

Diseño y construcción de un guante de datos para el reconocimiento gestual de lenguajes gestuales complejos

José Antonio Jiménez-Montanés y Juan A. Holgado-Terriza

Centro de Investigación en Tecnologías de la Información y la Comunicación.
Universidad de Granada.
Granada, España
{zedwarck@gmail.com, jholgado@ugr.es}

Resumen: La interacción Hombre-Máquina está en constante evolución siendo la interacción gestual una de las interfaces más estudiadas en este ámbito. Sin embargo, las interfaces actualmente disponibles presentan diferentes tipos de problemas (oclusión, lecturas erróneas, etc.) para que puedan ser aplicadas al reconocimiento e interpretación de lenguajes complejos como el lenguaje de los sordomudos.

Para establecer los mecanismos necesarios para lograr una solución al problema de la detección y reconocimiento gestual en este artículo se estudia la fisiología humana gestual en la realización del gesto, la lengua de signos española (LSE) como lenguaje de gestos base, los dispositivos gestuales actuales, las técnicas utilizadas y sus mecanismos electrónico-sensoriales. Además, proponemos el diseño y construcción de un guante de datos junto con un sistema que lo controle con la finalidad de llevar a la práctica los estudios y conclusiones adoptadas de nuestra investigación.

Palabras clave: Guante de interacción, Control gestual, Reconocimiento gestual, Interacción Natural de Usuario.

Abstract: Human-Computer interaction is constantly evolving and gestural interaction is one of the most studied interfaces in this field. However, the currently available interfaces present different types of problems (occlusion, misreading, etc.) making difficult the recognition and interpretation of complex languages such as the language of the deaf-mute.

In order to establish the necessary mechanisms to achieve a solution to the problem of gesture detection and recognition, in this article the human physiology involved in gestures, the Spanish Sign Language (SSL) as a basic gestural language, the current gesture devices, the techniques used and their electronic-sensory mechanisms are studied in details. In addition, we propose the design and construction of a data glove together with a system that controls it in order to put into practice the studies and conclusions adopted by our research.

Keywords: Interaction glove, Gesture control, Gesture recognition, Natural user interaction.

1 Introducción

Vivimos en un mundo donde la comunicación esta globalizada gracias a Internet. Actualmente la barrera del idioma, gracias a los traductores (cada día más sofisticados), ha dejado de ser un motivo por el cual no se pueda establecer una comunicación, e incluso un diálogo, entre diferentes personas por todo el mundo utilizando distintos idiomas. Esta comunicación cada vez más globalizada nos lleva desde el punto de vista tecnológico a buscar nuevas formas de comunicación que faciliten establecer una comunicación fluida en la Aldea Global.

Los seres humanos utilizan en la interacción con otros humanos diferentes tipos de formas de comunicación como la comunicación escrita, la verbal o la gestual. Existen, sin embargo, algunas limitaciones o barreras por sobrepasar para una completa globalización de la comunicación humana en el caso de la comunicación mediante gestos. Estas barreras se deben a las diferencias culturales o incluso al desconocimiento del lenguaje utilizado como ocurre, por ejemplo, entre una persona sorda que habla utilizando un lenguaje de sordos y una persona no sorda que nunca lo ha estudiado. Incluso dentro de un mismo lenguaje gestual la barrera cultural es importante ya que un mismo gesto puede tener distintos significados en varias lenguas distintas.

Dentro del marco de la comunicación gestual existen diferentes tipos de lenguajes adaptados a entornos o contextos concretos, como por ejemplo el lenguaje que se usa para los pilotos de aviones o helicópteros en pistas de despeje, los gestos que realiza una autoridad sobre el tráfico rodado o de forma más compleja la lengua de signos que ayuda a la comunicación de las personas sordas.

Los lenguajes gestuales no solo se utilizan para transmitir información de una persona a otra, sino que también pueden establecer una interfaz de interacción entre el humano y la maquina por la cual el humano sería capaz de controlar la máquina de una manera cómoda y sencilla.

De todos los componentes que intervienen en la comunicación el gesto constituye una de las expresiones humanas más variada y mediante la cual es posible representar una idea o expresar una acción [2]. El uso del gesto en la interacción no es nueva, y se han presentado muchos trabajos aplicando el gesto y su clasificación (gestos estáticos y dinámicos) para adaptarlo a la interacción con las máquinas [3]. Se han propuesto distintas técnicas para lograr su captura y reconocimiento, tales como dispositivos basados en Guante de Datos (DataGlove, en inglés) [1], [4]–[6], dispositivos ópticos (e.g., Leap Motion, Kinect) [7]–[9], dispositivos basados en acelerómetros (IMU) [4], [10], [11], dispositivos táctiles (Touchscreen) [12], [13], dispositivos basados en señales electromiográficas (ej., MYO) [14], y dispositivos basados en tecnología infrarroja y magnética [15], entre otros. Todas estas soluciones presentan restricciones tales como: oclusión, pérdida de señal o calibración, lecturas erróneas, ruido, interferencia lumínica, electromagnética, etc., dependiendo de la tecnología utilizada.

Actualmente existen múltiples dispositivos gestuales que intentan disminuir las barreras del entendimiento gestual, o incluso crear nuevas formas de comunicación gestual como. por ejemplo, el control de una televisión con la mano o incluso el control total de una casa domotizada por medio de gestos [16]. Así mismo, algunos estudios sugieren sistemas basados en guante gestual para el control de otros dispositivos en general usando sistemas empotrados como base para la interpretación de comandos gestuales[17].

El reconocimiento e interpretación de un gesto es prácticamente inmediato entre humanos, salvo que el gesto realizado no sea conocido en el contexto del receptor. No sucede lo mismo con las máquinas. La identificación de un gesto para una máquina requiere aplicar una serie de algoritmos que le permitan, por un lado, reconocer el tipo de gesto realizado, y posteriormente aplicar la acción a realizar en la máquina. Este proceso requiere un tiempo de computo, que, si fuera excesivamente alto, podría producir un retraso tan alto que impedirían sincronizar el receptor con el emisor.

El tema de la presente investigación surgió por la idea de intentar desarrollar nuevas interfaces naturales basado en gestos que ayudase en un futuro a disminuir barreras de comunicación en este tipo de comunicación. Dado que existen múltiples soluciones que resuelven parcialmente el problema de la comunicación gestual, se ha optado en este trabajo por el diseño y desarrollo de un guante de interacción como dispositivo que facilite la interacción entre humanos y las máquinas. Por otra parte, se ha desarrollado un sistema basado en la utilización del guante para la captura y reconocimiento de gestos realizados con dicho guante.

2 El gesto y su fisiología

El gesto es una forma de comunicación humana no verbal que incluye el movimiento de las manos, la cara u otras partes del cuerpo. Con los gestos se puede expresar no solo palabras sino también sentimientos, pensamientos o servir como apoyo o refuerzo a otros sistemas de comunicación como el verbal. Este tipo de comunicación está fuertemente influido por una componente cultural que hace que algunos lenguajes gestuales tengan gestos diferentes para expresar la misma idea como, por ejemplo, el lenguaje de sordos.

En el caso de los gestos de las manos, las estrategias de reconocimiento se pueden dividir en métodos basados en dispositivos hardware, o en métodos basados en visión artificial. En el caso de los métodos basados en hardware, se usan diferentes dispositivos de rastreo entre los que se encuentran los guantes de datos, sensores resistivos flexibles y/o sistemas inerciales.

Los gestos de la mano realizados por un humano suelen clasificarse en gestos estáticos y gestos dinámicos. Los gestos estáticos son aquellos en los que el gesto se mantiene fijo durante un intervalo del tiempo, mientras que los gestos dinámicos son aquellos en los que la posición y orientación de la mano o sus dedos cambia con el tiempo desde una posición inicial a una posición final.



Figura 1. Visión fisiológica de un gesto tipo pronador de antebrazo.

Llevar a cabo un estudio fisiológico y anatómico de cómo se produce el gesto puede ser de vital importancia para no solo comprender como funciona la acción gestual sino para poder capturar los datos más relevantes que se generan en la formación gestual mediante determinados sensores.

Dicho estudio nos ha permitido localizar las zonas musculares que se activan al realizar distintos tipos de gestos, y de este modo podemos comprender cuál es la mejor ubicación para colocar sensores, qué tipo de sensores se pueden utilizar y con qué tipo de datos se puede trabajar. La figura 1 muestra los músculos que se activan al realizar la pronación del antebrazo.

3 Interacción natural basada en gestos

Para que una maquina pueda llevar a cabo una acción a partir de la realización de un gesto por parte de un humano, ésta debe de poder detectar, analizar e identificar dicho gesto para, a continuación, poder ejecutar la acción correspondiente. La elaboración de un gesto por parte de un humano comienza con el envío de una serie de impulsos nerviosos a los músculos implicados en la realización del gesto. Un sistema puede recoger los datos inerciales y de posición de las partes implicadas (mano, dedos) mediante sensores. Estos datos son tratados para extraer las características de los datos que identifican al gesto para que finalmente mediante un sistema de identificación/clasificación se pueda reconocer el gesto realizado y, consecuentemente, ejecutar la acción correspondiente en la máquina. En la siguiente figura 2 se muestran las etapas por las que pasa el reconocimiento e identificación de un gesto.



Figura 2. Proceso de identificación gestual por una máquina

- **Realización del gesto:** El usuario lleva a cabo el gesto estático o dinámico que debe ser reconocido por la máquina.
- **Captura de los datos sensoriales en el tiempo:** Los sensores en esta etapa capturan los datos que representan el movimiento y la posición en el espacio de la parte del cuerpo que realiza el gesto.
- **Extracción de características relevantes a partir de los datos:** Una vez obtenidos los datos que representan el gesto se lleva a cabo la extracción de la información relevante (características) que diferencien los diferentes gestos. Así se reducen los datos que deben ser tratados, lo que hace que el sistema más eficiente.

- **Identificación del gesto a partir de las características:** Se identifica un gesto a partir de las características extraídas en la etapa anterior mediante algún tipo de sistema de clasificación basado en técnicas de “Machine Learning” como SVM.
- **Ejecución de la acción asociada a un gesto identificado:** Al identificar el gesto este debe de asociarse a alguna acción, ya sea para realizar alguna acción física mediante otro dispositivo o incluso la selección de una etiqueta que se le asocie para obtener una interpretación del mismo.

4 Tecnologías para la detección gestual

Existen diferentes tecnologías que se pueden utilizar para la captura de gestos como, por ejemplo:

- **Tecnología óptica:** Gracias a técnicas de visión por computador y sensores que recogen la información a través de la luz como el uso de cámaras normales, infrarrojas, terahercios entre otras, podemos reconocer el gesto haciendo un seguimiento de la parte del cuerpo que lo genera mediante distintos métodos de segmentación y de procesamiento de imágenes.
- **Electromiografía:** La electromiografía es la captación de las señales eléctricas producidas por los músculos durante una contracción muscular. Estas señales son generadas por el intercambio de iones a través de las membranas de las fibras musculares debido a una contracción muscular.
- **Unidades de medición inerciales (IMU):** Es un dispositivo que combina un conjunto de sensores capaces de medir la aceleración, la velocidad angular y el campo magnético. Los sensores que son capaces de medir esas tres magnitudes son el acelerómetro, el giróscopo y el magnetómetro.
- **Sensores resistivos flexibles (FLEX):** Estos sensores detectan el nivel de curvatura al que se les somete a sí mismo. Es ideal para detectar movimientos de flexión y extensión como ocurre con los dedos.

5 Construcción de un guante gestual

El guante de interacción, construido para esta investigación, nos permite determinar el gesto que realiza el usuario a partir de la posición y el movimiento libre de dedos, manos y antebrazo. El gesto puede ser identificado como una postura o pose (gesto estático) o como un cambio de posturas desde una inicial a una final (gesto dinámico).

5.1 Diseño del hardware

El guante está compuesto por tres componentes hardware principales (figura 3): los *componentes de sensorización* encargados de la captación de datos (en verde), el *microcontrolador* encargado del procesado de los datos y un *transceptor* para la transmisión de dichos datos a través de Bluetooth a la unidad de procesado (gris).

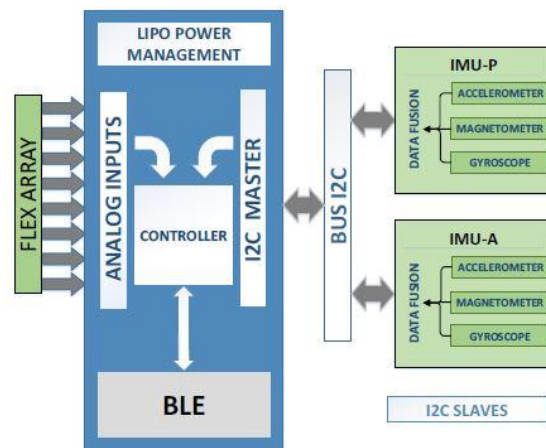


Figura 3. Arquitectura hardware de la solución adoptada

Los componentes de sensorización son esencialmente dos: los Flex resistivos y las IMU. Los Flex, permiten medir la flexión de cada dedo (pueden encogerse o estirarse). En cambio, las IMU nos permite medir el movimiento de la mano y del antebrazo a partir de los cambios de posición, la rapidez con que se realiza dichos cambios y la orientación que tiene con respecto al norte magnético. En el diseño del guante se han utilizado los siguientes componentes de sensorización:

1. Flex Array: Es un conjunto de sensores Flex de tipo resistivo que se conectan a un puerto analógico con un conversor analógico-digital de 10 bits. Los valores de resistencia son leídos de forma analógica por el controlador.

2. BNO055 (IMU-P): Es un sistema inercial que permite tratar los datos de cambio de posición, velocidad y orientación de la mano y del guante antes de ser enviados al controlador. En este caso, además se realiza un pre-cálculo de los Cuaterniones.

3. GY-80 (IMU-A): Es un IMU secundario instalado en la muñeca para la determinación de los ángulos de Euler. Su finalidad es proporcionar mayor robustez en la detección del gesto debido al grado de libertad de la muñeca en relación a la mano y antebrazo del usuario.

5.2 Prototipado

A lo largo de nuestra investigación se fueron creando diferentes prototipos del guante, mejorando siempre ciertos aspectos entre las distintas versiones. Podemos destacar fundamentalmente las siguientes tres versiones:

- **Prototipo inicial en protoboard:** En este prototipo inicial se evaluaron diferentes configuraciones electrónicas antes de llegar a la configuración final. Se estudió, no solo la viabilidad del sistema sino también la compatibilidad de la electrónica usada de los diferentes componentes.

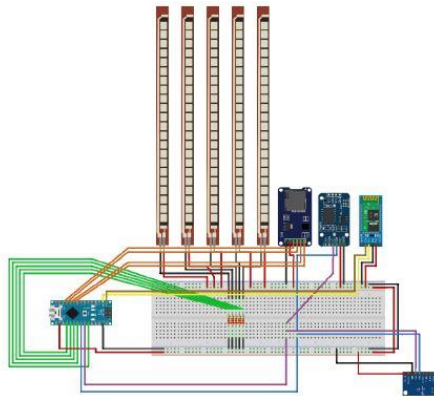


Figura 4. Esquema de la versión inicial del guante gestual

- **Integración de electrónica en guante:** Una vez comprobada la compatibilidad de los componentes y eliminado módulos innecesarios o incompatibles se procedió a crear la primera aproximación del guante gestual. Para ello se cosieron unas tiras de tela elástica sobre un guate de tela. Estas tiras servirían para ajustar los sensores Flex a cada uno de los dedos. Posteriormente se cosieron los módulos de RTC, Bluetooth y la IMU sobre el guante y se conectaron al controlador alojado en una mini protoboard. Las resistencias se soldaron directamente en el cableado.
- **Versión Final:** Mejora de la ergonomía, estética y rendimiento. Se agregó una muñequera al guante para separar la parte del controlador de los sensores principales.



Figura 5. Versión primera del guante gestual (a) y versión final (b)

5.3 Captura de datos gestuales

Con el dispositivo ya funcional, el siguiente paso consistió en capturar los datos en RAW de los sensores del guante de datos para su posterior tratamiento.

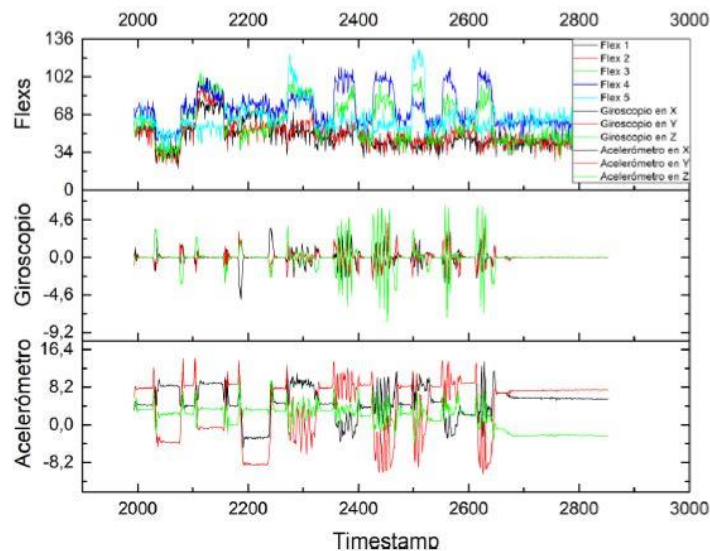


Figura 6. Señales de los datos en RAW obtenidos

Los datos en el cálculo de las velocidades angulares o lineales no son suficientes para la mayoría de las aplicaciones que requieren una unidad inercial, ya que en sí mismos no representan el objeto en el espacio. Para ello se utilizan otros datos que se calculan a partir de los sensores de la IMUs (acelerómetro, giroscopio, magnetómetro). Estos datos suelen ser los Ángulos de Euler o los Cuaterniones. Para nuestro sistema se optó por el cálculo de los cuaterniones para la IMU principal, ya que estos son numéricamente más estables y eficientes, además de evitar el llamado “Bloqueo de Cardán”.

5.4 Acondicionamiento de la señal

Los datos en RAW sin ningún tipo de tratamiento presentan demasiada variabilidad y no son todo lo estables que uno deseara para este tipo de proyecto, por lo que se llevó a cabo un proceso de calibrado de sensores y otro de acondicionado de señal usando para ello el filtro de Kalman reducido y completo.

Como se puede apreciar en la figura 7, los filtros de Kalman estabilizan la señal. De esta manera los datos inerciales pueden ser usados con mayor precisión en nuestras aplicaciones. Igualmente, se aprecia que no existe una diferencia significativa entre la señal filtrada con el filtro de Kalman y la señal filtrada con el filtro complementario. El filtro de Kalman completo es muy costoso en cuanto al cálculo de los datos, así que se llega a la conclusión de que el uso del filtro complementario o filtro de Kalman reducido es la mejor opción para el acondicionamiento de las señales para nuestra investigación.

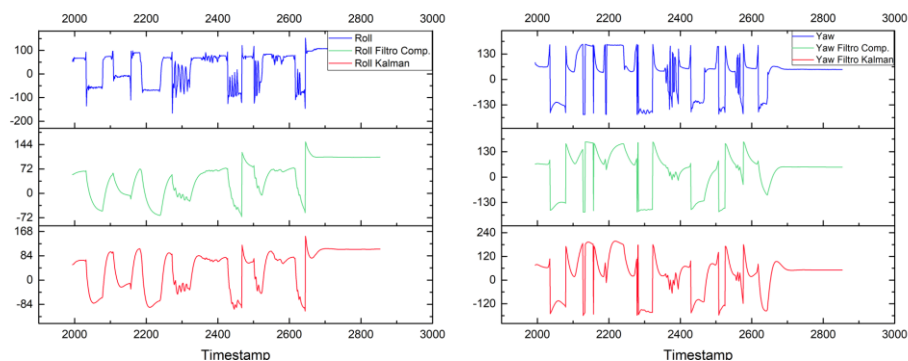


Figura 7. Señales filtradas con filtros Kalman

5.5 Diseño del programa controlador

Para el diseño del programa controlador del guante se ha empleado un modelo basado en *ejecutivo cíclico* con un lazo temporizado que se encarga de realizar las siguientes operaciones:

- Adquisición de los datos del giroscopio, del acelerómetro y de los cuaterniones de la IMU-P.
- Aplicación de un filtrado de datos (filtrado paso bajo y paso alto) usando Kalman. Esto permite obtener los ángulos de Euler en una forma más estable.
- Lectura de los valores de las Flex Sensors.
- Obtención de la orientación del antebrazo a partir de los datos del IMU-A para lo cual primero se realiza un filtrado y normalización de dichos datos para, a continuación, calcular los ángulos de Euler (pitch, roll, yaw). Esto también permite determinar la continuidad del gesto.
- Generación del datagrama de datos con todos los valores obtenidos y/o calculados.
- Envío del datagrama mediante el protocolo Bluetooth.

El programa controlador implementado en C es capaz de transmitir tramas de datos con una frecuencia variable entre 10Hz y 200Hz.

5.6 Identificación del gesto

Los gestos que se pueden realizar en un lenguaje gestual dependen de si hay movimiento durante la realización del gesto (gesto dinámico) o si por el contrario no hay movimiento (gesto estático). En nuestro estudio proponemos que es fundamental identificar el tipo de gesto, ya que los gestos estáticos se representan mediante vectores de características, mientras que los gestos dinámicos requieren matrices en los cuales el tiempo de duración gestual juega un papel muy relevante.

Para lograr identificar si un gesto es dinámico o estático hemos definido a una función $v(x)$ la cual permite medir la variabilidad de las coordenadas del giroscopio relacionadas directamente con el movimiento de la mano y está definida como:

$$v(x) = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=N}^1 \frac{|x_{ix}| + |x_{iy}| + |x_{iz}|}{\omega} \right)$$

Ecuación I. Función $v(x)$ para la identificación del tipo de gesto.

donde ω es el número de ejes del giroscopio principal; x , y , z son las coordenadas espaciales del giroscopio y N es el tamaño del buffer de lectura y depende de la tasa de muestreo (10 Hz en nuestro experimento).

Dependiendo del valor de la función $v(x)$ se puede definir una constante de variabilidad del gesto a la cual hemos llamado k que establece una frontera lógica entre el gesto estático y dinámico. Un gesto es dinámico si $v(x) \geq k$ o estático si $v(x) < k$. El valor de k es un valor mínimo, obtenido del análisis de datos, y que en nuestro estudio tiene un valor de $k = 0,2$. La comparación entre $v(x)$ y k puede ser utilizada en las IMUs, tanto para determinación del tipo de gesto (IMU-P) como su continuidad (IMU-A) de forma conjunta o separada.

La gráfica de la figura 8 muestra como el sistema puede reconocer si se ha realizado un movimiento estático o dinámico. Los datos pertenecen a un conjunto de gestos realizados en un periodo de tiempo.

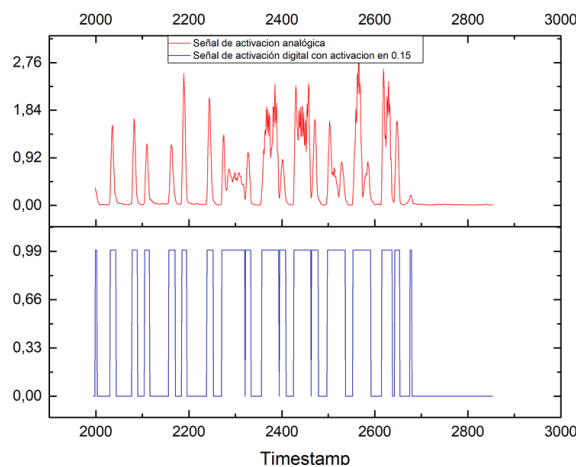


Fig. 8. Activación de la señal calculada en base a la comparación de $v(x)$ con k .

Se observa que, una vez re-muestreada la señal a digital con un valor de activación en este caso de 0.15 (este es el valor k que debería ser variable dependiendo de una previa calibración al usuario), existen activaciones que pertenecen a los periodos donde se está realizando un movimiento y desactivaciones que pertenecen a un gesto estático o sin movimiento. A esto sumamos el hecho de que el posicionamiento de un gesto estático siempre va precedido de un movimiento dinámico para logra dicha posición.

6 Reconocimiento gestual basado en el uso del guante

El reconocimiento e identificación de gestos de la mano a través de un guante de interacción puede ser utilizado para controlar un sistema o un conjunto de dispositivos, así como la traducción de lenguajes gestuales como el LSE.

6.1 Arquitectura del sistema

Para realizar el control de un conjunto de dispositivos utilizando el guante de interacción es necesario contar con varios subsistemas. La figura 9 muestra la arquitectura del sistema utilizando un enfoque cliente-servidor dividida en tres capas. Cada capa tiene un rol específico dentro del sistema.

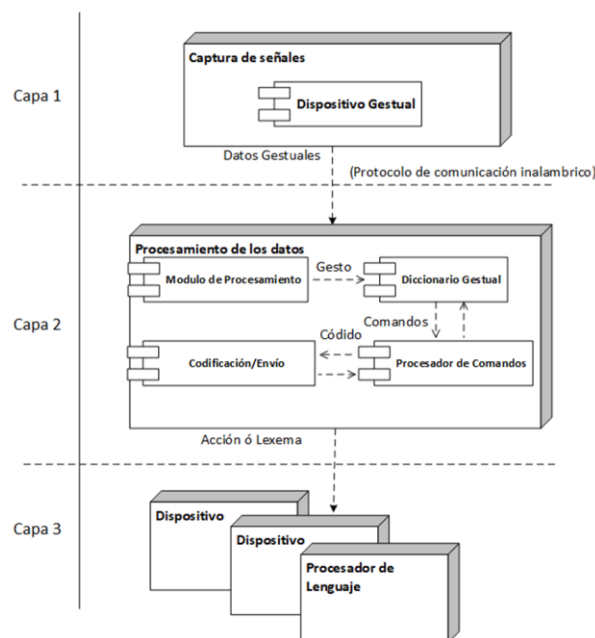


Fig. 9. Arquitectura del sistema de control.

- **Capa 1: Captura de Datos.** Esta capa se encuentra constituida por el guante de interacción que se encarga de capturar los datos generados en cada gesto. Realiza un pre-procesado de la señal, forma la trama de datos y la envía usando el protocolo Bluetooth a la capa superior.
- **Capa 2: Procesamiento de Datos.** Está formada por un sistema con capacidad de procesamiento (e.g., un empotrado). Esta capa recibe la trama de datos desde el guante de interacción y la procesa. El procesamiento incluye la comparación de los gestos a reconocer con unos patrones predefinidos, los cuales están almacenados en la biblioteca gestual. De este modo se logra la identificación de cada uno de los

gestos realizados, los cuales son asociados a una o varias acciones de control. Dichas acciones son comandos o lexemas de un lenguaje gestual.

- **Capa 3: Dispositivos o procesador de lenguaje.** Está conformada por los dispositivos eléctricos y electrónicos que se van a controlar. Se encarga de ejecutar las acciones o comandos identificadas en la capa 2. Así mismo también estaría integrado en esta capa el procesador de lenguaje para la traducción de lenguajes gestuales como el LSE.

6.2 Lenguaje gestual

El lenguaje gestual está formado por un conjunto de gestos que se muestran en la figura 10. Los gestos a, b, c son gestos estáticos, mientras los gestos d, e, f son dinámicos. Los gestos son parte del Lenguaje de Signos Español (LSE), y han sido escogidos por su facilidad y rápida memorización [16].

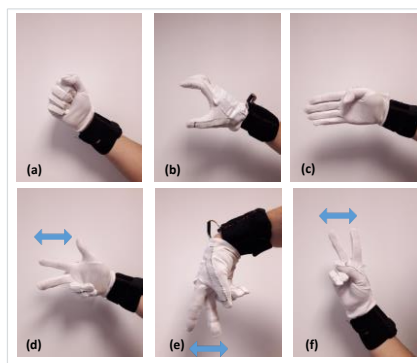


Fig. 10. Biblioteca gestual usada para control usando el guante gestual. Los gestos a, b y c son estáticos. Los gestos d, e y f son dinámicos.

6.3 Protocolo experimental

Los gestos fueron realizados por el usuario durante un periodo de tiempo de 10s. Los datos generados se almacenaron en un archivo CSV para conformar un dataset. Los patrones gestuales identificados conforman la biblioteca gestual a partir del registro del movimiento de la mano y el antebrazo mediante el IMU-P y el IMU-A respectivamente, los cuales forman parte del diseño del guante gestual.

La figura 11 muestra el comportamiento de los Flex Sensors. El eje de abscisas representa la marca de tiempo en milisegundos y el de las ordenadas el valor en ohmios de la resistividad que presenta cada sensor resistivo en cada dedo. Durante la prueba se trató de mantener un gesto estático (el gesto (a) y el gesto (b)). Como se puede apreciar apenas hay variabilidad en la resistividad de los flex, lo cual nos indica que son ideales para el reconocimiento de las flexiones en los dedos que son parte de los gestos.

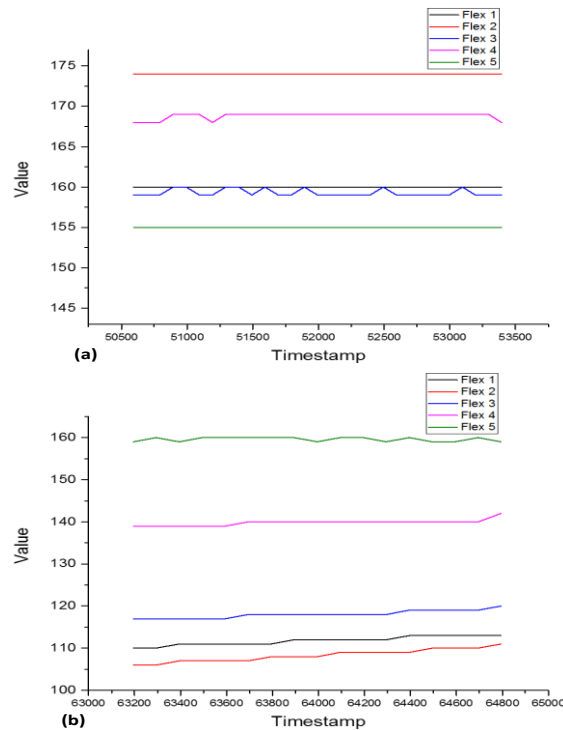


Fig. 11. Comportamiento de los Flex sensor. a) Flex sensor en el gesto (a) con 29 datos tomados a 10Hz.
b) Comportamiento de los Flex sensor en el gesto (b) con 17 datos tomados a 10Hz.

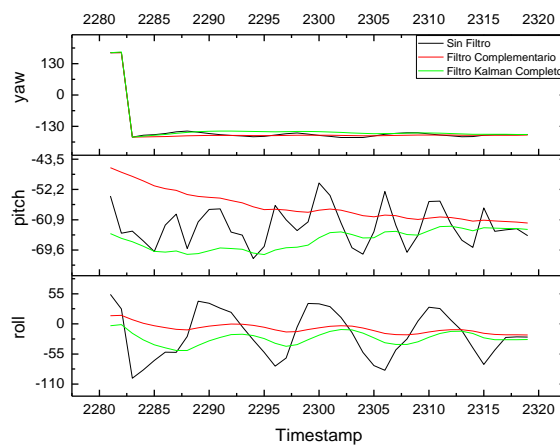
En la figura 12 se puede observar el comportamiento de los datos obtenidos para un gesto de tipo dinámico como el gesto (d). La figura 12.a permite observar los ángulos de Euler sin filtro alguno (color negro), con filtro Kalman reducido o complementario (color rojo) y con filtro Kalman completo (color verde), mientras que la figura 12.b muestra el comportamiento de los Flex Sensors y cuaterniones. Es evidente la estabilización de la señal al usar el filtrado de Kalman (complementario y completo). Pero, en nuestros experimentos tuvo una mejor respuesta en tiempo de cálculo el filtro de Kalman complementario. La variabilidad de los datos nos permite reconocer a un gesto dinámico de un estático.

6.4 Reconocimiento del gesto y posición

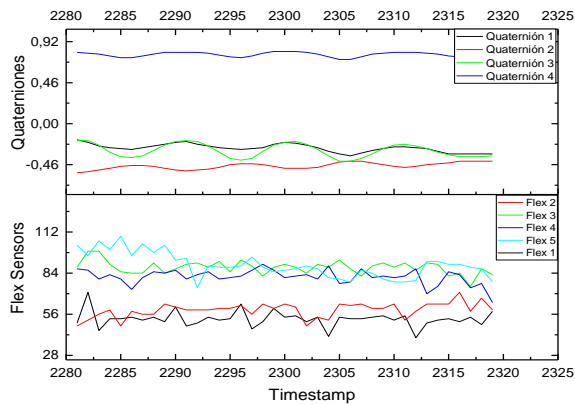
Los datos son recibidos como un datagrama cuya estructura permite separar los distintos valores para cada uno de los sensores. El primer paso en el proceso de reconocimiento consiste en determinar si un gesto es dinámico o estático. La frecuencia de muestreo establecida durante los experimentos fue de 10 Hz. Esto es clave para un sistema que trabaja en tiempo real debido a la rapidez con que se debe identificar el gesto a través de sus variables y satisfacer los estrictos plazos de respuesta.

A continuación, el sistema procesa los datos de los giroscopios determinando $v(x)$ aplicando la ecuación I. El valor de k descrito en dicha sección se fija durante la calibración del sistema y permite determinar si los datos corresponden a un gesto dinámico o estático.

Finalmente, para minimizar el error de muestreo hemos establecido umbrales para la admisión del gesto. Esto tiene por objetivo evitar los falsos positivos por movimientos involuntarios de las manos del usuario. En caso de existir patrones predeterminados, el gesto es considerado inexistente o no definido. El sistema cuenta con un buffer de N datos variable en función de la frecuencia de muestreo.



(a)



(b)

Fig. 12. Reconocimiento del gesto (d) y su comportamiento con 39 datos tomados a 10 Hz. a) Los ángulos de Euler con y sin filtro. b) Los Quaterniones y Flex Sensors.

7 Resultados y discusión

Durante nuestras pruebas el guante gestual tuvo un comportamiento conforme a lo esperado en su manejo y adaptación. Los resultados, en la versión final, estuvieron acordes al resultado esperado. La combinación de las IMUs (IMU-P e IMU-A) al aplicar la ecuación I, nos permitió determinar en forma precisa el gesto y su continuidad. De hecho, un perfeccionamiento del calibrado de todos los componentes de sensorización permitió mejorar el reconocimiento gestual.

El guante gestual, diseñado en base a la arquitectura propuesta en Sección 6.1. presentó un comportamiento estable tanto en su funcionamiento como en su operatividad. Se tuvo especial cuidado en configurar correctamente cada uno de los componentes electrónicos para evitar conflictos entre ellos, así como sujetar debidamente los Flex Sensor para evitar lecturas erróneas.

La tasa de muestreo fue probada entre 10 y 100 Hz, determinándose que la mejor frecuencia se aproxima a los 20 Hz para un reconocimiento óptimo, aunque durante nuestros experimentos se la mantuvo a 10 Hz. La tasa máxima de muestreo, con los dispositivos empleados en la fabricación del guante gestual, puede alcanzar los 200 Hz.

Durante las pruebas iniciales con el sistema de interacción, fue posible identificar los gestos realizados por el usuario en un tiempo razonable de 20 ms. Sin embargo, detectamos que un aumento de la tasa de muestreo del guante gestual provocaba una ráfaga de datos transmitidos muy alta, la cual podía llegar a saturar el buffer de entrada de datos en el sistema. Pensamos que, para resolver este problema, sería necesario establecer una frecuencia máxima de muestreo acorde a todos los componentes del mismo.

8 Conclusiones

Este artículo presenta el diseño y construcción de un guante de datos para interacción gestual usando componentes de bajo costo. El guante de datos puede formar parte de un sistema de interacción y reconocimiento gestual que puede ser aplicado al control de dispositivos eléctricos y electrónicos. La tasa de trabajo del dispositivo fue mantenida en 10Hz, pudiendo llegar hasta los 200 Hz. El tiempo de reconocimiento alcanzó los 20 ms, medido desde la recepción del dato hasta la identificación del gesto. Este resultado es muy aceptable dado que en sistemas empotrados es admisible un retraso máximo de 300 ms [18]. Además, esto nos indica que el guante gestual implementado puede ser usado tanto en la identificación gestual como en procesos de seguimiento (tracking) de los movimientos de los dedos, mano y antebrazo.

Como trabajos futuros pensamos mejorar el sistema de clasificación desacoplando parte del proceso hacia los controladores del guante además de estudiar los datos obtenidos de ambas manos al mismo tiempo. También creemos que este guante gestual puede tener potenciales aplicaciones en la asistencia a personas con discapacidad.

Referencias

- [1] V. I. Pavlovic, R. Sharma, and T. S. Huang “Visual interpretation of hand gestures for human-computer interaction: a review,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 19, no. 7, pp. 677–695, Jul 1997.
- [2] S. S. Rautaray and A. Agrawal, “Vision based hand gesture recognition for human computer interaction: a survey,” *Artif. Intell. Rev.*, vol. 43, no. 1, pp. 1–54, Jan 2015.
- [3] C. K. Lim, Z. Luo, I.-M. Chen, and S. H. Yeo, “Wearable wireless sensing system for capturing human arm motion,” *Sensors Actuators A Phys.*, vol. 166, no. 1, pp. 125–132, Mar 2011.
- [4] A. Asokan, A. J. Pothan, and R. K. Vijayaraj, “ARMatron? A wearable gesture recognition glove: For control of robotic devices in disaster management and human Rehabilitation,” in *2016 International Conference on Robotics and Automation for Humanitarian Applications (RAHA)*, 2016, pp. 1–5.
- [5] T. G. Zimmerman, J. Lanier, C. Blanchard, S. Bryson, and Y. Harvill, “A hand gesture interface device,” *ACM SIGCHI Bull.*, vol. 17, no. SI, pp. 189–192, May 1986.
- [6] M. A. Arenas, J. M. Palomares, J. Olivares, and J. Castillo, “Diseño y Construcción de un Guante de Datos mediante Sensores de Flexibilidad y Acelerómetro,” in *Jornadas Sarteco 2012, 19-21 Sep.*, 2012.
- [7] J. Y. Tung, T. Lulic, D. a Gonzalez, J. Tran, C. R. Dickerson, and E. a Roy, “Evaluation of a portable markerless finger position capture device: accuracy of the Leap Motion controller in healthy adults,” *Physiol. Meas.*, vol. 36, no. 5, pp. 1025–35, May 2015.
- [8] A. Erol, G. Bebis, M. Nicolescu, R. D. Boyle, and X. Twombly, “Vision-based hand pose estimation: A review,” *Comput. Vis. Image Underst.*, vol. 108, no. 1–2, pp. 52–73, Oct. 2007.
- [9] G. Sanahuja, A. Valera, A. J. Sánchez, C. Ricolfe-Viala, M. Vallés, and L. Marín, “Control Embebido de Robots Móviles con Recursos Limitados Basado en Flujo Óptico,” *Rev. Iberoam. Automática e Informática Ind. RIAI*, vol. 8, no. 3, pp. 250–257, Jul. 2011.
- [10] I. Oropesa, T. L. de Jong, P. Sánchez-González, J. Dankelman, and E. J. Gómez, “Feasibility of tracking laparoscopic instruments in a box trainer using a Leap Motion Controller,” *Measurement*, vol. 80, pp. 115–124, Feb. 2016.
- [11] A. Sanna, F. Lamberti, G. Paravati, and F. Manuri, “A Kinect-based natural interface for quadrotor control,” *Entertain. Comput.*, vol. 4, no. 3, pp. 179–186, Aug. 2013.
- [12] S. Ljubic, V. Glavinic, and M. Kuvec, “Finger-Based Pointing Performance on Mobile Touchscreen Devices: Fitts’ Law Fits,” in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 9175, no. 2, M. Antona and C. Stephanidis, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 318–329.
- [13] Z. Lv, A. Halawani, S. Feng, S. ur Réhman, and H. Li, “Touch-less interactive augmented reality game on vision-based wearable device,” *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol. 19, no. 3–4, pp. 551–567, Jul. 2015.
- [14] G. Pomboza-Junez and J.A. Holgado-Terriza, “Hand gesture recognition based on sEMG signals using Support Vector Machines,” in *2016 IEEE 6th International Conference on Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin)*, 2016, pp. 174–178.
- [15] F. Erden and A. Çetin, “Hand gesture based remote control system using infrared sensors and a camera,” *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 60, no. 4, pp. 675–680, Nov. 2014.
- [16] G. Pomboza-Junez and J.A. Holgado-Terriza, “Control of home devices based on hand gestures,” in *5th IEEE International Conference on Consumer Electronics - Berlin, ICCE-Berlin 2015*, 2016, pp. 510–514.
- [17] J. A. Jimenez-Monañes, G. Pomboza-Junez and J. A. Holgado-Terriza, “El gesto aplicado al control de dispositivos en tiempo real usando un guante de interacción de bajo costo” in *Jornada Sarteco 2017*, 2017, pp. 605-611.
- [18] J.-U. Chu, I. Moon, Y.-J. Lee, S.-K. Kim, and M.-S. Mun, “A Supervised Feature-Projection-Based Real-Time EMG Pattern Recognition for Multifunction Myoelectric Hand Control,” *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 12, no. 3, pp. 282–290, Jun. 2007.

Instrucciones para Autores

Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores (Teaching and Learning Computer Engineering) es una revista de Experiencias Docentes en Ingeniería de Computadores que edita el Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Granada, se publica anualmente, y se difunde tanto en papel como electrónicamente, a través del repositorio institucional de la Universidad de Granada (<http://digibug.ugr.es/>).

Los artículos remitidos para su evaluación pueden estar escritos en castellano o inglés, incluyendo un resumen y palabras clave en inglés en caso de que estén escritos en castellano, y deben seguir el formato descrito en la dirección web:

http://atc.ugr.es/pages/actividades_extension/

El correspondiente fichero .pdf debe enviarse a la dirección de correo electrónico jortega@ugr.es o mdamas@ugr.es

Los artículos deben abordar, tanto contenidos relacionados con la docencia universitaria en general, como con la docencia de asignaturas específicas impartidas por las áreas de conocimiento involucradas en estudios relacionados con la Ingeniería de Computadores, y también pueden aspectos relativos a las competencias profesionales y la incidencia de estos estudios en el tejido socio-económico de nuestro entorno.

En particular, se anima a antiguos alumnos de los estudios de Informática y a estudiantes de grado y posgrado a que envíen colaboraciones relacionadas con sus experiencias al cursar asignaturas relacionadas con la Ingeniería de Computadores, sugerencias, propuestas de mejora, etc.