

Что такое (или кто такие)

Drobots

расскажет Михаил Шохирев

Шадринск, Клуб программистов, 2019.04.04

updated: 2021-05-31

drone / дрон

drone ~ (англ. трутень, пчелиный самец) дрон ← queen bee

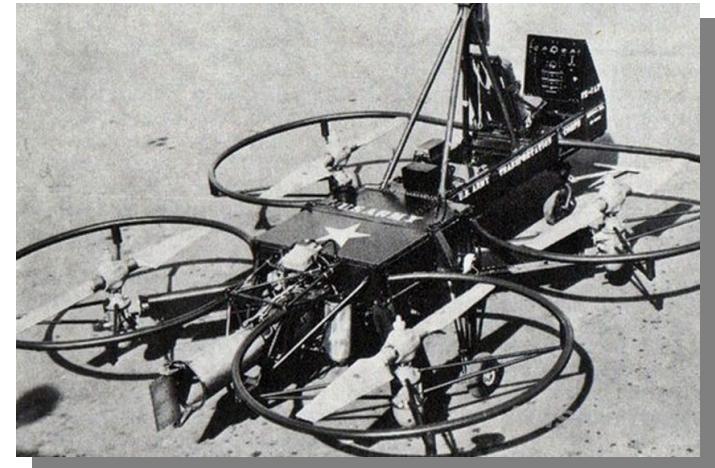
БПЛА/БЛА = беспилотный летательный аппарат, беспилотник

UAV = unmanned aerial vehicle ~ беспилотное воздушное судно (БВС)

UAV pilot ~ оператор БПЛА = внешний пилот (РФ)



Британский радиоуправляемый БПЛА (1935) на основе биплана DH82B под названием «Queen Bee» (пчелиная матка).



Дистанционно управляемый аппарат VZ-7, созданный компанией Curtiss-Wright (1958) для армии США.

bio-drone / био-дрон

Инженеры из Университета Вашингтона минимизировали **аппаратуру для мониторинга флоры** и поместили её на шмеляй. Миниатюрная и легкая конструкция не мешает насекомому: он ведёт привычный образ жизни, а «рюкзачок» на его спине собирает данные о состоянии сельскохозяйственных угодий.

«Рюкзачок» из датчиков для измерения температуры, влажности и освещенности весит **102 миллиграмма** (как 7 зернышек сырого риса) и может хранить до 30 килобайт данных. 70 миллиграммов веса приходится на батарею, которая работает без подзарядки до **7 часов**. Перезарядка батареи и передача данных производятся в фоновом режиме по ночам, уже после того, как шмель вернулся в улей.

[<http://www.nat-geo.ru/science/1247108-zachem-uchenye-nadeli-na-shmeley-ryukzachki/#>](http://www.nat-geo.ru/science/1247108-zachem-uchenye-nadeli-na-shmeley-ryukzachki/#)



multicopter / мультикоптер

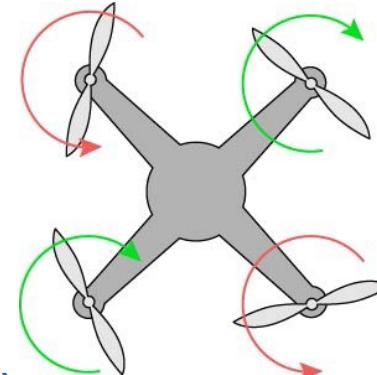
- 3 = Трикотер: Y+, Y-
- 4 = Квадрокоптер: +, X, H
- 6 = Гексакоптер: *
- 8 = Октакоптер: **
- 16-моторный rotorcraft



flying / полёт

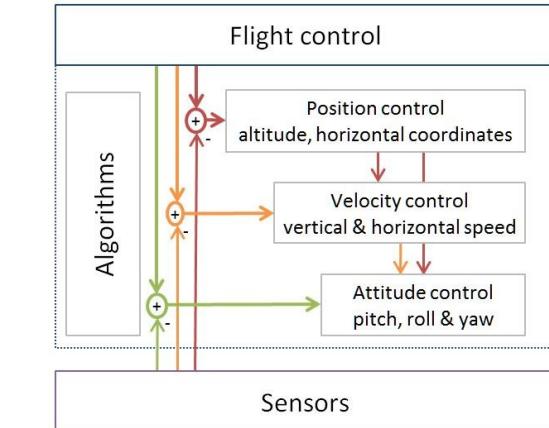
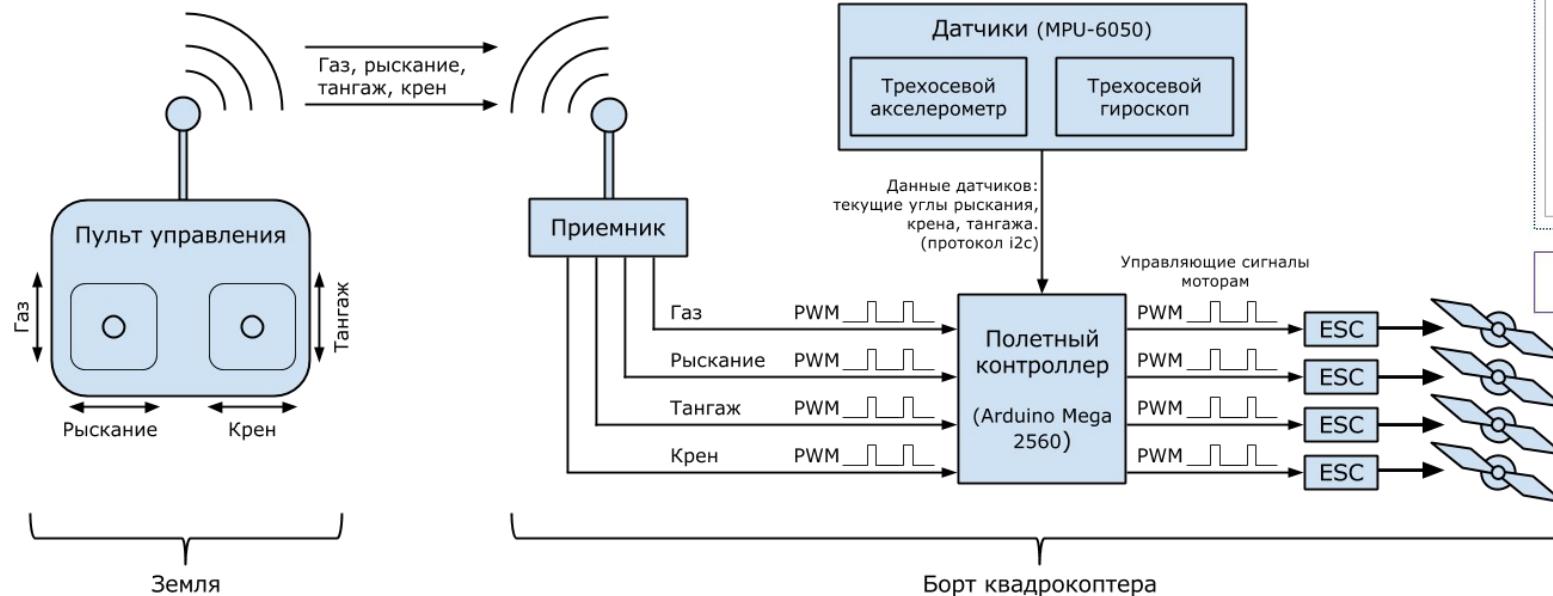
Мультикоптер летает только за счёт вращения роторов:

- взлёт, подъём (*throttle up*)
- спуск, посадка (*throttle down*)
- поддержание высоты, зависание (*hover*)
- удержание позиции, сопротивление ветру
- перемещение вперёд, разгон (*pitch down*)
- перемещение назад, торможение (*pitch up*)
- вращение: поворот направо и налево (*yaw right & left*)
- перемещение вбок: влево и вправо (*roll left & right*)
- одновременное выполнение действий:
 - выполнение переворотов (*flips*)



flight controller / полётный контроллер

Задачи управления полётом выполняет программно-аппаратный **полётный контроллер** (flight controller), анализируя показания датчиков IMU (inertial measurement unit) и выполняя команды от устройства управления (controller).



control / управление

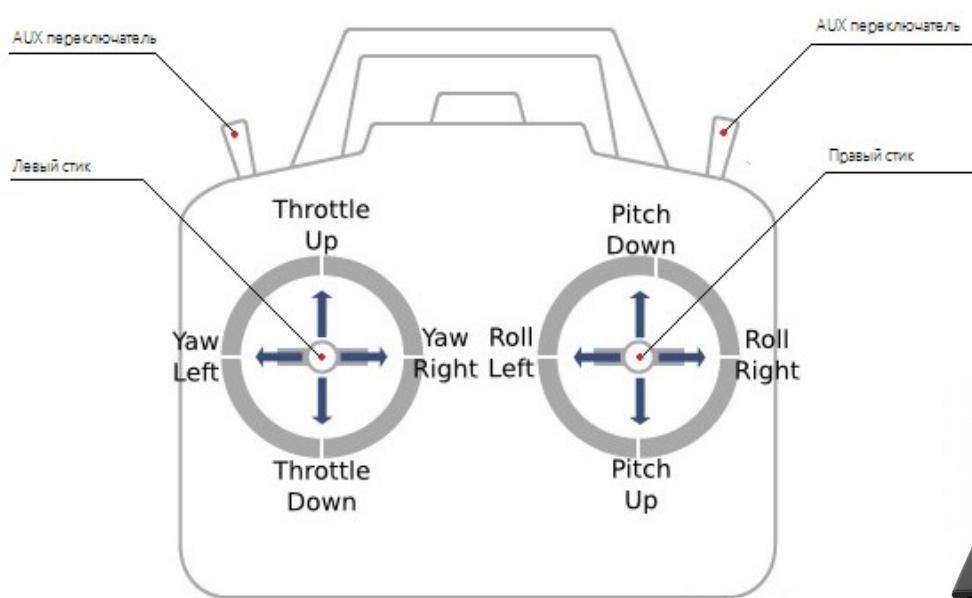
Беспилотники могут:

- **управляться дистанционно** (с контроллера):
 - с пульта дистанционного управления (remote control);
 - с мобильного устройства (смартфон, планшет);
 - с переносного компьютера (ноутбук, Raspberry Pi)
(в т. ч. через автоматическое программное управление);
 - с помощью жестов, поз, голоса, ...;
- **летать автономно** с помощью встроенного программного обеспечения (работающего на основе показаний бортовых сенсоров и системы GPS):
 - по плану полёта (с облётом препятствий);
 - в режимах авто-видеосъёмки;
 - в режиме обнаружения объектов (визуальных меток);
 - в режиме слежения за объектами.

remote controller / пульт управления

Пульт дистанционного (ручного) управления БПЛА:

- 1) со встроенным экраном;
- 2) ориентированный на подключение мобильного устройства (для отображения видеопотока и телеметрии; для управления).



communication / связь

Радиосвязь БПЛА с контроллером (управляющим устройством):

- **обычный или усиленный Wi-Fi** (enhanced Wi-Fi) @ 2.4 / 5.8 GHz;
- **специальная система радио-обмена** (transmission system):
 - мобильная радиосвязь 4G;
 - *DJI*: OcuSync, Lightbridge;
 - спутниковая связь;
 - ...

Передача данных:

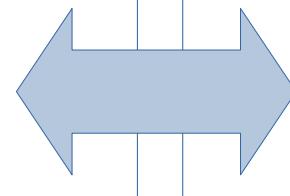
- **контроллер → БПЛА:**
 - команды управления.
- **БПЛА → контроллер:**
 - телеметрия о состоянии ЛА (→ odometry);
 - видео-поток (video feed).



processing / обработка

На БПЛА:

- обработка показаний датчиков
- отправка телеметрии
- сохранение полётного журнала
- сохранение видео
- обработка видео
- отправка видео-потока
- приём команд
- отработка команд контроллера
- выполнение бортовых программ



На контроллере:

- отображение показаний
- приём телеметрии
- сохранение полётного журнала
- сохранение видео
- обработка видео-потока
- приём видео-потока
- отправка команд управления
- выполнение программ анализа телеметрии, расчётов, одометрии

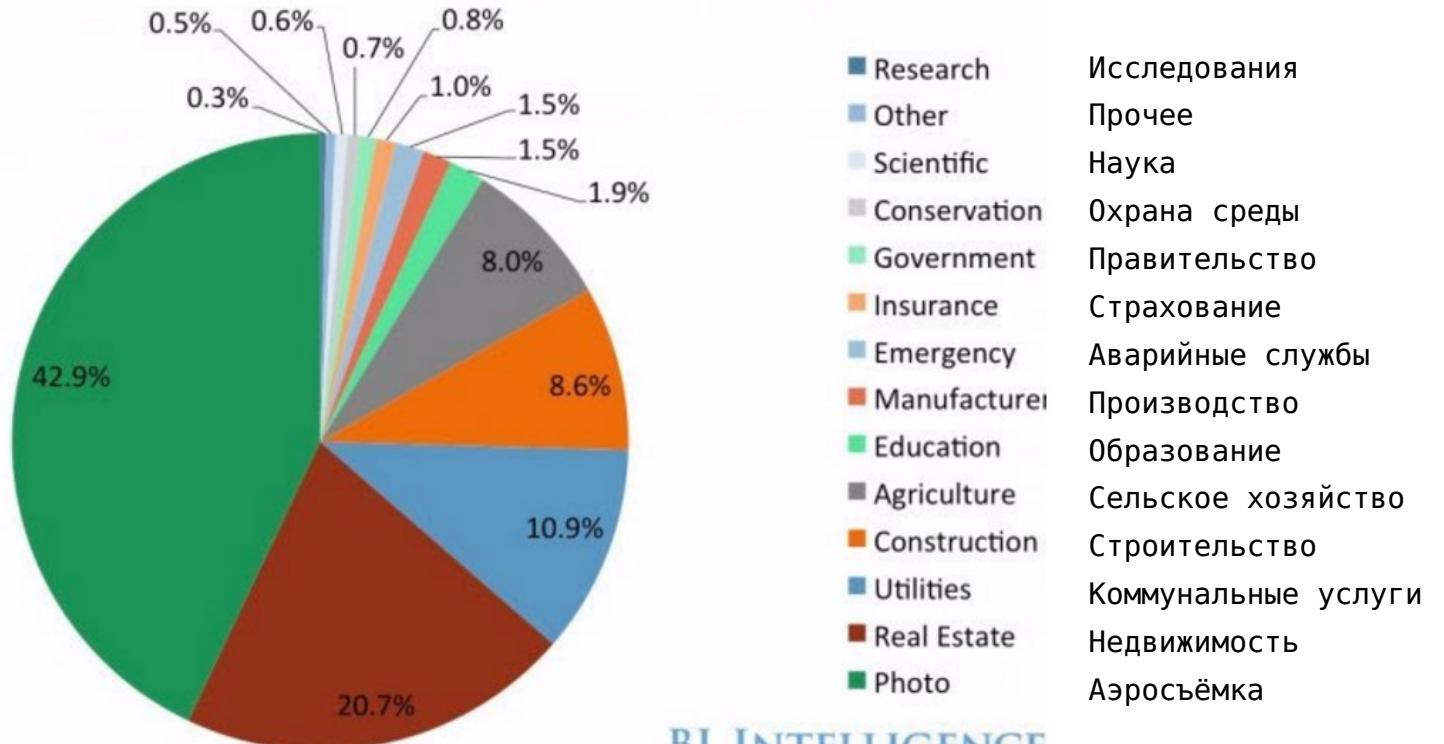


usage / применение

- **Оборона:** мишени, разведка, патрулирование, ретрансляция, РЭБ, авиаудары
- **Общественная безопасность:** видеонаблюдение, охрана, поиск, анализ ЧС
- **Промышленность, сельское хозяйство:** обследование с воздуха (NDVI)
- **Строительство:** осмотр площадок/крыш, съёмки для моделирования
- **Энергетика:** аэро-фото/видеосъёмка, инспектирование (тепловизор)
- **Картография, геодезия, кадастр:** ортофотопланы, обмер, моделирование
- **Воздушная археология:** аэро-поиск, составление плана раскопок
- **Торговля:** осмотр и показ недвижимости/земель, доставка товаров/еды
- **Транспорт:** доставка грузов, осмотр трубопроводов (утечки)
- **Медицина** (катастроф): доставка медикаментов, аптечек/спасжилетов
- **Охрана окружающей среды:** обследование, мониторинг (загрязнения)
- **Кино, журналистика:** «летающая камера», vlogging
- **Туризм:** визуальные экскурсии для инвалидов, разведка маршрутов
- **Спорт:** отслеживание движения по трассе, судейство
- **Развлечения:** аэросъёмка, полёты FPV, drone racing, воздушные шоу
- **Образование:** обучение применению, программирование, соревнования

usage / применение

Top Industries Using Drones
% Of Section 333 Exemptions Issued in US



FPV / вид от 1-го лица

FPV = first person view ~ вид от первого лица

Просмотр в реальном времени видео-потока с коптера передаёт ощущение полёта: летая на дроне с FPV можно буквально почувствовать себя летящим.

Устройства:

- Планшет, смартфон
- Очки VR
- DJI Goggles / RE
- DJI FPV Goggles Digital



brands / производители

Известные производители мультикоптеров:

- **3D Robotics** — США (2009)
- **AAI** Corporation → Textron — США (1950)
- **DJI** (SZ DJI Technology Co., Ltd.) — Китай (2006)
- **Horizon Hobby** — США (1985)
- **Hubsan** — Китай
- **Microdrones** GmbH — ФРГ (>2013)
- **MiKrocopter** — ФРГ
- **Parrot** — Франция (1994)
- **Syma Toys** — Китай
- **Walkera** Technology Co., Ltd. — Китай (1994)
- **Yuneec** — Китай (1999)
- **Zero** (Shenzhen Zero UAV Tech.Co., Ltd) — Китай (<2009)



THE FUTURE OF POSSIBLE



DJI = Dà-Jiāng Innovations Science & Technology Co., Ltd. = 大疆创新科技有限公司

SZ **DJI** Technology Co., Ltd. — китайская частная компания, которую основал в 2006 году Ван Тао (汪滔): производитель мультикоптеров, микроконтроллеров, видео-оборудования. Один из пионеров и лидер рынка беспилотных летательных аппаратов (70% ранка), контроллеров для БПЛА и оборудования для стабилизации видеосъёмки. **DJI** не производит устройства на основе чужих конструкций, не заимствует технологии у кого-либо, а сама является новатором на рынке БПЛА.
Поэтому прессы называет **DJI** «Apple среди дронов».



DJI copters / семейства

Промышленные:

- Matrice 100
- Matrice 200
- Matrice 600 Pro
- MG-1
- Mavic 2 Enterprise



Полу-профессиональные:

- Phantom 4 Pro
- Mavic Pro
- Mavic 2 Pro



Профессиональные:

- Phantom 4 RTK
- Inspire 2
- Spreading Wings S1000
- Guidance



Любительские:

- Mavic 2 Zoom
- Mavic Air
- Spark
- Tello, Tello EDU



DJI copters / модели

DJI FERNTECH
COMPARISON
CHART

	SPARK	MAVIC AIR	MAVIC PRO	MAVIC PRO PLATINUM	MAVIC 2 ZOOM	MAVIC 2 PRO	PHANTOM 4 ADV	PHANTOM 4 PRO V2.0
FLIGHT TIME	16min	21min	27min	30min	31min	31min	30min	30min
RANGE	< 2km	< 4km	< 7km	< 7km	< 8km	< 8km	< 7km	< 7km
MAX. SPEED	50km/h	68km/h	65km/h	65km/h	72km/h	72km/h	72km/h	72km/h
GIMBAL	2-axis	3-axis	3-axis	3-axis	3-axis	3-axis	3-axis	3-axis
OBSTACLE SENSORS	Front, down	Front, rear, down	Front, down	Front, down	Front, rear, sides*, down, up	Front, rear, sides*, down, up	Front, down	Front, down, sides
MAX WIND	20-28km/h	29-38km/h	29-38km/h	29-38km/h	29-38km/h	29-38km/h	29-38km/h	29-38km/h
FOCAL LENGTH 35MM FORMAT EQUIVALENT	25mm	24mm	28mm	28mm	24-48mm Optical 48-96mm Digital	28mm	24mm	24mm
SHUTTER	Electronic	Electronic	Electronic	Electronic	Electronic	Electronic	Mechanical leaf	Mechanical leaf
APERTURE	f/2.6 fixed	f/2.8 fixed	f/2.2 fixed	f/2.2 fixed	f/2.8 (28mm) f/3.8 (48mm)	f/2.8 - f11	f/2.8 - f11	f/2.8 - f11
EFFECTIVE PIXELS	12mp	12mp	12mp	12mp	12mp	20mp	20mp	20mp
VIDEO RESOLUTION	1080p 30fps 24Mbps	4k 30fps 100Mbps	4k 30fps 60Mbps	4k 30fps 60Mbps	4k 30fps 100Mbps	4k 30fps 100Mbps	4k 60fps 100Mbps	4k 60fps 100Mbps
CAMERA SENSOR	1/2.3" CMOS	1/2.3" CMOS	1/2.3" CMOS	1/2.3" CMOS	1/2.3" CMOS	1" CMOS	1" CMOS	1" CMOS
LOW NOISE PROPS	No	No	Optional	Yes	Yes	Yes	Optional	Yes
FISHING DROP	No	No	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
SIREN	No	No	No	No	No	No	Yes	Yes

*Only on tripod and beginner mode. Mavic 2 side sensors also work in ActiveTrac



new copters / новые модели

После выхода *Mavic Air* компания **DJI** выпустила новые версии любительских дронов:

Серия Mavic:

- **DJI Air 2S**
- **DJI Mini 2**
- **Mavic Air 2**
- **Mavic Mini**
- **Mavic 2**

Серия FPV DJI:

- **DJI FPV**

RoboMaster Series:

- **RoboMaster TT
(Tello Talent)**

А также профессиональных, промышленных, сельскохозяйственных и образовательных дронов.

Mavic Air

Компактный квадрокоптер **DJI Mavic Air** (2018): «engineering miracle»

- Складной, умещается в карман, размером немного больше смартфона, 430 г.
- Видеокамера 4K 12MP HDR 85° 100 Mbps на 3-хосевом механическом подвесе.
- Встроенная память на 8 GB + microSD до 256 GB.
- Максимальная скорость полета 68,4 км/ч (19 м/с) в режиме Sport.
- Время полёта до 21 минуты, дальность полёта до 4 км, высота — до 500 м.
- Режим управления жестами (без пульта управления).
- Режим авто-отслеживания до 16 объектов съёмки.
- Режим замедленной съёмки (slo-mo) 1080p @ 120fps.
- Режимы автономной съёмки указанного объекта.
- 4 режима съёмки фото-панорам до 33,6МР.
- 6 режимов умной видео-съёмки.
- Система авто-облёта препятствий.
- Система аварийного возврата.
- Может взлетать с руки и садиться на ладонь.
- «Самый элегантный и красивый из дронов DJI».



Mavic Air: органы чувств

Сенсоры:

- 2 IMUs:
 - Высотомер
 - Акселерометр
 - Датчики наклона
 - Компас
 - Магнитометр
 - Ультразвуковой датчик
 - 2 нижних инфракрасных датчика
 - Спутниковые системы позиционирования: GPS + ГЛОНАСС
 - Система визуального позиционирования и обнаружения препятствий:
 - 2 передних, 2 задних, 2 нижних камеры для сканирования окружения
 - Основная передняя видеокамера с возможностью распознавания образов
- Все устройства работают в единой системе, которая использует показания и одометрию для управления воздушным судном.**



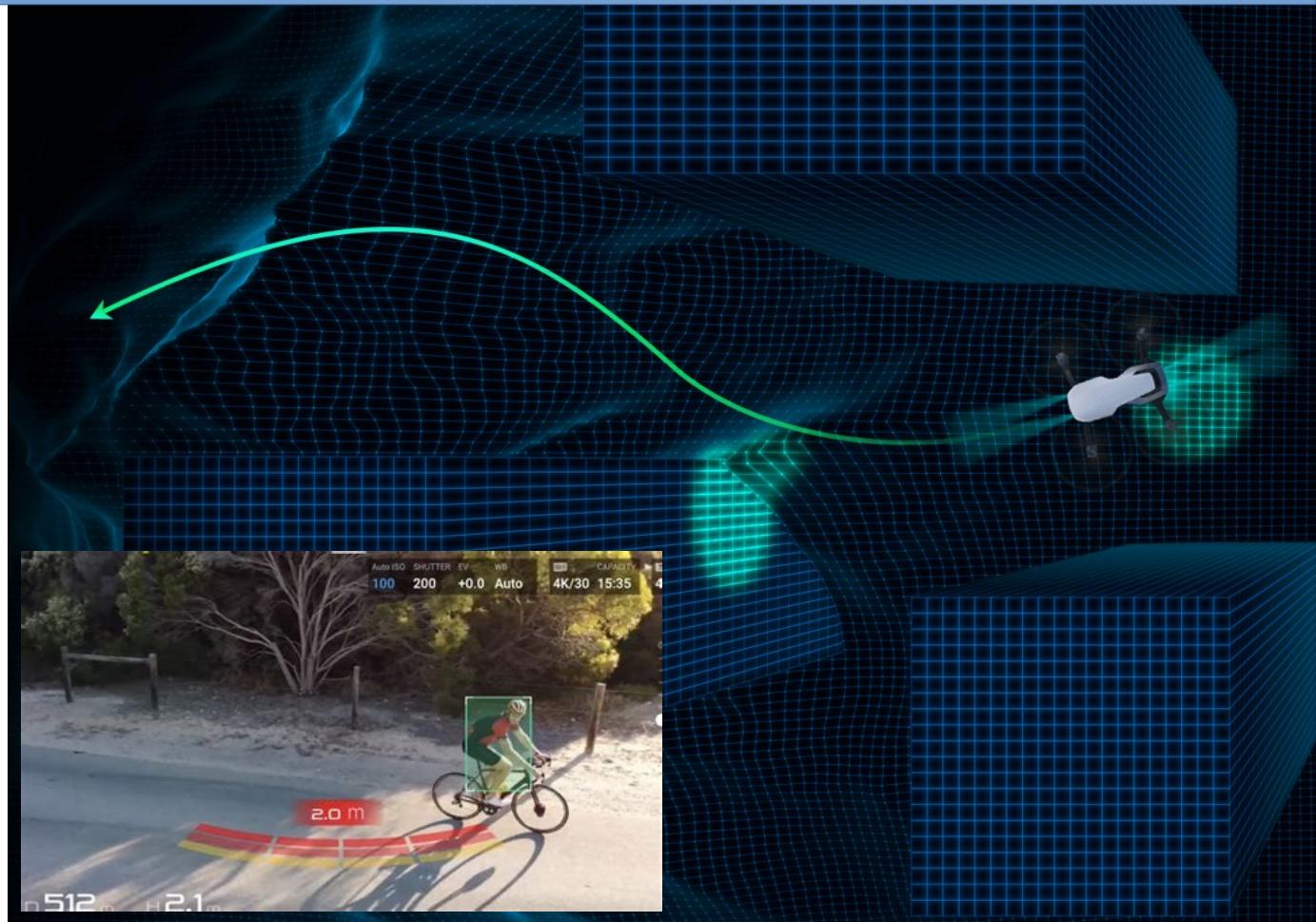
В Mavic 2 добавлены
верхние и боковые датчики
для обнаружения
препятствий

Mavic Air: ориентация

Mavic Air с помощью 7 камер и сенсоров создает 3D карту окружающего пространства (**SLAM** = simultaneous localization and mapping), чтобы в полёте распознавать препятствия с расстояния до 20 метров и автоматически облетать их сбоку или сверху, избегая столкновений.

Средства **FlightAutonomy** 2.0 также используются в интеллектуальных режимах автономной съёмки TapFly и ActiveTrack при автоматическом слежении за движущимся объектом съёмки, когда коптер даже пытается предугадать его движение на 3 секунды вперёд.

Эти средства позволяют коптеру уверенно летать даже без систем спутниковой навигации.



drone → *drobot*

drobot = flying robot *

Режимы автономной съёмки *TapFly*: Forward, Backward, Free, Coordinate

Режимы умной съёмки: Rocket, Dronie, Circle, Helix, Asteroid, Boomerang

Съёмка панорамных снимков: Vertical, Horizontal, 180°, Sphere

Система отслеживания объектов съёмки *ActiveTrack* (до 16 объектов)

Система обработки фото: склейка панорамных снимков, HDR

Система управления жестами *SmartCapture* (полёт и съёмка)

Система автономного полета *FlightAutonomy 2.0* с технологией VIO

Расширенный автопилот *APAS* (Advanced Pilot Assistance System)

Программы возврата домой *RTH* (Return To Home): 2 режима

Системы самоконтроля (электропитание, перегрузка, ...)

Интеллектуальные аккумуляторы Intelligent Flight Battery

* на примере *DJI Mavic Air*

Профессор робототехники
ли Цзэсян – одна из
ключевых фигур
в **DJI**.

DJI SDK



На сайте developer.dji.com есть несколько SDK для разработки программ управления дронами **DJI**.



Mobile SDK предоставляет такие возможности:



Полёт:

- Управление полётом на высоком и низком уровне
- Состояние ЛА через телеметрию и данные сенсоров
- Избегание препятствий (если поддерживается ЛА)



Камера:

- Управление камерой и подвесом при съёмке
- Видеопоток (live video feed) с камеры
- Удалённый доступ к записям камеры (media stored)

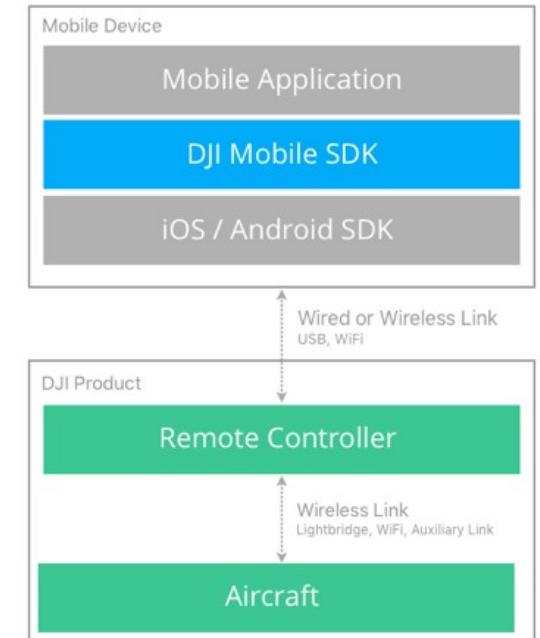


Миссии:

- Предопределённые миссии: Waypoint, HotPoint, FollowM

Подсистемы:

- Данные о состоянии и управление батареей и пультом управления



SDK programming



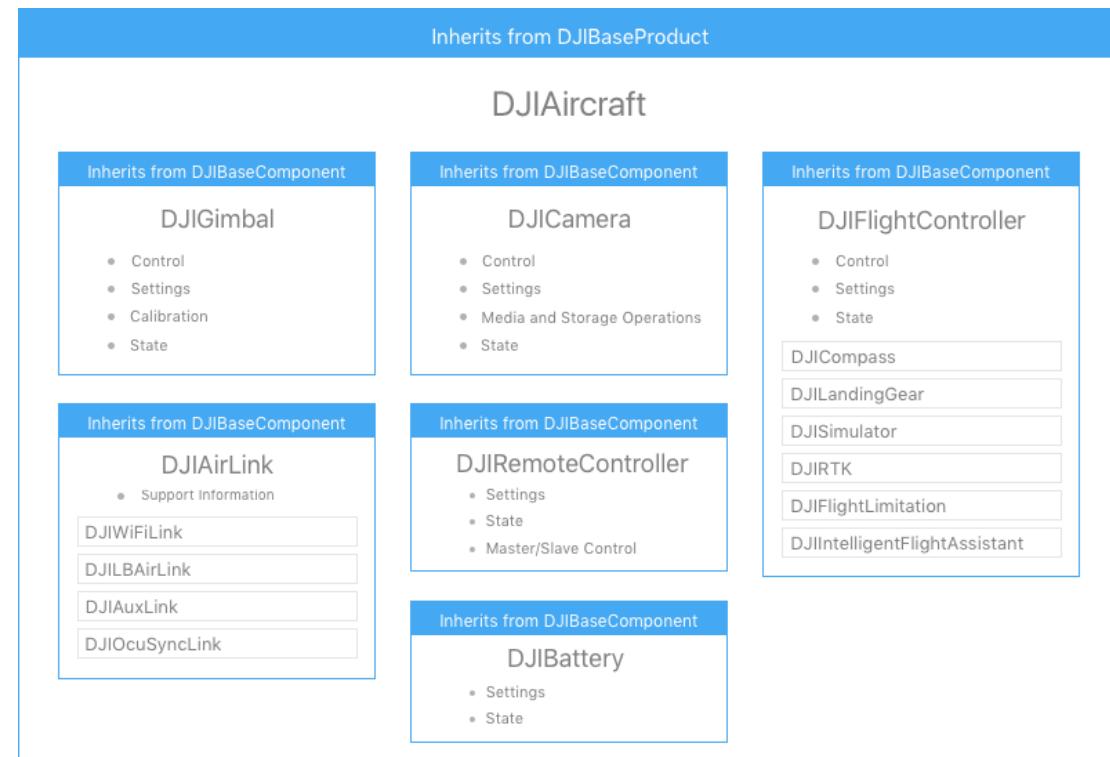
С помощью SDK сторонние разработчики программируют коптеры: например, вместо официального приложения для управления дронами *DJI GO 4* разработано альтернативное приложение для управления — *Litchi*, имеющее расширенные возможности.



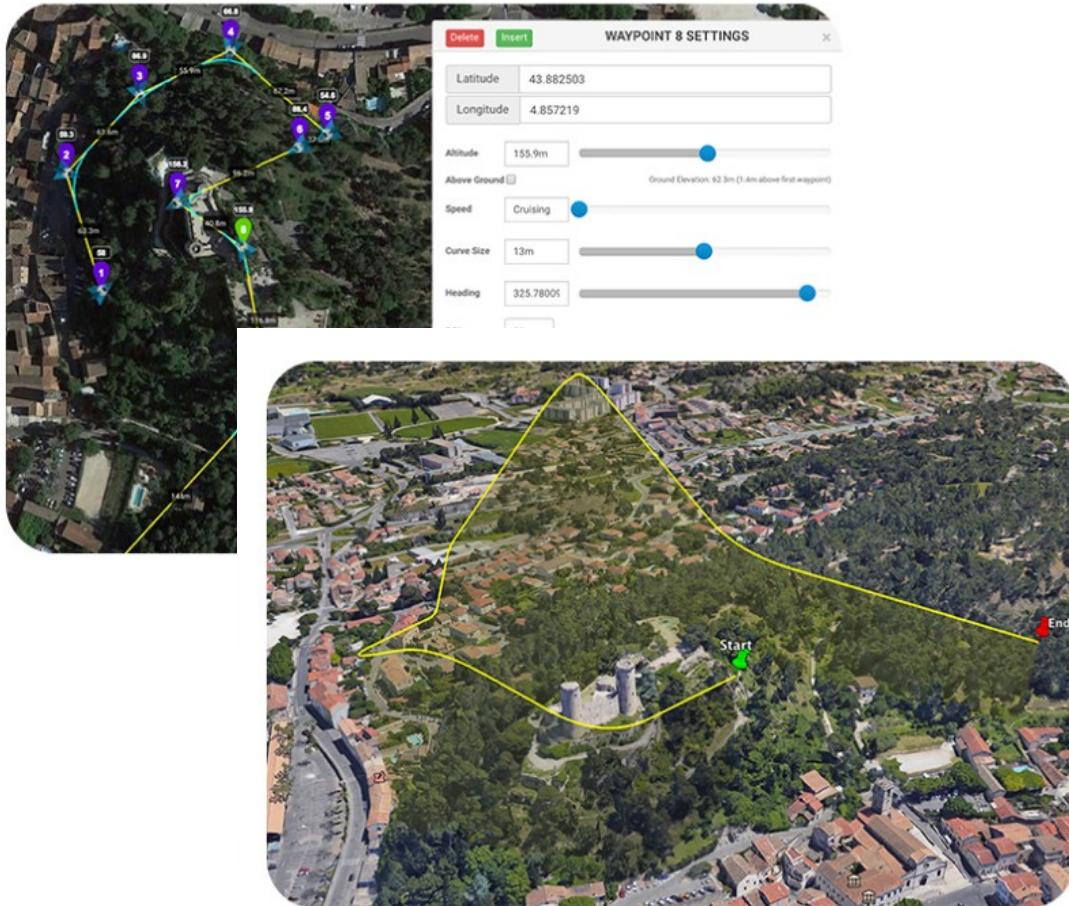
DJI GO 4



Litchi



auto-flight / автономность



В приложении **Litchi**, написанном при помощи DJI SDK, реализован автономный полёт ("WayPoints", "Points of Interest") для всех дронов DJI, когда на карте заранее отмечаются точки, через которые будет пролетать коптер и выполнять действия по съёмке. А «внешний пилот» в это время может просто смотреть видео-трансляцию. Полёт автономный, продолжается даже при потере связи с пультом. «Миссии» можно создавать и на ПК, то есть команды по управлению полётом записываются на дрон для исполнения в полёте.



Tello

Ryze Robotics совместно с DJI и Intel сделали маленький, недорогой (~\$99), простой в управлении дрон Tello (2018) для развлечения и обучения программированию.



RYZE
TELLO



Tello: мал да удал

- 14-ядерный процессор **Intel** (Intel® Movidius™ Myriad™ VPU 2)
- Система управления полётом от **DJI**: превосходная стабильность в воздухе
- Визуальное позиционирование (VPS): 2 ультразвуковых + 1 оптический сенсоры
- Время полёта до 13 минут, скорость до 8 м/сек, дальность до 100 м, высота до 30 м
- Управление по Wi-Fi 802.11n @ 2.4GHz из приложения под Android / iOS
- Управление с Bluetooth-игрового пульта: GameSir T1d / Apple MFi Certified
- Камера с FOV 82,6° на 5MP (2592 x 1936px)
- Трансляция видео FPV в HD качестве (720p@30fps) на смартфон (нет microSD)
- Электронная стабилизация изображения (EIS)
- 4 умных режима видеосъёмки: Circle, 360, Up & Away, Bounce
- Выполнение кувырков по 8-ми направлениям (8D flips)
- Автовзлёт и посадка
- Взлёт с руки (Throw & Go) и посадка на ладонь
- Очень стабильное удержание высоты (зависание)
- Вес 87 г
- SDK 1.3
- Визуальное (блочное) программирование на Scratch

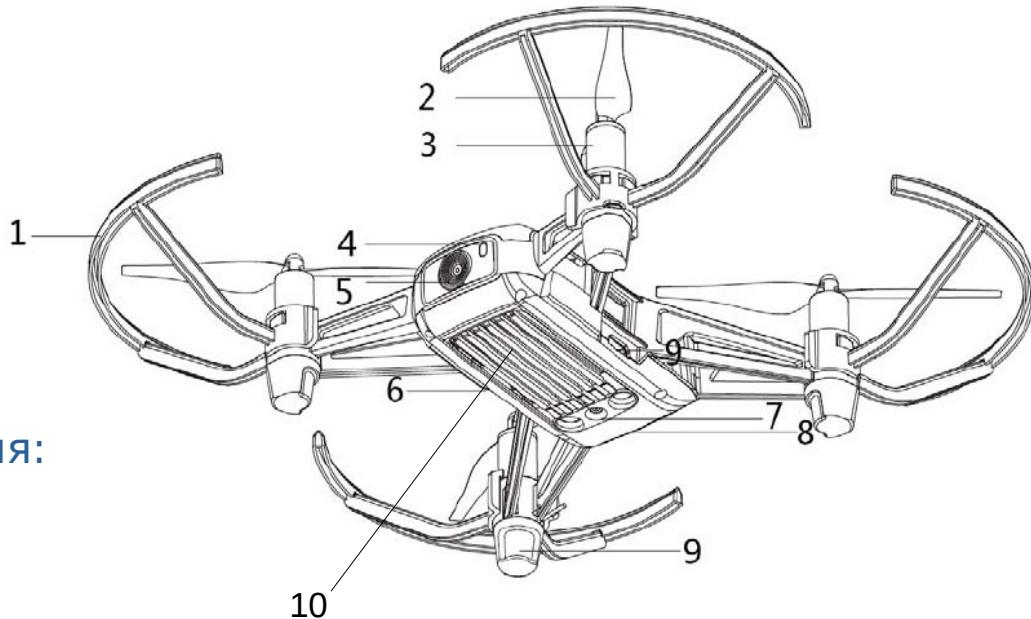


Tello: позиционирование

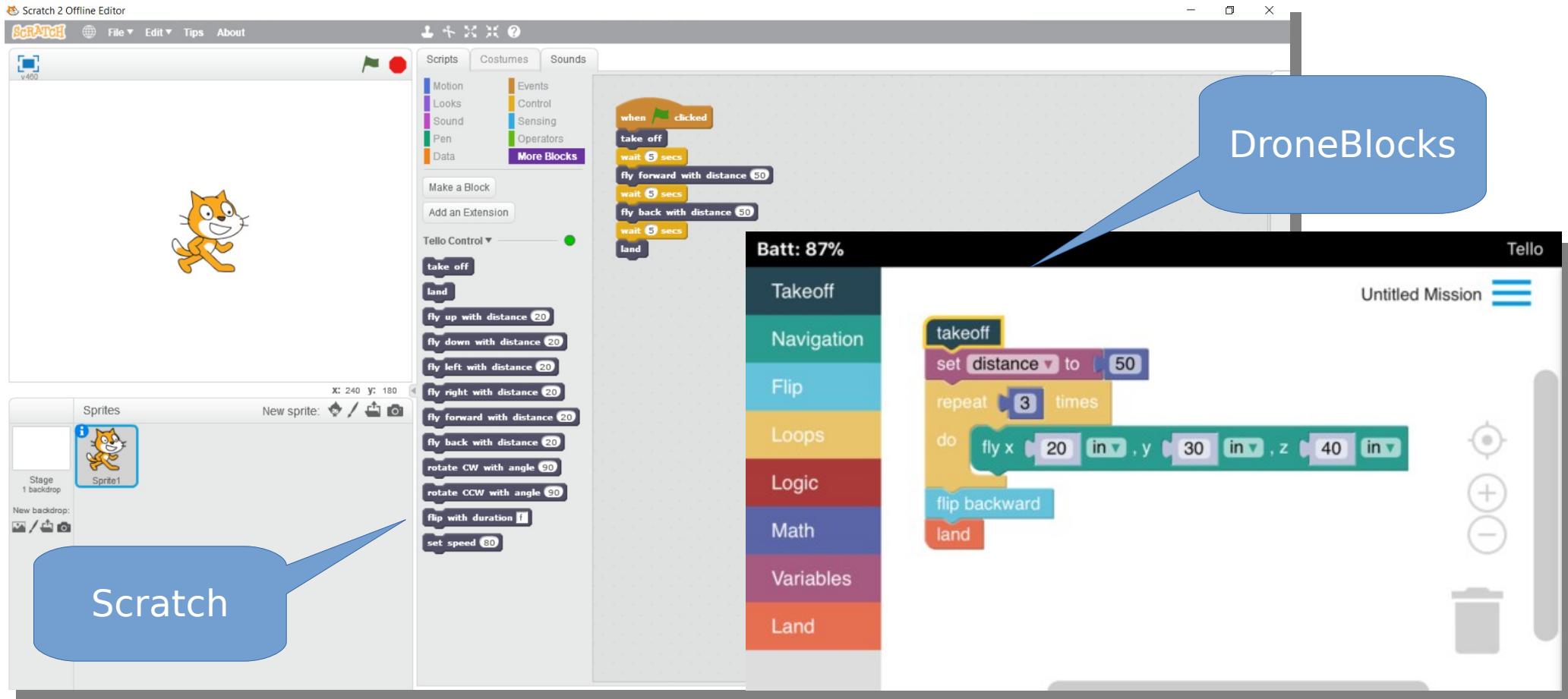
У **Tello** есть 2 видеокамеры (фронтальная и нижняя), которые могут использоваться для позиционирования и распознавания образов в полёте.

Что где расположено:

1. Защита пропеллеров
2. Пропеллеры
3. Моторы
4. Светодиод индикации состояния
5. Основная фронтальная камера
6. Кнопка включения
7. Система визуального позиционирования:
нижняя камера + 2 датчика
8. Батарея
9. Антенны
10. Процессор



Tello: visual coding



Tello EDU

Версия для образования ***Tello EDU*** (~\$145) обладает дополнительными возможностями:

- Новый **SDK 2.0** с добавленными командами
- Распознавание полётных площадок **Mission Pads** (Marker Boards)
- Управление роем дронов (**Swarm**)
- Программирование на Scratch, Python, Swift, Ruby
- Полный доступ к данным видео-потока с основной камеры на контроллере, что даёт возможности для обработки изображений и разработки функций ИИ (технического зрения): распознавание объектов, их отслеживание дроном, 3D-реконструкция объекта по видео, применение технологий обучения.



programming / программирование

Средства программирования:

- Scratch
- DroneBlocks
- ...

Языки:

- Python
- Swift
- Ruby
- Kotlin, Java
- JavaScript
- C#, C++, C
- Go
- ...



API из текстовых строк с доступом по UDP позволяет программно управлять Tello из любого языка.

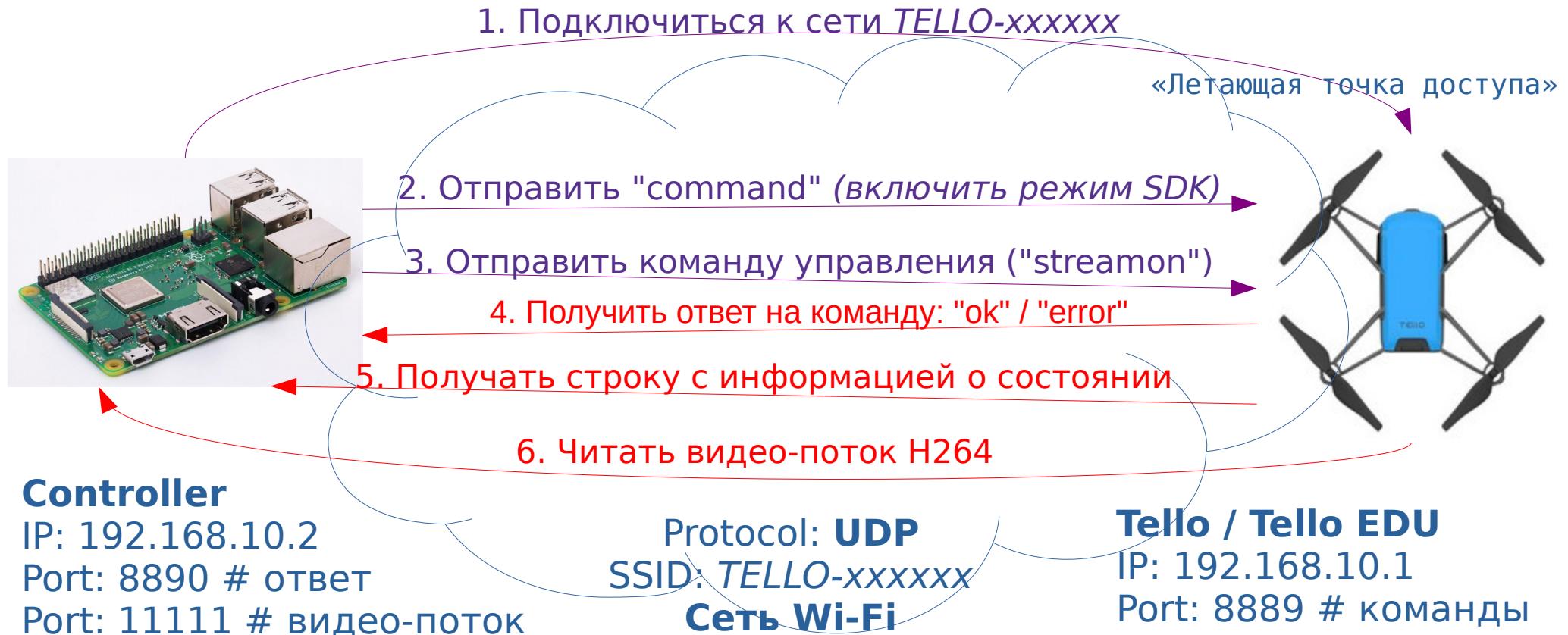
SDK:

Контроллер соединяется с дроном по сети Wi-Fi и по протоколу **UDP** отправляет на компьютер команды в виде текстовых строк, получая текстовые строки ответов и информацию о состоянии дрона. В документации по SDK описаны команды, их формат и параметры.

Также есть описание пакетов UDP и низкоуровневых команд.

Контроллер может принимать с дрона видео-поток в реальном времени и обрабатывать его.

networking / взаимодействие



commands / команды

Команды **SDK 1.3** (Tello):

wifi SSID PASSWORD, command, takeoff, land, streamon, streamoff, emergency, up L, down L, left L, right L, forward L, cw D, ccw D, flip F, go X Y Z S, curve X1 Y1 Z1 X2 Y2 Z2 S, speed S, rc R P T Y, speed?, battery?, time?, height?, temp?, attitude?, baro?, acceleration?, tof?, wifi?

X, Y, Z, L = расстояние в см, D = угол в градусах, S = скорость в см/сек

F = l (left) / r (right) / f (forward) / b (back), Mn = номер mission pad

R = roll left/right: -100..100, P = pitch forward/backward: -100..100, T = throttle up/down: -100..100, Y = yaw: -100..100

Команды **SDK 2.0** (Tello EDU) — добавлены:

ap SSID PASSWORD, mon, moff, mdirection 0/1/2, go X Y Z S M, curve X1 Y1 Z1 X2 Y2 Z2 S M, jump X Y Z S Y M1 M2, sdk?, sn?

Если команды от контроллера не поступают в течение 15 секунд, Tello автоматически приземлится.

state / состояние

Состояние Tello:

Tello периодически отправляет по UDP/DGRAM на порт 8890 контроллера информацию о своём состоянии в виде строки:

```
"mid:-1;x:0;y:0;z:0;mpgy:0,0,0;pitch:0;roll:0;yaw:0;vgx:0;vgy:0;vgz:0;templ:90;temph:92;tof:10;h:0;bat:92;baro:-16.30;time:0;agx:-6.00;agy:9.00;agz:-1000.00;\r\n"
```

Значения описаны в руководстве «Tello SDK 2.0 User Guide»:

agx, agy, agz ~ ускорение по осям X, Y, Z в ?

bat ~ заряд батареи, %

baro ~ показания высотомера, см

h ~ высота, см

mid ~ № полётной площадки: 1..8 или -1, если mission pad не обнаружена, или 257, если SDK 1.3

mpgy ~ ??? или 0,0,0

pitch, roll, yaw ~ тангаж*, крен**, рыскание***

templ, temph ~ минимальная и максимальная температура, °C

time ~ время работы моторов, минуты?

tof ~ расстояние за время полёта, см

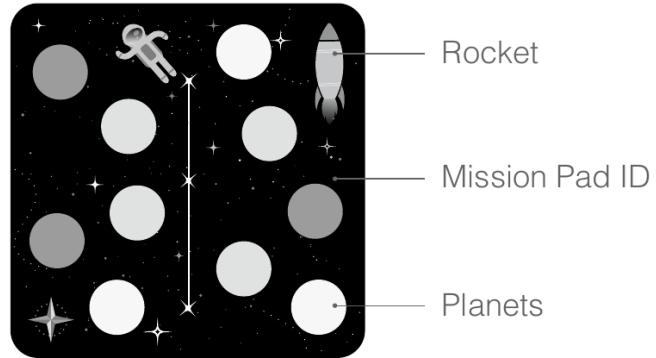
vgx, vgy, vgz ~ скорость по осям X, Y, Z в ?

x, y, z ~ координаты на обнаруженной полётной площадке или 0,0,0

*тангаж (наклон вперёд/назад), **крен (наклон влево/вправо), ***рыскание (вращение влево/вправо)

mission pads

В комплекте с *Tello EDU* есть 4 двусторонние полётные площадки (**Mission Pads**) / полётные метки (Marker Boards), имеющие номера от 1 до 8. Нос ракеты определяет направление оси X (0°), в узоре из планет закодирован номер площадки.



Rocket indicates the forward direction of the X axis.

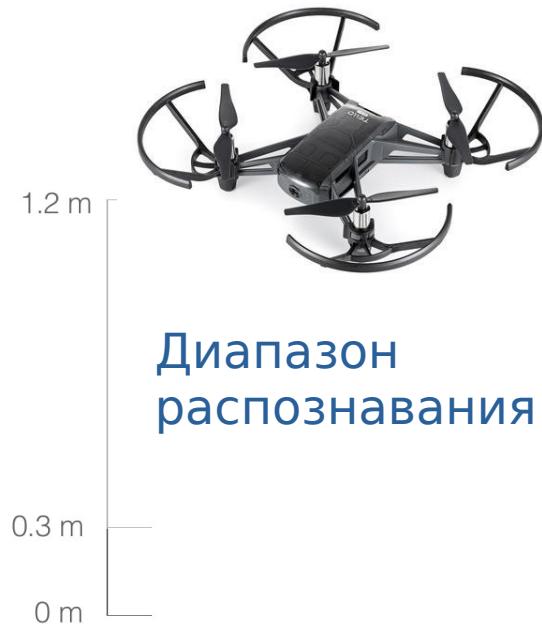
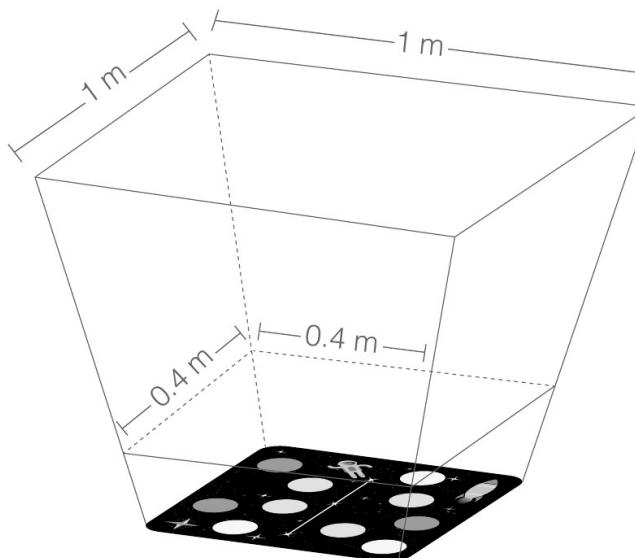
The ID is a number between 1 and 8 that is printed on each side of the Mission Pad.

Planets display different patterns indicating the ID and coordinates, which the Tello EDU can recognize.



mission pads

Tello EDU может при помощи передней и нижней видео-камер распознавать каждую из 8 полётных площадок (Mission Pads), определяя её номер по уникальному рисунку. В программе можно предусмотреть действие при обнаружении каждой из площадок.



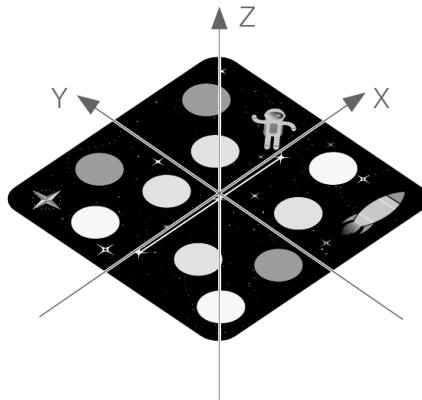
Описание применения полётных площадок и команд для работы с ними приведено в руководстве «Tello Mission Pad User Guide».

mission pads

«Узор на каждой из полётных площадок (Mission Pads) определяет трёхмерные координаты. Начало координат в центре площадки, а плоскость площадки представляет координаты X и Y. Каждая площадка имеет уникальные координаты, поэтому Tello может их различать». X и Y — смещение от центра, Z — высота в см.

Coordinates Descriptions

The pattern of each Mission Pad indicates a 3D coordinate. The origin is at the center of the Mission Pad and the plane of the pad represent the X and Y axis. Each Mission Pad has unique coordinates, so the Tello can distinguish between pads.



Команды "mon" / "moff" включают / выключают режим распознавания полётных меток.

По команде "go 0 0 100 50 m4" дрон полетит со скоростью 50 см/сек к координатам 0,0,100 на площадке № 4.
По команде "jump 90 0 100 30 0 m4 m1" дрон от координат 90,0,100 на площадке № 4 подлетит со скоростью 30 см/сек к координатам 0,0,100 на площадке №1 и повернётся до 0° (в направлении носа ракеты).

mission pads

Полёты с приложением TELLO Edu и полётными площадками

Команды для дрона Tello Edu включают 3 для работы с площадками. В комплект входят 4 полётные площадки (Marker Boards). У каждой площадки 2 стороны, и на каждой стороне есть закодированный номер площадки (от 1 до 8). В правом верхнем углу каждой площадки есть изображение **ракеты**. Нос ракеты указывает в направлении положительных значений X.

Когда БЛА распознает заданную площадку, он выполнит команду в соответствии с системой координат площадки. * Поэтому обратите особое внимание на высоту полёта. Когда она слишком маленькая, распознавание не происходит. *

В соответствующих командах есть параметр для ввода M; ниже описан диапазон допустимых значений:

-2 : Сканировать все площадки из текущего положения, найти ближайшую к дрону.

-1 : Найти первую площадку из всех просканированных из текущего положения.

0 : Без поиска.

1 .. 8: Найти площадку с указанным номером среди всех просканированных из текущего положения..

(M) в командах **go XYZ (M)** и **curve (M)**: их назначение, как и у обычных команд. Отличие в том, что есть дополнительный параметр M. Если номер, заданный в параметре M, совпадает с номером площадки, распознанной из текущего положения БЛА, тогда XYZ будет относиться к системе координат площадки. Иначе используется координатная система БЛА.

jump (M): от площадки M1 в центр M2. Если любое из значений M1 или M2 равно 0, команда не будет выполнена. Если M1 не распознана, Tello приземлится вертикально. Иначе он полетит к точке XYZ в координатной системе площадки. Если M2 не распознана, команда завершается. Иначе он полетит к центру M2 и развернётся до 0° в системе координат площадки.

<https://www.wiedu.com/telloedu/faq_en.html>

swarm / рой

Несколько квадрокоптеров *Tello EDU* можно объединить в один летающий рой дронов (**swarm**), в котором они будут выполнять лётные фигуры по командам с контроллера.

Для этого в SDK 2.0 добавлена новая команда "ap" для переключения каждого из дронов в режим "station mode", чтобы подключить их к единой сети Wi-Fi, а затем управлять каждым из дронов роя, отправляя команды с контроллера.



swarming / роение

1. Подключиться к сети *TELLO-1xxxxx*
8. Определить IP-адреса каждого из дронов
9. Отправлять команды каждому дрону в общей сети
10. Ожидать ответов о выполнении команд от каждого дрона для синхронизации действий

Controller

IP: DHCP
Port: 8890 # ответ



2. Переключить в station mode командой "ар"
5. Переключить в station mode
4. Подключиться к сети *TELLO-2xxxxx*



Tello EDU # 1
IP: DHCP
Port: 8889 # команды

3. Подключиться к сети *SWARM*

Tello EDU # 1
IP: DHCP
Port: 8889 # команды

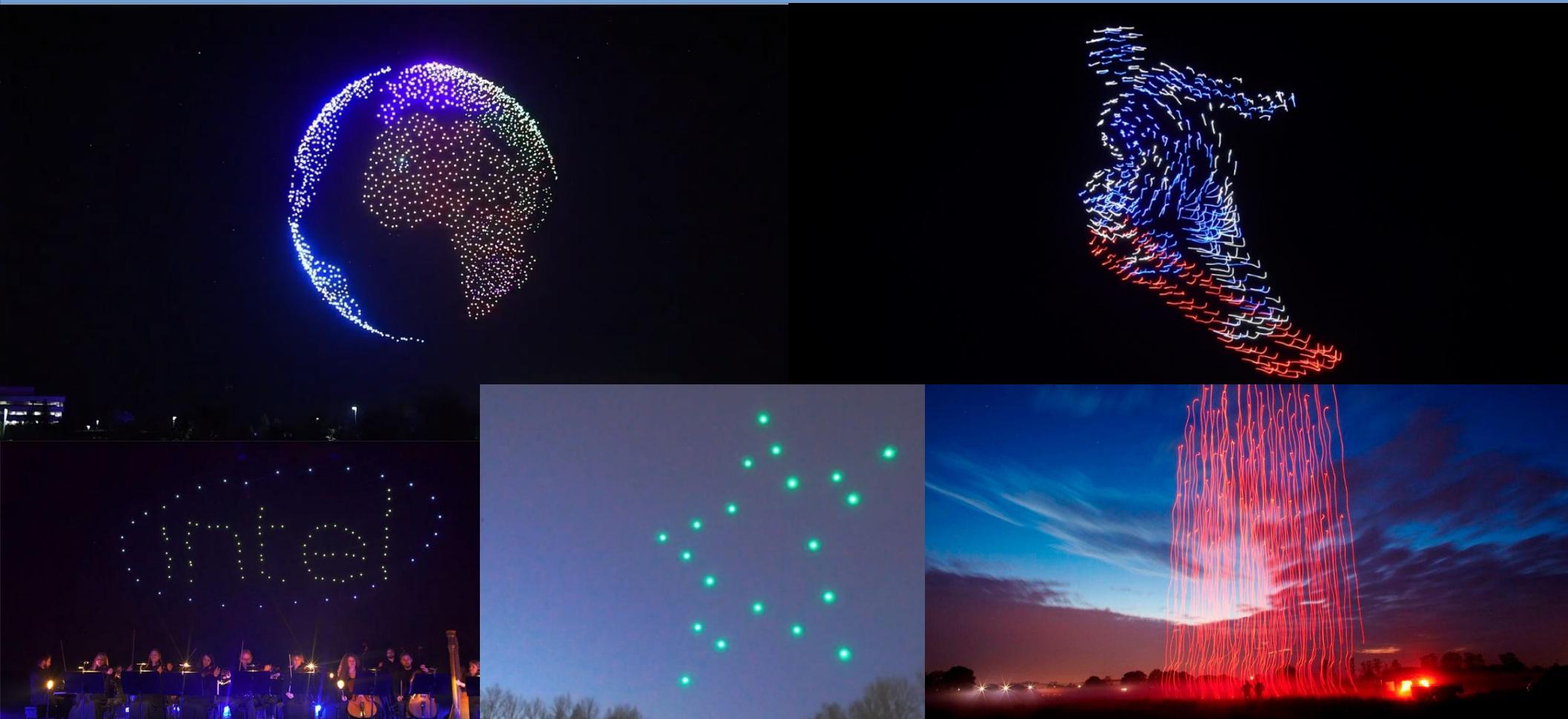
SSID: "SWARM"
Сеть Wi-Fi
Точка доступа /
роутер /
смартфон /
Raspberry Pi



7. Подключиться к сети *SWARM*

6. Подключиться к сети *SWARM*

swarm show / представление



Tello Iron Man Edition

В апреле 2019 года Ryze Robotics совместно с Marvel выпустили ***Tello Iron Man Edition*** (\$129) с такими особенностями:



- Новое оформление в стиле комикса
- Новое игровое приложение **Tello Hero**
- Firmware, несовместимое с Tello EDU
- Совместимость с приложениями Tello, Tello EDU, DroneBlocks, Swift Playground
- Программирование на Scratch, Python (и других языках)
- SDK v1.3

DJI Robomaster TT Tello Talent

В сентябре 2020 года **DJI** совместно с Ryze Robotics выпустила для азиатского рынка версию **DJI Robomaster TT Tello Talent** (\$239) для занятий образовательной робототехникой по программе DJI Education:



- Новый корпус красного цвета с крышкой для крепления модуля расширения.
- Подключаемый модуль расширения на основе микроконтроллера ESP32 с датчиком расстояния и светодиодной матрицей.
- SDK v3.0 с добавочными командами для управления квадрокоптером и командами для программирования микроконтроллера.
- Новая прошивка дрона и версия приложения Tello.

Tello Talent Expansion Kit



С помощью набора DJI Robotmaster TT Tello Talent Expansion Kit (\$99) можно модернизировать *Tello EDU* до *Tello Talent*. Набор состоит из:

- верхняя крышка дрона с креплением для модуля расширения;
- модуль расширения Open-Source Controller (RMTT) на основе программируемого микроконтроллера ESP32 (с Wi-Fi и Bluetooth) с интерфейсным разъёмом;
- съёмный модуль: светодиодная матрица 8x8 LEDs и датчик расстояния (ToF);
- адаптер с 14 контактами для подключения дополнительных датчиков (I²C, UART, SPI, GPIO, PWM, 5V / 3.3V);
- бумажная инструкция.

Open-Source Controller (RMTT)



«Embrace Open Source!»

Open-Source Controller (RMTT) на основе микроконтроллера ESP32.

Можно программировать его на C++ с помощью Arduino IDE с дополнительными библиотеками RMTT_LIBS, а также с помощью языка MicroPython.

На инфракрасном датчике (ToF), который определяет расстояние до 1.2 м основана система ориентирования в пространстве и простого уклонения от препятствий.

сравнение вариантов Tello

	Tello	Tello EDU	Tello Iron Man	Tello Talent
Год	2018.s	2018.11	2019.04	2020.08-2021.05
Цена	\$99	\$129	\$145	\$239
Brand	Ryze	Ryze	Ryze	DJI
SDK	1.3	2.0→3.0	1.3	3.0
App	Tello	Tello, Tello EDU	Tello/EDU, Tello Hero	Tello, Tello EDU
Pads	- нет	+ да	- нет	+ да
Рой	- нет	+ да	- нет	+ да
Kit	- нет	+ \$99	- нет	+ \$0

По сути, это одна и та же модель квадрокоптера. Варианты отличаются только прошивками (обычная/SDK1.3 и EDU/SDK3.0) и привязкой к приложению (Iron Man). Команды управления микроконтроллером RMTT из Expansion Kit появились в SDK 3.0.

domestic? / отечественные?

На долю **России** пришлось 3 % мировых натуральных продаж БПЛА. В 2017 г. отечественные БПЛА занимали лишь 10% российского рынка. На российском гражданском рынке БПЛА присутствуют почти 200 предприятий, в коммерческом сегменте отечественного рынка работают почти 60 компаний. Особенность отечественного рынка БПЛА — доминирование производителей дронов для военного применения.

Но есть несколько успешных отечественных производителей коптеров для образовательных и промышленных целей.

В отчёте J'son & Partners Consulting общая стоимость мирового сегмента БПЛА в 2017 г. составила \$7,8 млрд; доходы от продаж машин военного назначения составили более половины этой суммы. В натуральном выражении 84% — потребительские ЛА, 15% — машины из коммерческого сегмента рынка, на очень дорогие армейские дроны приходится лишь 0,5%.



СОЕХ / Коптер Экспресс



ООО «Коптер Экспресс Технологии» (СОЕХ) — российский разработчик и производитель беспилотных авиационных систем мульти rotorного типа и программного обеспечения для их автономности. Компания производит 3 продукта: образовательный конструктор программируемого квадрокоптера «Клевер», который является лидером на рынке образования летающей робототехники, и линейку промышленных автономных дронов «Пеликан» и «Пеликан Мини» для мониторинга территорий и доставки легковесных грузов. Компания также разработала автономную станцию для автоматической зарядки дронов.

Компания является участником Сколково, членом Ассоциации «АЭРОНЕТ» и членом Союза Машиностроителей России.

Компания поддерживает и организовывает мероприятия и инициативы, направленные на развитие индустрии БАС, активно сотрудничает с WorldSkills Russia, и выступает партнером мероприятий Олимпиады Национальной Технологической Инициативы, Школы новых технологий, Всероссийской Робототехнической Олимпиады, порталом «ПроектОрия», фестиваля «От Винта».

Clever / Клевер

Коптер «Клевер»
предназначен для
учащихся школ,
колледжей,
ВУЗов, занятий в
детских
технопарках,
кружках
творчества,
детских
образовательных
лагерях и
ЦМИТах.
Более 2000
школьников и
студентов прошли
обучение на
«Клеверах», из
них более 300 — в
ЦМИТ «Коптер».

COEX

COPTER EXPRESS

Лидер продаж среди
образовательных
дронов в России



Клевер 4

(образование, хобби)

ЛИНЕЙКА КЛЕВЕР

Набор для соревнований
WorldSkills

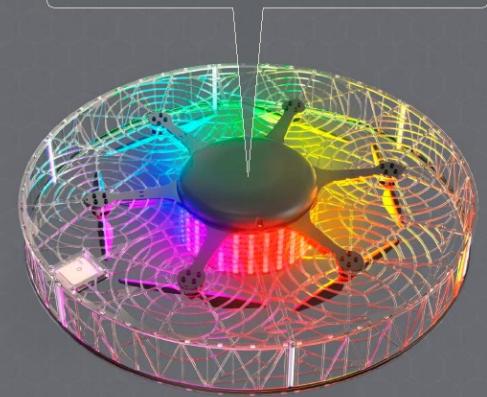


Клевер 4 WS

(соревнование)

ВЕБ САЙТ
COPTEREXPRESS.COM

Дрон для научной и
проектной деятельности



Клевер 4 Pro

(шоу дронов, дрон-офицант)

Clever-4 / Клевер-4

COEX
COPTER EXPRESS

НАШ ПРОДУКТ

ВЕБ САЙТ
COPTEREXPRESS.COM

35000 руб.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ



Raspberry Pi



Тип аппарата
Квадрокоптер



Емкость одного
аккумулятора – 1600 mAh



Диаметр пропеллеров
127 мм



Степеней свободы
полетного контроллера – 10



Макс. взлетный вес
1 кг



Количество программируемых
светодиодов – 30



Время полета
10 мин



Мощность зарядного
устройства – 10 Вт



Скорость
40 км/ч



Автономное управление
Mavlink / PPM

open source

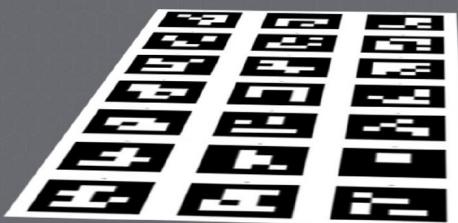
COΞX
COPTER EXPRESS

МАШИННОЕ ЗРЕНИЕ
OPEN SOURCE ПЛАТФОРМА

ВЕБ САЙТ
COPTEREXPRESS.COM



GITHUB:
github.com/CopterExpress



РАСПОЗНОВАНИЕ
ARUCO МАРКЕРОВ



COΞX
COPTER EXPRESS

ПОЛЕТНЫЙ КОНТРОЛЛЕР
PIXHAWK



ОДНОПЛАТНЫЙ КОМПЬЮТЕР
RASPBERRY PI 3

ПЛАТФОРМА

ВЕБ САЙТ
COPTEREXPRESS.COM



Клевер



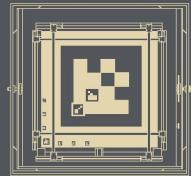
Клевер PRO



Пеликан Mini



Пеликан



Зарядная станция



Сообщество
разработчиков



Доставка
посылок



Аэро-
такси



ROS

MAVLINK
MICRO AIR VEHICLE COMMUNICATION PROTOCOL

QGroundControl

FOSS software+hardware



PX4 — это программный комплекс с открытыми программами для открытого оборудования управления полётами беспилотных летательных аппаратов. Проект предоставляет гибкий набор инструментов для разработчиков дронов, стандартное решение для объединения аппаратуры и программного стека управления автономным полётом.

PX4 развивается ассоциацией **Dronecode**, некоммерческой организацией, управляемой Linux Foundation.

Pixhawk (PX4FMU) — проект по созданию открытого аппаратного обеспечения полетных контроллеров для БПЛА, предназначенных для академического, любительского и профессионального применения с поддержкой платформ PX4® и ArduPilot®. Проект начался в 2008-м году как курсовая работа студента Высшей технической школы Цюриха Лоренца Майера, в лаборатории компьютерного зрения и геометрии.

links / ссылки

- <https://robo-sapiens.ru/stati/perviy-kvadrokopter-istoriya-poyavleniya/>
- <http://robotrends.ru/robopedia/oblasti-primeneniya-bespilotnikov>
- <https://dronomania.ru/faq/>
- <https://dronomania.ru/ryze/tello.html>
- [https://www.heliguy.com/blog/2018/04/18/coding-with-the-ryze-tello/ # Scratch](https://www.heliguy.com/blog/2018/04/18/coding-with-the-ryze-tello/)
- [https://www.ryzerobotics.com/tello/downloads # official](https://www.ryzerobotics.com/tello/downloads)
- [http://protello.com/tello-sdk-1/ # на русском](http://protello.com/tello-sdk-1/)
- <https://github.com/dji-sdk/Tello-Python>
- [https://github.com/blacktm/tello # Ruby](https://github.com/blacktm/tello)
- <https://dronomania.ru/ryze/tello-edu.html>
- [https://www.ryzerobotics.com/tello-edu/downloads # official](https://www.ryzerobotics.com/tello-edu/downloads)
- [https://dl-cdn.ryzerobotics.com/downloads/Tello/Tello%20SDK%202.0%20User%20Guide.pdf # 2.0](https://dl-cdn.ryzerobotics.com/downloads/Tello/Tello%20SDK%202.0%20User%20Guide.pdf)
- [https://github.com/TelloSDK/Multi-Tello-Formation # swarm](https://github.com/TelloSDK/Multi-Tello-Formation)
- [https://tellopilots.com/wiki/protocol/ # UDP](https://tellopilots.com/wiki/protocol/)
- <https://www.eduporium.com/store/tello-edu-programming-class-bundle-20-drones.html>
- <https://mykvadrocopter.ru/russkie-kvadrokoptery/>
- <https://px4.io/>, <https://pixhawk.org/>
- <https://russiandrone.ru/catalog/dopolnitelnoe-oborudovanie/uchebnaya-robototekhnika/>
- [https://copterexpress.ru/clever3 #](https://copterexpress.ru/clever3)
- [https://clever.copterexpress.com/ru/index.html # GitBook](https://clever.copterexpress.com/ru/index.html)

more links / ещё ссылки

- <https://www.dji.com/ru/robomaster-tt>
- <https://www.dji.com/newsroom/news/robomaster-tello-talent-drone>
- https://dl.djicdn.com/downloads/RoboMaster%20TT/RoboMaster_TT_Tello_Talent_Quick_Start_Guide.pdf
- https://dl.djicdn.com/downloads/RoboMaster+TT/RoboMaster_TT_Tello_Talent_User_Manual_en.pdf
- https://dl.djicdn.com/downloads/RoboMaster+TT/Tello_SDK_3.0_User_Guide_en.pdf
- [# How to convert Tello EDU into Robomaster TT](https://www.youtube.com/watch?v=OmzTg5LFdAs)
- <https://mindplus.dfrobot.com/RMTT>
- Основы программирования на языке Python на примере программирования БПЛА

video / видео

- https://www.youtube.com/watch?v=OLyGRFgv_gs # DJI: Обучение нового поколения инженеров
- <https://www.youtube.com/watch?v=qFw32F-Jofw> # Технологии DJI - Пожарная безопасность
- https://www.youtube.com/watch?v=dJImNGcO_qg # FPV: Затерянный в лесу...
- <https://www.youtube.com/watch?v=gzYIPtW9nzY> # DJI Goggles RE - Break Free
- <https://www.youtube.com/watch?v=RPdW9PeFS00> # DJI Mavic Air + Goggles RE
- <https://www.youtube.com/watch?v=D-EkUIh9m7I> # DJI Mavic Air - Элегантный и мощный
- <https://www.youtube.com/watch?v=wUvdPSXpawU> # Mavic Air vs Inspire 2 (\$800 vs \$6000 drone)
- <https://www.youtube.com/watch?v=Hkty3BPudlg> # DJI Mavic Air - Часть 4 - Smart Capture
- <https://www.youtube.com/watch?v=JkXieQtT9rY> # DJI Mavic Air - Часть 5 - A.P.A.S.
- <https://www.youtube.com/watch?v=HBKbgFlszbE> # Litchi оффлайн программирование и полет
- <https://www.youtube.com/watch?v=HLUeai9YFjA> # DJI: Обучение для девушек (STEM) — Tello
- <https://www.youtube.com/watch?v=3S1Sq64djuc> # Say Hello to Tello
- <https://www.youtube.com/watch?v=FVYxxHn8R-k> # Tello Edu - Soaring Symphony
- <https://www.youtube.com/watch?v=oyxGwolcbAA> # Tello Edu mission pad programming
- <https://www.youtube.com/watch?v=WWF3QB5-Jo0> # Tello Edu Swarm flight test with mission pads
- <https://www.youtube.com/watch?v=2BIFVbzcoZQ> # Controlling DJI/Ryze Tello Drone with voice via WiFi
- <https://www.youtube.com/watch?v=BCMzc3Jo0PQ> # Tello Iron Man Edition Assembled
- <https://www.youtube.com/watch?v=KhDEEN4gcpl> # Watch Intel's effort to break drone swarm record

questions? / вопросы?



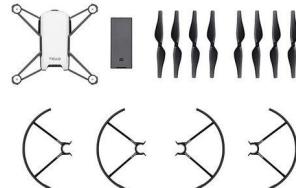
prices / цены

Tello:

AliExpress: >= 6700 руб.

РФ (official): 9290 руб.

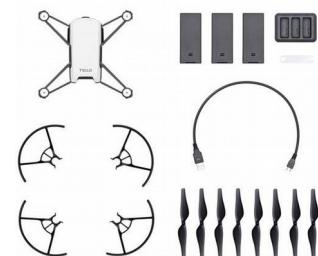
DNS: 9299 руб.



Tello Fly Boost Combo:

AliExpress: ~ 9600 руб.

РФ (official): 13490 руб.



Tello EDU Classroom Kit:

20 дронов: \$3971

РФ (official): нет



Tello EDU:

AliExpress: >= 9800 руб.

РФ: предзаказ



Дополнительно захочется :-)

Ещё аккумуляторы!

Bluetooth-пульт

Зарядное устройство

Сумка для переноски

Wi-Fi Extender

prices / цены

Mavic Air:

AliExpress: >= 49900 руб.
РФ (official): 62690 руб.
DNS: 62999 руб.



Mavic Air Fly More Combo:

AliExpress: ~ 63400 руб.
РФ (official): 79690 руб.
DNS: 79999 руб.



Дополнительно захочется:

- Ещё аккумуляторы
- Светофильтры
- Зарядка для авто
- Посадочная площадка

Возможно, ещё:

- Другая сумка
- DJI Goggles RE