

Control de una Mano Biónica usando técnicas de reconocimiento de gestos en tiempo real a través del dispositivo Leap Motion Sensor

J.S. Artal-Sevil, J.L. Montañés, A. Acón y J.A. Domínguez.
 Dpto. Ingeniería Eléctrica. Escuela de Ingeniería y Arquitectura EINA.
 Universidad de Zaragoza. Campus Río Ebro. María de Luna, 3.
 Edificio Torres Quevedo, 50018. Zaragoza, Spain.
 email: jsartal@unizar.es

Abstract— En el presente documento se muestra el desarrollo e implementación de un algoritmo de control destinado al accionamiento de una pequeña prótesis biónica. Como sistema de reconocimiento de gestos se ha utilizado el dispositivo comercial Leap Motion Sensor. El propósito ha sido simular el movimiento natural de la mano. Hoy en día los inminentes avances relacionados con la robótica y las técnicas modernas de control han provocado que estas disciplinas de conocimiento se hayan introducido también como complemento educativo en las enseñanzas básicas obligatorias. Desarrollar e implementar técnicas de control sobre elementos robóticos de forma local o remota es un claro ejemplo de tarea académica que provoca una motivación extra en los estudiantes de Ciencias, Tecnología e Ingeniería. Por otro lado, el Trabajo Fin de Grado (TFG) o Fin de Master (TFM), constituye una actividad académica que permite valorar en detalle las diferentes competencias adquiridas por los alumnos durante su periodo de formación universitaria. En este documento se presenta una aplicación electrónica novedosa y de actualidad, basada en el manejo de una mano biónica en tiempo real. Como resultado se ha desarrollado el control de un prototipo robótico capaz de operar simulando los grados de libertad (DOF) de la mano humana.

Keywords— *Bionic Hand, Motion and Gesture Recognition, Leap Motion Sensor, Control Algorithm, Hand prosthesis, Arduino, Open Source, Low Cost, 3D-Printing.*

I. INTRODUCCIÓN

La aparición de aplicaciones de carácter robótico se ha multiplicado exponencialmente en estos últimos años. De esta forma es fácil percibir algunas de estas aplicaciones en nuestra vida cotidiana. En la actualidad existen muchos proyectos Open Source, de código abierto y sin ánimo de lucro, que permiten desarrollar prótesis robóticas impresas en tecnología 3D, [1]. El coste asociado a su construcción y diseño no es muy elevado; es suficiente con descargar los diferentes planos de la web, imprimir las piezas de plástico y seguir sus instrucciones de montaje. En general estos dispositivos mecánicos poseen una baja precisión, aunque permiten implementar fácilmente algoritmos de control sobre la estructura con objeto de imitar o simular los diferentes movimientos de un brazo o una mano real.

La aparición de asignaturas como la mecatrónica, en los actuales planes de estudio, ha permitido dotar de carácter multidisciplinar a la robótica e integrar y aglutinar a su vez varias disciplinas de conocimiento en una sola materia. Por otra parte, su utilización en diferentes trabajos Fin de Grado (TFG) o Fin de Master (TFM) puede resultar una solución viable y factible para estimular a los estudiantes universitarios. De este modo, en un mismo trabajo académico se combinan los aspectos mecánico, eléctrico y electrónico con el propósito de implementar una estrategia de control que permita emular los diferentes movimientos asociados a la mano biónica.

La robótica también proporciona un enfoque eficiente en el desarrollo de dispositivos de asistencia médica, debido a su gran funcionalidad, lo que ha permitido incrementar la calidad de vida de los enfermos. De este modo, en los últimos años están apareciendo diferentes aplicaciones destinadas a la rehabilitación de pacientes [2]. Por otro lado la fabricación de piezas mediante tecnologías de impresión 3D han facilitado el diseño y construcción de estos prototipos biónicos, ver fig. 1. En el trabajo académico aquí presentado se han aplicado varios sistemas y tecnologías, como el desarrollo de una técnica de control basada en el dispositivo Leap Motion Sensor [3] y su implementación en un controlador Arduino. El objetivo no es otro que mostrar al estudiante la utilidad de la teoría explicada en el aula frente a una situación real.



Fig. 1. Ejemplo de una prótesis biónica controlada mediante una plataforma embedded (Arduino Uno).

En este documento se presenta una aplicación electrónica novedosa y de actualidad, el desarrollo de un sistema de control por reconocimiento de gestos mediante el dispositivo Leap Motion Controller. El objetivo es que los movimientos efectuados por la prótesis biónica simulen al desplazamiento natural de la mano. El control por gestos es una tecnología de reciente aparición, donde los desarrolladores necesitan de una gran capacidad de síntesis e interpretación de los diferentes movimientos que componen la dinámica de animación y movilidad de la mano. La incorporación de esta estrategia de control ha permitido favorecer la relación interface usuario-prototipo, además de conseguir una mayor capacidad de control [4].

El objetivo del siguiente trabajo académico ha sido desarrollar una técnica de control que pueda ser usada para simular los efectos en una prótesis biónica mediante un sistema de reconocimiento de gestos. Los objetivos iniciales se han resuelto de manera satisfactoria, obteniendo un prototipo que ha superado las expectativas iniciales.

Este documento está organizado de la siguiente manera. La sección 2 revisa el estado del arte de la tecnología utilizada. El epígrafe 3 muestra el dispositivo de reconocimiento de gestos Leap Motion, indicando sus características más destacadas. También se presentan los diferentes parámetros y comandos relacionados con el movimiento de la mano. Por otra parte la sección 4 expone el procesamiento de información. Finalmente el ítem 5 indica las ventajas e inconvenientes de la estrategia implementada.



Fig. 3. Interface de la aplicación centrada en el reconocimiento de los diferentes gestos efectuados por el usuario.

II. ESTADO DEL ARTE

Con el desarrollo e implementación de los nuevos métodos de control destinados a los videojuegos, entretenimiento o diversión (por ejemplo: Wii, Kinect, Xtion Sensor, Leap Motion, etc.), aparece la posibilidad de generar distintas aplicaciones de carácter muy intuitivo. El control basado en el reconocimiento de los gestos efectuados por el usuario es una tecnología de reciente aparición, ver fig. 3. De este modo surge la oportunidad de experimentar con nuevos métodos de interacción que hasta el momento sólo existían en películas de ciencia ficción. Como ejemplo la fig. 2 muestra un fotograma

de la película *Minority Report* (2002) donde el protagonista Tom Cruise, controla una computadora mediante los gestos realizados con sus manos.

En esta última década, la literatura científica recoge diferentes técnicas y estrategias de control de prótesis robóticas y exoesqueletos. En la mayoría de las ocasiones son elementos externos controlados mediante las señales eléctricas que se producen cuando se contrae el músculo de forma voluntaria [5]. Estos subsistemas están basados en el procesamiento de las señales electromiográficas obtenidas por medio de los sensores EMG colocados sobre la piel. Esta técnica permite la detección y medición de los diferentes biopotenciales eléctricos, que a su vez son adquiridos mediante los electrodos ubicados en la superficie del brazo [6].

Uno de los principales problemas que debe abordar el diseñador es el limitado número de ubicaciones destinadas al control muscular, lo que aumenta la dificultad y complejidad en el diseño del sistema. Otro campo de estudio significativo está siendo el pre-procesamiento de las señales generadas por las neuronas durante el desarrollo de diferentes movimientos musculares. El objetivo es activar y controlar el desplazamiento de las estructuras biónicas. Un hándicap en la investigación actual es la sincronización de todas estas señales EMG con la velocidad y par motor de las prótesis robóticas, permitiendo su desplazamiento de forma natural.



Fig. 2. Fotograma de la película *Minority Report* dirigida por Steven Spielberg en 2002. En la imagen aparece un interface de usuario basado en el concepto de manipulación de información y datos mediante técnicas de reconocimiento de gestos.

Actualmente existen diferentes prototipos tecnológicos de prótesis biónicas funcionales que se encuentran disponibles en el mercado. La mayoría de ellas poseen un alto grado de ergonomía, aunque su coste es elevado. Algunos ejemplos son: beBionic Hand [7], i-Limb Ultra [8] o Vincent-evolution Hand [9], etc. Así, Krausz et al. [10] presentan el diseño y desarrollo de un proyecto Open Source de mano biónica. El prototipo desarrollado posee 6-DOF (degree-of-freedom). De este modo el documento muestra el diseño de los diferentes mecanismos de accionamiento en cada uno de los dedos, así como los componentes utilizados. Los autores consideraron que tanto el aspecto como las dimensiones de la mano biónica fuesen similares al supuesto real. El prototipo presentado fue testeado

y posteriormente fabricado con la finalidad de comprobar diferentes estrategias de control “in-situ”.

Por otro lado, Fajardo et al. [11] también han desarrollado una mano biónica con múltiples grados de libertad (DOF), en este supuesto activada mediante señales EMG. Proponen un sistema de control basado en técnicas de “Machine Learning” con objeto de interpretar la intención del usuario. Todo el sistema se encuentra integrado en un DSP. Un módulo de reconocimiento de voz (Easy-VR) también es introducido con objeto de activar conscientemente distintas posturas predefinidas.

En los últimos años, numerosos autores han publicado estudios sobre la aparición de la tecnología de control por gestos y su interacción con la robótica. En esta misma línea, Artal-Sevil y Montañés [12] presentan el diseño y control de un brazo robótico articulado situado sobre un robot móvil autónomo. La estrategia de control implementada se encuentra basada en el dispositivo Leap Motion Sensor. El objetivo es el control del prototipo en tiempo real de forma inalámbrica. El diseño, desarrollo e implementación del brazo robótico sobre la plataforma móvil son descritos a lo largo del documento. Los algoritmos asociados a la estrategia de control también son presentados. Asimismo los resultados obtenidos son mostrados, indicando las diferentes ventajas e inconvenientes de la solución adoptada.

Del mismo modo, Bassily et al. [13] proponen un nuevo algoritmo de control adaptativo destinado a un brazo articulado 6-DOF. El interface de comunicaciones hombre-máquina está desarrollado también mediante el dispositivo Leap Motion Sensor. Este documento proporciona algunas características de otros dispositivos destinados a la interacción usuario-ordenador mediante una estrategia basada en el control por gestos, como por ejemplo: Nintendo Wii o Microsoft Kinect. Mientras, Bahrami et al. [14] analizan el desarrollo y funcionamiento de una mano biónica. La tecnología RFID ha sido integrada en el dispositivo con el propósito de identificar la forma del objeto e indicar al mismo tiempo la secuencia de gestos a desarrollar. El control fue llevado a cabo mediante un interface gráfico de usuario (GUI) sobre una aplicación para smartphone (iOS system).

A su vez otros autores, Lu et al. [15] o Jin et al. [16] presentan un sistema de reconocimiento de gestos centrado en el dispositivo Leap Motion Sensor; describiendo la integración del sensor en la plataforma embeded analizada y el formato de las variables consideradas (roll, pitch, yaw). Mientras que Ling y Riu [17] o Jung et al. [18] estudian la integración de gafas de realidad virtual (VR-Glasses) y el dispositivo Leap Motion en contextos educativos. El propósito fue desarrollar diferentes herramientas interactivas que pudieran ser aplicables dentro y fuera del aula. En el documento se muestra su implementación en clase o como complemento de las actividades académicas. Entre las bondades del método destaca la mejora en el proceso de enseñanza-aprendizaje así como un aumento en la eficacia, motivación y rendimiento de los estudiantes.

Por otra parte, Eqad et al. [19] o Mohandes et al. [20] utilizan el smartphone y el dispositivo 3D Leap Motion como un sistema de reconocimiento del lenguaje de signos. El documento presenta una aplicación Android para la traducción del lenguaje arábico en tiempo real. Este sistema permite la captura del lenguaje de signos del usuario para su posterior traducción. Los autores hacen hincapié en su fácil programación debido a la incorporación de las APIs (Application Programming Interfaces), la interface gráfica de usuario GUI (Graphical User Interface) y el bajo coste del dispositivo.

III. DISEÑO DEL SISTEMA LEAP MOTION CONTROLLER.

El principal objetivo de este documento ha sido el desarrollo de una estrategia de control para que las acciones de la mano biónica se parezcan lo máximo posible a su equivalente real. Para ello se ha considerado la influencia del movimiento a realizar. Esto se puede conseguir mediante el escalado apropiado de los diferentes movimientos básicos. El prototipo aquí desarrollado posee varios grados de libertad (5-DOF). A su vez los dedos de la prótesis son accionados por distintos servomotores.



Fig. 4. En el interface de usuario pueden apreciarse las diferentes variables proporcionadas por el dispositivo Leap Motion. Los parámetros relativos a la posición de los distintos elementos son gestionados por sistema de control.

A. Leap Motion Sensor

En la actualidad existen diferentes opciones comerciales en el mercado para desarrollar una estrategia de control por gestos [13], por ejemplo: Microsoft Kinect, Asus Xtion Sensor, Wii Remote, MYO Gesture Control o Leap Motion Controller. El dispositivo seleccionado ha sido este último, debido a su bajo nivel de complejidad y coste (<50€). Además su grado de precisión es superior al resto de dispositivos comerciales.

Así pues, el reconocimiento de los diferentes gestos de la mano ha sido desarrollado con el dispositivo Leap Motion, un periférico provisto de sensores infrarrojos IR que reconoce el movimiento del antebrazo, mano y dedos simultáneamente, ver fig. 4. Estas variables son procesadas por el ordenador con objeto de su descomposición en movimientos más simples y básicos. Posteriormente toda esta información es enviada a la prótesis robótica. El control es realizado por medio del controlador Arduino, quién recibe los diferentes comandos

procedentes del ordenador, vía comunicación serie, y transmite la información a cada uno de los servomotores implicados en el movimiento de los distintos dedos. El propósito ha sido separar el proceso de identificación y obtención de los parámetros de posición relativa correspondiente al sistema de reconocimiento de gestos, efectuado por el ordenador portátil, del sistema de control de los diferentes actuadores que constituyen la prótesis biónica.

El dispositivo consta de dos cámaras monocromáticas junto con tres LEDs infrarrojos a través de los cuales genera un patrón 3D de puntos [21]. De este modo es capaz de obtener 200 imágenes por segundo de datos, que transfiere al ordenador para que el software desarrolle su posterior análisis mediante los algoritmos que integra. En la fig. 4 se puede observar el interface gráfico de usuario proporcionado por la aplicación. En la imagen se aprecian diferentes puntos rojos que se corresponden con cada una de las intersecciones o posiciones espaciales de referencia que ocupan los dedos, muñeca y la palma de la mano. Todos estos parámetros geométricos son analizados por el software.

B. Parámetros y Coordenadas

El procesado de información se puede realizar mediante el SDK (Software Development Kit). Esta herramienta puede ser descargada de la web <https://developer.leapmotion.com/>. La aplicación permite transformar las señales enviadas por el sensor Leap Motion en datos y vectores intuitivos como dedos, manos, posiciones o gestos, con objeto de facilitar el trabajo del programador (en este caso del estudiante), ver la tabla I.

TABLA I. Parámetros obtenidos desde el software Leap Motion.

Palma de la Mano		Dedos	
Variable	Tipo	Variable	Tipo
Normal	vector	Direction	vector
Position	vector	Length	mm
Velocity	mm/sec	Tip position	vector
Confidence	float [0, 1]	Tip velocity	mm/sec
Pinch strength	float [0, 1]	Dip position	vector
Grab strength	float [0, 1]	Pip position	vector
Sphere center	vector	Mcp position	vector
Sphere radius	mm		

La tabla I enumera los principales parámetros de manos y dedos proporcionados por la API (Application Programming Interface). Junto al parámetro se indica el tipo de variable y su unidad. Entre la información más sobresaliente relacionada con la palma de la mano destaca: la normal (un vector unitario de dirección perpendicular a la mano), posición (la posición central de la palma de la mano) y velocidad (en milímetros por segundo). La fuerza de agarre (*Grab strength*) es un parámetro flotante entre cero y uno. Con “0” se indica la mano abierta mientras que “1” implica la mano cerrada. Un parámetro a tener en consideración es *Pinch strength* que muestra el rango de apertura entre el pulgar y otro dedo cualquiera de la misma mano. De forma similar, el centro de la esfera (*Sphere center*) y el radio (*Sphere radius*) se calculan sobre la base de una esfera virtual, suponiendo que la mano estuviese sosteniendo una pelota, ver fig. 5.

El software Leap Motion detecta el movimiento de la mano y dedos observando las posiciones de estos en 3D, ver fig. 4. La aplicación analiza el movimiento teniendo en consideración el frame anterior y el actual, sintetizando así los movimientos de traslación, rotación y factores de escalado de cada uno de los objetos. Como variables considera los siguientes datos: número de manos y dedos, posición de cada mano y dedo, ángulo de la mano y velocidad de la palma. La fig. 5 muestra el sistema de coordenadas utilizado por el dispositivo.

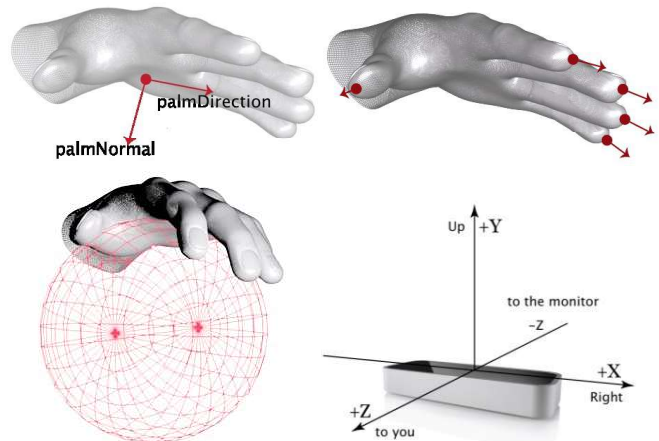


Fig. 5. Sistema de ejes del dispositivo Leap Motion Sensor y análisis del desplazamiento de palma y dedos. También es posible apreciar la esfera virtual generada mediante la curva de la mano.

La información y los parámetros correspondientes a los diferentes dedos, también son recogidos por la aplicación. En este supuesto el software proporciona para cada dedo: la dirección (un vector unitario de dirección longitudinal) junto con su longitud (en milímetros). Todos los detalles de los diferentes parámetros son mostrados en la tabla I. Los datos correspondientes a las posiciones relativas entre las falanges (tip, dip y pip) y metacarpianos (mcp) también son registrados por la aplicación. La fig. 6 muestra de forma simplificada las variables tipo vector consideradas como referencia y su correlación con el modelo real.

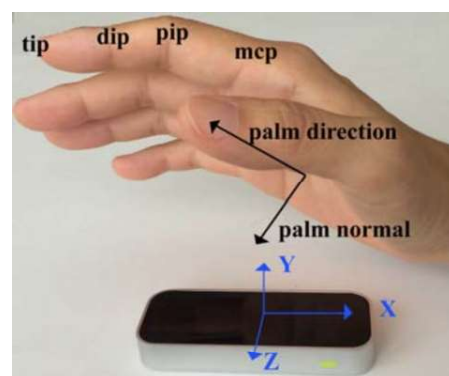


Fig. 6. Conjunto de variables y coordenadas proporcionadas por el software Leap Motion Sensor.

También hay que indicar que algunos de los parámetros proporcionados por la API no son totalmente adecuados para

desarrollar el control inmediato de la prótesis robótica. De este modo resulta necesario el procesado posterior de los datos e información adquiridos. Para obtener un dato relativo a la posición de la mano o dedos es necesario hacer referencia al objeto y escoger el dato que se desea procesar. Así a través de los siguientes comandos es posible obtener:

Posición dedo:

```
frame.fingers(referencia_dedo).tipPosition().get(referencia_eje)
```

Posición palma:

```
frame.hands().palmPosition().get(referencia_eje)
```

C. Arduino

Hoy en día existen multitud de tarjetas microcontroladoras que debido a su bajo coste y versatilidad están siendo utilizadas tanto en robótica, mecatrónica como en investigación. Algunos ejemplos son: Raspberry-Pi, Arduino, BeagleBone, Odroid-C1, Orange-Pi, Up-Core, Humming Board, Banana-Pi, etc. En este caso, para el desarrollo del prototipo fue seleccionado el modelo Arduino Uno, ya que aunque se trata de uno de los modelos más básicos y sencillos cumple con los requerimientos y exigencias planteados. Es un tipo de controlador de código abierto y software de programación libre, muy versátil y a un precio asequible.

Como característica más relevante destaca la conectividad ya que disponen de un gran abanico de puertos de salida, lo que permite el acceso a diferentes tipos de periféricos. Su entorno de trabajo es muy sencillo y manejable mientras que su complejidad es relativamente baja.

IV. CONTROL Y PROCESADO DE LA INFORMACIÓN.

En el diagrama esquemático de la fig. 7 se puede observar el sistema de procesado de información (Leap Motion), obtención y multiplexados de los datos y señales PWM junto con el control de los servos de la prótesis biónica durante el desarrollo del proyecto abordado.

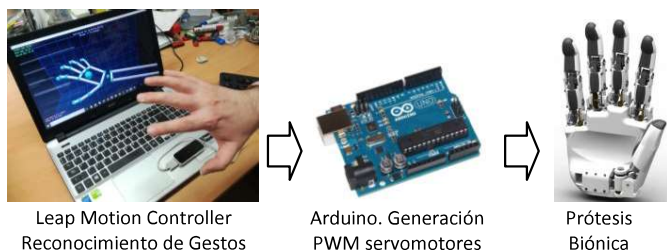


Fig. 7. Diagrama esquemático del entorno de usuario: reconocimiento de gestos (Leap Motion), procesado y envío de la información (Arduino) junto con la prótesis biónica.

La obtención de las coordenadas relativas a la posición y desplazamiento de los diferentes elementos se realiza mediante el software Leap Motion. En los siguientes epígrafes se muestra con mayor detalle el procedimiento de obtención de la información y estimación de la distancia. De forma adicional, también se ha desarrollado un sencillo control manual de la prótesis robótica. En este supuesto el teclado sustituye al

sistema de reconocimiento de gestos. De este modo el movimiento de cada uno de los dedos es función del número de pulsaciones efectuadas.

Por otra parte, el sistema de control tiene por objeto modificar la posición de cada dedo con respecto al centro de la palma de la mano, ver fig. 4. De esta forma, cada uno de las articulaciones incorpora un pequeño servomotor HITEC para permitir desarrollar los movimientos de rotación o translación. En esta aplicación, cada uno de los servomotores es controlado mediante una señal PWM proporcionada por el controlador Arduino.

A. Envío de Datos

El envío de la información entre el dispositivo Leap Motion y Arduino se efectúa mediante un multiplexado. En las siguientes líneas de código puede apreciarse el procedimiento de envío de la información. El primer dato se corresponde a la selección del dedo (1001, 1002,... 1005), mientras que el segundo dato recoge su desplazamiento.

Así el primer dato deja un flag en el controlador indicando a que dedo atribuir el siguiente dato asignado (0-999). Esta información se corresponde al desplazamiento del dedo. Como se muestra en las líneas de código del envío de información, los datos de Leap Motion son obtenidos mediante funciones. Una para cada dedo con la denominación "dedo"(leap). Se justifica el uso de funciones con el propósito de no sobrecargar el bucle principal del programa. La idea es ejecutar las funciones sólo cuando sea necesario para enviar el dato posteriormente por el puerto serie.

```
//Selección de los dedos
//pulgár
if ((orden==1)){salida=1001;}
if ((orden==2)){salida=pulgár(lead);}
//índice
if ((orden==3)){salida=1002;}
if ((orden==4)){salida=índice(lead);}
//corazón
if ((orden==5)){salida=1003;}
if ((orden==6)){salida=corazón(lead);}
//anular
if ((orden==7)){salida=1004;}
if ((orden==8)){salida=anular(lead);}
//meñique
if ((orden==9)){salida=1005;}
if ((orden==10)){salida=meñique(lead);}
```

B. Obtención de los diferentes parámetros mediante el dispositivo Leap Motion Controller

A modo de ejemplo se muestra a continuación el código que aparece en la función *índice* (leap), a través del cual se obtiene el dato de la posición relativa que ocupa el dedo índice con respecto al centro de la palma de la mano. De este modo es posible conocer la distancia que existe entre ambos puntos, y por lo tanto obtener el grado de apertura o cierre del dedo. Como puede apreciarse en las líneas de código, el proceso

seguido para el desplazamiento del dedo índice de la mano biónica se corresponde con:

- Obtención de las coordenadas xyz correspondiente al dedo índice (*tipPosition*).
- Obtención de coordenadas que ocupa el centro de la palma de la mano (*palmPosition*).
- Cálculo de la distancia entre ambos puntos.
- Polarización. Se ha tomado como punto de referencia el punto más próximo entre ambas. Punto inicio (0).
- Maximización del rango. En este caso el punto más lejano entre ambas se corresponde con el entero 999.

```
//Seleccionar dedo índice
finger ind = frame.fingers().get(1);

//Obtener coordenadas xyz del dedo índice
posindice0=ind.tipPosition().get(0);
posindice1=ind.tipPosition().get(1);
posindice2=ind.tipPosition().get(2);

//Obtener coordenadas xyz del centro de la palma de la mano
pospalma0=hand.palmPosition().get(0);
pospalma1=hand.palmPosition().get(1);
pospalma2=hand.palmPosition().get(2);

//Distancia entre dedo índice y centro de la palma mano
disindice0=pospalma0-posindice0;
disindice1=pospalma1-posindice1;
disindice2=pospalma2-posindice2;
distanciaindice=Math.sqrt(disindice0*disindice0+
disindice1*disindice1+disindice2*disindice2);

//Polarización (convertir distancia mínima entre dedo y centro palma)
distanciaindicepolarizada=distanciaindice+polarizacionindice;

//Dato a enviar por puerto serie para aprovechar máximo rango (0-999)
indice=(int) 999*distanciaindicepolarizada/rangoindice;
if((indice>=999)){indice=999;}
if((indice<=0)){indice=0;}
```

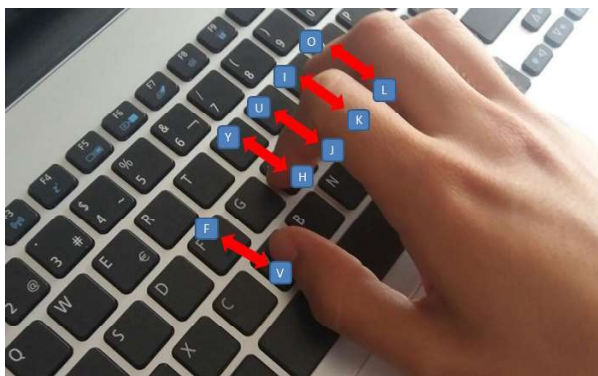


Fig. 8. Control manual mediante teclado. Conjunto de teclas que permiten el desplazamiento de cada uno de los dedos de la mano biónica.

C. Control manual mediante teclado

Además del control por reconocimiento de gestos en tiempo real, mediante los datos proporcionados por el dispositivo Leap Motion, también se ha implementado otro modo de operación

manual basado en el teclado. En este supuesto se han empleado los pulsos sobre las diferentes teclas para variar la consigna de posición correspondiente a cada uno de los 5 dedos (valores entre 0 y 999), ver fig. 8.

En este supuesto también se ha implementado una polarización de la información similar al reconocimiento de gestos. El envío de los datos al controlador Arduino sigue el mismo protocolo de multiplexado. A continuación se presenta la parte del código que modifica las variables de posición de cada uno de los dedos, cuando las correspondientes teclas son pulsadas. Cada una de las pulsaciones permite incrementar o decrementar cada parámetro, y de esta forma modificar en cada momento la posición que ocupa cada dedo con respecto al centro de la palma de la mano.

```
//Control modo pulsador
if((key=='f')){pulgar=pulgar+1;}
if((key=='v')){pulgar=pulgar-1;}
if((key=='y')){indice=indice+1;}
if((key=='h')){indice=indice-1;}
if((key=='u')){corazon=corazon+1;}
if((key=='j')){corazon=corazon-1;}
if((key=='i')){anular=anular+1;}
if((key=='k')){anular=anular-1;}
if((key=='o')){meñique=meñique+1;}
if((key=='l')){meñique=meñique-1;}
```

V. CONCLUSIONES

La realización de un TFG o TFM aplicado dentro del ámbito de ciencias, tecnologías o ingenierías, ha permitido la evaluación de las competencias, habilidades y destrezas adquiridas por los estudiantes en el proceso de formación universitaria. Por otro lado también permite incrementar su grado de motivación durante el análisis y desarrollo del prototipo. En este documento se ha presentado el diseño y técnica de control de una prótesis biónica articulada a través del dispositivo Leap Motion Sensor.

La implementación de una estrategia de control basada en el reconocimiento de gestos mediante Leap Motion Sensor, ha permitido mejorar la relación con el interface de usuario. A su vez ha sido posible optimizar la capacidad de control y dotar de mayor flexibilidad al prototipo. El desarrollo del control manual ha permitido comprobar su funcionamiento de forma rápida y ha mejorado también el manejo de la prótesis biónica. Los objetivos iniciales se han resuelto de manera satisfactoria, obteniendo como resultado un prototipo que ha superado las expectativas iniciales y con un coste reducido.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero de la Universidad de Zaragoza para el desarrollo del presente trabajo, a través del Programa de Innovación e Investigación Educativa (PIIDUZ 2017/18). Referencia de Proyecto: PIIDUZ_17_059.

REFERENCIAS

- [1] J. Koprnicky, P. Najman and J. Safka. "3D printed bionic prosthetic hands". International Workshop of Electronics, Control, Measurement, Signals and their Application to Mechatronics (ECMSM 2017). *IEEEExplore Digital Library*. Donostia-San Sebastian, Spain. 24-26 May'17, pp.: 1 to 6.
- [2] M. Alimanova, S. Borambayeva, D. Kozhamzharova, N. Kurmangaiyeva, D. Ospanova, G. Tyulepberdinova, G. Gaziz and A. Kassenkhan. "Gamification of Hand Rehabilitation Process Using Virtual Reality Tools: Using Leap Motion for Hand Rehabilitation". *IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC 2017)*. *IEEEExplore Digital Library*. Taichung, Taiwan. 10-12 April'17, pp.: 336 to 339.
- [3] Reference Manual Leap Motion Sensor (February 2016). Leap Motion's Developer Guide. <http://www.leapmotion.com>
- [4] Kobayashi F., Okamoto K. and Kojima F. "Robot-human handover based on position and posture of human hand". *15th International Symposium on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS'14) and 7th International Conference on Advanced Intelligent Systems (ISIS'14)*. *IEEEExplore Digital Library*. Volume 33, Issue 4, 3-6 December 2014, Kitakyushu (Japan), pp 918 to 921.
- [5] Wan-Ting Shi, Zong-Jhe Lyu, Shih-Tsang Tang, Tsorng-Lin Chia and Chia-Yen Yang. "A bionic hand controlled by hand gesture recognition based on surface EMG signals: A preliminary study". *Biocybernetics and Biomedical Engineering. Elsevier ScienceDirect*. Vol. 38 (2018), pp.: 126 to 135.
- [6] J. Zhao, Z. Xie, L. Jiang, H. Cai, H. Liu and G. Hirzinger. "A Five-fingered Underactuated Prosthetic Hand Control Scheme". *The First IEEE/RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics. BioRob 2006*. *IEEEExplore Digital Library*. Pisa, Italy, 20-22 February 2006; pp.: 995 to 1000.
- [7] Información obtenida en la siguiente dirección web (Febrero 2018): <http://es.bebionic.com/>
- [8] Información obtenida en la siguiente dirección web (Febrero 2018): <http://www.touchbionics.com/products/active-prostheses/i-limb-ultra>
- [9] Información obtenida en la siguiente dirección web (Febrero 2018): <https://vincentystems.de/en/prosthetics/vincent-evolution-2/>
- [10] N.E. Krausz, R.A.L. Rorrer and R.F. Weir. "Design and Fabrication of a Six Degree-of-Freedom Open Source Hand". *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. *IEEEExplore Digital Library*. Volume: 24, issue: 5, pp.: 562 to 572.
- [11] J. Fajardo, A. Lemus and E. Rohmer. "Galileo bionic hand: sEMG activated approaches for a multifunction upper-limb prosthetic". *IEEE Central American and Panama Convention (CONCAPAN 2015)*. *IEEEExplore Digital Library*. Tegucigalpa, Honduras. November'15, pp.: 1 to 6.
- [12] J.S. Artal-Sevil and J.L. Montañés. "Development of a robotic arm and implementation of a control strategy for gesture recognition through Leap Motion device". *Technologies Applied to Electronics Teaching, TAAE 2016*. *IEEEExplore Digital Library*. Seville, Spain. 22-24 June'16, pp.: 1 to 9.
- [13] Bassily D., Georgoulas C., Guettler J., Linner T. and Bock T. "Intuitive and Adaptive Robotic Arm Manipulation using the Leap Motion Controller". *41st International Symposium on Robotics; Proceedings of ISR/Robotik 2014*. *IEEEExplore Digital Library*. 2-3 June 2014. Munich, Germany. Pages: 1 to 7.
- [14] S. Bahrami, H. Jafarzadeh, S. Naddaf, S. Darvishi, S.A. Esfehiani, P. Pishbin, F. Babazadeh, A. Makhdoumi, A. Akbarzadeh and A. Hajipour. "Simplifying user interaction solutions for the FUM Bionic Hand-I". *International Conference on Robotics and Mechatronics (ICROM 2016)*. *IEEEExplore Digital Library*. Tehran, Iran. 26-28 October'16, pp.: 465 to 470.
- [15] W. Lu, Z. Tong and J. Chu. "Dynamic Hand Gesture Recognition with Leap Motion Controller". *IEEE Signal Processing Letters*. *IEEE Signal Processing Letters*. *IEEEExplore Digital Library*. Volume. 23, issue 9, July 2016; pp.: 1188 to 1192.
- [16] H. Jin, Q. Chen, Z. Chen, Y. Hu and J. Zhang. "Multi-LeapMotion sensor based demonstration for robotic refine tabletop object manipulation task". *CAAI Transactions on Intelligence Technology*. *Elsevier ScienceDirect*. Volume 1 (2016), pp.: 104 to 113.
- [17] H. Ling and L. Rui. "VR glasses and leap motion trends in education". *International Conference on Computer Science & Education (ICCSE 2016)*. *IEEEExplore Digital Library*. Nagoya, Japan. 23-25 August'16, pp.: 917 to 920.
- [18] W. Jung, W. Cho, H. Kim and W. Woo. "BoostHand : Distance-free Object Manipulation System with Switchable Non-linear Mapping for Augmented Reality Classrooms". *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR-2017)*. *IEEEExplore Digital Library*. Nantes, France. 9-13 October'17, pp.: 321 to 325.
- [19] A. Eqab and T. Shanableh. "Android mobile app for real-time bilateral Arabic sign language translation using leap motion controller". *International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA 2017)*. *IEEEExplore Digital Library*. Ras Al Khaimah, United Arab Emirates. 21-23 November'17, pp.: 1 to 5.
- [20] Mohandes M., Aliyu S. and Deriche M. "Arabic sign language recognition using the leap motion controller". *IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE2014)*. *IEEEExplore Digital Library*. 1-4 June 2014. Istanbul. Pages: 960 - 965
- [21] A.F. Cavalcanti, F.B.S. de Medeiros and R.R. Dantas. "Evaluate Leap Motion Control for Multiple Hand Posture Recognition". *19th Symposium on Virtual and Augmented Reality, SVR 2017*. *IEEEExplore Digital Library*. Curitiba, Brazil, 01-04 November 2017; pp.: 341 to 344.