

DJI + Ryze Tello: программирование

Михаил В. Шохирев

Шадринск, Клуб программистов, 2021.06.01

Updated: 2023-03-28

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

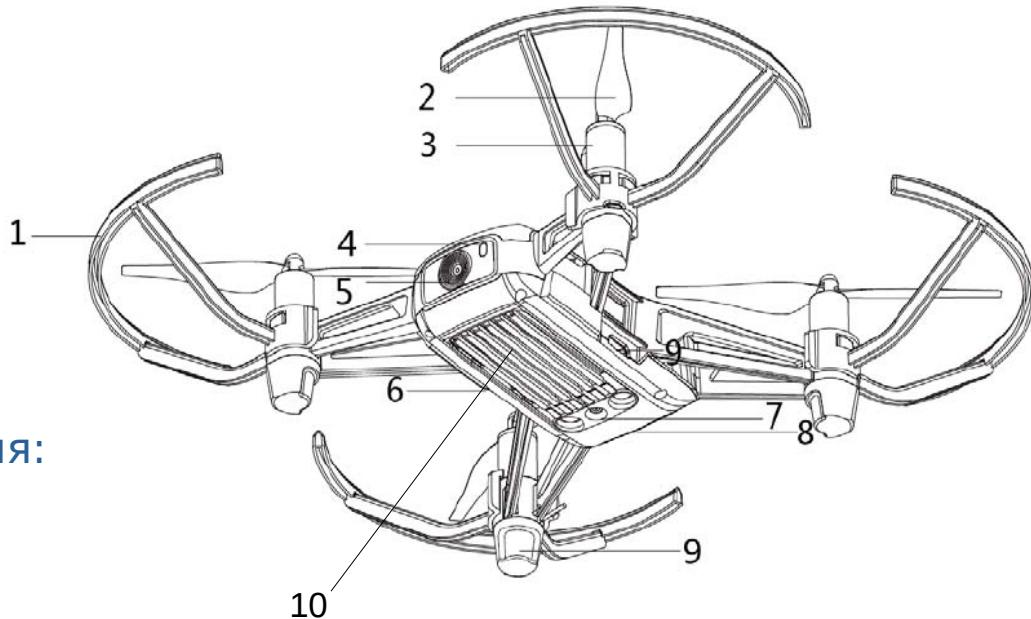


Tello: позиционирование

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

Scratch 2 Offline Editor

ScRATCH File Edit Tips About

v4.00

Scratch

Batt: 87%

Takeoff

Navigation

Flip

Loops

Logic

Math

Variables

Land

DroneBlocks

Tello

Untitled Mission

take off
wait [5 secs]
fly forward with distance [50]
wait [5 secs]
fly back with distance [50]
wait [5 secs]
land

takeoff
set [distance v] to [50]
repeat (3) times
do
 fly x [20] in y [30] in z [40] in
 flip backward
 land

Stage 1 backdrop

Sprites

New sprite:

Sprite1

X: 240 Y: 180

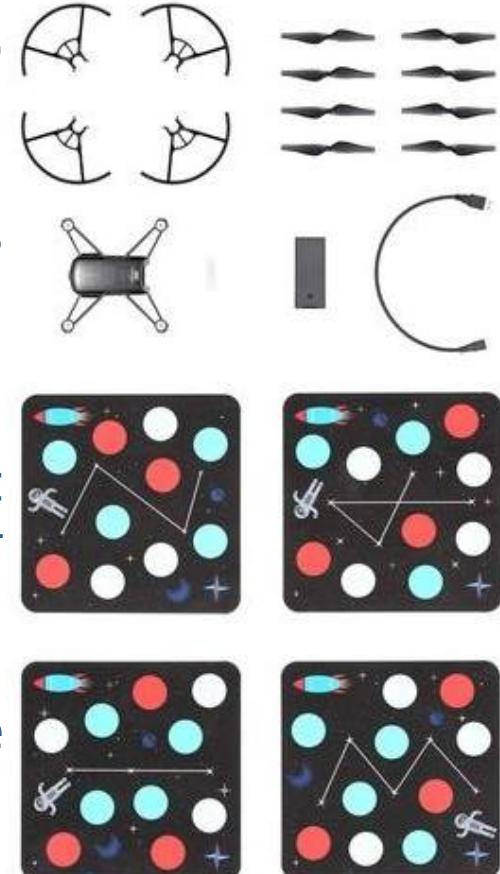
1 backdrop

New backdrop:

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.



сравнение вариантов Tello

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

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

apps / приложения

- **Tello** (*Shenzhen RYZE Tech Co.Ltd*) — официальное приложение для Tello.
- **Tello EDU** (*Wiedu*) — официальное приложение для Tello EDU.
- **Tello Hero** (*Shenzhen RYZE Tech Co.Ltd + Marvel*) — приложение для Tello Iron Man.
- **Drone DJ** (*Wiedu*) — программирование полёта (fancy drone motion editor).
- **DroneBlocks** (*Unmanned Airlines*) — программирование Tello как на Scratch.
- **TelloBlocks** (*Benedek Nádor-Nikitits*) — программирование Tello а-ля Scratch.
- **Go TELLO** (*Ready Square*) — блочное программирование полёта Tello.
- **aTelloPilot** (*PingguSoft*) — приложение для пилотирования Tello.
- **Tello FPV** (*Volate!lo*) — лучшее приложение для пилотирования Tello (не для РФ).

programming / программирование

Средства программирования:

- Scratch
- DroneBlocks
- ...

Языки:

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



API

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.

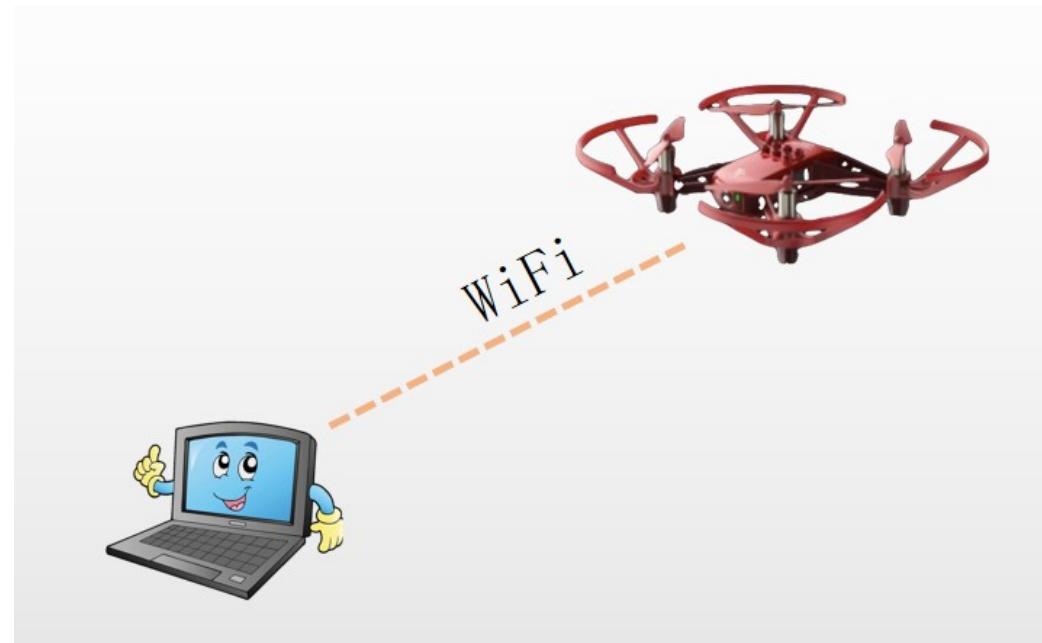
Также есть описание пакетов UDP и низкоуровневых команд.

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

API / программный интерфейс

Поскольку официальный API (application programming interface) основан на командах и ответах, посылаемых и получаемых по сети Wi-Fi в виде текстовых строк, то программно **управлять квадрокоптерами Tello можно из программы на любом языке программирования.**

Нужно только подключить библиотеку для отправки и приёма сетевых пакетов по протоколу TCP/UDP (User Datagram Protocol).



programmatic control

Программное управление полётом (programmatic flight control):

- Программа дистанционно управляет полётом Tello вместо пилота.
- Компьютер отправляет по Wi-Fi команды на Tello.
- Tello принимает команды и выполняет одну команду за другой.
- Tello выдаёт строку, содержащую данные о состоянии квадрокоптера: высота, заряд батареи, температура, время полёта и т. д.
- Компьютер может принять строку состояния и обработать её: например, отреагировать на изменение какого-то параметра.
- Компьютер может принимать видео-поток с Tello и обрабатывать его: например, распознавать образы и реагировать на них.

program / программа

command
motoron
takeoff
up 20
speed 10
forward 50
flip back
cw 180
land
motoroff

```
require 'socket'  
include Socket::Constants  
  
pc_ip = '0.0.0.0'  
pc_port = 8890  
  
net = UDPSocket.new  
net.bind pc_ip, pc_port  
  
tello_ip = '192.168.10.1'  
tello_port = 8889  
  
net.send 'command',0,tello_ip, tello_port  
  
net.send 'takeoff',0,tello_ip, tello_port  
  
net.send 'left 100',0,tello_ip, tello_port  
net.send 'forward 100',0,tello_ip, tello_port  
net.send 'right 100',0,tello_ip, tello_port  
net.send 'backward 100',0,tello_ip, tello_port  
net.send 'left 100',0,tello_ip, tello_port  
  
net.send 'battery?',0,tello_ip, tello_port  
response, sender = net.recvfrom(1024)  
puts response  
  
net.send 'land',0,tello_ip, tello_port
```

Ruby

```
import socket  
  
pc_ip = ''  
pc_port = 9000  
  
socket = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM)  
socket.bind(pc_ip, pc_port) # socket для отправки команд  
  
tello_ip = '192.168.10.1'  
tello_port = '8889'  
tello_addr = (tello_ip, tello_port)  
  
socket.sendto(b'command', tello_addr) # включить режим SDK  
  
socket.sendto(b'takeoff', tello_addr) # взлететь  
  
socket.sendto(b'left 100', tello_addr) # полёт по квадрату  
socket.sendto(b'forward 100', tello_addr)  
socket.sendto(b'right 100', tello_addr)  
socket.sendto(b'backward 100', tello_addr)  
socket.sendto(b'left 100', tello_addr)  
  
socket.sendto(b'battery?', tello_addr) # состояние батареи  
response, ip = socket.recvfrom(1024)  
print(response)  
  
socket.sendto(b'land', tello_addr) # приземлиться  
socket.close()
```

Python

networking / взаимодействие



commands / команды

Команды **SDK 1.3** (Tello):

wifi SSID PASSWORD, command, takeoff, land, streamon, streamoff, emergency, up Z, down Z, left L, right R, forward X, back X, 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?

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?

Команды **SDK 3.0** (Tello Talent) — добавлены:

ap?, hardware?, motoroff, motoron, port INFO_PORT VIDEO_PORT, reboot, setbitrate 0|1|2|3|4|5, setfps high|middle|low, setresolution high|low, ssid?, throwfly

commands / параметры

X, Y, Z, L = расстояние в см

+X = вперёд, -X = назад

+Y = влево, -Y = вправо

+Z = вверх, -Z = вниз

S = скорость в см/сек

D = угол в градусах, +D = по часовой стрелке, -D = против часовой стрелки

F = кувырок: l (left) / r (right) / f (forward) / b (back)

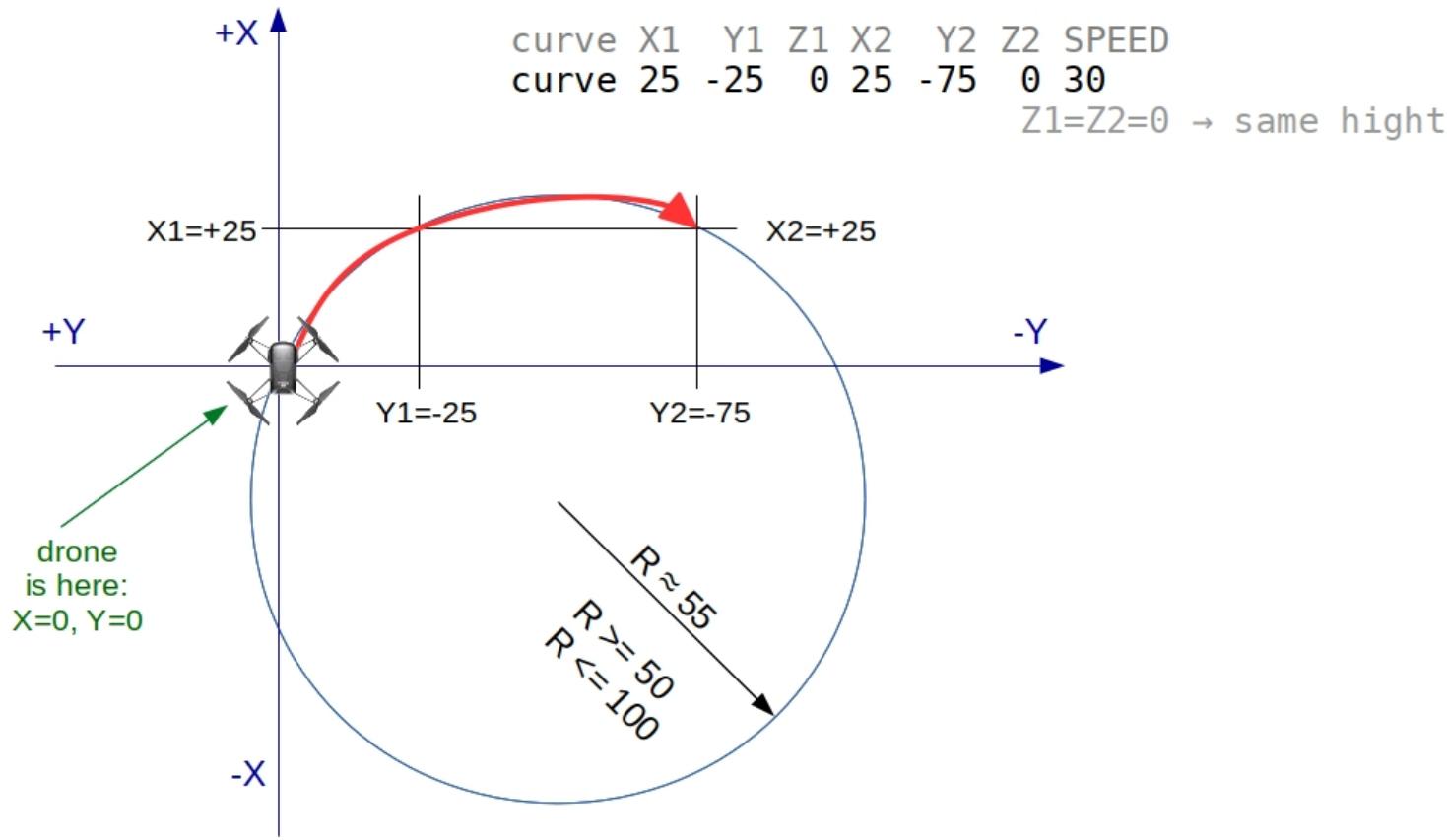
Mn = номер mission pad

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

Если Tello не получит очередную команду в течение 15 секунд, он автоматически приземлится.

В программе рекомендуется предусмотреть функцию, которая будет отправлять коптеру команду 'command' (которая в 1-й раз переключает дрон в режим SDK, а после этого не выполняет никаких действий) каждые 5 или 10 секунд, чтобы предотвратить прерывание выполнения программы.

path / траектория



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;mpry: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

mpry ~ ??? 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 ?

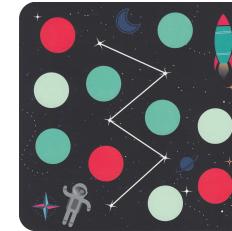
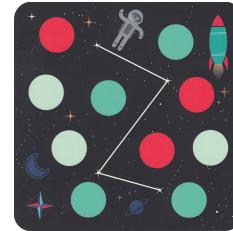
x, y, z ~ координаты на обнаруженной полётной площадке или 0,0,0

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

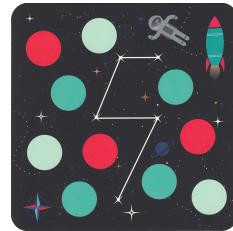
mission pads

В комплекте с *Tello EDU* есть 4 двусторонние полётные площадки (**Mission Pads**) / полётные метки (Marker Boards) размером 15x15 см. В узоре из планет закодирован номер каждой площадки от 1 до 8, который также напечатан цифрой.

1-я сторона

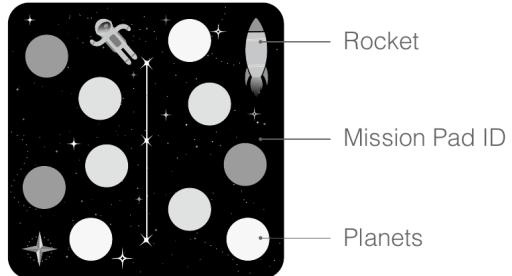


2-я сторона



mission pads: обозначения

Кроме закодированного номера на каждой полётной площадке изображена **ракета**, обозначающая ось X в системе координат площадки. Нос ракеты указывает на направление отсчёта положительных значений по оси X и поворот в 0° от оси X.



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.

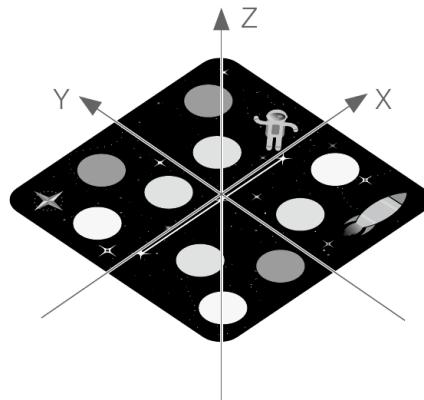
Planets display different patterns indicating the ID and coordinates, which the Tello EDU can recognize.

mission pads: координаты

«Узор на каждой из полётных площадок (Mission Pads) определяет трёхмерные координаты. Начало координат (origin) 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.



Tello может определить, что долетел до площадки, распознать её номер, сориентироваться в системе координат площадки: например, в центре площадки повернуться на определённый угол относительно 0° от оси X.

mission pads: подготовка

С полётными площадками (MP) могут работать только дроны Tello EDU (TE) или Tello Talent (TT), которые поддерживают SDK версии 2.0 и более.

1. Расположить MP:

Положить MP на плоскую поверхность и, при необходимости, выровнять ориентацию ракеты в нужном направлении.

2. Включить распознавание MP:

- Разместить Tello в центре MP и перевести его в режим SDK командой "command".
- В режиме SDK включить распознавание MP командой "mon".
- Включить командой "mdirection X" распознавание MP внизу (X=0), впереди (X=1) или в обоих направлениях (X=2), если это нужно.

3. Применить распознавание MP:

Скомандовать Tello взлететь и зависнуть. Задать Tello команды SDK с распознаванием MP (с параметром Mid), чтобы он совершал в полёте соответствующие действия на основе распознанного номера полётной площадки и координат на ней.

mission pads: примеры

Команды "mon" / "moff" включают / выключают режим распознавания MP.

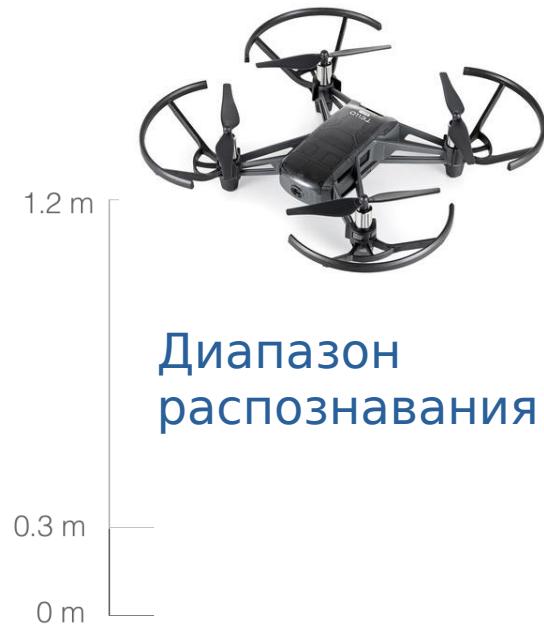
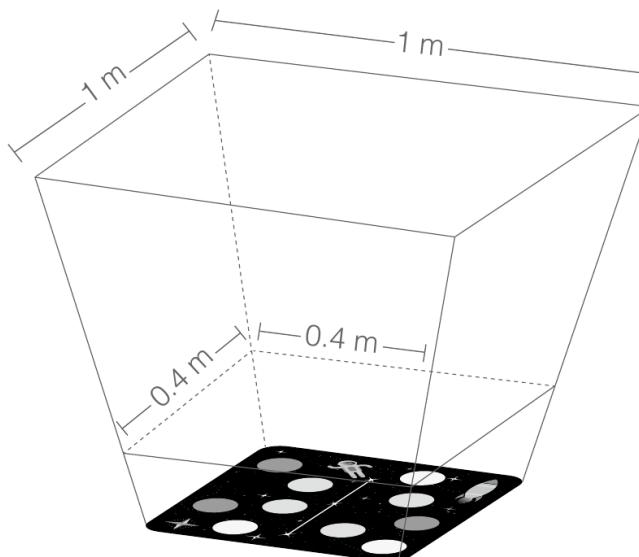
Команда "mdirction 0" включает распознавание MP внизу.

По команде "go 0 0 100 50 m4" дрон полетит со скоростью 50 см/сек к площадке №4 и выровняется по координатам 0,0,100 (в центре на высоте 100 см).

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: распознавание

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: команды

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.

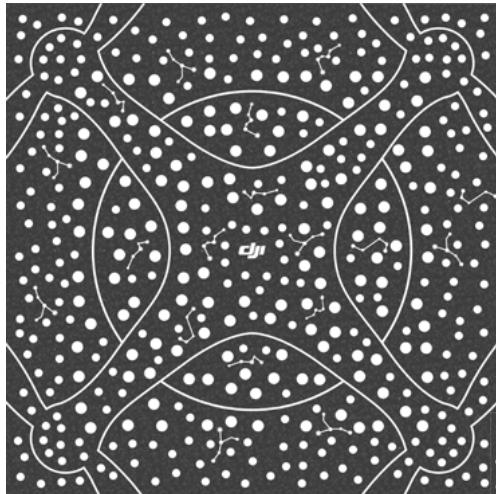
1 .. 8: Найти площадку с указанным номером среди всех просканированных из текущего положения..

(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>

flight maps



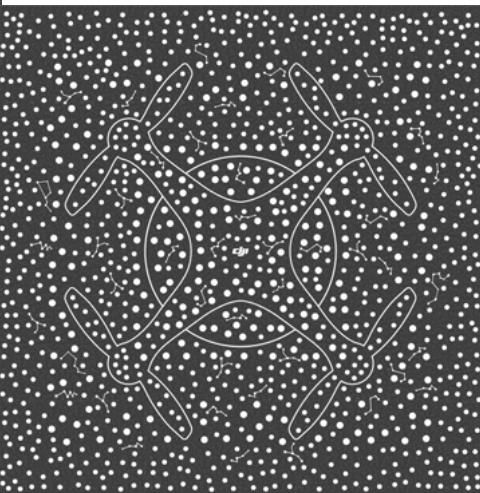
[https://www.dji.com/
robomaster-tt/
downloads](https://www.dji.com/robomaster-tt/downloads)

Tello Talent (ТТ) умеет распознавать полётные карты размерами 3x3 м и 5x5 м, которые можно рассматривать просто как большие полётные площадки и использовать их так же, как полётные площадки.

ТТ может выполнять одиночный полёт по фиксированным точкам и полёт в составе роя дронов. Рисунок на полётной карте состоит из логотипа DJI, декоративного узора и планет.

Логотип DJI: представляет положительное направление оси X в системе координат полётной площадки.

Декоративный узор: для украшения.



Планеты: ТТ распознаёт ID полётной карты, определяя расположение планет и считывает значения координат в системе координат полётной площадки полётной карты.

Скачайте исходные файлы и напечатайте полётной карты или приобретите их у поставщика. Обратите внимание, что карты должны быть напечатаны на матовом, текстурном, шероховатом, неотражающем материале, чтобы их можно было распознать визуальными сенсорами дрона *vision sensor of the drone*.

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: подготовка



swarming: управление

4. Выяснить по MAC-адресу IP-адрес каждого дрона в общей сети роя.

5. Отправлять команды каждому дрону на IP-адрес в общей сети роя "SWARM".

6. Проверять ответы от каждого дрона для синхронизации их действий в рое.

Controller

IP: DHCP

Port: 8890 # состояние



1. Подключить контроллер к общей сети "SWARM"

DHCP

Tello EDU # 1

IP: DHCP

Port: 8889 # commands



2. Включить 1-й дрон, чтобы он автоматически подключился к общей сети "SWARM"

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



Tello EDU # 2

IP: DHCP

Port: 8889 # команды

3. Включить следующий дрон, чтобы он автоматически подключился к общей сети "SWARM"

DHCP

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.

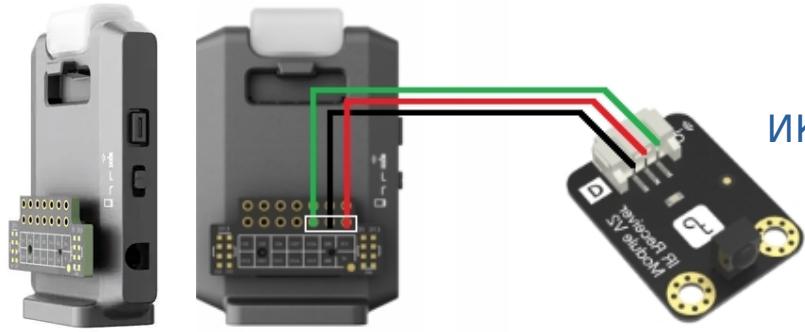
Tello Talent Expansion Kit



С помощью набора DJI Robotmaster TT Tello Talent Expansion Kit (\$99..\$125) 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.

sensors / датчики



ИК-датчик (приёмник)



адаптер расширения (2×7 pin)

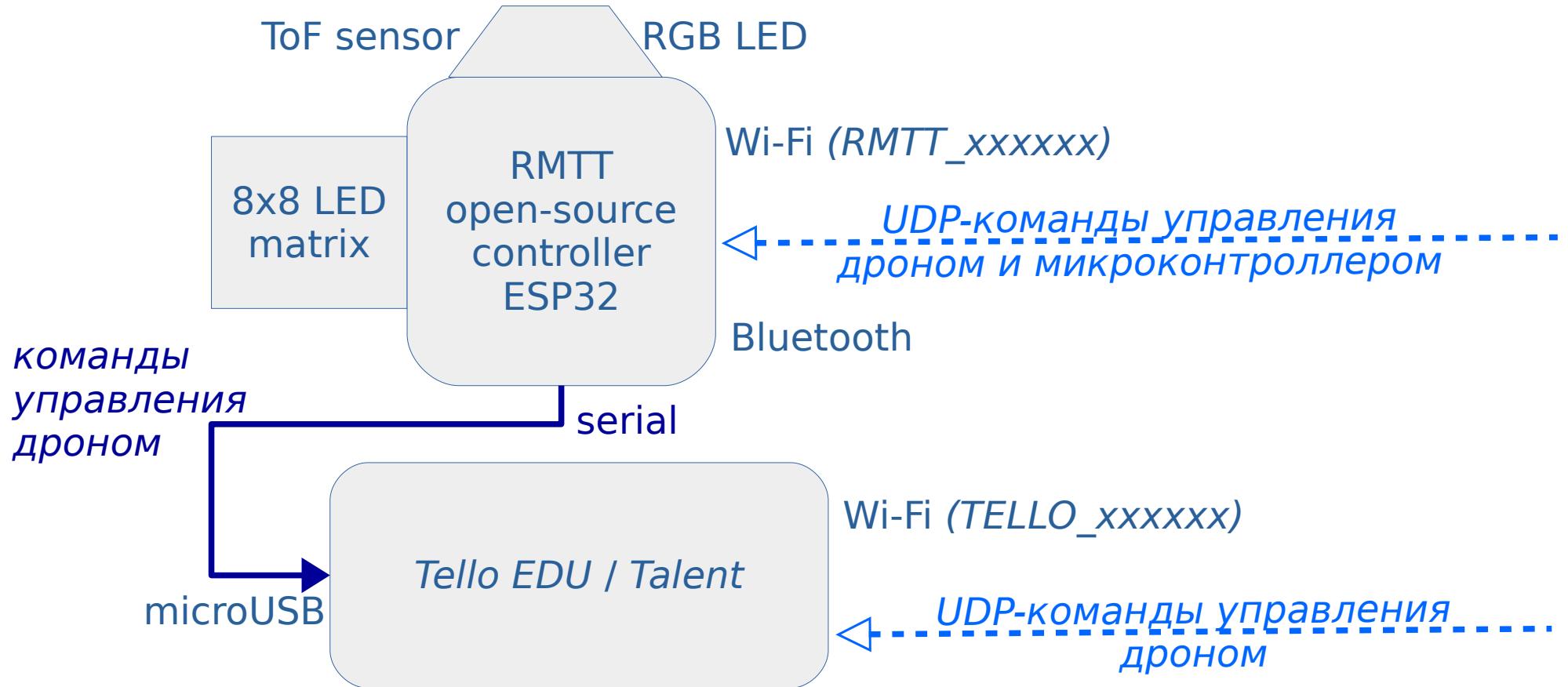


пульт ДУ (передатчик)

К 14-контактному адаптеру расширения можно подключать внешние сенсоры и актуаторы и управлять ими.

Например, (приобрести дополнительно и подключить) ИК-датчик для считывания команд с пульта дистанционного управления (по беспроводному инфракрасному каналу связи).

RMTT ↔ *Tello*



RMTT → Tello

Можно программировать микроконтроллер с открытым кодом ESP32, отправляя через последовательный порт команды вида:

[TELLO] (пробел) Tello_command

При этом будет тот же результат, как при отправке Tello_command через UDP.

Обратите внимание, что все команды, которые микроконтроллер с открытым кодом ESP32 получает от Tello, имеют префикс "ETT (пробел)" и суффикс "\r\n" (конец строки).

Например: скомандовать дрону взлететь через микроконтроллер с открытым кодом ESP32:

ESP32->Tello: "[TELLO] takeoff"

Tello->ESP32: "ETT ok\r\n"

<"ROBOMASTER TT SDK 3.0 User Guide" V1.0 2021.04, p. 6>

[TELLO]

[TELLO] command

[TELLO] UDP_COMMAND

Перезагрузить Tello!!!

Перейти в режим SDK.

Выполнить команду UDP.

Tello перезагружается!!!

"ok"

(Tello выполняет команду)

UDP->Open-source controller ESP32

=====

*Only factory firmware is supported. To reset the factory firmware, see the User Manual.

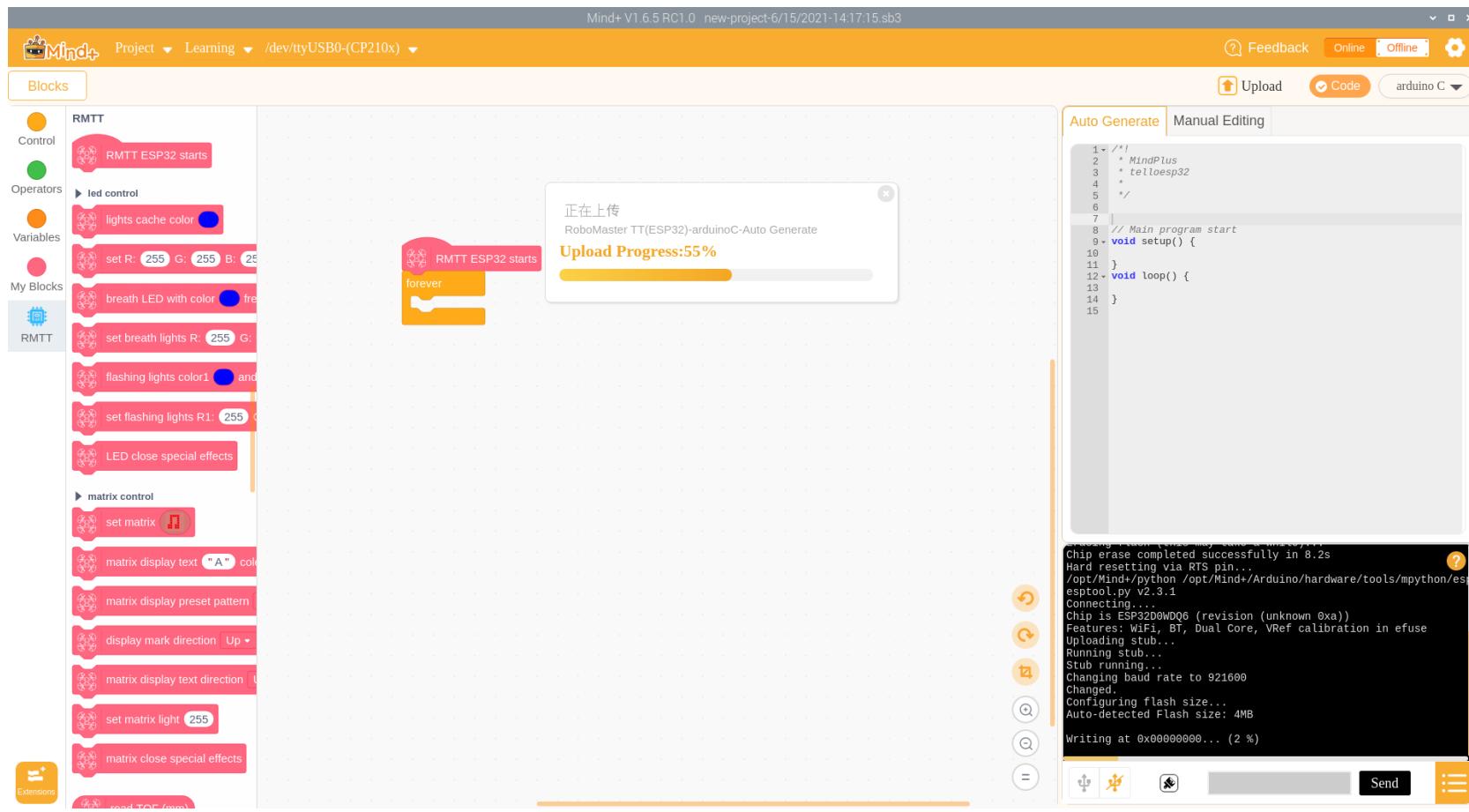
RMTT ← Tello

Команды управления модулем расширения:

EXT led r g b	Зажечь верхний LED указанным цветом.
EXT led br t r g b	Верхний LED мигает заданным цветом, яркостью, частотой.
EXT led bl t r1 g1 b1 r2 g2 b2	Верхний LED мигает попеременно двумя цветами.
EXT mled g xxxx	Зажечь на LED-матрице заданный цветовой узор.
EXT mled l/r/u/d r/b/p t xxxx	На LED-матрице пробегает надпись в заданном направлении.
EXT mled l/r/u/d g t xxxx	На LED-матрице отображается image.
EXT mled s r/b/p xxxx	Отобразить символ ASCII или ранее заданный образец.
EXT mled sg xxxx	Установить анимацию для LED-матрицы при загрузке дрона.
EXT mled sc	Сбросить загрузочную анимацию.
EXT mled sl n	Установить яркость для LED-матрицы.
EXT tof?	Прочитать значение датчика ToF (в мм). 8192, если расстояние вне диапазона.
EXT version?	Считать версию прошивки микроконтроллера.

<<https://manuals.plus/dji/robomaster-tt-sdk-3-0-manual>>

IDE Mind+



Интегрированная среда Mind+ для разработки программ для Tello Talent или Tello EDU с TT/EK.

Можно писать на расширенном Scratch или на MicroPython или на языке Си.

Есть команды для управления полётом и для программирования модуля расширения.

Mind+, RMTT, MicroPython

```
# MindPlus
# telloesp32
from RMTT_Protocol import RMTT_Protocol
from machine import Pin, PWM
from machine import *
import time
p34 = Pin(34, Pin.IN)
p2 = Pin(2, Pin.OUT)
uart1 = UART(1, baudrate=1000000, tx=18, rx=23)
protocol = RMTT_Protocol(uart1)

if (p34.value() == 0):
    print("Yes")
else:
    print("No")
p2.value(1)
print(protocol.getTelloMsgInt("[TELL0] sdk?", 1000))
print(protocol.getTelloMsgString("[TELL0] version?", 1000))
while True:
    uart1.write("[TELL0] motoron")
    time.sleep(5)
    uart1.write("[TELL0] motoroff")
```

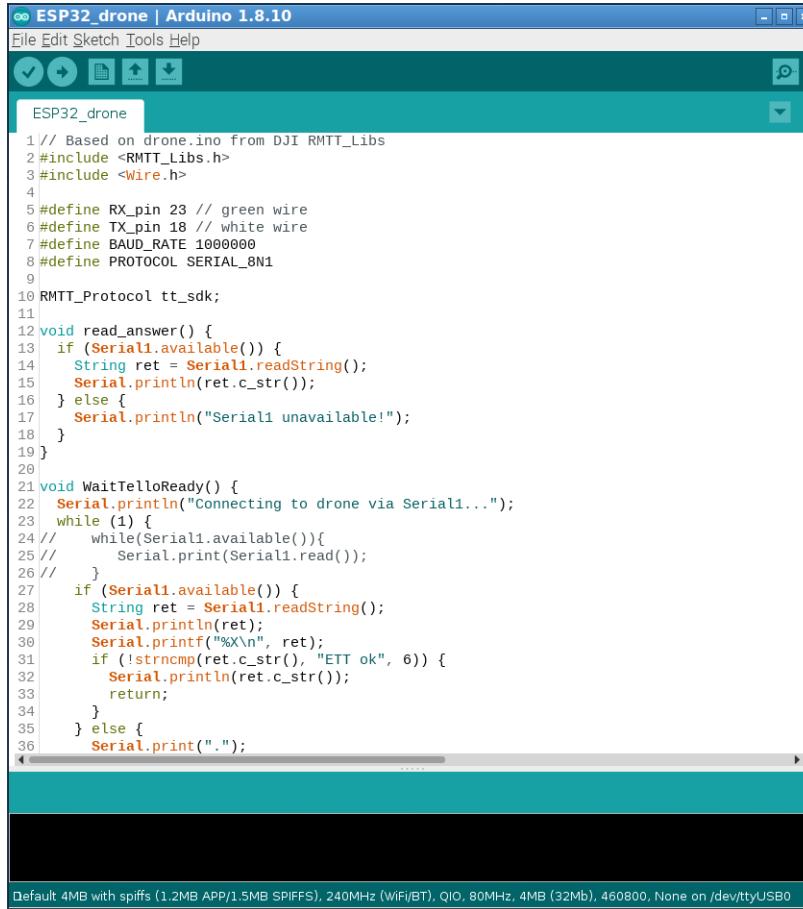
Через IDE Mind+ в микроконтроллере можно прошить интерпретатор MicroPython.

После этого можно программировать на языке Python.

Программа будет выполняться на микроконтроллере и управлять Tello, отправляя команды через последовательный порт (microUSB).

Программа также может управлять модулем расширения (RGB LED, 2 x RGB LED matrix, ToF sensor).

Tello, RMTT



The screenshot shows the Arduino IDE interface with a sketch titled "ESP32_drone". The code is based on "drone.ino" from DJI RMTT_Libs. It includes definitions for RX and TX pins, baud rate, and protocol, and defines the RMTT_Protocol tt_sdk. The code contains a function read_answer() which checks if Serial1 is available and prints the received string. It also includes a WaitTelloReady() function that connects to the Tello drone via Serial1, reads responses, and checks for "ETT ok". The status bar at the bottom indicates "Default 4MB with spiffs (1.2MB APP/1.5MB SPIFFS), 240MHz (WiFi/BT), QIO, 80MHz, 4MB (32Mb), 460800, None on /dev/ttyUSB0".

```
// Based on drone.ino from DJI RMTT_Libs
#include <RMTT_Libs.h>
#include <Wire.h>

#define RX_pin 23 // green wire
#define TX_pin 18 // white wire
#define BAUD_RATE 1000000
#define PROTOCOL SERIAL_8N1

RMTT_Protocol tt_sdk;

void read_answer() {
    if (Serial1.available()) {
        String ret = Serial1.readString();
        Serial.println(ret.c_str());
    } else {
        Serial.println("Serial1 unavailable!");
    }
}

void WaitTelloReady() {
    Serial.println("Connecting to drone via Serial1...");
    while (1) {
        while(Serial1.available()){
            Serial.print(Serial1.read());
        }
        if (Serial1.available()) {
            String ret = Serial1.readString();
            Serial.println(ret);
            Serial.printf("%Xn", ret);
            if (!strcmp(ret.c_str(), "ETT ok", 6)) {
                Serial.println(ret.c_str());
                return;
            }
        } else {
            Serial.print(".");
        }
    }
}
```

Default 4MB with spiffs (1.2MB APP/1.5MB SPIFFS), 240MHz (WiFi/BT), QIO, 80MHz, 4MB (32Mb), 460800, None on /dev/ttyUSB0

Для разработки программ для микроконтроллера RMTT (и обычного микроконтроллера ESP32) на языке Си можно применять Arduino IDE.

(Пока не удалось прошить обычный *ESP32*, чтобы он воспринимался коптером *Tello* как микроконтроллер *RMTT*).

Tello & SBC / MCU

Tello без пилота, автоматически управляемый внешним компьютером, который «едет верхом на Tello»!

Плюсы:

- Повторяемый автономный полёт.
- Программный контроль состояния *Tello*.
- Полёт на длинное расстояние с возвратом.
- Синхронный полёт нескольких дронов в рое (+ подсветка).
- Возможность подключения внешних устройств: ToF, GPS, LED, t° , ...
- ???

Минусы:

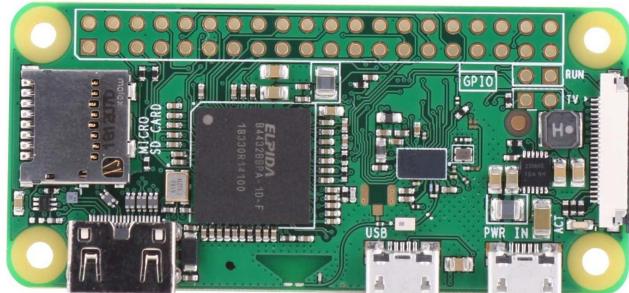
- Дополнительный вес компьютера (и его батареи) → меньше время полёта, хуже лётные качества.
- Неудобно крепить SBC / MCU на *Tello*.
- Выглядит не эстетично.
- ???

Tello & SBC / MCU



Tello, SBC / MCU, ToF, RGB LEDs

Внешний компьютер для управления Tello



Одноплатный компьютер
Raspberry Pi Zero W



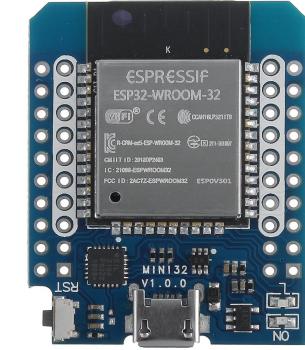
8 x RGB LED ring



Датчик ToF VL53L0X



Батарея Li-Po
3.7V 450 mAh

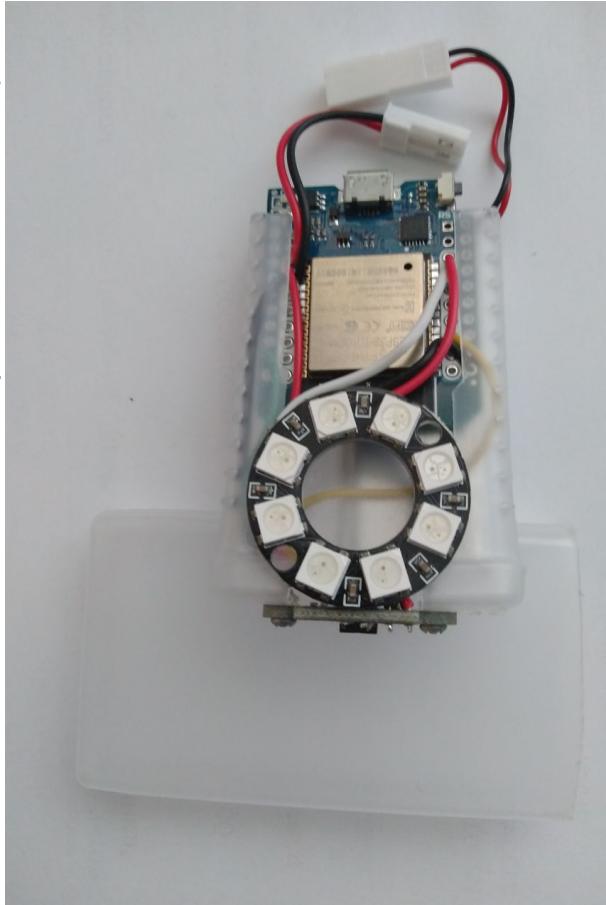


Микроконтроллер
ESP32 Wroom-32

Tello, ESP32, ToF, RGB LEDs

Снизу вверх:

1. Датчик ToF VL53L0X
2. 8 x RGB LED ring IS31FL3733 controller.
3. MK ESP32 Wroom-32.
4. Разъёмы для батареи.

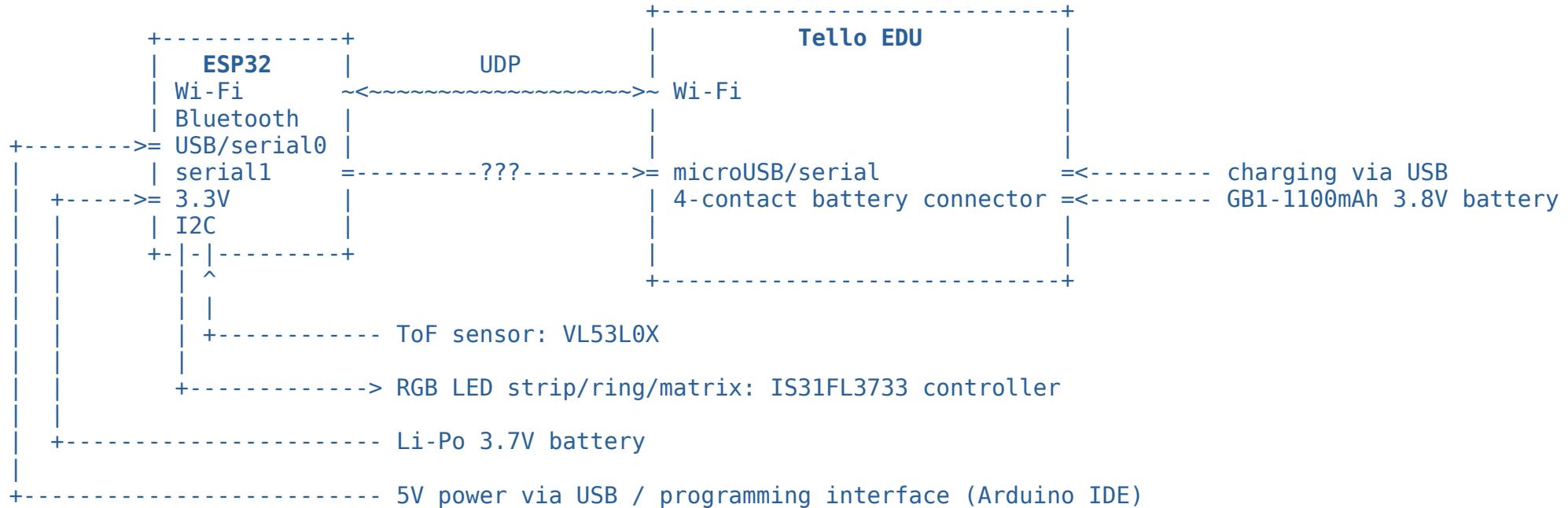


Снизу вверх:

1. Датчик ToF VL53L0X
2. Батарея Li-Po 3.7V 450 mAh
4. Разъёмы для батареи.



Tello, ESP32, ToF, RGB LEDs



PC === USB<---->UART<---->microUSB === Tello serial interface?
ESP32 UART1 === <---->microUSB === Tello serial interface?

copter + programming

- Отображение в реальном времени телеметрии и видео-потока с устройства управления (для внешнего пилота).
- Одометрия.
- Просмотр оператором видео-потоков с нескольких дронов (мониторинг).
- Запись данных, передаваемых с дрона.
- Программа-контроллер для ручного управления полётом дрона (джойстики, жесты, голос).
- Программа уклонения от препятствий.
- Полётный симулятор (с учётом физики и погодных условий).
- Управление роем дронов.



- Составление полётного плана (трасса, действия).
- Полёт по одному из готовых полётных планов (управление автономным полётом).
- Аэро-поиск объектов (авто-распознавание).
- Сбор и запись данных, видео-запись.
- Аварийный возврат.
- Управление роем дронов.
- 3D-визуализация полёта.
- Time-lapse на основе фото/видео-записей за период (мониторинг объекта).
- 3D-моделирование на основе видео-записи облёта объекта.
- Фотограмметрия.
- Картографирование.

glossary / словарик

- flight map ~ полётная карта (FM)
- flight mission ~ полётный план (при автономном полёте)
- IM = Tello Iron Man
- marker board = mission pad
- mission pad ~ полётная площадка (MP)
- multi-drone formation flight ~ полёт в составе роя дронов
- open-source controller ~ «микроконтроллер с открытым кодом» ESP32
- origin ~ центр mission pad
- pitch ~ тангаж – наклон для движения вперёд / назад
- Pol = point of interest ~ точка в полёте, где нужно выполнить определённое действие
- roll ~ крен – наклон для движения влево / вправо
- RMTT = RoboMaster Tello Talent ≈ open-source controller
- single-drone fixed-point flight ~ одиночный полёт по фиксированным точкам
- swarm ~ рой = multi-drone formation
- TE = Tello EDU
- ToF = Time of Flight sensor ~ датчик определения расстояния
- TT = Tello Talent
- UDP command ~ команда дрону, переданная по сети Wi-Fi или через последовательный порт
- way point ~ очередные координаты в полётном плане, куда нужно переместиться коптеру
- yaw ~ рыскание - вращение влево / вправо

links / ссылки

- <https://robo-sapiens.ru/stati/perviy-kvadrokopter-istoriya-poyavleniya/> # история
- <https://www.heliguy.com/blog/2018/04/18/coding-with-the-ryze-tello/> # Scratch
- <https://www.ryzerobotics.com/tello/downloads> # официальная документация по Tello
- <http://protello.com/tello-sdk-1/> # SDK v.1 на русском
- <https://github.com/dji-sdk/Tello-Python>
- <https://github.com/blacktm/tello> # Ruby
- <https://dronomania.ru/ryze/tello-edu.html>
- <https://www.ryzerobotics.com/tello-edu/downloads> # официальная документация по Tello EDU
- <https://dl-cdn.ryzerobotics.com/downloads/Tello/Tello%20SDK%202.0%20User%20Guide.pdf> # 2.0
- https://dl.djicdn.com/downloads/RoboMaster+TT/Tello_SDK_3.0_User_Guide_en.pdf # 3.0
- <https://manuals.plus/dji/robomaster-tt-sdk-3-0-manual> # команды SDK 3.0
- <https://github.com/TelloSDK/Multi-Tello-Formation> # swarm
- <https://tellopilots.com/wiki/protocol/> # UDP
- <https://www.eduporium.com/store/tello-edu-programming-class-bundle-20-drones.html>
- https://www.wiedu.com/telloedu/index_en.html # официальные материалы по Tello EDU
- <https://github.com/dji-sdk/Tello-Python> # примеры для Tello на Python от DJI
- <http://protello.com/en/gesture-based-control-of-the-tello-drone/> # управление жестами
- <https://www.mathworks.com/hardware-support/tello-drone-matlab.html> # управление из MathLab
- <https://habr.com/ru/company/leader-id/blog/491770/> # Дрон для любителя: устройство и принципы программирования

links / ссылки

- <https://www.dji.com/robomaster-tt/downloads> # официальная документация по Tello Talent
- <https://www.dji.com/downloads/products/robomaster-tt> # загрузки для ТТ
- https://dl.djicdn.com/downloads/RoboMaster+TT/RoboMaster_TT_Tello_Talent_User_Manual_en.pdf
- https://github.com/RoboMaster/RMTT_Libs # библиотеки для RMTT
- <https://mindplus.dfrobot.com/RMTT> # RoboMaster TT - MindPlus wiki / en
- <https://ru.manuals.plus/dji/robomaster-tt-expansion-kit-manual#axzz7xFeS6nC5> # руководство / ru
- https://terra-1-g.djicdn.com/2d4dce68897a46b19fc717f3576b7c6a/mind/Mind_Win_V1.7.0_RC1.0.exe
- https://www.youtube.com/watch?v=E_9tLYACp28 # Learn to code TELLO EDU and ROBOMASTER TT in 10 minutes
- <https://www.thingiverse.com/thing:4586173> # Robomaster TT open source hardware bracket
- <https://learn.droneblocks.io/p/introduction-to-tello-talent-programming-with-droneblocks> # video / en
- <https://learn.droneblocks.io/p/programming-robomaster-tt-tello-talent-with-python> # video / en
- <https://droneblocks.io/blog/2021/6/21/programming-tello-talent-aka-robomaster-tt-led-board-with-droneblocks>
- <https://makelog.dfrobot.com.cn/tag-570.html> # ROBOMASTER TT Соревнования по развитию обучения программированию с помощью БПЛА
- <https://gist.github.com/anoochit/6cc11eb907c7efa56ee993eb3de887c4> # пример для ESP32
- <https://cloud.tencent.com/developer/article/1812910> # примеры на MicroPython
- <https://projects-raspberry.com/alex-a-voice-controlled-tello-drone/> # голосовое управление
- <https://github.com/erviveksoni/raspberrypi-controlled-tello> # Raspberry Pi на Tello
-