

# Sistema de comunicación para un Helicóptero Quadrotor

Linus Casassa 2490011-8  
Profesor: Agustín Gonzalez

**Resumen**—El interés por los helicópteros quadrotors ha ido en aumento estos últimos años especialmente por las universidades. Eso se debe a la gran capacidad de movimiento que tiene, la simpleza en la construcción y porque es una buena plataforma para aprender. Este documento tratará del enlace de comunicación entre el helicóptero y el computador que se encuentra junto al operador.

## I. INTRODUCTION

Cada vez se hace más eminente la necesidad de que los helicópteros decidan por si mismos para cumplir un objetivo particular como por ejemplo tomar una foto aérea de algún sector. Para lograr esto hay hartos aspectos que hay que tomar en cuenta como la construcción del mismo, la robustez frente a vientos, etc. para luego preocuparse de que logre los objetivos deseados. Para llevar a cabo todo esto, es necesario un sistema de depuración inalámbrico, el cual se podrá usar para asignar y modificar los objetivos. En este trabajo nos concentraremos en diseñar e implementar dicho sistema.

Los helicópteros modelos escala, se encuentran generalmente entre aficionados donde el operador es quien controla remotamente el aparato. En el mercado de los aviones y helicópteros radio controlados se puede encontrar el control de mando con el transmisor y el receptor. Generalmente tienen un alcance de 2 km y es unidireccional. Este mando es muy fiable, además cumple los requisitos de tiempo real necesarios para tener el control a distancia. Adicionalmente, por un tema de seguridad, si el sistema autónomo fallara, se puede desactivar y operar como si fuera cualquier helicóptero no autónomo.

Sin embargo, este control de mando, al no contar con comunicación bidireccional, hace necesario otro canal inalámbrico.

En una primera instancia el helicóptero de este proyecto será a escala de aproximadamente 1 metro cuadrado mirado desde arriba y que podrá levantar un kilogramo, suficiente para sostener una cámara fotográfica.

Actualmente, el quadrotor se encuentra en etapa de programación del control automático para lograr estabilidad. Es aquí donde es necesario este sistema inalámbrico para

poder graficar las variables en cuestión y modificar los parámetros del sistema de control.

Para no perder todas las virtudes de este control remoto, que son difíciles de obtener, se optó por agregar un segundo canal inalámbrico que cumpla con el resto de los requisitos: poder graficar variables, modificar parámetros y, asignar y modificar los objetivos que debe cumplir el sistema autónomo. Para ello se encontró un dispositivo que reemplaza un cable serial por un enlace inalámbrico con un alcance de 2 km. Por motivos de costos se usará uno idéntico pero con un alcance de 500m.

Con este sistema inalámbrico se podrá continuar con el desarrollo del controlador que estabiliza el helicóptero para luego continuar con la parte autónoma.

## II. EL HELICÓPTERO

El helicóptero quadrotor consta de 4 motores con sus respectivas hélices como se muestra en la figura 1. La principal ventaja comparado con un helicóptero convencional son las piezas mecánicas; el quadrotor es menos propenso a fallas por tener menos piezas mecánicas. Y gracias a su tipología de hélices, es capaz de levantar más peso.



Fig. 1. Helicóptero Quadrotor. Esta foto es solo referencial

En primera instancia se usará un microcontrolador para la

captura de variables y estabilización del helicóptero. Cuando el helicóptero logre un vuelo estable se procederá a instalar un computador que hará la parte autónoma.

En la figura 2 se muestra el diagrama eléctrico en el helicóptero. El receptor PPM es el canal inalámbrico donde el transmisor es un control de mando que tiene el operador y el enlace RF es el canal bidireccional que comunica el computador del operador con el microcontrolador.

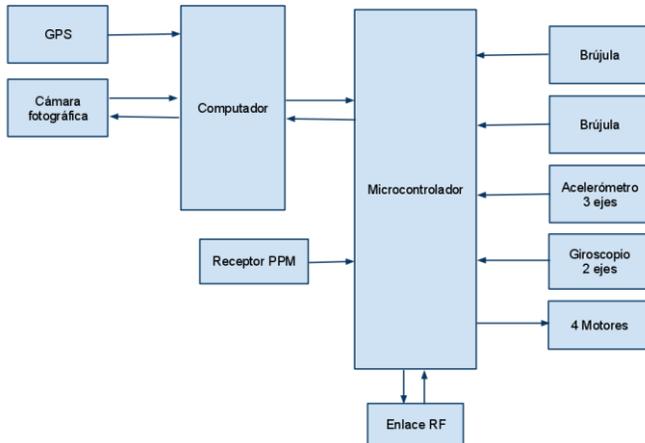


Fig. 2. Diagrama electrónico

El microcontrolador se encargará de las siguientes tareas:

- Obtener los valores de aceleración y de velocidad angular.
- Actuar sobre los motores.
- Obtener las variables del receptor PPM.
- Estabilización con lazos de control.
- Implementar el protocolo que se usará con el computador del operador a través del receptor RF.
- Reflejar los datos bidireccionales entre el enlace RF y computador.

El Computador se encargará de:

- Controlar el microcontrolador de tal forma que se cumplan los objetivos autónomos.
- Correrá la aplicación que cumple los objetivos autónomos.
- Tomará la foto cuando sea pertinente.

Cuando el microcontrolador reciba el comando de activar el modo autónomo a través del enlace RF, éste comenzará a reflejar los datos entre el enlace RF y el computador. Y así el computador del operador podrá comunicarse inalámbricamente con el computador del helicóptero. Para volver al modo manual, se empleará alguna secuencia en el control de mando por el receptor PPM.

En el microcontrolador se implementará el control automático que estabilizará el quadrotor. Las referencias del control automático serán definidas por el operador en el control de

mando controlando así el movimiento del helicóptero. Pero cuando entre en modo autónomo, el computador a bordo tomará el control de estas referencias.

### III. REQUERIMIENTOS DEL CANAL INALÁMBRICO BIDIRECCIONAL

#### A. Hardware

##### 1) 500 metros de enlace inalámbrico:

Por ser el primer prototipo y por disponibilidad de acceso, se utilizará como espacio para pruebas de vuelo, la cancha de fútbol de la Universidad Técnica Federico Santa María, que consta de 90 metros por 65 metros de área. De acuerdo a estas medidas, no se requiere más de 100 metros de enlace inalámbrico, aunque por tema de seguridad, se exigirán 500 metros.

##### 2) Tasa de transferencia de subida (Helicóptero a operador) de 600 Bytes/s

Para depurar se requiere graficar por lo menos 3 variables de 16 bits cada una con un refresco de 100 muestras/s. En otras palabras se requieren  $3 \cdot 16[\text{bits}]/8[\text{bits/bytes}] \cdot 100[\text{muestras/s}] = 600 [\text{Bytes/s}]$

#### B. Protocolo

- 1) Envío bidireccional de parámetros de largo variable.
- 2) Chequeo de integridad.
- 3) Hay dos tipos de parámetros:
  - Con tolerancia a errores. Ejemplo: parámetros que se graficarán.
  - Sin tolerancia a errores. Ejemplo: modificación de los parámetros de control o los objetivos a cumplir. Esto hace necesario el uso de acuse de recibo para verificar si el receptor recibió bien los datos.

### IV. ELECCIÓN DE HARDWARE

En el mercado hay varias opciones pero hay una opción que cumple por lejos todos los requerimientos en especial la distancia del enlace que es de 2 km. La empresa que creó este dispositivo se llama HAC y el modelo es HAC-LM96 (Fig. 3). Sin embargo, para el proyecto usaremos el HAC-UM96 que es idéntico al HAC-LM96, excepto por la distancia de 500 m de enlace.

Este dispositivo está orientado a reemplazar un cable serial por lo tanto la transmisión de los datos es por byte.

La tasa de transferencia es de 9600 baudios y por cada byte de dato se agrega un bit de start bit y un bit de stop bit. Eso significa  $9600 [\text{bits/s}]/(8+1+1)[\text{bits/bytes}] = 960[\text{bytes/s}]$ . Los requerimientos dicen que se necesitan 600 [bytes/s] por lo cual el protocolo no puede agregar más de 360 [bytes/s]. En otras palabras si el dato a enviar es de  $3 \cdot 16[\text{bits/paquete}]/8[\text{bits/bytes}] = 6[\text{bytes/paquete}]$  el paquete completo no puede ser más de  $960[\text{bytes/s}]/100[\text{paquetes/s}] = 9.60 [\text{bytes/paquete}]$ . Por lo tanto el protocolo no puede ser más de 3.6 bytes en promedio.



Fig. 3. HAC-LM96

## V. ELECCIÓN DEL PROTOCOLO

El protocolo propuesto está conformado por un carácter de inicio, otro carácter indicando el comando,  $n$  caracteres; donde  $n$  es la cantidad de argumentos del comando, y el carácter verificador de integridad del paquete o checksum como lo muestra la figura 4.

Dado que el carácter de inicio podría aparecer a lo largo de la trama, es necesario tener un carácter de escape y agregarlo justo antes de cualquier carácter de inicio y escape que no corresponda al comienzo de la trama.

Cada comando tiene definido en una tabla cuantos son los parámetros que usa, por lo tanto, el transmisor y el receptor

Carácter de inicio	Comando	Argumentos del comando	Checksum
--------------------	---------	------------------------	----------

Fig. 4. trama

sabrán el largo de la trama sin necesidad de usar un carácter de término de trama.

El checksum se calcula como la suma contenida en 32 bits del comando, más sus argumentos. Luego se debe sumar cada byte de esos 32 bits. Con eso será muy difícil obtener el mismo checksum para dos tramas distintas por lo tanto tendremos asegurado la integridad de la trama.

Por cada trama se agregan 3 bytes y podrían agregarse más si se presenta en los datos el carácter de inicio o el de escape. Pero se eligen estos dos caracteres de tal forma que la probabilidad de que aparezcan sea baja y así en promedio no supera los 3.6 bytes que se tiene como restricción.

La necesidad de asegurar que una trama, con algún comando específico, ha sido ejecutada correctamente en el receptor, hace necesario un acuse de recibo. Éste se implementará como un comando nuevo llamado ACK. Al no recibir un ACK después de un tiempo de espera, se volverá a emitir la trama y así consecutivamente hasta recibir el ACK correspondiente. Esto asegurará al transmisor de que el receptor recibió correctamente la trama.

Los comandos que no responden ACK tienen un símil al UDP y los comandos que sí responden ACK, al TCP.

## VI. RESULTADOS

Cómo hasta el momento sólo se cuenta con el diseño del protocolo, y no las capas superiores, se probó el enlace graficando variables de los sensores como se ve en la figura 5 y se controló el encendido y apagado de un led.

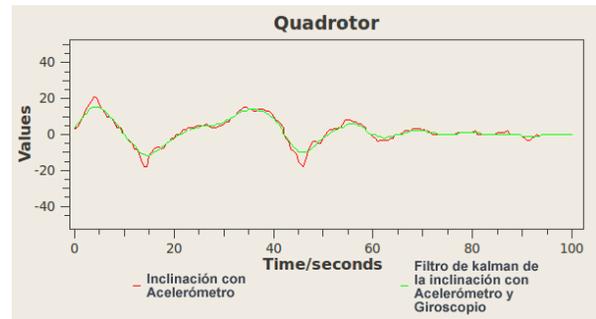


Fig. 5. Gráfico en vivo de las variables medidas.

El apagado y encendido del led no tiene tolerancia a pérdidas por lo tanto requiere ACK. En cambio perder un par de tramas en el gráfico no es imprescindible al ojo humano por lo tanto no requiere ACK.

El tiempo de respuesta fue mejor de lo esperado, sin embargo, cuando los datos contienen muy seguido los dos caracteres reservados, se produce pérdida de caracteres porque la tasa de transferencia requerida es mayor a la del enlace. Esto también imposibilita el cambio de transmisor a receptor y viceversa, debido a que el enlace inalámbrico es half duplex y necesita una pausa en la transmisión.

## VII. CONCLUSIÓN

El trabajo expuesto cumplió con todos los requerimientos, sin embargo se podría mejorar usando un enlace inalámbrico que sea full dúplex y con una tasa de transferencia mayor para disminuir los tiempos de respuesta y para poder transferir más datos. También se podría mejorar usando algún método de autenticación y encriptación para proporcionar seguridad sobre el mando porque actualmente es muy fácil que un tercero estropee la comunicación y más aún, podría llegar a controlar el helicóptero.

## REFERENCIAS

- [1] Z. Al-Khatib, J. Yu, H. G. Al-Khakani, S. Kombarji, & A. G. Aghdam. "A Wireless Multivariable Control Scheme for A Quadrotor Hovering Robotic Platform using IEEE® 802.15.4," IEEE student. [http://users.encs.concordia.ca/~z\\_alk/490/Application\\_Paper\\_v2\\_1.pdf](http://users.encs.concordia.ca/~z_alk/490/Application_Paper_v2_1.pdf)