

Documentación sobre el Dron DJI Tello

Román Velásquez

October 1, 2024

Abstract

La implementación de la tecnología drone, actualmente se encuentra sobresaliendo en diversas áreas como: topografía, entrega de paquetes, entretenimiento y hasta en ámbito de seguridad, enfocándose especialmente en el tipo multirrotor, equipados con sensores y cámaras a bordo. En la actualidad, esta tecnología se ha consolidado principalmente en el ámbito de la investigación, debido a que estos modelos ofrecen un alto nivel de seguridad durante vuelos experimentales, permitiendo el desarrollo de prototipos tanto en espacios interiores como exteriores, incluso para situaciones donde no existe disponibilidad de señal GPS. La popularidad de estos dispositivos radica en su potencial como plataforma experimental, tanto en términos de arquitectura de software, hardware y desarrollo de modelos matemáticos para el control de vuelo.

En los últimos años, el cuadricóptero DJI Tello se ha destacado como una de las opciones más populares para la investigación, gracias a su disponibilidad como una plataforma dedicada al aprendizaje de programación como en los lenguajes Scratch y Python para el desarrollo de proyectos. El DJI Tello ha sido elegido para esta revisión debido a su capacidad de ser programado en Python, lo que permite incorporar paquetes con funciones avanzadas como movimientos aéreos, facilitando así la navegación y el trabajo con la información proporcionada por la cámara integrada en el dron.

Aunque el DJI Tello está diseñado principalmente para uso en interiores y para pruebas de prototipos, sus capacidades operativas están limitadas en comparación con otros drones más avanzados. No obstante, su sistema de posicionamiento visual y su cámara integrada ofrecen múltiples oportunidades de aprendizaje.

En esta revisión se detalla la información relevante sobre el hardware y software necesarios para la comunicación y manipulación del dron DJI Tello. Este escrito incluye un análisis de sus capacidades y limitaciones, apartir de su manual y proyectos de la investigación, proporcionando una base sólida para su uso en futuros proyectos, cómo controlar el DJI Tello utilizando Python o mediante el sistema operativo de robots (ROS).

1 Dron DJI Tello

Compacto y eficiente, el DJI Tello es un dron estabilizador ligero y de bajo costo, pero de alta calidad, desarrollado en colaboración con Shenzhen Ryze Tech. Este dispositivo combina la avanzada tecnología de control de vuelo de DJI con un procesador de Intel, lo que le permite ejecutar maniobras aéreas, así como despegar y aterrizar desde la palma de una mano. Su operación es sencilla y puede realizarse tanto a través de un dispositivo móvil como desde un computador.

La parte frontal del DJI Tello está equipada con una cámara capaz de retransmitir video en resolución 720p y capturar fotografías de 5 megapíxeles durante el vuelo. Su avanzado procesador de vuelo coordina los movimientos de la cámara, ofreciendo una amplia gama de ángulos de grabación personalizados.

El sistema de posicionamiento utiliza una cámara montada en la parte inferior del dron que apunta hacia abajo para asegurar un movimiento vertical estable mediante el Sistema de Posicionamiento Visual (VPS). Además, el dron cuenta con un sensor de tiempo de vuelo (TOF) y una unidad de medición inercial (IMU) que le permiten detectar colisiones, interrumpiendo el empuje para evitar que caiga al suelo.

Finalmente en cuanto a duración de vuelo, el DJI Tello incluye una batería con una duración de vuelo de hasta 13 minutos.

Gracias a su popularidad y a la compatibilidad con el "Tello SDK", que permite su programación en Python, existen diversas bibliotecas de código abierto que facilitan la emisión de comandos para controlar el dron, así como la obtención de información sensorial y la transmisión de video desde su cámara frontal.

1.1 Información extraída del manual del usuario Tello Ryze.

Esta sección contiene la información más importante sobre el hardware, software y la comunicación con el DJI Tello.

Un dron consiste de distintos componentes como: Cuerpo, motores, hélices, controlador de vuelo, batería, receptor o bluetooth, cámara o video transmisor y algunos sensores como se muestra en las tablas: 1, 2, 3, 4 y 5

1. Características Técnicas

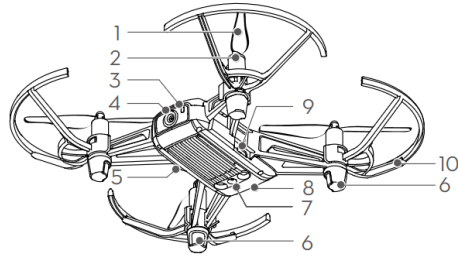
	1. Hélices
	2. Motores
	3. Indicador de estado de la aeronave
	4. Cámara
	5. Botón de encendido
	6. Antenas
	7. Sistema de posicionamiento visual
	8. Batería de Vuelo
	9. Puerto Micro USB
	10. Protectores de hélices

Table 1: Características técnicas

2. Especificaciones del dron

Peso	87 g
Dimensiones	98x92.5x41 mm
Hélice	3 pulgadas
Funciones Integradas	Sensor Telemetrico
	Barómetro
	LED indicador
	Sistema de Visión
	Wi-Fi
	2.4 GHz 802.11n
	Streaming en tiempo real 720p
Puerto	Puerto de carga de batería USB
Rango de temperatura de funcionamiento	De 0°C a 40°C (de 32 °F a 104 °F)
Rango de frecuencia de funcionamiento	De 2.4 to 2.4835 GHz
Transmisor (EIRP)	<20 dBm (FCC)
	<19 dBm(CE)
	<19 dBm(SRRC)

Table 2: Especificaciones del dron

3. Detalles en Operación

Distancia máxima de vuelo	100 m
Velocidad máxima	80 m/s (28,8 km/h)
Tiempo máximo de vuelo	13 minutos (sin viento a 15 km/h [9 mph] sostenidos)
Altura máxima de vuelo	30 m

Table 3: Detalles en operación

4. Detalles de la batería de vuelo

Re-movible y recargable	Si
Capacidad nominal	1100 mAh
Voltaje nominal	3.8 V
Tipo	Lipo
Energía	4.18 Wh
Peso neto	25 \pm 2g
Rango de temperatura cuando carga	De 5°C a 45°C (de 41° a 113 °F)
Potencia máxima de carga	10 W
No. de modelo	GB1-1100mAh-3.8V

Table 4: Detalles de la batería de vuelo

5. Sensores

Acelerómetro	Detalles no proporcionados
Sensor de presión (Barómetro)	Detalles no proporcionados
Sensor de flujo óptico	Detalles no proporcionados
Geolocalización	No disponible (sin GPS)
Wi-Fi	IEEE 802.11n 2.4GHz
Cámara frontal	Estabilización electrónica de imagen
FOV	82.6°
Resolución de video	1280 x 720 pixels (HD, 30 fps)
Resolución de imagen	2592 x 1936 pixels (5 MP)

Table 5: sensores

1.2 Comunicación

El fabricante del Tello proporciona el SDK (kit de desarrollo de Software), que incluye información necesaria como la arquitectura del software, comandos y el método de conexión que permite a los usuarios comunicarse con los drones a través del protocolo User Diagram Protocol (UDP), este facilita la transmisión de información, utilizando una red Wifi del DJI Tello, mediante una dirección IP y un puerto en el dron pueda recibir los mensajes [Afidah et al., 2023]. Su implementación puede escalar hasta controlar 100 drones individualmente [Virbora et al., 2022].

Cabe mencionar que el protocolo UDP no tiene mecanismos de control de flujo y retransmisión, lo que significa que no podemos tener la certeza de que los datos enviados llegarán a su destino [Giernacki et al., 2022], en cambio obtendremos mensajes de respuesta.

1.3 UDP host y puertos

La dirección IP compartida es `http://192.168.10.1/`, mientras que los servicios compartidos dependen de tres puertos básicos que utilizan diferentes puertos UDP lo que permite una comunicación full-duplex con el dron. En la figura 1 se muestra un resumen de la configuración completa utilizado para fines de investigación y educativos.

1. **Puerto UDP 8889:** Permite enviar comandos que controlan directamente el vuelo, movimientos de traslación y rotación (Los comandos se encuentran en sus respectivos manuales) [Petrovič and Verčimák, 2024]. Comandos principales de ejemplo en la tabla 6:

1.3.1 Comandos

Como se menciona anteriormente el protocolo no proporciona los estados del procesamiento pero si devuelve la respuesta del comando como OK—Falso y los podemos clasificar en 3 tipos:

- (a) **Control** Se utiliza para controlar el dron. Si el comando se ejecuta correctamente, envía el mensaje "OK" o en caso contrario "Falso". Ver Tabla 6.
- (b) **Read - Lectura** Se utiliza para obtener información del dron. Su respuesta son valores de parámetros. Ver Tabla 6.
- (c) **(Set - Configuración)** Establece un nuevo valor de parámetro. envía el mensaje "OK" o en caso contrario "Falso". Ver Tabla 6.

Control		
Comando	Descripción	Respuesta
takeoff (despegar)	Despegue automático	OK—Falso
land (Aterrizar)	Aterrizaje automático	OK—Falso
cw	Girar en el sentido de las agujas del reloj [1, 360] grados	OK—Falso
ccw	Girar en sentido antihorario [1, 360] grados	OK—Falso
Read - Lectura		
battery	Obtener el porcentaje actual de batería	—%
height	Obtener la altura actual	—cm
Set - Configuración		
up x	Volar hacia arriba hasta llegar a x	—cm

Table 6: Comandos principales de ejemplo, extraídos del manual

2. **Servidor UDP 0.0.0.0 puerto 8890:** Proporciona información del estado del dron por telemetría como orientación como subir, bajar, rotar (roll, yaw) y moverse hacia adelante o hacia atrás (pitch), velocidades de traslación, aceleraciones, nivel de batería y altitud actual obtenida tanto por presión barométrica como por sensor de tiempo de vuelo.
3. **Servidor UDP 0.0.0.0 puerto 11111:** Se encarga de transmitir y recibir el video de la cámara que incorpora.

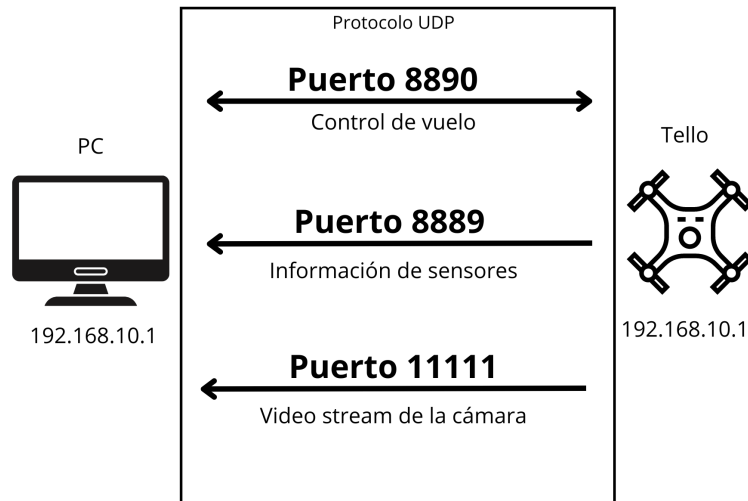


Figure 1: Arquitectura del sistema de comunicación.

1.4 Interacción - Software

Existen principalmente dos entornos para controlar el DJI Tello basados en el lenguaje de programación Python:

1. Software Development Kit -SDK

La primera forma es mediante un dispositivo móvil, utilizando la aplicación oficial Tello SDK o Tello EDU, diseñada para propósitos educativos.

Esta funcionalidad permite transmitir comandos a un controlador de vuelo a bordo, facilitando tanto el vuelo manual como el autónomo, así como la ejecución de movimientos típicos de un cuadricóptero, como subir, bajar, rotar (roll, yaw) y moverse hacia adelante o hacia atrás (pitch) Ver imagen 2.

Adicionalmente, existen aplicaciones con soporte para tareas avanzadas, como la calibración del sensor IMU, el ajuste del centro de gravedad y la implementación de modos de vuelo especiales. Entre estos modos se incluyen volteretas 8D, giros de 360°, vuelos en círculo, y con la cámara integrada, el dron puede realizar tareas como tomar fotografías, grabar videos, e incluso detección y seguimiento de rostros.

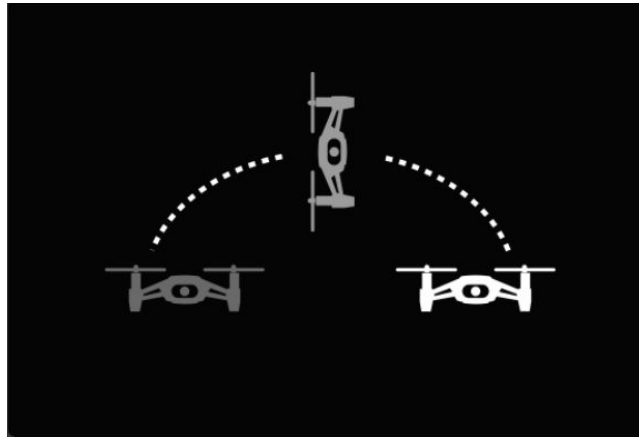


Figure 2: Cuadricóptero DJI Tello voltereta 8D (desde la aplicación de Tello).

Estas características hacen que el Tello sea completamente accesible para el usuario en cuanto a navegación y control de vuelo, permitiendo enfocarse en el desarrollo de modelos que procesen la información obtenida a partir de la cámara. [Bhujbal and Barahate, 2022]

2. Mediante entornos de programación

El sistema SDK, basado en bibliotecas de python, permite conectarse al dron mediante distintos entornos comunicándose por el protocolo UDP.

- **Scratch (node.js):** Este sistema de codificación de MIT Media Labs que enseña a los niños y adolescentes los fundamentos de la programación. Basado en una conexión wifi que envía paquetes de control UDP al dron desde un programa node.js que se ejecuta en segundo plano en la misma computadora que Scratch, comunicándose con el complemento Scratch a través de sockets TCP locales.
- **Python Tello SDK:** La comunidad contribuye con mejoras en las bibliotecas que mejoran el proceso de control y comunicación. Lo siguiente son paquetes para controlar el DJI Dron Tello por la comunidad:

- (a) **DJITelloPy Sitio:** <https://github.com/damiafuentes/DJITelloPy>
- (b) TelloPy Sitio: <https://github.com/hanyazou/TelloPy>
- (c) dji-sdk Sitio: <https://github.com/dji-sdk/Tello-Python>

Estas bibliotecas demuestran las capacidades de Tello y utilizar su tecnología como el sistema de visión para control de vuelo, auto navegación y reconocimiento de objetos.

- **ROS:** Basado en Ubuntu, es un paquete de la biblioteca TelloPy, en el ambiente de ROS1 que ofrece más funcionalidades que el SDK oficial de Tello o cualquier otra biblioteca no oficial. sitio: http://wiki.ros.org/tello_driver. Su mayor ventaja es que proporciona herramientas que permite simular el dron en un entorno de Gazebo y Rviz y migrar el sistema a un dron real para realizar la misma tarea en el mundo real.

1.5 ¿Cómo vuela un dron?

Los drones se clasifican según el número de hélices que utilizan. Por ejemplo, un dron con cuatro motores es un "cuadricóptero", mientras que uno con seis es un "hexacóptero" y uno con ocho es un "octocóptero".

El dron Tello vuela gracias a la interacción entre el movimiento de sus hélices y los principios de la aerodinámica.

1. Hélices contrarrotativas:

El Tello cuenta con cuatro hélices encargadas de generar la fuerza necesaria para que el dron pueda volar. Cuando los motores comienzan a girar, las hélices generan una fuerza ascendente que permite al dron despegar [Khamidehi et al., 2022].

Estas hélices están dispuestas en pares diagonales:

- Dos giran en sentido horario y dos en sentido antihorario. Este diseño cancela el torque, evitando que el dron gire descontroladamente y manteniéndolo estable en el aire, Ver imagen 3.

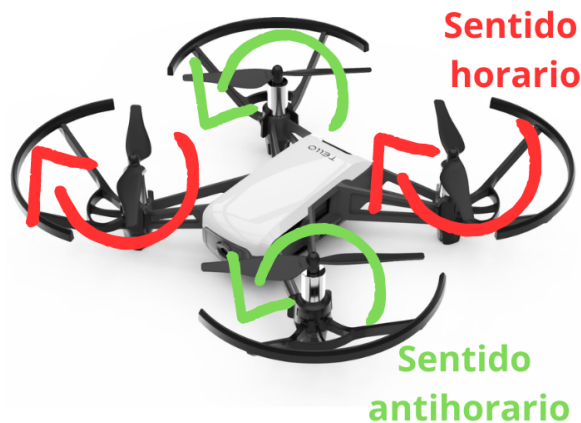


Figure 3: Sentidos de las hélices de un dron.

Las hélices están configuradas para que el momento angular total sea cero, lo que mantiene al dron estable y estacionario.

Gracias al movimientos de los motores y hélices el dron puede moverse con cuatro grados de libertad, lo que significa que puede trasladarse en tres direcciones (adelante/atrás, izquierda/derecha, arriba/abajo) y rotar sobre su eje vertical. A continuación se explica cómo se logran estos movimientos:

2. Estabilidad Inicial:

- Las hélices están diseñadas para que el momento angular total sea cero, permitiendo que el dron se mantenga estacionario.

3. Movimiento Vertical (Subir/Bajar):

- **Subir:**

Aumentar la velocidad de todos los motores genera una fuerza que supera el peso del dron, haciéndolo ascender.

- **Bajar:**

Reducir la velocidad de los motores disminuye la sustentación, permitiendo el descenso.

4. Flotar en el Aire

- Para flotar, los motores ajustan su velocidad para igualar la sustentación con el peso del dron, manteniéndolo en una posición fija.

5. Traslación Horizontal (Adelante/Atrás, Izquierda/Derecha)

Para moverse en una dirección específica, el dron ajusta la velocidad de las hélices de manera que se cree un desbalance en la elevación Ver imagen 4.

- **Inclinación Lateral:**

- (a) **Inclinación lateral (Roll - Izquierda/Derecha):**

Para moverse a la izquierda, se disminuye la velocidad de los motores del lado izquierdo y se aumenta la de los del lado derecho, inclinando el dron en esa dirección. Para moverse a la derecha, se hace lo opuesto Ver imagen.

- (b) **Inclinación adelante/atrás (Pitch- Adelante/Atrás):**

Para avanzar, se disminuye la velocidad de las hélices frontales y se aumenta la de las traseras. Para retroceder, se invierte el proceso.

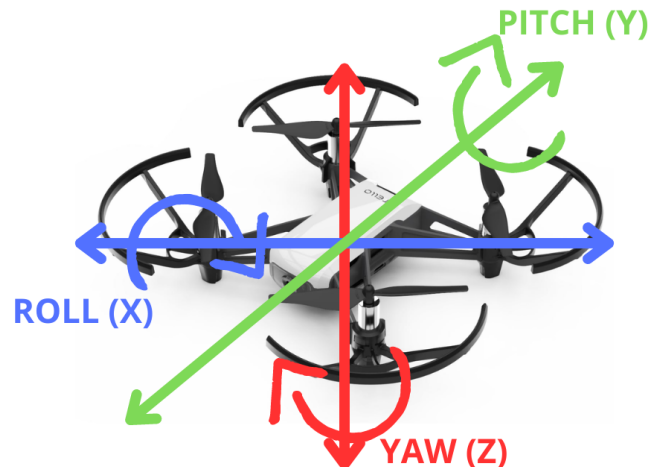


Figure 4: Movimientos Roll, Pitch y Yaw

6. Movimientos de Rotación (Yaw):

Permite girar en su propio eje (izquierda o derecha), Ver imagen 4.

- **Girar en Sentido Horario:**

Reducir la velocidad de los motores que giran en sentido horario y aumentar la de los antihorarios.

- **Girar en Sentido Antihorario:**

Reducir la velocidad de los motores que giran en sentido antihorario y aumentar la de los horarios.

7. Estabilidad y Sensores:

- **IMU (Unidad de Medición Inercial):**

Detecta movimientos y aceleraciones, ajustando los motores para mantener la estabilidad y orientación. consecuencia para corregir la posición y orientación del dron.

- **Sensores de Visión:**

Ayudan al dron a mantener su posición y a aterrizar de forma precisa.

1.6 Movimientos de un Drone Tello

Basado en la investigación de [Fahmizal et al., 2023], se desarrollo un código a través del IDE de Pycharm, implementando distintas funciones de movimientos de la biblioteca de Tello SDK y el manual del drone Ryze en el IDE de Pycharm, donde el cuadricóptero DJI Tello se controlará a través de un teclado.

Las funciones de algunas teclas del keyboard se utilizarán para controlar el vuelo del cuadricóptero. Para controlar estos vuelos, se requieren varias bibliotecas disponibles en Pycharm:

- djitellopy 2.4.0 del autor Damia Fuentes
- numpy 1.24.4
- opencv-python 4.4.0.46
- pillow 10.4.0
- pygame 2.1.3

*El entorno creado en Pycharm, se ejecuto con Python 3.8.

Todas las bibliotecas se agregaron desde el IDE, algunas se instalan automaticamente con bibliotecas complementarias. Ademas permitira leer las condiciones del cuadricóptero cuando el Tello y el IDE están conectados bajo el siguiente esquema de comunicación, Ver imagen 5.

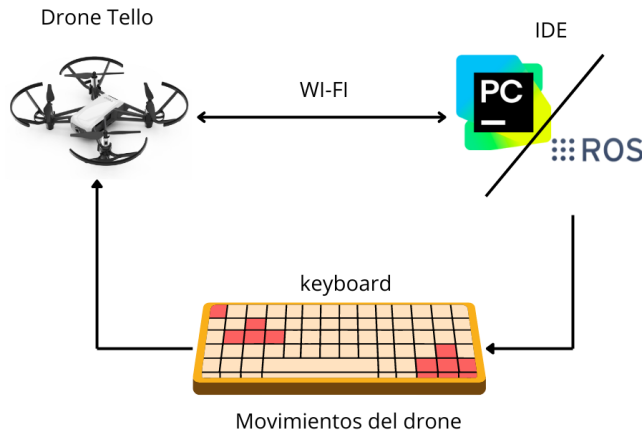


Figure 5: Esquema de funcionamiento del proceso de control del DJI

Se resume en que el software Pycharm IDE conectado a DJI Tello a través de Wi-Fi. Mientras que los comandos o funciones son administrados y procesados por el IDE, donde el control con el teclado afectarán el movimiento del cuadricóptero DJI Tello.

1.7 Comentarios

- A pesar de ser un dron sin GPS, es muy estable. La calidad del video es bastante decente y el aterrizaje también es preciso.
- El DJI Tello se controla mediante una aplicación en un teléfono móvil iOS o Android. También es posible controlarlo mediante un joystick Bluetooth conectado a través de la aplicación.
- Sistema de posicionamiento por visión - VPS. Tello consta de un módulo infrarrojo 3D. El VPS es capaz de trabajar en un rango de 0,3 m a 30 m de altura, siendo las condiciones óptimas de trabajo de 0,3m a 6m de altura.
- Una desventaja del VPS es que no funciona correctamente en superficies planas monocromáticas o brillantes, y se ve perturbado por objetos en movimiento o cuando no está a una altura adecuada. En esas situaciones, Tello comienza a buscar de forma autónoma un punto diferente, y esto está fuera del control del usuario o del programa de control remoto.
- Para aumentar la precisión del posicionamiento del UAV y evitar su desviación, se utiliza una fusión de datos de la IMU y del sistema de visión. Se han realizado estudios para leer los valores de la IMU, por medio de un control de vuelo mediante sus posiciones [Afidah et al., 2023].

References

- [Afidah et al., 2023] Afidah, D., Istiqphara, S., Abu, N. S., et al. (2023). Interface design of dji tello quadcopter flight control. *Journal of Fuzzy Systems and Control*, 1(2):49–54.
- [Bhujbal and Barahate, 2022] Bhujbal, K. and Barahate, S. (2022). Custom object detection based on regional convolutional neural network & yolov3 with dji tello programmable drone. In *7th International Conference on Innovation & Research in Technology & Engineering (ICIRTE)*.
- [Fahmizal et al., 2023] Fahmizal, Afidah, D., Istiqphara, S., and Abu, N. S. (2023). Interface design of dji tello quadcopter flight control. *Journal of Fuzzy Systems and Control*, 1(2):49–54.
- [Giernacki et al., 2022] Giernacki, W., Rao, J., Sladic, S., Bondyra, A., Retinger, M., and Espinoza-Fraire, T. (2022). Dji tello quadrotor as a platform for research and education in mobile robotics and control engineering. In *2022 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, pages 735–744. IEEE.
- [Khamidehi et al., 2022] Khamidehi, B., Raeis, M., and Sousa, E. S. (2022). Dynamic resource management for providing qos in drone delivery systems. In *2022 IEEE 25th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pages 3529–3536.
- [Petrovič and Verčimák, 2024] Petrovič, P. and Verčimák, P. (2024). Using programmable drone in educational projects and competitions. *arXiv preprint arXiv:2402.17409*.
- [Virbora et al., 2022] Virbora, N., Sokoeun, U., Saran, M., Channareth, S., and Saravuth, S. (2022). Implementation of matrix drone show using automatic path generator with dji tello drones. In *2022 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET)*, pages 1–5. IEEE.