = 1 to enable network)
INFO [navlink] MAVLink only on localhost (set param MAV_{i}_BROADCAST = 1 to enable network)
INFO [px4] Startup script returned successfully
px4> INFO [tone_alarm] home set
INFO [tone_alarm] notify negative
WARN [PreFlightCheck] Arming denied: manual control lost
INFO [commander] Armed by external command
INFO [tone_alarm] arming warning
INFO [navigator] Using minimum takeoff altitude: 2.50 m
INFO [commander] Takeoff detected
INFO [commander] Landing at current position
INFO [commander] Landing detected
INFO [commander] Disarmed by landing
INFO [tone_alarm] notify neutral
INFO [logger] closed logfile, bytes written: 619247
INFO [commander] Connection to ground station lost
```

Docker: <https://github.com/jonasvautherin/px4-gazebo-headless>

Примеры: <https://github.com/mavlink/MAVSDK-Python/tree/master/examples>

# GAZEBO + QGroundControl





# ДРУГИЕ СИМУЛЯТОРЫ

- FlightGear Simulation — погода
- JSBSim: Plane, Quadrotor, Hexarotor - Сложное моделирование полетной динамики (включая ротацию земли)
- AirSim Unreal Engine

# **ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ В ДРОНАХ**

# РАЗРАБОТКА В ОПЕНСОРС

- Полетный контроллер PX4
- Пульты OpenTX
- Настройка дрона QgroundControl
- Проткол связи с дроном ELRS/mLRS
- Протокол коммуникации MAVLINK
- Протоколы передачи видео OpenHD/Ez-WifiBroadcast
- Симуляторы

# РАЗРАБОТКА ДЛЯ ДРОНОВ

- ПО используемое в беспилотниках и управлении ими
- ПО для работы с навесным оборудованием и обработки его результатов

# МАШИННОЕ ЗРЕНИЕ

- Детекция и управление в точке посадки
- Детекция и управление к объекту в полете
- Детекция и управление к объекту на земле
- Следование маршруту в сложном рельефе или погодных условиях



# МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ

- Распознавание дронов: радио, видео, аудио, лидар
- Оптимизация маршрутов: погода, рельеф, нормативные требования
- Сервисные модели со сбором статистики и прогнозирование отказов



# ПРЕДМЕТНЫЕ ML МОДЕЛИ

- Детекции неисправностей объектов
- 3D Маршруты обследования стационарных объектов (вышки, здания)
- Коррекция искажений результатов обследования дронов с существующими метрологически выверенными моделями



# ЗАДАЧА СЕТИ УПРАВЛЕНИЯ

Вариант:

- Протокол связи LoRa, сеть LoRaWan
- Шлюзы по сотовой модели
- Управление коммутацией
- Передача разных видов трафика, шифрование,
- Транспондеры
- Принудительное управление от доверенных центров (аэропорт)

# ВОПРОСЫ?

Андрей Куминов <http://github.com/akumidv>

Сообщество devDV (Хабаровск) <http://t.me/devDV>

# Использованные материалы

- Вак Разрешение на полет дрона в 2022-м <https://habr.com/ru/post/599399/>
- Ларин Е.А. Качалин А.М. Беспилотные летательные аппараты. Квадрокоптеры.  
[https://sch1794s.mskobr.ru/files/Razdelyi\\_sayta/Kadetyi/PREDPROF\\_ekzamen/Презентация.pptx.pdf](https://sch1794s.mskobr.ru/files/Razdelyi_sayta/Kadetyi/PREDPROF_ekzamen/Презентация.pptx.pdf)
- Bett328 Дрон для любителя: устройство и принципы программирования <https://habr.com/ru/company/leader-id/blog/491770/>
- Овченков Н. Технические аспекты использования систем обнаружения и противодействия БПЛА на объектах гражданской авиации <https://www.electronika.ru/upload/medialibrary/fce/fce796f9baf6da23bdc0b4978c08628.pdf>
- Unnamed.ru "Перспективы создания систем автоматической посадки БПЛА на надводный корабль с использованием интеллектуальной системы технического зрения  
[https://fcpir.ru/upload/iblock/4ca/corebofs000080000l2n4tcf82av2bro\\_presentation.pdf](https://fcpir.ru/upload/iblock/4ca/corebofs000080000l2n4tcf82av2bro_presentation.pdf)
- Кирсанов РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ [https://nsu.ru/xmlui/bitstream/handle/nsu/395/Presentation\\_KusainovAA.pdf](https://nsu.ru/xmlui/bitstream/handle/nsu/395/Presentation_KusainovAA.pdf)
- Любительская служба Частоты, решения ГРЧ <https://grfc.ru/grfc/zayav/radioservice/amateur-service/frequency-solutions-of-the-gkrch>
- Фиксированная служба Частоты, системы, стандарты, технологии, решения ГРЧ  
<https://grfc.ru/grfc/zayav/radioservice/fixed-service/frequencies-system-standards-solutions-of-the-gkrch/>
- Разрешенные и безлицензионные частоты радиостанций <https://combat-radio.ru/blog/detail/freq/>
- Вход в Aeronet: запуск автономного квадрокоптера в виртуальной среде <https://habr.com/ru/post/434220/>