



Guante Háptico para Aplicación en Realidad Virtual

Nicolás Lorenzo Adrián Gil Biset Matías Eaton

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Buenos Aires

Cátedra Proyecto Final: Mg. Ing. Sebastian Verrastro, Mg. Ing. Pablo Sánchez, Mg. Ing. Mariano Vidal

Objetivo

Desarrollar un **guante háptico** capaz de registrar los movimientos de la mano del usuario y reproducirlos en tiempo real dentro de un entorno virtual desarrollado en Unity.

El sistema integra:

- Cinco sensores flexibles para determinar la flexión de los dedos.
- Una unidad inercial MPU6500 para estimar la orientación de la mano.
- Un microcontrolador ESP32 para adquisición y procesamiento.
- Comunicación mediante puerto serie y Wi-Fi/UDP.
- Un entorno virtual desarrollado en Unity.
- Actuadores vibratorios para proporcionar retroalimentación háptica.

El objetivo principal es establecer una interfaz **bidireccional entre el usuario y el entorno virtual**, permitiendo tanto capturar movimientos como generar una respuesta física ante eventos producidos en la simulación.

Arquitectura del sistema

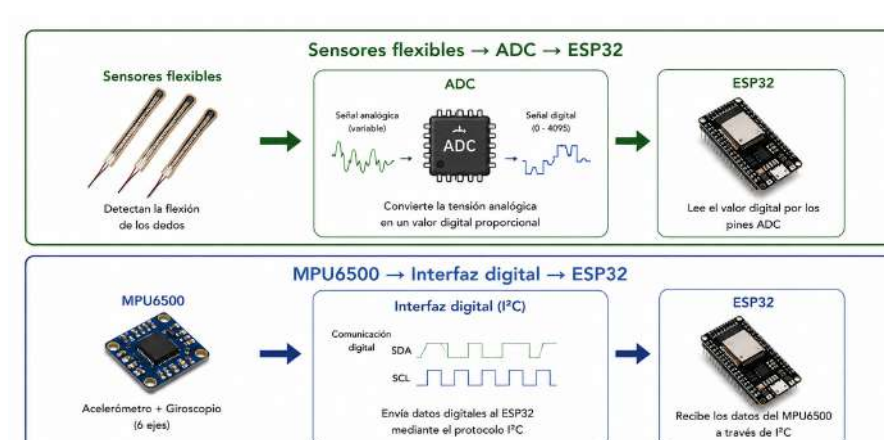
El funcionamiento general se basa en un ciclo cerrado de adquisición, procesamiento, representación virtual y retroalimentación háptica.



Adquisición y procesamiento

Los sensores flexibles modifican su resistencia en función de la curvatura de los dedos. Las señales obtenidas son convertidas mediante los ADC del ESP32 y normalizadas entre 0 y 1.

El MPU6500 proporciona aceleraciones y velocidades angulares sobre tres ejes. A partir de estas mediciones se realiza una **fusión sensorial** para estimar la orientación de la mano, representada mediante cuaterniones.



El firmware fue organizado mediante **FreeRTOS**, distribuyendo las funciones de adquisición, procesamiento, comunicación y respuesta háptica en tareas independientes.

Comunicación

El sistema permite dos modalidades de comunicación:

- **Serie:** comunicación cableada a 115200 baudios.
- **Wi-Fi/UDP:** comunicación inalámbrica para permitir libertad de movimiento del usuario.

Los datos enviados incluyen el cuaternión de orientación, los cinco valores normalizados correspondientes a los dedos y el estado de la batería.

Prototipo desarrollado



El prototipo integra los sensores y la electrónica directamente sobre el guante, buscando minimizar el cableado externo y mantener la movilidad natural de la mano.

Información del proyecto

- Proyecto Final – Ingeniería Electrónica.
- Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Buenos Aires.
- Desarrollo basado en ESP32, MPU6500, sensores flexibles, FreeRTOS y Unity.

Entorno virtual e interacción

Unity recibe los datos procedentes del ESP32 y actualiza en tiempo real la orientación y el grado de flexión de los dedos del modelo tridimensional.

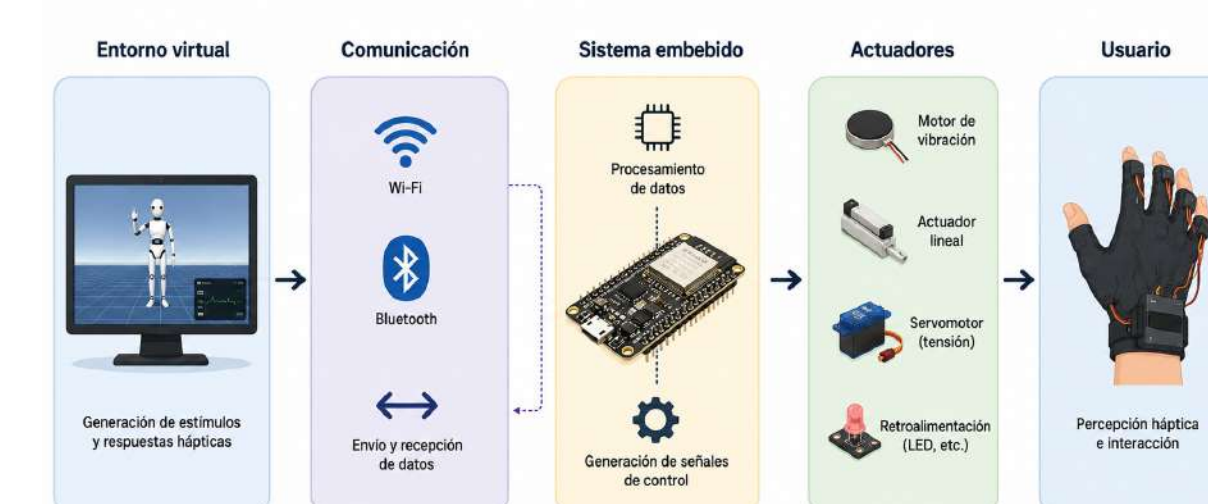
La aplicación permite:

- Replicar el movimiento de la mano.
- Abrir y cerrar individualmente los dedos.
- Tomar y liberar objetos virtuales.
- Accionar herramientas.
- Detectar impactos y eventos.
- Generar comandos de retroalimentación háptica.



Retroalimentación háptica

Cuando Unity detecta un evento válido, genera un comando que es enviado al ESP32. La tarea háptica interpreta dicho comando y activa el actuador correspondiente.



Resultados

Las pruebas permitieron verificar el funcionamiento integral del sistema:

- Seguimiento tridimensional de la orientación de la mano.
- Representación proporcional de la flexión de los cinco dedos.
- Comunicación estable mediante interfaz serie.
- Comunicación inalámbrica funcional mediante Wi-Fi/UDP.
- Manipulación de objetos dentro del entorno virtual.
- Generación de retroalimentación háptica ante eventos definidos.

Conclusiones

Se logró desarrollar un prototipo funcional capaz de integrar **senso, procesamiento, comunicación, representación virtual y retroalimentación háptica** dentro de una única plataforma.

El empleo del ESP32 permitió centralizar la adquisición de los sensores, ejecutar el algoritmo de estimación de orientación y gestionar simultáneamente las comunicaciones mediante FreeRTOS.

La comunicación serie presentó el comportamiento más estable, mientras que Wi-Fi/UDP permitió eliminar la conexión física con la computadora a costa de una mayor sensibilidad a las condiciones de la red.

La integración mecánica resultó un aspecto crítico: los sensores flexibles requieren libertad de desplazamiento longitudinal, mientras que el MPU6500 debe permanecer firmemente vinculado a la mano y correctamente orientado.

Como trabajo futuro se propone mejorar el diseño mecánico del guante, optimizar la comunicación inalámbrica, incorporar actuadores hápticos adicionales y evaluar algoritmos de estimación de orientación de mayor precisión.

Referencias principales

- [1] Espressif Systems, *ESP32 Series Datasheet*.
- [2] InvenSense, *MPU-6500 Product Specification*.
- [3] FreeRTOS, *FreeRTOS Kernel Documentation*.
- [4] Unity Technologies, *Unity Documentation*.