

## Tecnologías open-source para vehículos aéreos autónomos

Las compañías de Drones dominantes como DJI, Parrot, SenseFly, Freefly, etc, ofrecen al mercado soluciones cerradas de hardware y software. Sus vehículos son de muy buena calidad y su fama es merecida. Pero si nuestra intención es aprender, experimentar, modificar o innovar con esta tecnología, entonces existen alternativas mejores que nos permiten hacer todo esto y más.

En este artículo describiremos las alternativas open-source disponibles para diseñar, construir y operar vehículos aéreos autónomos. Los componentes críticos analizados son: (1) hardware, (2) software, (3) comunicación, (4) cámara y video y finalmente (5) estructura y actuadores.



Existen un conjunto de proyectos open-source tanto de hardware como de software apoyados oficialmente por la Fundación Dronecode. Dronecode es, a su vez, parte de la Fundación Linux, la cual se dedica a fomentar el desarrollo y mantenimiento de proyectos

de software libre.

En sus propias palabras «The Linux Foundation provides a neutral, trusted hub for developers to code, manage, and scale open technology projects».

Por su parte la fundación Dronecode asegura que

The Dronecode Foundation fosters communities and innovation through open-standards using open-source. Dronecode is a vendor-neutral foundation for open source drone projects.

Desde un punto de vista más general, la revolución del mundo Drone está en plena marcha y ya ha cambiado la forma en que muchas industrias trabajan, y en el futuro cercano también cambiará la forma en que nos desplazamos en la ciudad.



A continuación describiremos las alternativas open-source que están detrás de todo esto.

# 1. Hardware de vuelo

El computador de vuelo Pixhawk es uno de los proyectos apoyados por Dronecode. Es una estándar que define el tipo de sensores y su interconexión con el computador de vuelo, baterías, cámaras u otros aparatos. Es el punto en común desde el que diversos fabricantes comercializan sus productos.

Uno de esos fabricantes es HolyBro que comercializa el producto Pixhawk 4. Una segunda opción es HEX/Proficnc y el producto The Cube Orange Standard Set. Una tercera compañía es Auterion con el producto Skynode. La imagen más abajo muestra estos tres productos.



Existe un excelente resumen de plataformas de hardware con estándar Pixhawk en la página web de Px4. Respecto a Px4 hablaremos en la siguiente sección, pero por ahora nos basta saber que existen múltiples alternativas de computadores de vuelo.

## 2. Software de vuelo

PX4 es un software de vuelo open-source que permite estimar el estado del vehículo y ejecutar algoritmos de control para estabilizar el vehículo usando bucles de control PID (o similares). También forma parte de los proyectos apoyados por la fundación Dronecode y es frecuentemente usado para volar aviones, multi-rotors y diseños experimentales.

### 2.1. Estimación

La primera tarea que todo computador de vuelo debe realizar es el procesamiento de sensores inerciales (acelerómetros, giroscopios, magnetómetro y barómetro), sensores de posición y velocidad como los GNSS (e.g. GPS, GLONASS, BDS y Galileo) y otros (odómetro láser, radar, etc). Estos sensores son combinados

junto a un modelo dinámico del vehículo para obtener una estimación de las variables

$$\mathbf{x} = [x, y, z, u, v, w, \theta, \phi, \psi, P, Q, R]^T \quad (1)$$

donde  $\mathbf{x}$  es el vector de estado,  $[x, y, z]$  la posición,  $[u, v, w]$  la velocidad,  $[\theta, \phi, \psi]$  la posición angular (i.e. ángulos de Euler) y finalmente  $[P, Q, R]$  la velocidad angular.

### 2.2. Control

Luego de realizada la estimación de las variables de estado del vehículo, se hace necesario el manipularlas según necesitemos a través de actuadores. Los actuadores son todos aquellos dispositivos que ejercen una fuerza y/o torque sobre el vehículo. Rotores, propulsores, alerones, elevadores, y un largo etcétera son ejemplos de actuadores.

Existen generalmente dos problemas típicos en la teoría de control. El primero es el problema de regulación, dónde queremos mantener al vehículo en un estado (e.g. vuelo estático a 5 m sobre el suelo, o vuelo a 5 m/s en dirección norte) determinado a pesar de las perturbaciones (e.g. viento, inestabilidades del motor, ruido en los sensores). El segundo es el problema de seguimiento, en donde queremos mantener el estado del vehículo (e.g. posición y/o velocidad) lo más cercano posible a una señal de referencia (e.g. comandos del piloto, ruta predefinida).

En cualquier caso, el sistema dinámico del vehículo es expresado como

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \quad (2)$$

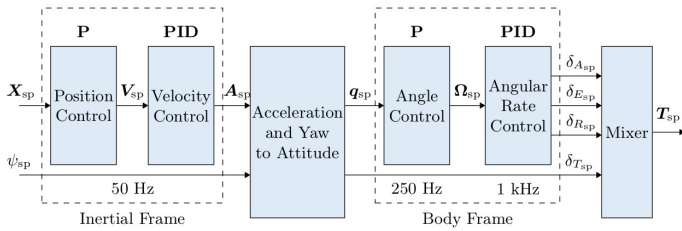
donde  $\mathbf{u}$  es el vector de variables de control (e.g. velocidad del motor, ángulo de deflexión del alerón).

Tanto Px4 como la mayoría de los software populares, utilizan las herramientas clásicas de control lineal y bucles PID para resolver el problema de seguimiento. En este caso se linealiza la dinámica del vehículo en torno a un vuelo estático para el caso de un multi-rotor, y vuelo a velocidad y altura constante para un avión. Así se obtiene un sistema

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} \quad (3)$$

donde tanto  $\mathbf{A}$  como  $\mathbf{B}$  son por lo general matrices con coeficientes constantes pero dependientes del punto de linealización. La derivación matemática de como diseñar un controlador queda para otra ocasión, pero para

el caso específico de un multi-rotor el resultado es el de la imagen de más abajo.



Fuente: <https://docs.px4.io/master/en/>

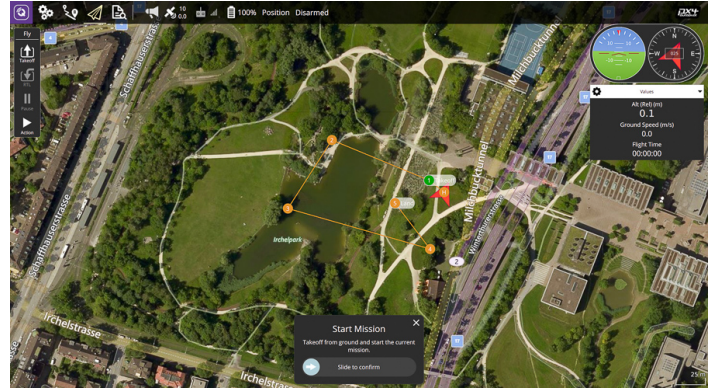
Las entradas al diagrama  $x_{sp}$  y  $\psi_{sp}$  corresponden a los comandos de desplazamiento en cuatro ejes provenientes del piloto (o piloto automático), la salida  $T_{sp}$  corresponde a las señales de control para cada uno de los motores del vehículo.

La velocidad a la que se ejecuta este bucle es de vital importancia, tanto en lo teórico como en lo práctico. En lo teórico existe una frecuencia por debajo de la cual el sistema de control no podrá estabilizar el vehículo. En la práctica los multi-rotor de peso mayor a 1kg son estables a partir de una frecuencia de control de 50 Hz. Esto es la cantidad de veces por segundo que se envían comandos a los motores. Los controladores de motore más modernos permiten llegar a los 400 Hz y hasta los 1000 Hz, permitiendo vuelos más suaves y precisos.

### 3. Comunicación

QGroundControl es también uno de esos proyectos apoyados por Dronecode. Es un software que provee las funcionalidades necesarias de una estación terrena basada en el protocolo de comunicaciones MAVLink. Es decir, configuración en tierra del vehículo, telemetría en vuelo del vehículo y gestión de misiones autónomas.

En concreto con este programa se puede saber planificar las zonas en que un vehículo volará, las zonas prohibidas, etc. Y una vez en el aire, conocer en todo en línea la posición, velocidad, carga de baterías y otros valores de vuelo importantes.



## 4. Capacidades de cámara y video

Evidentemente un vehículo aéreo que no pueda transportar cámaras, sensores y carga es de baja utilidad para los usuarios de esta plataforma. Es por ello que cualquier alternativa a las soluciones de las compañías comerciales dominantes debe contemplar esta utilidad. En conjunto, PX4 y QGroundControl permiten hacer streaming de video. Personalmente no he probado esta opción, pero es algo que planeo hacer pronto.



## 5. Estructura y actuadores

Las secciones anteriores han discutido diferentes aspectos de como volar un vehículo usando alternativas open-source, pero nada ha sido dicho respecto del aparato en si mismo. ¿Es todo lo anterior aplicable a un avión, un helicóptero o un multi-rotor?. Afortunadamente el nivel actual de la tecnología permite -hasta cierto punto- poder ocupar exactamente



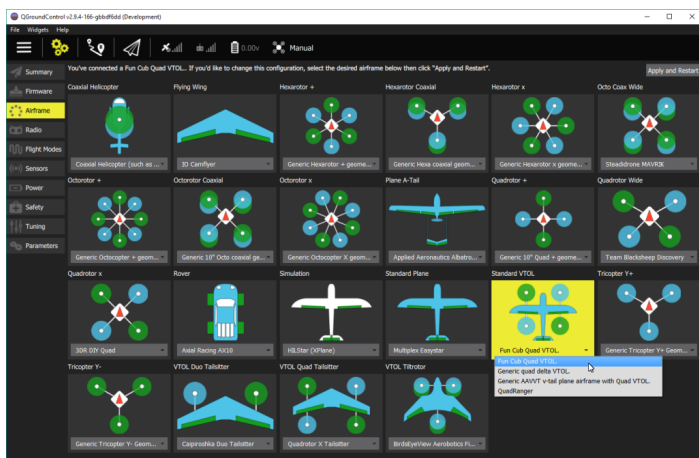
el mismo computador de vuelo, el mismo software y los mismos sistemas de comunicaciones para controlar vehículos muy distintos entre sí.

Desde un punto de vista ingenieril, La estructura de un vehículo aéreo soporta y ubica en posición a los actuadores (motores, hélices, superficies de control, etc). La estructura también da soporte físico a la carga principal del aparato (cámaras, sensores, pasajeros, etc). Además, la estructura también determina -en buena parte- las propiedades inerciales y aerodinámicas del vehículo. En términos simples: cuan fácil o difícil es mover y rotar al aparato (inercia), y que fuerzas y torques se generan al desplazarlo en un fluido (aerodinámica).

Las anteriores razones justifican decir que la forma y tamaño de un vehículo aéreo es una consecuencia del objetivo para el cual se diseñó. Si la función del aparato es realizar grandes desplazamientos de carga, entonces un diseño más cercano a un avión es óptimo. Si, en cambio, es necesario realizar operaciones en estático y a baja altura, entonces un diseño más cercano a un helicóptero o multi-rotor es óptimo.

Volviendo a lo practico, y tal como lo muestra la imagen siguiente, el ya mencionado software Px4 permite volar una gran cantidad de diseños predefinidos. Una lista con modelos comerciales (no necesariamente open-source) se puede ver en los siguientes enlaces

- [https://docs.px4.io/master/en/frames\\_multicopter/](https://docs.px4.io/master/en/frames_multicopter/)
- [https://docs.px4.io/master/en/frames\\_plane/](https://docs.px4.io/master/en/frames_plane/)
- [https://docs.px4.io/master/en/frames\\_vtol/](https://docs.px4.io/master/en/frames_vtol/)



En caso de tener un modelo sui-generis -como el vehículo coaxial Tdrone en la imagen siguiente- es posible incorporarlo, pero esto ya requiere de un mayor grado de conocimiento técnico y de un proceso de pruebas de vuelo que puede llegar a ser extenso.



Hasta el momento no he encontrado algún equivalente a Dronecode para modelos CAD de estructuras y actuadores. En buena parte porque el compartir y luego replicar un motor, una hélice o un engranaje es mucho más difícil que compartir software. Los siguientes enlaces (que no he usado personalmente) pueden servir como premio de consuelo.

- <https://clara.io/library?query=drone&gameCheck=true>
- <https://www.3dcadbrowser.com/3dmodels.aspx?download=drone>
- <https://grabcad.com/library/tag/drone>

En resumen, existe un solido sustrato de tecnologías open-source que permiten volar un gran número de diseños, desde los tradicionales a los más innovadores. Desde un punto de vista del usuario, la parte mejor desarrollada hasta el momento son el computador de vuelo y el software de vuelo, siendo todo lo relacionado con estructura y actuadores la parte menos madura. Diferentes compañías privadas también están avanzando para dotar a estos aparatos de con los últimos avances en visión computacional y automatización. Por ultimo, desde un punto de vista científico, el dotar a los Drones con mayores niveles de autonomía e inteligencia es un área en de investigación activa que se intersecta con la robótica, la biomecánica y la inteligencia artificial.

Tomás I. Opazo