

Prototipo de Estación Terrena con Apuntamiento Automático hacia un UAV

Vanessa Terán
Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de
Información
Escuela Politécnica Nacional
Quito - Ecuador
erika.teran@epn.edu.ec

Diego Reinoso
Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de
Información
Escuela Politécnica Nacional
Quito - Ecuador
diego.reinoso@epn.edu.ec

Resumen—Los UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) se han desarrollado a un ritmo vertiginoso en los últimos años debido al gran abanico de aplicaciones en los que se los utiliza hoy en día. En Ecuador, los UAV se están aplicando en varios ámbitos como por ejemplo el monitoreo de humedales o volcanes a través de misiones autónomas. En este tipo de misiones es muy importante disponer de un canal de comunicaciones entre el UAV y la estación terrena en todo momento para tener información de telemetría de la aeronave y enviar comandos a la misma. Cuando se necesita un enlace de comunicación de varios kilómetros es necesario utilizar antenas directivas por lo que se hace necesario tener una estación terrena con apuntamiento automático hacia el UAV. En este documento se presenta el diseño e implementación de una estación terrena que usa una controladora de vuelo de bajo costo que utiliza el firmware Ardupilot para apuntar automáticamente a un UAV. Los resultados muestran que el prototipo es capaz de hacer el apuntamiento automático hacia el UAV cubriendo una zona de 180° frente a la estación terrena.

Keywords—UAV, Mission Planner, Ardupilot, Controladora de vuelo, Telemetría.

I. INTRODUCCIÓN

Los UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) se han desarrollado a un ritmo vertiginoso en los últimos años debido a la amplia variedad de aplicaciones donde se están utilizando; entre estas aplicaciones se puede mencionar: vigilancia, supervisión de infraestructura, levantamiento cartográfico, investigación atmosférica, agricultura, monitoreo, entre otros [1]. Algunas de estas aplicaciones requieren que los UAV realicen vuelos a distancias de varios kilómetros, lo que presenta retos en ámbitos como autonomía y comunicaciones.

El UAV es parte de un UAS (*Unmanned Aerial System*) que también incluye la estación terrena y enlaces de comunicaciones [2]. Los enlaces que comúnmente utiliza un UAS son: de control, telemetría y video. Debido a que las misiones de los UAV son comúnmente autónomas, los enlaces de control son normalmente de corto alcance y no suelen sobrepasar los 300 metros. Por otro lado, los enlaces de telemetría y video deben estar disponibles durante toda la misión del UAV que en ciertos casos puede ser de varios kilómetros. Ejemplos de misiones de largo alcance son el monitoreo de humedales o volcanes donde el alcance requerido puede superar los 10 Km de distancia entre la estación terrena y el UAV [3]. En una misión como la mencionada, un enlace de video analógico necesita utilizar antenas directivas, requiriendo un sistema de seguimiento

automático en la estación terrena, que permita apuntar siempre al UAV.

En [4], se presentó un sistema de seguimiento de un UAV para establecer un enlace de comunicación con una estación de monitoreo en tierra. Este sistema implementó un prototipo fabricado con impresión 3D que estaba compuesto de una controladora de vuelo, servomotores, alimentación, transmisor de video, telemetría y antenas directivas. El principal componente del sistema es la controladora de vuelo que es la encargada de procesar la información de telemetría recibida con la posición del UAV y realizar el apuntamiento usando los servos de *tilt* y *yaw*. Para la controladora de vuelo (también conocida como autopiloto) se utilizó el hardware Pixhawk 4 [5] con Ardupilot[6], que provee de un firmware que realiza el apuntamiento automático en base a las posiciones GPS del UAV y estación terrena. Las dos principales limitaciones de este trabajo son que utiliza el hardware Pixhawk 4, el cual tiene un costo elevado, y que no permitía su montaje en un trípode para su fácil instalación en un ambiente de exteriores.

En este documento se presenta el diseño e implementación de un prototipo de estación terrena con apuntamiento automático hacia un UAV usando una controladora de vuelo de bajo costo que utiliza ardupilot; demostrando la factibilidad de que otras controladoras de vuelo compatibles con ardupilot se puedan utilizar. Además, para el diseño del prototipo se tomó en cuenta la facilidad de instalación en ambientes de exteriores por lo que se consideró que pueda ser montado en un trípode. El resto del documento está organizado de la siguiente manera: la Sección II presenta la metodología utilizada para el diseño e implementación del prototipo. Luego, la Sección III presenta los resultados y discusión. Finalmente, la Sección IV presenta las conclusiones alcanzadas de este trabajo.

II. METODOLOGÍA

En esta sección, se presentan los requerimientos, selección de la controladora de vuelo, esquema de conexión y configuración del prototipo.

A. Requerimientos

Como principales requerimientos se tiene que la controladora de vuelo esté disponible en el mercado, debe tener un costo bajo y deber ser compatible con Ardupilot. La controladora de vuelo debe contar con al menos 6 pines para tierra (GND), 6 pines de 5V, 2 puertos seriales (USART), 1 puerto I2C y 2 pines de señal PWM.

Otros requisitos adicionales del prototipo se presentan a continuación:

- Plataforma portátil y montable en trípode.
- Movimiento *pan* y *tilt* en la estación terrena.
- Capacidad para instalar el enlace de telemetría entre la plataforma de seguimiento y el UAV apuntado.
- Telemetría: posición real y distancia en referencia a la estación terrena.
- Alimentación de 5V para la controladora.
- Alimentación con batería.
- Capacidad de operación de al menos 3 horas.

B. Selección de la controladora de vuelo y otros componentes electrónicos.

El componente principal del prototipo es la controladora de vuelo y comúnmente se utiliza el Pixhawk PX4, aunque, su costo es elevado en el país (suele costar sobre los \$400). Por otro lado, hay una gran variedad de otras controladoras compatibles con Ardupilot en el mercado internacional que también pueden ser utilizadas; sin embargo, puede ser complicado su compra e importación. En el Ecuador hay un distribuidor de la marca Mateksys que dispone de algunas controladoras como: MATEK F405-STD, MATEK F722-SE y MATEK F405-SE. De las 3 controladoras, la MATEK F405-STD es compatible con Ardupilot, cumple con los requerimientos de hardware previamente planteados, está disponible en un distribuidor local y tiene un costo de \$44; por esta razón esta controladora fue elegida para el prototipo.

Los otros componentes electrónicos que fueron seleccionados para el prototipo fueron: Módulo regulador Step Down 5a XI4015, Batería LiPo turnigy 3s 2200 mAh, Servo MG996R Tower Pro de 180°, Magnetómetro GY 271, GPS NEO-6M, Kit de telemetría de radio 3DR, Receptor de video Eachine ROTG01 Pro UVC OTG 5.8G y Antena mini PATCH SPIRONET 8dBi RHCP. Estos componentes se seleccionaron para el cumplimiento de los requerimientos y tratando de que se encuentren disponibles en el mercado nacional. Algunos componentes como el kit de radios de telemetría, receptor de video y antena fueron prestados por el Laboratorio de UAVs de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la EPN. La figura 1 muestra el diagrama de conexión de los diferentes componentes a la controladora de vuelo.

C. Instalación de firmware y configuración de la controladora de vuelo.

Se instaló en la controladora Ardupilot con su especificación de AntennaTracker y versión específica para la placa Matek F405-STD. Para la configuración de la controladora se la conectó a una PC utilizando un cable USB y se utilizó el software *Mission Planner*. Usando esta aplicación se procedió a la calibración del acelerómetro y magnetómetro siguiendo la documentación de Ardupilot. Finalmente, se cambió la configuración de los parámetros presentados en la Tabla 1.

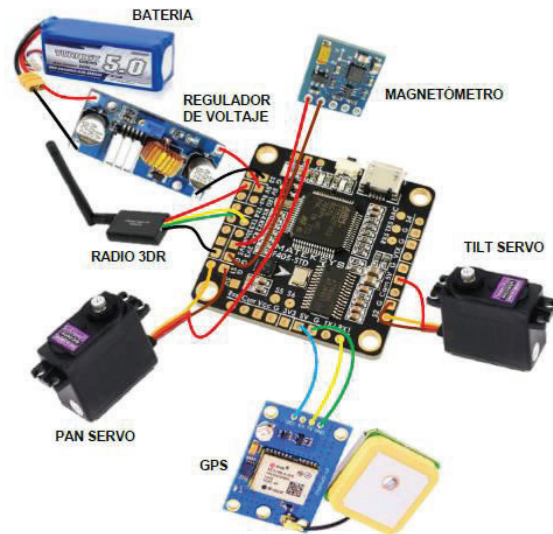


Figura 1. Esquemático de conexión de los elementos

TABLA 1: PARÁMETROS CONFIGURADOS EN LA CONTROLADORA

| Parámetro | Descripción | Valor |
|---------------------|---|-------------|
| AHRS_ORIENTATION | Orientación de la controladora | 25 |
| COMPASS_ORIENTATION | Orientación del magnetómetro | 8 |
| RC1_MAX | Valor máximo de señal del servo 1 | 2200 |
| RC1_MIN | Valor mínimo de señal del servo 1 | 800 |
| RC1_REVERSED | Indica si la dirección del servo se encuentra invertida | 0 |
| RC1_TRIM | Valor neutral del servo 1 | 1500 |
| RC2_MAX | Valor máximo de señal del servo 2 | 2000 |
| RC2_MIN | Valor mínimo de señal del servo 2 | 1050 |
| RC2_REVERSED | Indica si la dirección del servo se encuentra invertida | 0 |
| RC2_TRIM | Valor neutral del servo 2 | 1500 |
| SERIAL3_PROTOCOL | Modo de operación del serial 3 | 5 (GPS) |
| SERIAL2_BAUD | Velocidad de Tx del serial 2 | 57 |
| SERIAL2_PROTOCOL | Modo de operación del serial 2 | 1 (MAVlink) |
| SYSID_THISMAV | Identificador del UAV a ser apuntado | 2 |

D. Implementación de la estructura mecánica del prototipo

Se seleccionó como base un diseño de thingiverse para modificar ciertas piezas y ajustar a los elementos conectados. Otras piezas se diseñaron usando Fusion360. Todas estas piezas fueron impresas en la impresora 3D creality ender3 V2, que posteriormente serán ensambladas, dando forma al prototipo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El prototipo final se presenta en la Figura 2, donde se aprecian todos los componentes conectados y su ensamblaje. Asimismo, se puede ver que el prototipo se encuentra montado sobre un trípode operando solo con la

batería. El prototipo puede operar sin necesidad de estar conectado a *Mission Planner* con un cable USB. También, éste se puede conectar a *Mission Planner* para poder visualizar la información generada por la controladora o la recibida del UAV.

Inicialmente, se realizaron pruebas con un servo de rotación continua en el eje *yaw*; sin embargo, no se obtuvieron buenos resultados ya que la rotación unidireccional del *yaw* causaba que los cables de alimentación se estrangulen y el prototipo dejaba de rotar. Debido al problema mencionado, el prototipo se construyó con un servomotor de 180° en el eje *yaw*.

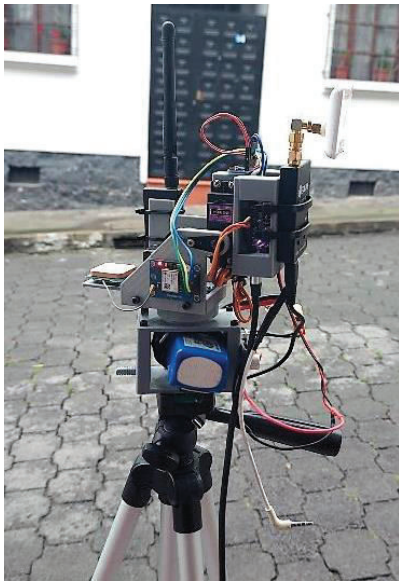


Figura 2. Prototipo de estación terrena

Las primeras pruebas se realizaron con el simulador de *Mission Planner*, el cual permite planificar y crear misiones autónomas. Los datos de la simulación son enviados al prototipo de seguimiento a través del radio de telemetría, por lo que se puede comprobar su correcto funcionamiento en diferentes escenarios. Se probaron 4 escenarios en los que la misión se realizaba en la parte frontal, posterior, lateral izquierda y lateral derecha con respecto al frente del prototipo. Estas pruebas permitieron determinar que, cuando se usa un servo posicional, la cobertura en el eje *yaw* está limitada a 180° y por consecuencia, es muy importante que el frente del prototipo apunte a la zona de interés como muestra la Figura 3.

Finalmente, se realizó una prueba real con un UAV de ala fija que transmitía la información de telemetría y video. Con esta prueba se pudo comprobar el correcto apuntamiento del prototipo.

IV. CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó un prototipo de estación terrena con apuntamiento automático hacia un UAV utilizando una controladora de vuelo de bajo costo. El prototipo fue

construido usando componentes disponibles en el mercado nacional y con piezas fabricadas en una impresora 3D.

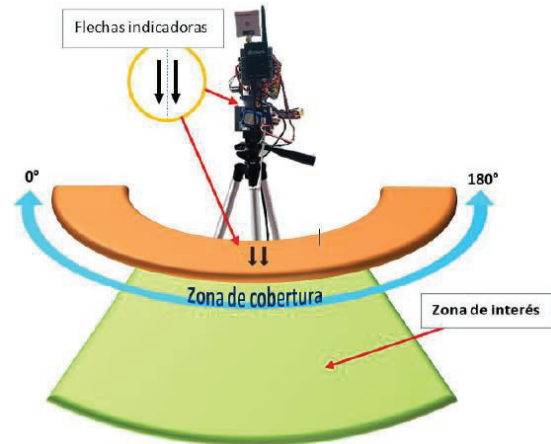


Figura 3. Orientación recomendada para la estación terrena

En las pruebas realizadas mediante simulación en el software *Mission Planner*, se pudo observar que una de las limitaciones del prototipo, cuando se usa el servo posicional de 180° es el área de cobertura, ya que solo puede cubrir un campo de 180° en la parte frontal. Con las pruebas físicas realizadas entre la estación terrena y el UAV en tierra se verificó que el enlace de video opera correctamente, esto se debe a que la antena direccional de video acoplada en la estación terrena apunta adecuadamente hacia el UAV. Como trabajo futuro se plantea rediseñar la plataforma para que pueda operar con un servo de rotación continua y aumentar la zona de cobertura a 360°.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento al Laboratorio de UAVs de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la EPN y al Dr. Esteban Valencia por su contribución con el préstamo de equipos para la realización de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] I. Guvenc, W. Saad, M. Bennis, C. Wietfeld, M. Ding and L. Pike, "Wireless communications, networking, and positioning with unmanned aerial vehicles [Guest Editorial]," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 5, pp. 24-25, May 2016, doi: 10.1109/MCOM.2016.7470931.
- [2] S. R. Ganti and Y. Kim, "Implementation of detection and tracking mechanism for small UAS," *2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Arlington, VA, USA, 2016, pp. 1254-1260, doi: 10.1109/ICUAS.2016.7502513.
- [3] E. Valencia, V. Alulema, and D. Rodríguez, "Wetland monitoring using unmanned aerial vehicles with electrical distributed propulsion systems." *Propulsion Systems*, vol. 51, 2019.
- [4] S. O. Changoluisa and I. D. Cayo, "Integración y automatización de un sistema de seguimiento de un UAV para establecer un enlace de comunicación con una estación de monitoreo en tierra," tesis, EPN, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito, 2018.
- [5] "Holybro Pixhawk 4", PX4 user guide, [Online]. Available: https://docs.px4.io/main/en/flight_controller/pixhawk4.html. [Accessed: 10-Aug-2023].
- [6] "ArduPilot", [Online]. Available: <https://ardupilot.org/>. [Accessed: 10-Aug-2023].