

Capítulo 1

Sniffer i^2c

El cuadricóptero adquirido resuelve la comunicación entre los controladores de los motores (**ESCs**) y el microprocesador mediante el protocolo **i^2c** .

Para el presente proyecto resulta de vital importancia conocer dicho protocolo, ya que se utilizará otro microprocesador que deberá comandar a esos mismos ESCs, supliendo el trabajo del anterior. Es entonces imprescindible conocer al detalle el funcionamiento de este protocolo, para luego poder reproducirlo.

Dado que no se cuenta con la colaboración de los fabricantes, y toda la información parece ser privativa, no pudiendo conseguir dato alguno de su implementación, es necesario realizar un proceso de ingeniería inversa para poder analizar, decodificar, entender y reproducir el protocolo existente. Dicho proceso de ingeniería inversa se realiza utilizando el hardware existente del cuadricóptero comercial adquirido y un analizador lógico¹ que es capaz de leer e interpretar las líneas del bus i^2c sin intervenir en las mismas.

Antes de presentar los resultados obtenidos en el proceso, se realiza una breve introducción al protocolo i^2c y se presenta en la figura 1.1 la definición de los ejes a utilizar, lo cual será de utilidad más adelante.



Figura 1.1: Definición de ejes

¹ChronoVu

1.1. Introducción al protocolo i^2c

El bus i^2c es un bus de comunicaciones serie. Su nombre viene de *Inter-Integrated Circuit* (Circuitos Inter-Integrados).

Utiliza dos líneas para transmitir la información: una para los datos y otra para la señal de reloj. Además será necesaria una tercera línea de tierra, como referencia.

En la imagen ² se muestra un diagrama de un circuito equivalente simplificado de la conexión i^2c entre 2 dispositivos.

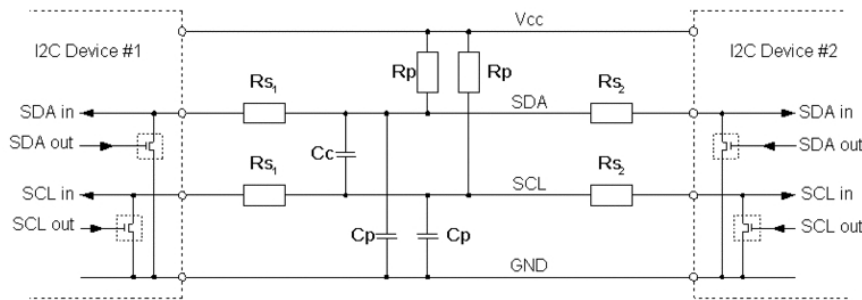


Figura 1.2: Conexión i^2c .

donde:

Vcc Voltaje de entrada, típicamente varía entre 1.2 V y 5.5 V

GND Tierra común

SDA Línea serial de datos

SCL Línea serial de reloj

Rp Resistencia de "Pull-up"

Rs Resistencia serie

Cp Capacitancia del cable

Cc Capacitancia de canal cruzado

Las líneas **SDA** y **SCL** son de drenador abierto, lo que significa que tanto el maestro como los esclavos solamente pueden conducir a nivel bajo estas líneas o dejarlos abiertos. Si ningún dispositivo i^2c está conduciendo hacia abajo la línea, la resistencia de *pull-up* R_p se encarga de conducir la línea a V_{cc} .

Cada dispositivo tiene asignada una dirección que lo identifica. Para establecer una comunicación la secuencia típica empieza por el maestro enviando una secuencia de comienzo de conexión, seguida de la dirección del esclavo con el cual desea comunicarse. Seguidamente el maestro envía un bit que determina si la acción que desea realizar es escritura o lectura, a lo que el esclavo correspondiente responde con un bit de *acknowledge* (**Ack**). Luego el maestro envía la dirección de memoria interna del esclavo donde debe ser almacenada la información enviada, y por último envía los datos. Para finalizar la conexión, el maestro envía una secuencia de fin de conexión.

²Imagen tomada de www.i2c-bus.org

1.2. Resultados

Como se dijo anteriormente, para realizar el proceso de ingeniería inversa se utilizó el cuadricóptero y un analizador lógico. La forma de operar es enviar comandos conocidos con el control remoto y analizar los datos que se cursan en las líneas del bus. En la figura 1.3 se muestra una foto del proceso descrito.

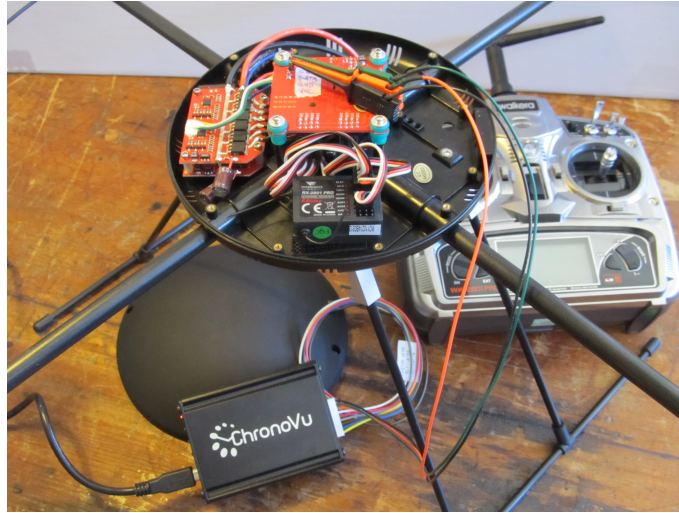


Figura 1.3: Proceso de lectura del bus.

Al realizar este proceso se puede observar que se repiten cada $2ms$ bloques similares al mostrado en la figura 1.4.

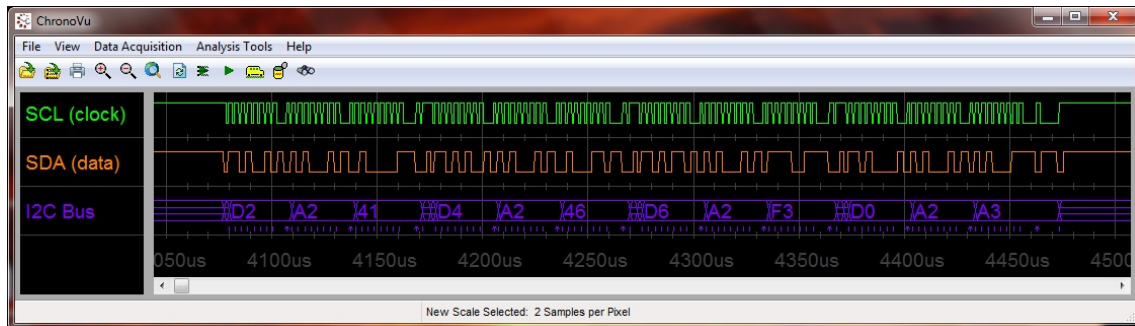


Figura 1.4: Bloque de transmisión i^2c

Rápidamente, visto lo anterior, se puede deducir que hay 4 esclavos correspondientes a los 4 ESC's de los 4 motores, cuyas direcciones en hexadecimal son **D0**, **D2**, **D4** y **D6**. La dirección de la memoria interna de los esclavos donde se almacenan los datos que envía el maestro es, en todos los casos **A2**. Además el maestro envía un tercer conjunto de datos que refiere, de alguna manera, a la velocidad con la que debe girar cada motor. Este conjunto de órdenes, agrupadas por bloques como el que se muestra en la figura 1.4, se repite periódicamente, indicando la velocidad con la que debe girar cada motor.

Pruebas

Para comprender las pruebas realizadas es importante dejar en claro algunos aspectos previos. En la figura 1.5 se muestra el transmisor utilizado para enviar comandos al cuadricóptero, un **Walkera WK-2801** y se indican los nombres de los mandos más importantes del mismo.



Figura 1.5: Transmisor

Al mover el mando de la izquierda (**Elev/Rudder**) en la dirección vertical (**Elev**) se logra que el cuadricóptero se eleve verticalmente, dando igual potencia a todos los motores, mientras que al moverlo en la dirección horizontal, el cuadricóptero presenta un movimiento de rotación según su eje vertical (que pasa por el centro).

Al mover el mando de la derecha (**Throttle/Ailer**) en la dirección horizontal (**Ailer**) y vertical (**Throttle**), se logran movimientos de rotación según los ejes horizontales x e y del cuadricóptero. Las definiciones de los ejes se pueden ver en la figura 1.1.

Se analizan las siguientes situaciones:

Id	Elev	Rudder	Ailer	Throttle	Movimiento
0	atrás ³	medio	medio	medio	idle
1	medio	medio	medio	medio	vertical hacia arriba con aceleración constante
2	adelante	medio	medio	medio	vertical hacia arriba con aceleración constante
3	medio	izquierda	medio	medio	giro según eje z
4	medio	derecha	medio	medio	giro según eje $-z$
5	medio	medio	izquierda	medio	giro según eje $-x$
6	medio	medio	derecha	medio	giro según eje x
7	medio	medio	medio	atrás	giro según eje $-y$
8	medio	medio	medio	adelante	giro según eje y

Cuadro 1.1: Pruebas realizadas

Se realiza un análisis de los resultados obtenidos para cada motor, graficando el contenido del byte de datos que se le transmite a cada motor. Se obtienen representaciones como la mostrada en la figura 1.6

En la figura 1.6 se puede observar que a los 4 motores les llega un byte con el valor promedio en 50, el cual corresponde a la mínima potencia entregada a los motores para encenderlos.

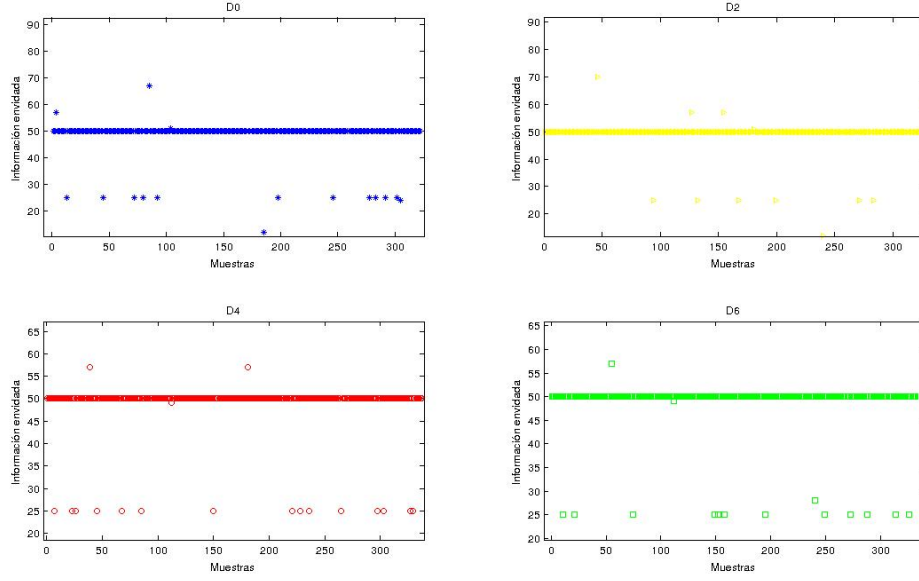


Figura 1.6: Prueba N° 0

Haciendo un análisis similar con el resto de las pruebas detalladas en la tabla 1.1 se construye la tabla 1.2 donde se muestran los valores enviados a cada motor en promedio en todas las pruebas.

Prueba	Valor promedio				Movimiento
	D0	D2	D4	D6	
0	50	50	50	50	Idle
1	80	140	180	140	$a_z = cte \neq 0$
2	180	220	250	240	$a_z = cte \neq 0$
3	160	70	60	250	giro según eje z
4	50	200	200	100	giro según eje $-z$
5	250	160	140	50	giro según eje $-x$
6	50	160	150	250	giro según eje x
7	90	50	250	160	giro según eje $-y$
8	110	250	50	100	giro según eje y

Cuadro 1.2: Resumen de los resultados obtenidos

De dicha tabla se pueden sacar algunas conclusiones importantes:

- La comunicación entre el amo y los esclavos por medio del protocolo i^2c se lleva a cabo mediante un formato del tipo

Dirección esclavo - Lugar de memoria donde guardar dato - dato

- Dicho formato se repite para todos los esclavos
- Cada esclavo recibe una actualización de estado (un dato nuevo) cada $2ms$

- La velocidad mínima de funcionamiento se logra enviando el valor 50
- La velocidad máxima de funcionamiento se logra enviando el valor 250
- La dirección de memoria interna de todos los esclavos donde se guardan los datos recibidos por el maestro es siempre 0x42 (ó 162).
- La correspondencia entre las direcciones y los motores se muestra en la figura 1.7. Mirando el cuadricóptero desde arriba, el motor con dirección 0xD0 es el de la derecha, el motor con dirección 0xD6 el de la izquierda, el 0xD4 el de adelante y el 0xD2 el de atrás.
- Las direcciones 0xD0, 0xD2, 0xD4 y 0xD6 (de 8 bits) en realidad no refieren únicamente a direccionamiento, sino que incluyen además el bit de lectura/escritura, por lo cual cada esclavo tendrá una única dirección de 7 bits. Notar que las direcciones 0xD0 a 0xD6 al pasarlas a binario todas terminan en 0, lo cual implica que se tratan de comandos de escritura. Al omitir el último bit se obtienen las direcciones (sin incluir el bit de lectura/escritura) como se puede ver a continuación:

$$0xD0(11010000) \longrightarrow 0x68(1101000) \quad (1.1)$$

$$0xD2(11010010) \longrightarrow 0x69(1101001) \quad (1.2)$$

$$0xD4(11010100) \longrightarrow 0x6A(1101010) \quad (1.3)$$

$$0xD6(11010110) \longrightarrow 0x6B(1101011) \quad (1.4)$$

Las direcciones de los motores son entonces: **0x68, 0x69, 0x6A, 0x6B**.

- En las pruebas 0, 1, 2, 5, 6 y 7 se observa que la suma del valor promedio enviado al motor D0 más el enviado a la dirección D2 es similar a la suma de los valores entregados a los motores con dirección D4 y D6, lo cual implica un equilibrio en los pares realizados en ambos sentidos. Se infiere entonces que el movimiento según el eje “z” se logra desequilibrando los pares en ambos sentidos (según “z” y según “-z”)

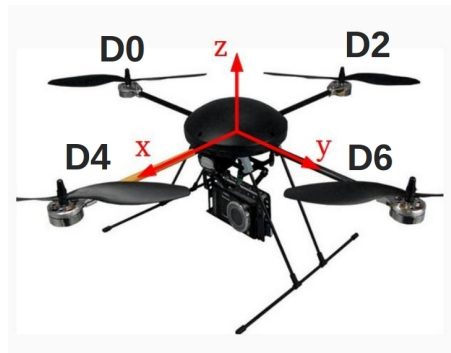


Figura 1.7: correspondencias