

*DJI + Ryze  
Tello:  
программирование*

*Михаил Шохирев*

Шадринск, Клуб программистов, 2021.06.01

# *Tello: мал да удал*

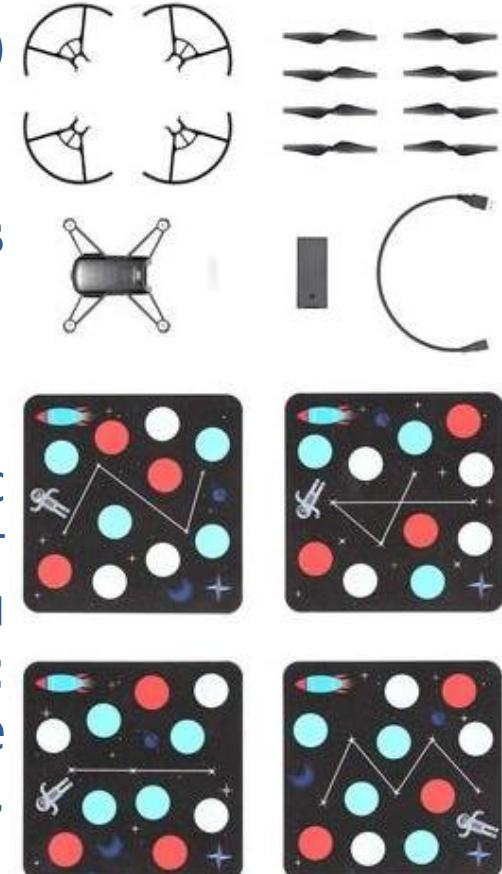
- 14-ядерный процессор **Intel** (Intel® Movidius™ Myriad™ VPU 2)
- Система управления полётом от **DJI**: превосходная стабильность в воздухе
- Визуальное позиционирование (VPS): 2 ультразвуковых + 1 оптический сенсоры
- Время полёта до 13 минут, скорость до 8 м/сек, дальность до 100 м, высота до 30 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 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*

	<b>Tello</b>	<b>Tello EDU</b>	<b>Tello Iron Man</b>	<b>Tello Talent/TT</b>
<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

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*)
- *Tello EDU* (*Wiedu*)
- aTelloPilot (*PingguSoft*)
- DroneBlocks
- DroneDJ
-

# *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 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

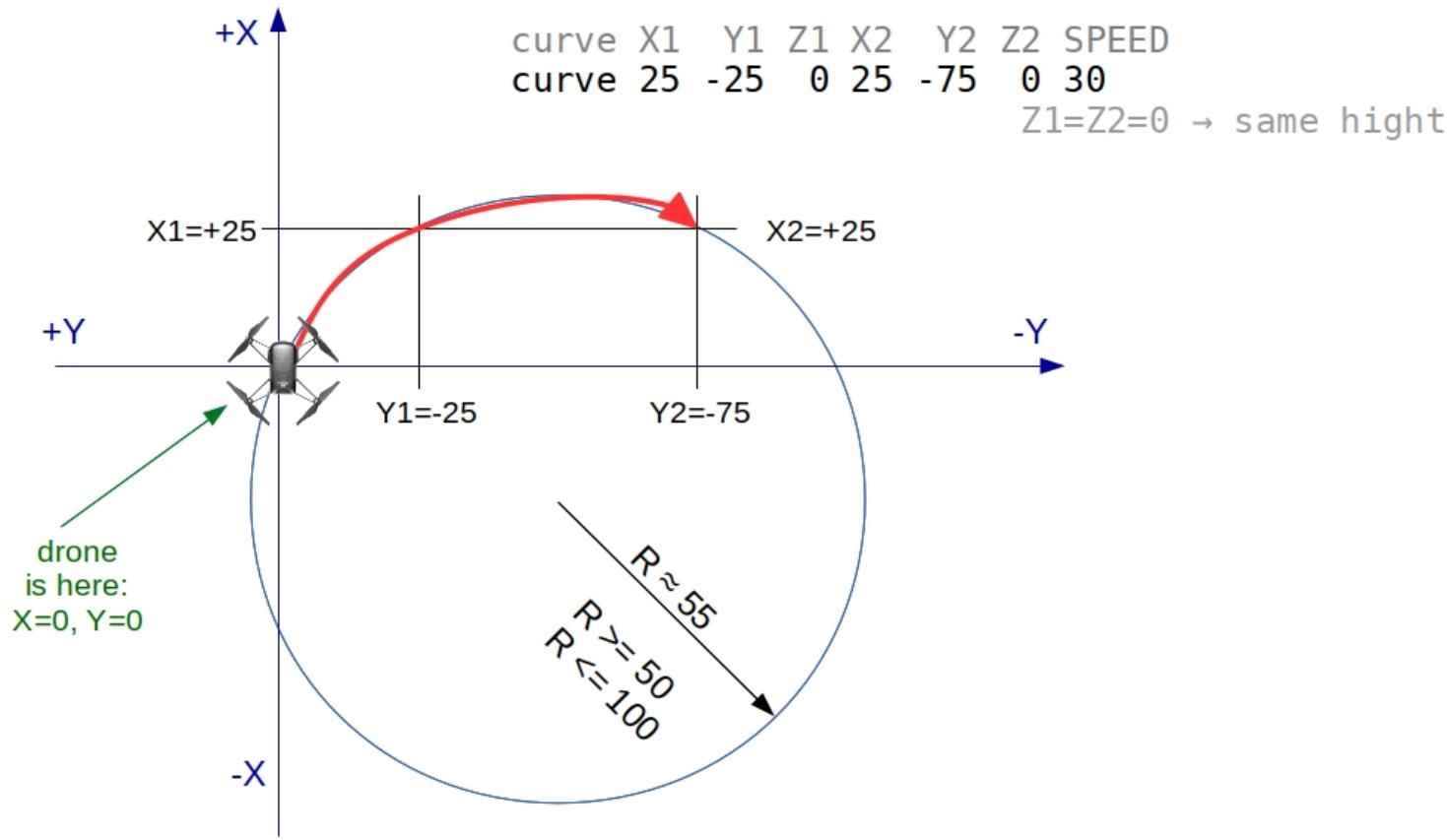
+Z = вверх, -Z = вниз

+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

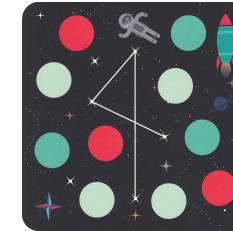
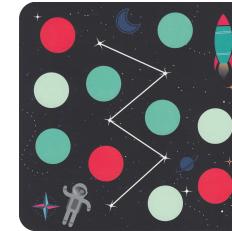
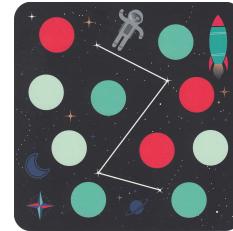
---

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

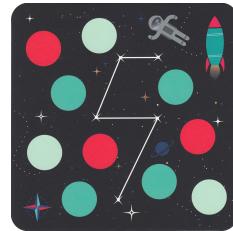
# *mission pads*

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

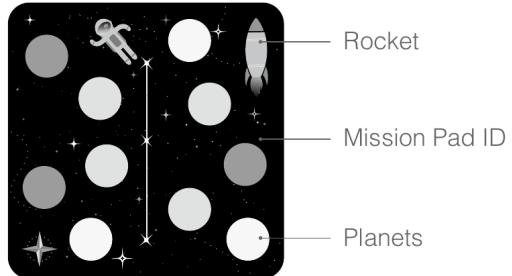


2-я сторона



# *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.

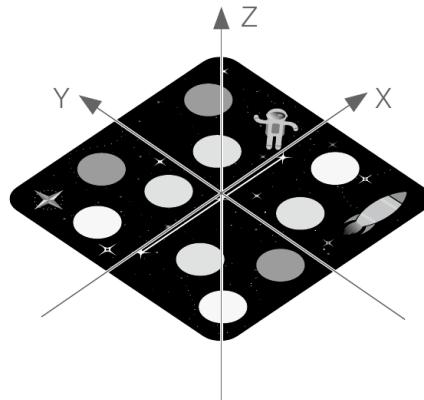
Planets display different patterns indicating the ID and coordinates, which the Tello EDU can recognize.

# *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.

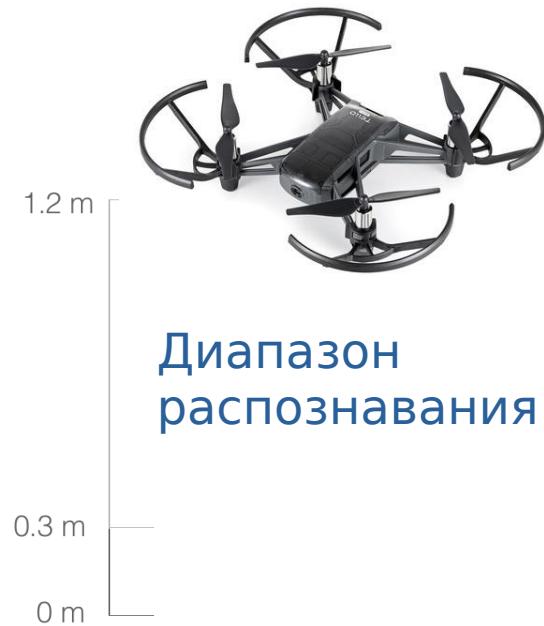
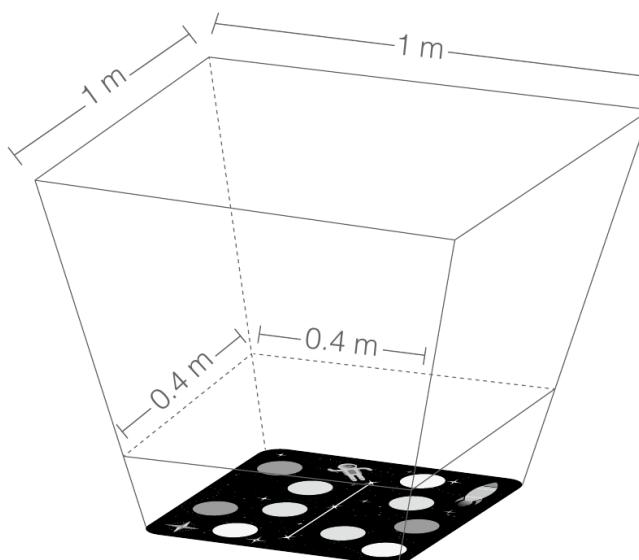
Команда "mdirection 0" включает распознавание MP внизу.

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.

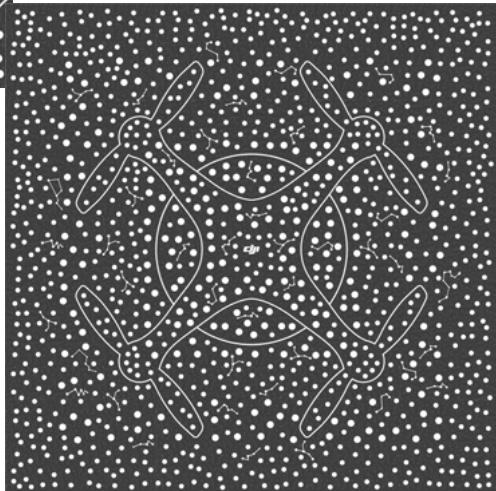
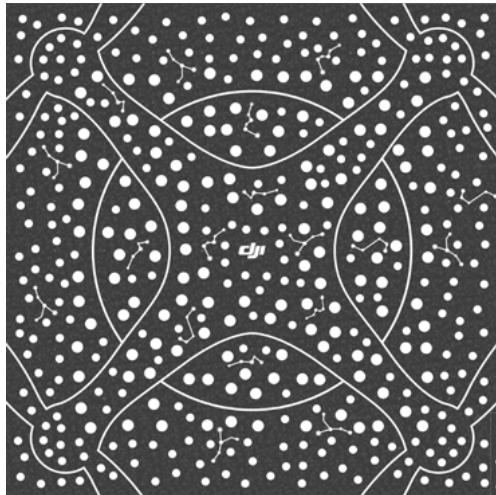
1 .. 8: Найти площадку с указанным номером среди всех просканированных из текущего положения..

(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](https://www.wiedu.com/telloedu/faq_en.html)>

# *flight maps*



TT supports 3x3 m and 5x5 m flight maps, which can be regarded as large mission pads used in the same way with the flight maps, TT can perform single-drone fixed-point flight and multi-drone formation flight. The pattern of the flight map is composed of DJI Logo, decorative pattern, and planets.

DJI logo: This represents the positive direction of the x-axis in the mission pad coordinate system.

Decorative pattern: For decoration.

Planets: TT recognizes the ID of the fight map by detecting the arrangement of the planets and obtains the coordinate values in the coordinate system of the flight map.

Download and print the source files of the flight maps or purchase them from a dealer. Note that the maps must be printed on matte, textured, rough, and non-reflective material so they can be recognized by the vision sensor of the drone.

Download the source files of flight maps at:  
<https://www.dji.com/robomaster-tt/downloads>

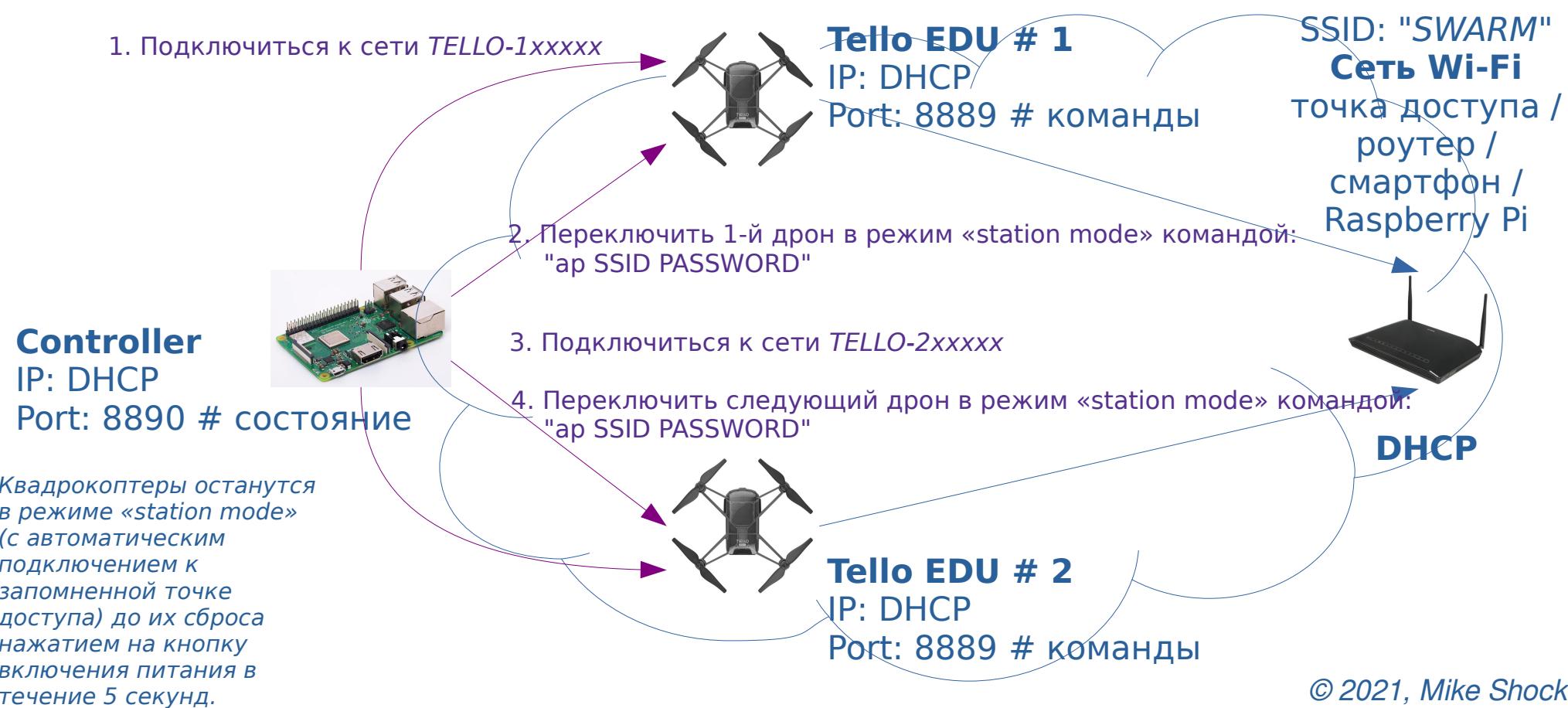
# *swarm / рой*

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



**Tello EDU # 1**

IP: DHCP

Port: 8889 # commands

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



1. Подключить контроллер к общей сети "SWARM"

SSID: "SWARM"

**Сеть Wi-Fi**

точка доступа /  
роутер /  
смартфон /  
Raspberry Pi

**DHCP**

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



**Tello EDU # 2**

IP: DHCP

Port: 8889 # команды

# *glossary / словарик*

- origin ~ центр mission pad
- pitch ~ тангаж - наклон для движения вперёд / назад
- roll ~ крен - наклон для движения влево / вправо
- 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](https://www.wiedu.com/telloedu/index_en.html)
-