

Integración de un sistema háptico de realimentación en dispositivos portátiles de control remoto

Unax Arregi Ballester, Nicolás Medrano, Belén Calvo

Grupo de Electrónica de Potencia y Microelectrónica (GEPM)
Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)
Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.
Tel. +34-976762707, e-mail: 951247@unizar.es

Resumen

Los sistemas hápticos son clave en interfaces humano-máquina, al integrar información táctil en bucles de control. Este trabajo desarrolla un sistema háptico portátil para actividades de control remoto mediante la medida de la posición espacial de la mano y flexión de los dedos con realimentación mediante estimulación en corriente.

Introducción

El empleo de guantes de datos (*data gloves*) como interfaces en sistemas electrónicos y electro-mecánicos ha experimentado un auge reciente como periférico en sistemas de realidad virtual. Haciendo uso de diferentes tipos de sensores para la lectura de la posición de los dedos y la posición espacial de la mano, y procesando esa información en modo local con un microcontrolador integrado en el propio guante, estos sistemas pueden facilitar la interacción con diferentes dispositivos, desde computadoras a sistemas remotos. Mediante el empleo de una realimentación por estímulos de tipo háptico el usuario del *data glove* puede refinar la interacción con el sistema mejorando su experiencia.

Este trabajo presenta el diseño y aplicación de un sistema de control remoto de bajo coste basado en un guante con diferentes sensores incorporados, que procesa la información y la transmite en forma de comandos por RF a un sistema actuador, en este caso un dron. Un sistema háptico genera estímulos en corriente similares a sensaciones táctiles, que permiten al usuario conocer en todo momento el resultado de sus acciones.

Descripción del sistema

Para el adecuado desarrollo del sistema, su arquitectura se estructura en dos bloques firmware diferenciados: (i) adquisición de señales de los sensores del guante y generación de estímulos electrotáctiles; (ii) determinación de comandos a partir de las señales procesadas y comunicación

inalámbrica con un dispositivo objetivo. El montaje completo se puede ver en la Figura 1.

Dadas sus características, el microcontrolador escogido es un Arduino Nano RP2040. Colocado a modo de pulsera en la muñeca, la orientación de la mano es estimada tras la adquisición y procesado de las medidas de los 6 ejes del IMU integrado. Como el método tradicional de integración numérica de la IMU induce deriva en la posición, en la estimación de la orientación se aplica un filtro basado en el algoritmo de Mahony [1], que determina el valor de ese deslizamiento de forma iterativa y en tiempo real. El resultado obtenido es muy robusto y ligero computacionalmente. Este primer bloque se completa con cuatro sensores piezoresistivos flex [2] en los dedos del guante: al flexionar los dedos los sensores inducen un cambio de voltaje en divisores resistivos de los que forman parte, que son leídos por cuatro de los canales del ADC del microcontrolador. Por lo tanto, la información que proporcionan los sensores del guante nos permite conocer en tiempo real la orientación de la mano y posición de los dedos.

El sistema se completa con un módulo de electroestimulación nerviosa capaz de generar sensación táctil en diferentes zonas de la mano. Controlado por el microcontrolador, el sistema transmite señales en corriente de hasta 4.5 mA por el nervio mediano o el cubital mediante unos electrodos (Figura 2a), creando dos tipos de sensación táctil: una similar a pulsar un botón, enviando un pulso cuadrado de 50 ms; y otra similar a tocar una superficie rugosa, consistente en un tren de pulsos de 100 Hz y 400 μ s de tiempo en alto. La intensidad de los pulsos la proporciona un generador de corriente programable controlado a través de un potenciómetro digital. Así, el sistema es capaz de generar estímulo háptico en 11 zonas de la mano (Figura 2b).

Para comprobar su funcionalidad se ha implementado una interfaz para el control por RF de un dron, seleccionando un conjunto específico de comandos. De la salida filtrada de la IMU se obtienen

los valores de *yaw*, *pitch* y *roll* (giros en los tres ejes) que son enviados al vehículo. La aceleración de los motores se controla con la flexión de los dedos índice y corazón, mientras que la combinación de las lecturas de los dedos anular y meñique codifican 5 instrucciones diferentes: Despegue, aterrizaje, parada en seco, calibración y modo de piruetas (Figura 3). Un perceptrón multicapa entrenado con las lecturas de estos sensores y embebido en el microcontrolador permiten interpretar estas instrucciones. El control se realiza mediante paquetes de datos enviados al dron por el modulo WiFi NINA-W102 del microcontrolador, empleando protocolo UDP, más rápido y sencillo que TCP (Figura 4).

Finalmente, el sistema háptico se usa como telemetría para que el usuario sepa qué se está mandando realmente al dron. Los niveles de *yaw*, *pitch*, *roll* y *throttle* (aceleración), producen trenes de pulsos a los dedos índice, corazón, anular y a la palma de la mano, respectivamente, cuya intensidad depende del valor real de esos niveles. Para las órdenes despegue, aterrizaje, parada, calibración y modo piruetas, el sistema genera un pulso cuadrado de periodo 50 ms, permitiendo al piloto confirmar la ejecución del comando.

Conclusiones

El sistema desarrollado demuestra la viabilidad de un dispositivo controlador basado en una IMU y sensores piezoresistivos con retroalimentación

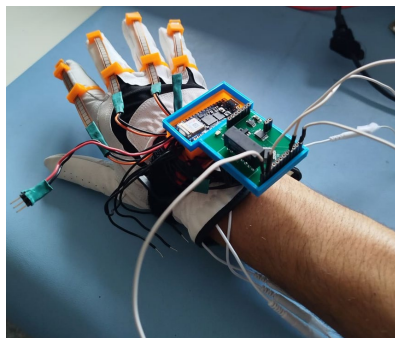


Figura 1: Fotografía del sistema completo.

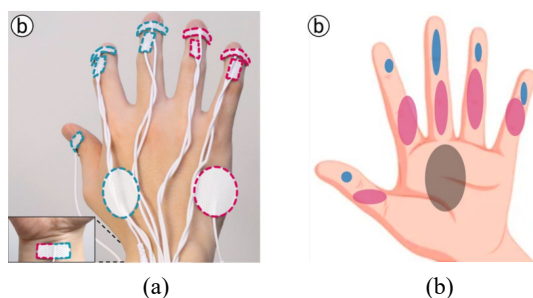


Figura 2: (a) Sistema de electrodos. En azul, electrodos para estimular el nervio mediano y en rojo el ulnar; (b) esquema de las 11 zonas estimulables. Adaptado de [3].

háptica electrotáctil en tiempo real de bajo coste. Aplicado al control de un dron, la combinación de estimación inercial con flexión de los piezoresistivos proporciona un comportamiento estable y suficientemente preciso para maniobras básicas y acciones de vuelo. El sistema completo consta de un microcontrolador con capacidad de conexión inalámbrica, un sistema de generación de pulsos de corriente con electrodos controlado por el microcontrolador y una batería que, instalados sobre un guante hacen que el sistema se altamente portable y compacto. La arquitectura separada en dos firmwares ha permitido validar de forma independiente el control aéreo y la estimulación, facilitando la depuración y la evolución modular.

REFERENCIAS

- [1]. Mahony, R.; Hamel, T.; Pflimlin, J.-M. *Nonlinear Complementary Filters on the Special Orthogonal Group*. IEEE Transactions on Automatic Control. Junio 2008, vol. 53, n.º 5, pp. 1203–1218. ISSN 0018-9286. DOI 10.1109/TAC.2008.923738.
- [2]. Spectra Symbol. SpectraFlex Flex Sensors. *Spectra Symbol: resistive flex sensors*. [Consultado el 19 mayo 2026]. En: <https://www.spectrasymbol.com/resistive-flex-sensors/spectraflex-flex-sensors>.
- [3]. Tanaka, Y.; Shen, A.; Kong, A.; Lopes, P. *Full-hand Electro-Tactile Feedback without Obstructing Palmar Side of Hand*. En: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Nueva York: Association for Computing Machinery, 2023. Article 80, p. 1–15. DOI 10.1145/3544548.3581382.

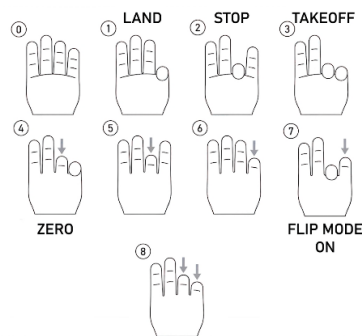


Figura 3: Posiciones de la mano y correspondientes comandos.

Construcción de Paquetes UDP de Control para el Dron E58

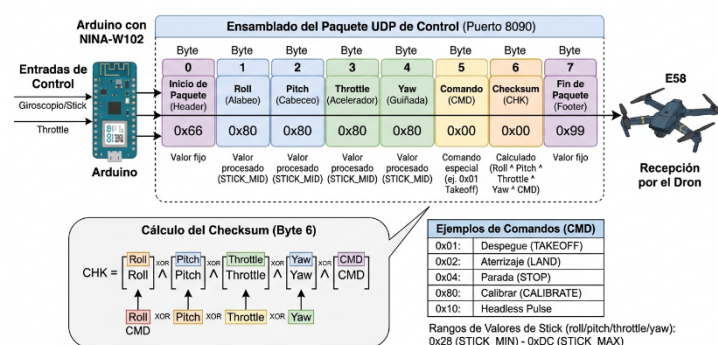


Figura 4: Esquema de la arquitectura de los paquetes UDP.