

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

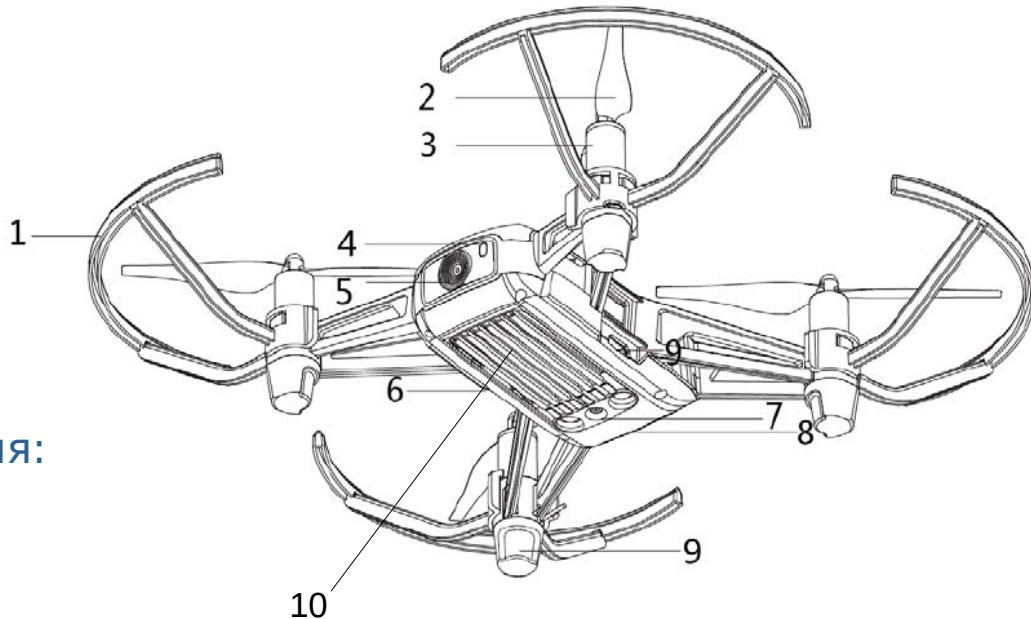


Tello: позиционирование

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

The image shows the Scratch 2 Offline Editor interface. On the left, there's a stage area with a cat sprite. Below the stage is the 'Sprites' panel, which lists 'Sprite1' (the cat). The 'Scripts' panel on the right contains several script blocks:

- A green **when green flag clicked** hat block.
- Inside it are the following sequence blocks:
 - take off**
 - wait [5 secs]**
 - fly forward with distance [50]**
 - wait [5 secs]**
 - fly back with distance [50]**
 - wait [5 secs]**
 - land**

Below the scripts panel is a vertical stack of categories:

- Batt: 87%
- Takeoff
- Navigation
- Flip
- Loops
- Logic
- Math
- Variables
- Land

On the far right, there's a 'Tello' control panel with buttons for orientation and a scroll wheel.

Scratch (blue speech bubble)

DroneBlocks (blue speech bubble)

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
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.

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.

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.

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 UDP.

program / программа

Программа управляет автономным полётом Tello вместо внешнего 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 виде-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
```

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 Y, 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 cw/ccw?: -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?

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 = вперёд, -X = назад

+Y = влево, -Y = вправо

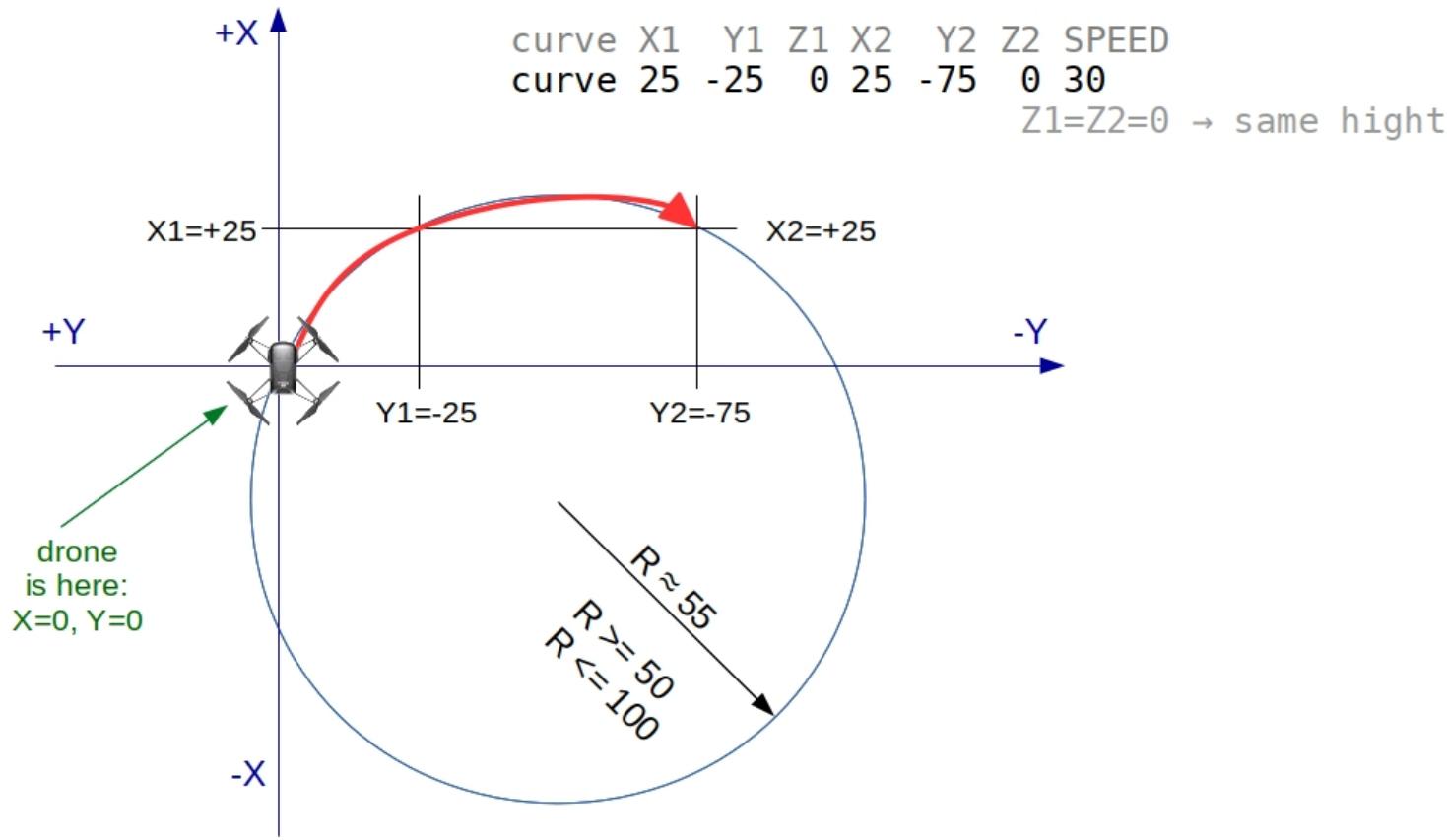
+Z = вверх, -Z = вниз

+D = по часовой стрелке, -D = против часовой стрелки

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

В программе рекомендуется предусмотреть функцию, которая будет отправлять дрону 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.

commands / параметры



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 ?

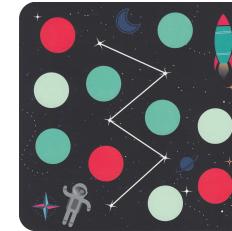
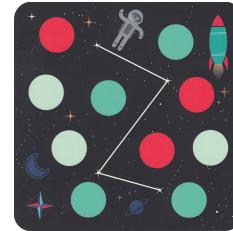
x, y, z ~ координаты на обнаруженной полётной площадке или 0,0,0

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

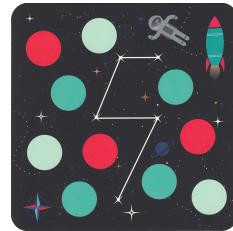
mission pads

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

1-я сторона

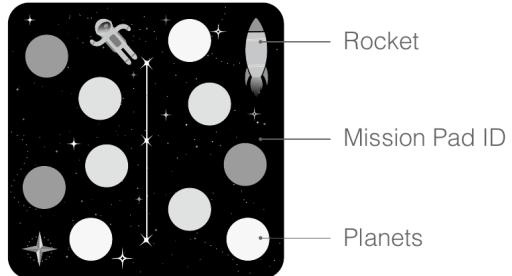


2-я сторона



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.

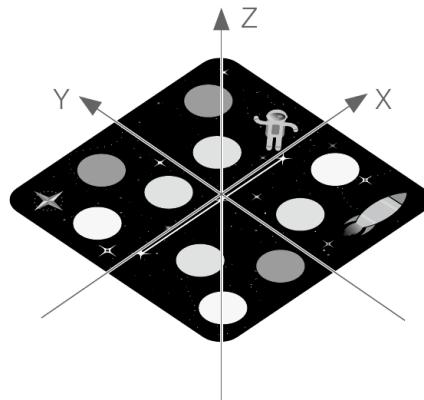
Planets display different patterns indicating the ID and coordinates, which the Tello EDU can recognize.

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.



mission pads: подготовка

С полётными площадками (MP) могут работать только дроны Tello EDU 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.

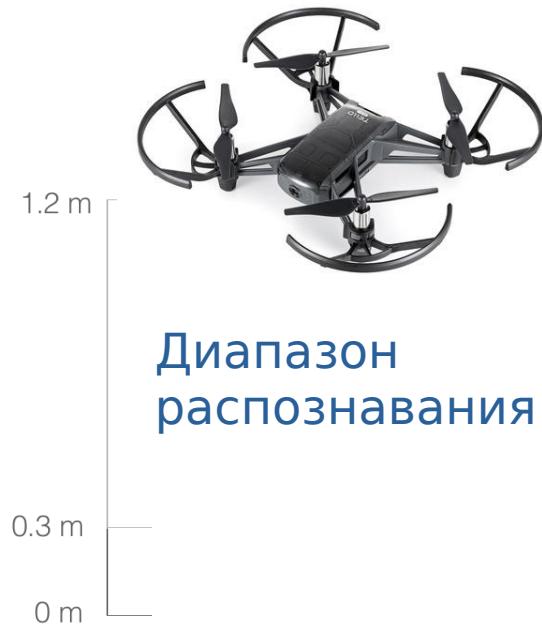
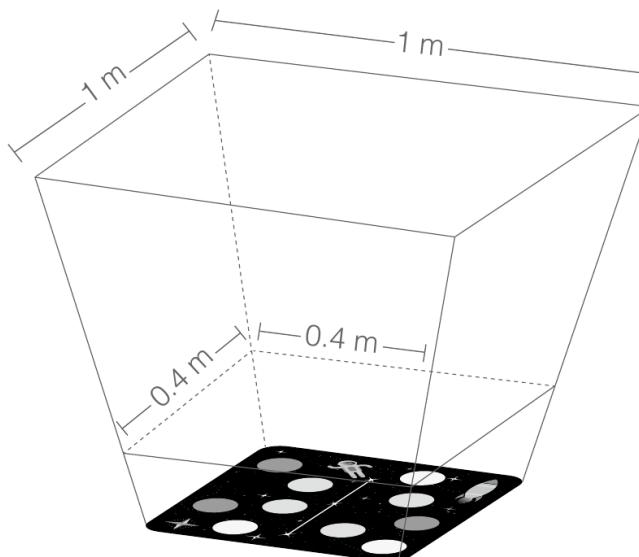
Команда "mdirection 0" включает распознавание MP внизу.

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.

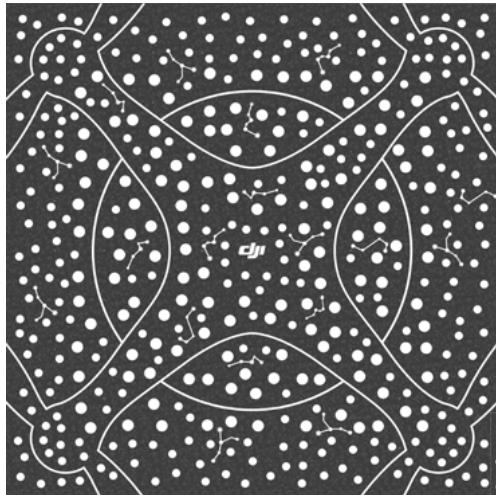
1 .. 8: Найти площадку с указанным номером среди всех просканированных из текущего положения..

(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



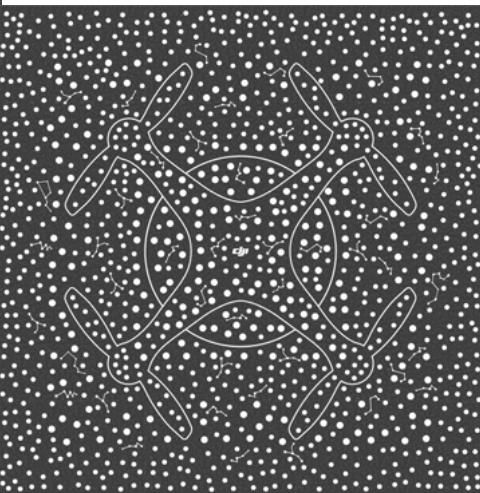
[https://www.dji.com/
robomaster-tt/
downloads](https://www.dji.com/robomaster-tt/downloads)

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



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

Tello EDU # 2

IP: DHCP

Port: 8889 # команды

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.

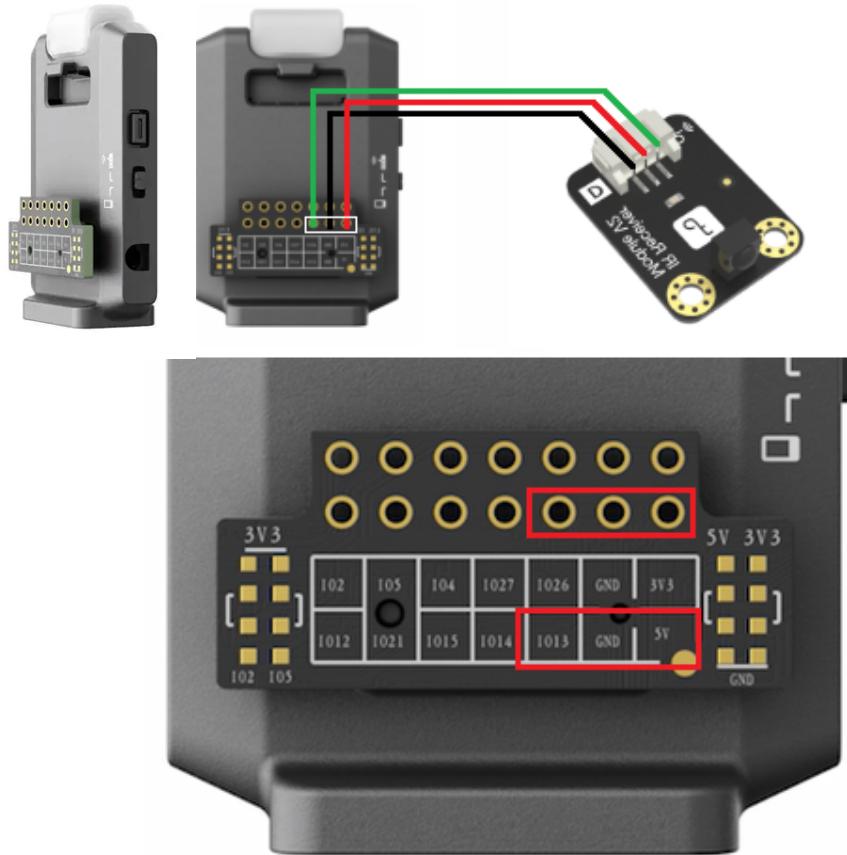
Tello Talent Expansion Kit



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.

sensors / датчики



К модулю расширения можно подключать внешние сенсоры и управлять ими.



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

RMTT ← commands

Open-source Controller->Tello Commands

To program the open-source controller ESP32, sending "[TELLO] (space)" + UDP->Tello command through a serial port can achieve the same effect as UDP->Tello command description..

Note that all commands that the open-source controller ESP32 receives from TELLO contain the. "ETT (space)" prefix and "\r\n" (line break) suffix.

For example: Instruct the drone to take off via open-source controller 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]><----><---->Reboots the Tello!!!<--><---->Tello reboots!!!
[TELLO] command><---->Enter the SDK mode.<---><---->"ok"
[TELLO] UDP_COMMAND<--->Perform an UDP command.><---->

UDP->Open-source controller ESP32

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

RMTT ← commands

Open-source Controller->Tello Commands

To program the open-source controller ESP32, sending "[TELLO] (space)" + UDP->Tello command through a serial port can achieve the same effect as UDP->Tello command description..

Note that all commands that the open-source controller ESP32 receives from TELLO contain the "ETT (space)" prefix and "\r\n" (line break) suffix.

For example: Instruct the drone to take off via open-source controller ESP32.

ESP32->Tello: "[TELLO] takeoff"

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

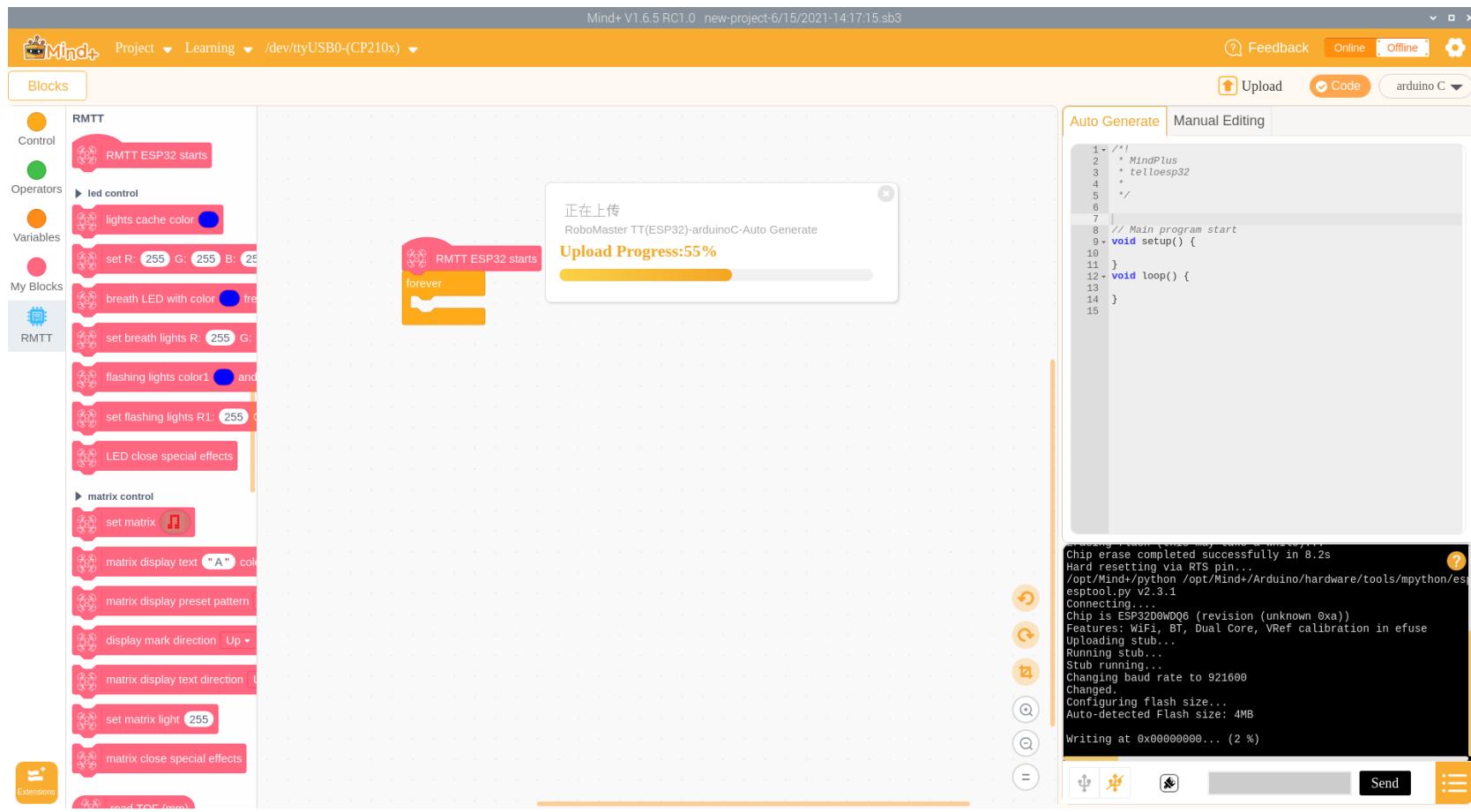
<"ROBOMASTER TT SDK 3.0 User Guide" V1.0 2021.04, p. 6>

[TELLO]	Reboots the Tello!!!	Tello reboots!!!
[TELLO] command	Enter the SDK mode.	"ok"
[TELLO] UDP_COMMAND	Perform an UDP command.	

UDP->Open-source controller ESP32

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

Mind+ IDE



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

Можно писать на расширенном Scratch или на Micro-Python или на языке Си.

Есть команды для управления полётом и для программирования модуля расширения.

glossary / словарик

- flight map ~ полётная карта (FM)
- mission pad ~ полётная площадка (MP)
- multi-drone formation flight ~ полёт в составе роя дронов
- origin ~ центр mission pad
- pitch ~ тангаж – наклон для движения вперёд / назад
- roll ~ крен – наклон для движения влево / вправо
- single-drone fixed-point flight ~ одиночный полёт по фиксированным точкам
- swarm ~ рой = multi-drone formation
- TE = Tello EDU
- TT = Tello Talent
- yaw ~ рыскание – вращение влево / вправо

links / ссылки

- <https://robo-sapiens.ru/stati/perviy-kvadrokopter-istoriya-poyavleniya/>
- <https://www.heliguy.com/blog/2018/04/18/coding-with-the-ryze-tello/> # Scratch
- <https://www.ryzerobotics.com/tello/downloads> # official
- <http://protello.com/tello-sdk-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> # official
- <https://dl-cdn.ryzerobotics.com/downloads/Tello/Tello%20SDK%202.0%20User%20Guide.pdf> # 2.0
- <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
-