

BRAZO ROBÓTICO CONTROLADO MEDIANTE SENSORES DE VISIÓN Y BIOMECÁNICOS

Francesc Alpiste, Jordi Torner, Miguel Brigos

Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona School d'Enginyeria Est. Department Projects and graphic expression. Eduard C. Maristany, 10-14. 08019 Barcelona. Tel: +34 934 137 398. jordi.torner@upc.edu

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/NT8306>

ROBOTIC HAND CONTROLLED THROUGH VISION AND BIOMECHANICAL SENSORS

1.- INTRODUCCION

Los proyectos de ingeniería pretenden resolver problemas técnicos, optimizando las soluciones y atendiendo a los requisitos y constricciones de material, tecnología, economía, legal y otras consideraciones relacionadas con el entorno humano [1]. En sintonía con esta definición, la motivación de este proyecto parte del interés de los autores en hacer accesible la tecnología disponible, explorando alternativas e implementando soluciones que optimicen recursos.

De ahí, la propuesta de una mano biónica construida a partir de un diseño *Creative Commons* de *InMoove* [2] que puede ser fabricado con una impresora 3D. Los movimientos se ejecutan mediante actuadores (servomotores) accionados por una placa de código abierto *Arduino Uno* que recibe órdenes de control de un sensor de visión (Leap Motion) o de un sensor biomecánico por electromiograma EMG (Myo). El sensor biomecánico EMG permite identificar una serie de movimientos en función de los músculos contraídos del antebrazo.

Existen numerosos antecedentes de brazos biónicos que utilizan desarrollos tecnológicos y biomédicos avanzados, como son: Los brazos controlados por implantes cerebrales o por la actividad nerviosa de la base del brazo que trasmite las órdenes de movimiento desde el cerebro a los servomotores que accionan los dedos y la muñeca y cuyos movimientos se ajustan con sensores de presión, temperatura y contacto [3-6].

En este artículo se exploran alternativas a la construcción de un brazo biónico, accionado a partir de sensores de movimiento y de EGM. Los captadores de movimiento propuestos son no invasivos, es decir, no requieren de implantes quirúrgicos. El sensor de visión Leap Motion es un pequeño dispositivo de sobremesa que incorpora dos cámaras. La pequeña modificación del punto de vista que ofrecen las cámaras permite la reproducción tridimensional de la imagen de la mano del operario y su posterior análisis para poder accionar un brazo robótico.

En los entornos de aplicación, una de las posibles aplicaciones es el control a distancia a partir de los brazos del usuario. Otro entorno de aplicación sería ayudar a los discapacitados mediante el control del brazo biónico a partir de un brazo hábil.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1.- OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es construir un brazo, con la tecnología de impresión 3D, que sea capaz de seguir los movimientos captados de una mano real (Figura 1).

Son objetivos específicos del proyecto:

- Investigar acerca de la tecnología de impresión 3D buscando los diseños de brazos que permitan los principales movimientos, tanto de la mano como de la muñeca.
- Desarrollar un *sketch* en la plataforma *Arduino* capaz de controlar los principales movimientos de una mano.
- Explorar las tecnologías utilizadas de *mocap* (captador de movimiento) existentes en el mercado, su funcionamiento y sus características.
- Definir un canal de comunicación entre los dispositivos presentes en el proyecto, compatible con el software utilizado.
- Desarrollar un código de programación (en lenguaje C) capaz de recibir, interpretar, manipular los datos obtenidos por un sensor de movimiento, y capaz de comunicarse con todos los dispositivos presentes en el proyecto. [7-8]
- Buscar una aplicación práctica de estas tecnologías para ayudar en la vida diaria de personas minusválidas.

Elementos del proyecto

Hardware:

Brazo robótico
Placa I2C *Adafruit*
Placa *Arduino UNO* y accesorios *Arduino*
Bluetooth Arduino HC-06
Adafruit PWM/ Servo Shield
Servo tower pro MG995
Leap motion
Brazaletes *Myo*

Software:

Código fuente en lenguaje *Arduino*
Programa de usuario, escrito en lenguaje C
Utilidades *Leap Motion* y *Myo* para interpretar el movimiento en la mano real.

2.2.- MANO ROBÓTICA

La mano robótica empleada para realizar este proyecto es el denominado BIONICO, extraído de la iniciativa InMoove [2] de Gael Langevin. Se basa en la creación de un robot humanoide a escala real, fabricado a partir de una impresora 3D. BIONICO es de código abierto (Creative Commons) por lo que puede ser fabricado por cualquier persona, el objetivo de esta iniciativa es proporcionar prótesis a personas con recursos limitados.

Se han comparado diversos diseños de prótesis de mano que pueden fabricarse con una impresora 3D: CYBORGBEAST, ROBOHAND, DESTRUS, VOICE2HAND, EXiii-HACKBERRY y BIONICO-inMoove.

Se descartan CYBORGBEAST y ROBOHAND porque no se pueden controlar electrónicamente. También se descarta la EXiii-HACKBERRY porque se trata de un producto acabado, aunque se trata de un proyecto muy interesante es poco flexible para adaptarlo a los objetivos marcados.

Finalmente se escoge la mano que proporciona el proyecto de BIONICO-InMoov, adaptándola a las necesidades de este proyecto: abrir y cerrar la mano y controlar los movimientos electrónicamente. Cuenta con mejores acabados que DEXTRUS y VOICE2HAND. Los servomotores se colocan dentro del antebrazo y su aspecto se parece más a una mano real. El brazo forma parte del robot de InMoov. Sus características básicas son:

- Permite controlar los dedos por separado.
- Tiene movimiento en la muñeca.
- Se puede controlar mediante *Arduino*.
- Se construye mediante la impresión 3D.

Como material para la impresión se escoge PLA (polylactic acid). El PLA junto con el ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) son los materiales más usados para imprimir en 3D. El PLA se crea a partir de recursos naturales y renovables como el almidón de maíz. Su principal virtud es que se trata de un compuesto biodegradable.

El PLA resulta muy fácil de usar porque funciona a temperaturas más bajas que el ABS, entre 190°C y 200°C, además el rango de colores del PLA es mayor, pero resulta bastante frágil y su vida útil es menor. Se utilizan tiras de PLA de 3mm de diámetro.



Figura 1. Esquema del proyecto de investigación

2.3.- MOVIMIENTOS DE LA MANO

Cada dedo se mueve mediante un servomotor. En total 6, 5 para los dedos y 1 para la muñeca.

Los servomotores se controlan con la placa *Arduino UNO*.

Los servomotores de los dedos tiran de hilos para producir el movimiento. Sedal multifilamento, diámetro de 0,45mm y resistencia de 91 Kg (200 lb).

La muñeca se mueve gracias a la acción del servomotor sobre dos engranajes. Como se puede observar en la figura 2, Los servomotores se colocan dentro del antebrazo.

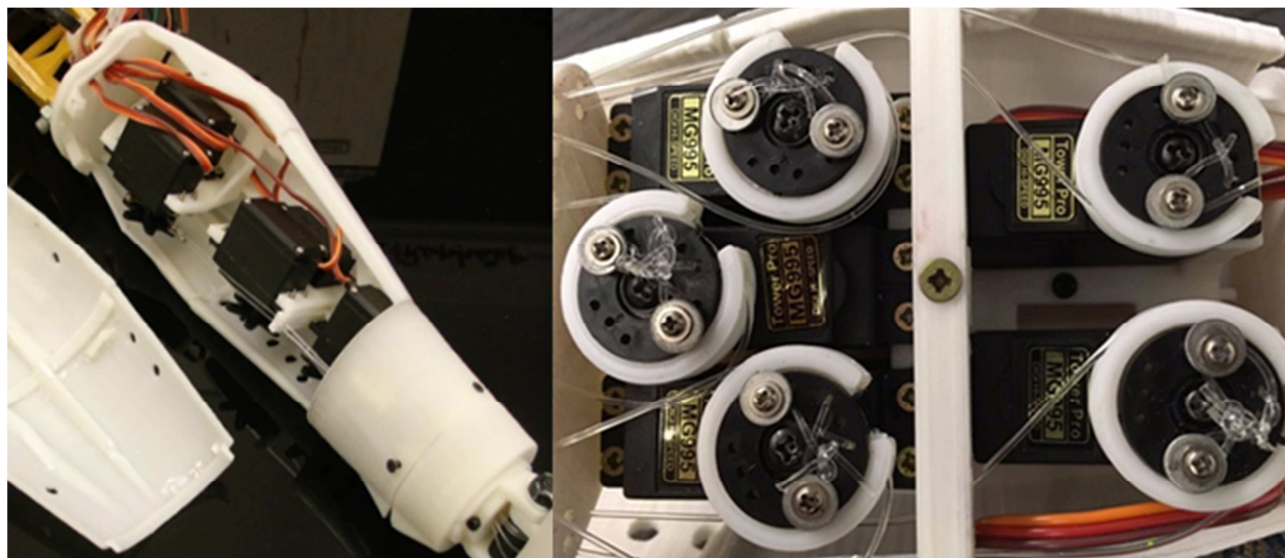


Figura 2. Detalle del funcionamiento del brazo robótico

Características básicas de los servomotores:

Modelo: **TowerPro** MG995

Voltaje de operación: 4.8 V a 6 V

Alta velocidad

Velocidad de operación: 0.2 s/60° (4.8 V), 0.16 s/60° (6 V)

Torque detenido: 13kg/cm. (4.8 V), 15kg/cm (6 V)

Con doble cojinete

Ángulo de rotación: 180° aprox.

Banda muerta: 5 μs

Peso: 55 g

Dimensiones: Largo 40.7 mm, ancho 19.7 mm, altura 42.9 mm aprox.

2.4.- SISTEMA DE CONTROL DEL MOVIMIENTO

Arduino es una placa con entradas y salidas, digitales y analógicas, que permite ser programada para multitud de funciones. Se seleccionó la placa *ArduinoUNO* porque sus características se adecúan al proyecto.

La elección del microcontrolador se fundamenta en la gran cantidad de extensiones de hardware (*Shields*) disponibles, así como en las facilidades de programación. Otros modelos como Teensy 2.0, Picaxe 08M2 o Raspberry Pi se podrían utilizar también, pero las menores prestaciones de programación de los dos primeros y la sobredimensión del último orienta a elegir *Arduino*.

ArduinoUNO tiene un procesador ATmega 328 que permite cargar los programas directamente desde el puerto USB.

El propio entorno de programación y compilador está escrito en Java y basado en Processing. El lenguaje que interpreta dicho entorno es muy similar al lenguaje C++, pero con algunas modificaciones, ya que *Arduino* dispone de sus propias librerías para interactuar mejor con el hardware.

Características de ArduinoUNO:

Nombre:	Arduino UNO
Procesador:	ATmega 328P
Input Voltaje:	5 V / 7-12 V
Velocidad CPU:	16 MHz
Analógico In/ Out:	6/0
Digital IO/ PWM:	14/6
EPROM [kB]:	1
SRAM [kB]:	2
Flash [kB]	32
USB	
UART:	1

Placa I2C Adafruit PWM/ Servo Shield

"Adafruit 16-Channel Servo Driver with Arduino"

Permite controlar 16 servomotores con solo 2 pines del Arduino.

Bluetooth HC-06

La comunicación entre PC y Arduino se realiza mediante Bluetooth.

Las principales placas adicionales o *shields* para controlar el Arduino mediante Bluetooth son los módulos Bluetooth HC-05 y HC-06 "wireless Arduino module transceiver inalámbrico". La diferencia más apreciable es que el HC-06 tiene 4 pines de conexión y el HC-05 6. Además, el HC-06 solo puede ser un dispositivo Bluetooth esclavo mientras que el HC-05 puede actuar tanto de amo como de esclavo.

Fuente de alimentación

Alimentación de los 6 servomotores, de 6V y 7A.

La fuente de alimentación va conectada directamente a la placa I2C de Adafruit, para alimentar a los 6 servomotores.

Una vez construida la mano y tras controlar sus movimientos se implementa la placa I2C de Adafruit, el módulo Bluetooth HC-06 y la fuente de alimentación. La conexión de las placas y el Arduino se puede observar en la figura 3.

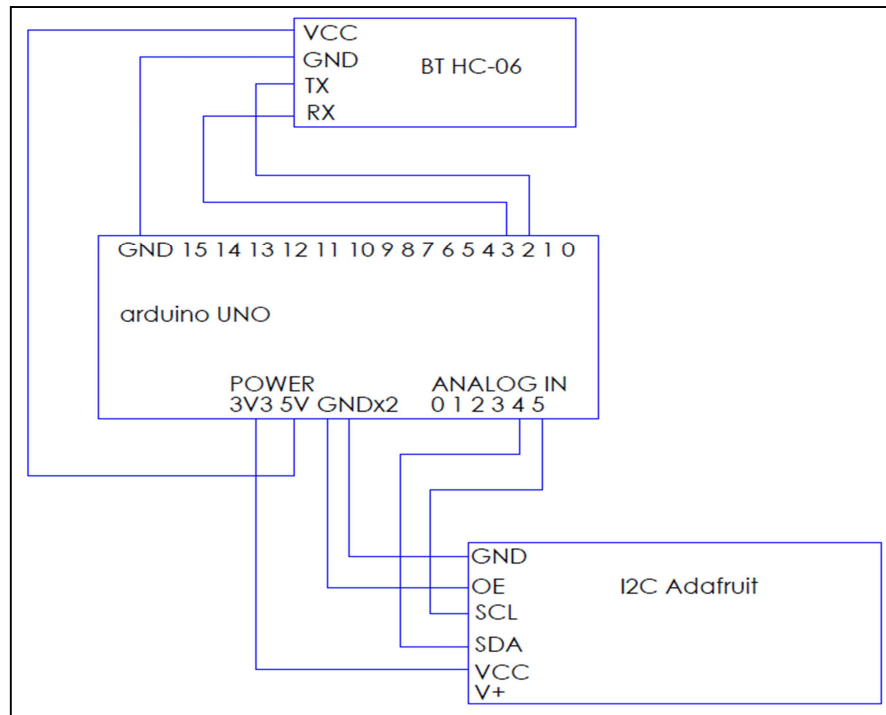


Fig. 3: Esquema de configuración final

La comunicación entre la placa I2C al Arduino se produce conectando los siguientes pines:

- VCC -> +5V
- SDA -> ANALOG IN 4
- SCL -> ANALOG IN 5
- OE->GND
- OE->GND

La conexión de los servomotores con la placa se hace mediante los tres pines hembra del servo a los pines instalados en la placa. El orden de conexión es el mismo para el servomotor y la placa siendo por orden PWM, V+ y GND. Corresponden respectivamente a los cables amarillo, rojo y marrón del servomotor.

Ejemplo función de control de servomotor en arduino:

```
void setup() { servos.begin();

servos.setPWMFreq(60); //Frecuencia PWM de 60Hz o T=16,66ms

Serial.begin(9600);
}
```

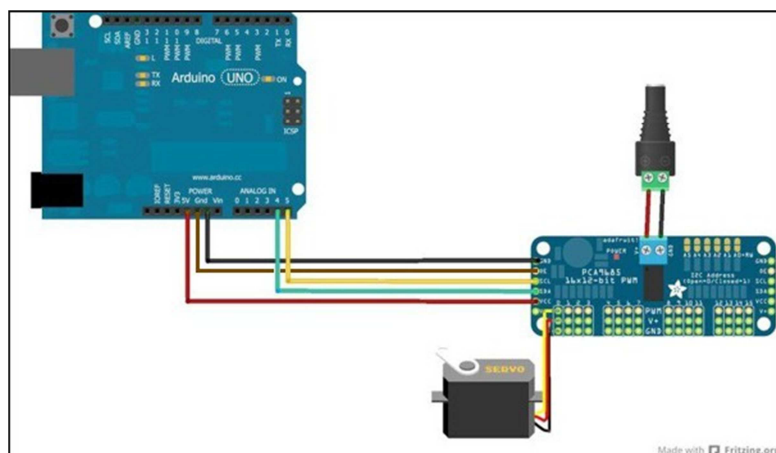


Fig. 4: Conexión entre el Arduino, la placa Adafruit y el servomotor

Es posible añadir un total de 16 servos a una placa Adafruit pero en caso de necesitar más servos se pueden conectar las placas Adafruit entre sí gracias a los pines presentes en el lateral de la placa como mostramos en la figura siguiente.

2.5. - CAPTURA DE MOVIMIENTO

La captura de movimiento es una técnica de grabación del movimiento creada inicialmente con fines militares y médicos. Sin embargo, en la actualidad, su utilidad ha ido variando y se usa principalmente en el mundo de los videojuegos o del cine, para trasladar movimientos reales al mundo digital.

El reconocimiento de gestos está basado en dos tipos de dispositivos. En nuestro estudio emplearemos uno de cada:

- Dispositivos basados en visión: utilizando una o varias cámaras (*Leap Motion*)
- Dispositivos basados en otro tipo de reconocimiento: guantes instrumentados, brazaletes, dispositivos de seguimiento y otros (*Myo*).

2.5.1 Dispositivos basados en visión

Estos dispositivos suelen incluir una o varias cámaras y generan datos que se procesan a partir de las imágenes capturadas. Cada *frame* es filtrado, analizado e interpretado. Los tipos de tecnología basados en dispositivos de visión son:

- Cámaras de video: Existen técnicas de reconocimiento que se basan en los datos generados por una cámara común. Los métodos de detección utilizados suelen ser el color o la forma.
- Cámaras estereoscópicas: Esta técnica se basa en capturar imágenes desde dos cámaras que permiten generar un modelo 3D a partir de los datos grabados.
- Técnicas activas: Estas cámaras necesitan que se proyecte algún tipo de luz estructurada; como por ejemplo *Kinect* o *Leap Motion*.
- Técnicas de marcado: Este sistema requiere de marcadores del cuerpo como un guante de color o, como en el caso de *PlayStation Move Controller*, de luces LED.

Descartamos primeramente las cámaras comunes y las estereoscópicas. Estas tecnologías están orientadas al mundo del cine por lo que no tienen una aplicación útil en nuestro trabajo.

En el caso del Playstation Move Controller, el propio dispositivo necesita que la mano lo sujete por lo que resulta imposible realizar acciones con nuestra mano.

Finalmente quedan las técnicas activas entre las cuales destacamos tres: La Kinect, Leap Motion y Digits (en fase de desarrollo por Microsoft).

Kinect es posiblemente la interfaz gestual más conocida. Creada por Microsoft, se compone de una cámara y un sensor de profundidad que mediante infrarrojos mide el relieve de los objetos. No se adapta a nuestro proyecto por su excesivo tamaño 249 x 66 x 67 (mm). Está preparada para detectar el cuerpo humano y debería ser adaptada para captar el movimiento de los dedos.

Leap Motion es una interfaz gestual dedicada por completo a los movimientos del antebrazo hasta la mano. Este dispositivo ha cobrado sentido real con la llegada de la realidad virtual (VR). Su tamaño es reducido 75x25x11 (mm) y mantiene un dispositivo que se puede colocar sobre la mesa de trabajo.

Leap Motion, desarrollado por David Holz y comercializado por primera vez en julio de 2016, es un pequeño dispositivo periférico USB que está diseñado para colocarse en un escritorio físico o en un casco de realidad virtual. Con dos cámaras de infrarrojos monocromáticas y tres LEDs infrarrojos, el dispositivo observa una zona más o menos semiesférica, a una distancia de aproximadamente 1 metro. Los LEDs generan luz infrarroja y las cámaras generan casi 200 fotogramas por segundo. Los datos de posición 3D se comparan con los fotogramas 2D generados por las dos cámaras.

En diferentes estudios [12,13] la precisión promedio general del controlador se sitúa en torno a los 0,7 milímetros, siendo la resolución del dispositivo mayor que en Kinect. El controlador puede realizar tareas como navegar por un sitio web, utilizando los gestos de pellizcar para hacer zoom en mapas de alta precisión y manipulación de escenas en 3D.

Se pueden encontrar algunas experiencias combinando Leap Motion y el dispositivo de Microsoft Kinect [14].

Leap Motion cuenta con tres piezas fundamentales: las cámaras, los LEDs y el micro controlador. Las dos cámaras son una pieza clave puesto que son las encargadas de capturar las imágenes. Éstas tienen un sensor monocromático sensible a la luz infrarroja con longitud de onda 850 nm. Este sensor alcanza una velocidad de trabajo de 100 fps. Las cámaras disponen de un sensor CMOS que está compuesto por celdas. Esto permite además de una mayor velocidad de procesado y menor coste, reducir el tamaño del dispositivo notablemente con respecto a los sensores CCD. Asimismo, estos sensores también permiten eliminar el fenómeno de *Blooming*, este fenómeno ocurre cuando un pixel saturado por la luz satura a los de su alrededor.

Los LEDs iluminan la zona de cobertura con luz infrarroja de la misma longitud de onda que el sensor de la cámara: 850 nm.

Finalmente, el microcontrolador se encarga de regular la iluminación y recoger la información de los sensores para enviarla al controlador instalado en el ordenador.

La zona de interacción, llamada "*Interaction Box*" por la API tiene un volumen de 110.55 mm x 110.55 mm x 69,43 mm. En esta zona se encuentra el origen de coordenadas de Leap Motion. Existe la posibilidad de configurar el centro de la zona de interacción desde el driver del dispositivo pudiendo variar su altura en el rango de 7 a 25 cm.

El microcontrolador realiza los ajustes de resolución adecuados y los envía al driver presente en el ordenador.



Figura 3. Leap motion destapado, mostrando los LEDs. Las dos imágenes recibidas por el driver de Leap Motion

La imagen digitalizada es representada por un valor de intensidad luminosa, cuantificada en un Byte por cada pixel capturado y guardado en un buffer. Este Byte sirve para producir una imagen RAW en escala de grises, es decir un total de 256 posibilidades de luminosidades distintas por cada pixel. Estos son en total $640 \times 120 = 76800$ pixeles por imagen.

Cuando la imagen llega al driver, éste la analiza y gracias a un modelo matemático de caracterización anatómico identifica los dedos y las manos. El driver también utiliza otro algoritmo para obtener la profundidad.

2.5.2 Dispositivos basados en otro tipo de reconocimiento

Los dispositivos no basados en sensores de visión utilizan varios tipos de tecnologías para detectar movimientos. A continuación, nombraremos algunas de ellas:

- Inerciales que miden la variación del campo magnético de la tierra mediante acelerómetros y giroscopios para detectar el movimiento (p.e. *Wiimote*)
- Hápticos que utilizan dispositivos táctiles (p.e. *Trackpad de Apple*)
- Electromagnéticos que miden la variación de un campo electromagnético generado artificialmente mediante redes inalámbricas (p.e. *WiSee*)
- Guantes instrumentados mediante fibra óptica (p.e. *Dataglove*)
- Biomecánicos. Dispositivos que recurren a la electromiografía para registrar los parámetros de un gesto (p.e. brazalete *Myo*).

Se decide analizar dispositivos biomecánicos dado que los inerciales detectan movimientos de la muñeca no de los dedos y los hápticos detectan movimientos sobre una pantalla. Los electromagnéticos detectan movimientos de la mano, pero no tienen precisión suficiente para detectar los dedos.

La fibra óptica de *Dataglove* se podría utilizar a los efectos de este trabajo, pero se decide probar el brazalete *Myo*, mucho más asequible económicamente. *Myo* reconoce movimientos predeterminados, lo que limita el número de movimientos que se pueden detectar. Por otro lado, el *Dataglove* es capaz de detectar cualquier flexión de los dedos.

2.5.3 Dispositivos biomecánicos

Algunos dispositivos recurren a la electromiografía para registrar los parámetros de un gesto. El brazalete *Myo* es capaz de identificar movimientos como el cierre del puño, o estirar los dedos. Lo realiza mediante 8 sensores EMG, que registran gráficamente la actividad eléctrica producida por nuestros músculos.

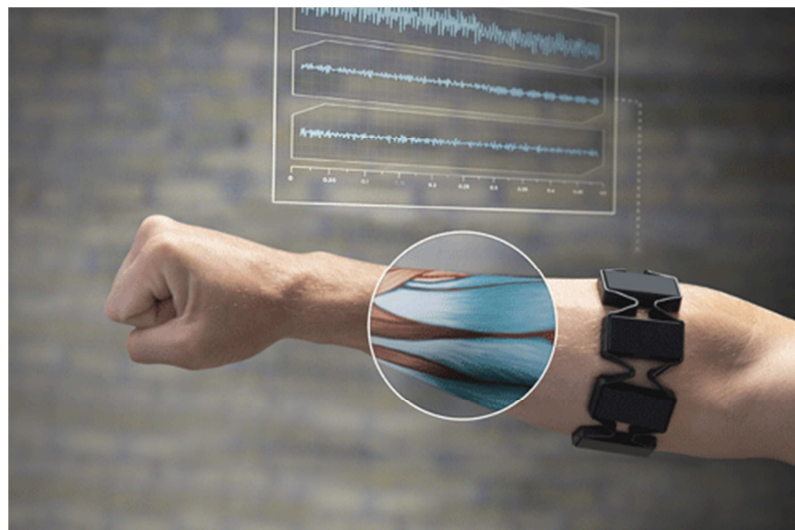


Figura 4. Brazalete Myo para el control de la actividad del antebrazo. Movimientos captados por Myo

El controlador también dispone de IMU (*Inertial Measurement Unit*) de nueve ejes altamente sensibles con un giroscopio, un acelerómetro y un orientador (ángulos de Euler) de tres ejes cada uno. La aplicación puede recoger los datos generados por el IMU y así poder identificar los movimientos realizados por el brazo, lineales, de rotación y posicionados en el espacio.

Por otro lado, gracias al sensor de EMG se puede identificar una serie de movimientos en función de los músculos contraídos de nuestro antebrazo. En este proyecto, se focalizan los movimientos de mano abierta, puño cerrado y doble toque de dedo corazón y pulgar. Aunque, en la API también se pueden encontrar otros movimientos como giro de mano a la izquierda o derecha. Para procesar la información recibida de los sensores, el dispositivo cuenta con un procesador ARM Cortex M4 que recibe la información relativa obtenida por los sensores.

Esta información es transmitida al ordenador mediante la tecnología Bluetooth®. Esto posibilita un flujo de información constante entre el brazalete y el ordenador sin necesidad de cables. De esta manera, se consigue libertad de movimiento. La conexión Bluetooth se obtiene a través de un adaptador Bluetooth® que se conecta al puerto USB del ordenador.

Por otra parte, el controlador Myo contiene un vibrador que devuelve un feedback al usuario. Gracias a él, se ha añadido en el código una vibración media cada vez que el controlador identifique que se ha realizado uno de los movimientos programados.

4. RESULTADOS

Se analizó y se comparó la respuesta de la mano accionada por Leap Motion y por Myo.

El procedimiento utilizado consiste en aplicar un ángulo prefijado a cada dedo y comprobar la respuesta del sistema.

Se calibraron las posiciones actuando directamente sobre los dedos con el programa de control. Se accionaron los dedos introduciendo desde el controlador diferentes ángulos de giro a partir de la posición de dedo extendido. Estas acciones permiten observar hasta que punto los dedos reproducen fielmente las órdenes introducidas según el dispositivo de reconocimiento de movimiento utilizado. Posteriormente se aplicaron ángulos similares con los dos sistemas de captación de movimiento: *Leap Motion* y *Myo*.

Corazón, Leap Motion		Corazón, Myo	
Ángulo introducido	% de desviación	Ángulo introducido	% de desviación
0	0	0	0
15	1	15	7
30	2	30	13
45	1	45	19
60	13	60	12
75	8	75	17
90	14	90	13

Tabla 1. % de desviación del dedo corazón para Leap Motion y Myo

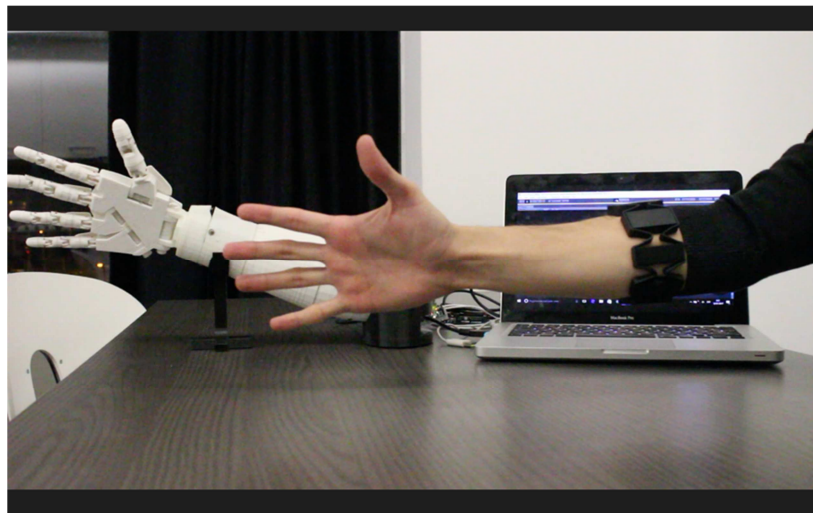
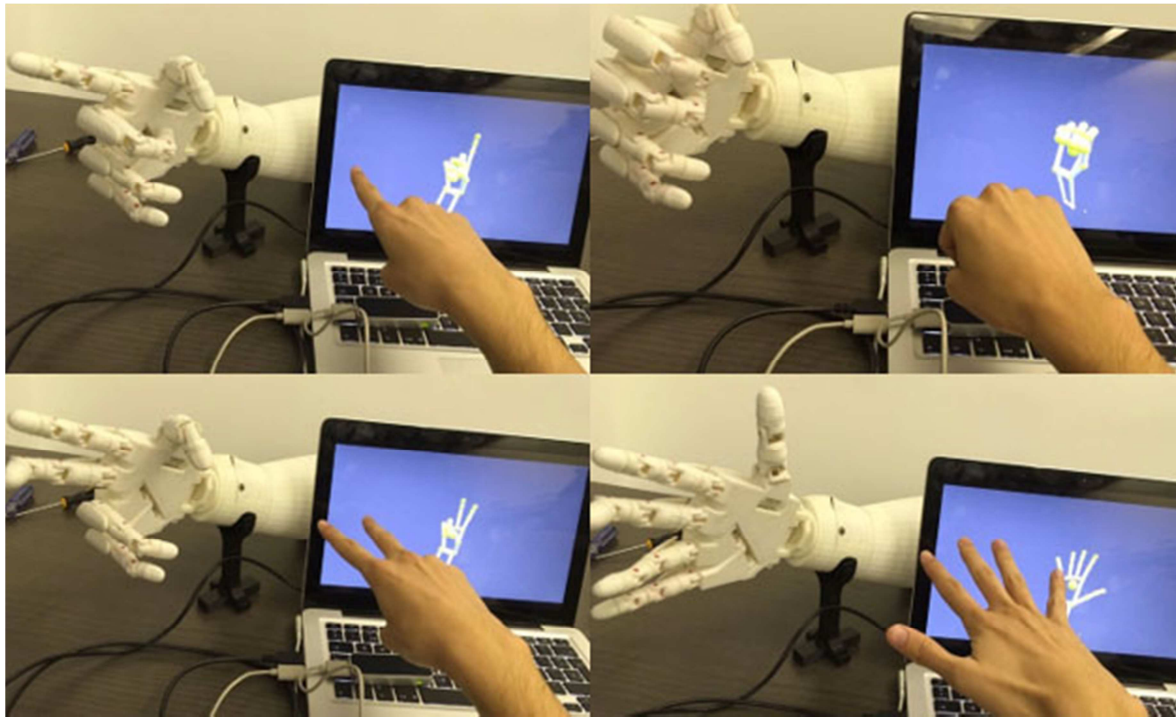


Figura 5. Movimientos captados por Leap Motion y por Myo

El proceso de seguimiento, que aparece en la pantalla, usando "Leap Motion" da una sensación de continuidad al imitar instantáneamente los movimientos de la mano real (Figura 5).

La precisión y flexibilidad de "Leap Motion" lo hace más interesante que "Myo" como sistema de accionamiento, por cuanto permite mayor libertad en el control individual de los dedos e introduce menos errores en el movimiento de los mismos (Tabla 1).

5.- DISCUSIÓN

Aunque se trata de una tecnología muy novedosa, aunque están apareciendo las primeras experiencias evaluando sus posibilidades [15,16,17]. En este trabajo se han desarrollado dos aplicaciones de captura de movimiento para accionar un brazo robótico. La primera configuración "Leap Motion" utiliza un pequeño dispositivo de sobremesa que captura la imagen mediante 2 cámaras, permite el accionamiento de un brazo robótico a distancia con lo que el operario puede estar aislado de entornos potencialmente peligrosos en los que sea necesario manipular objetos. En la segunda configuración "Myo" un brazalete de sensores permite identificar un conjunto de movimientos del brazo y de la mano previamente definidos.

Los resultados obtenidos garantizan una mayor precisión y variedad de movimientos para el sistema "Leap Motion" respecto del sistema "Myo" dado que en el primer caso se accionan independientemente todos los dedos y la muñeca, y en el segundo caso se detectan un número determinado de posiciones de ambas.

De todos modos, el prototipo debe evolucionar hasta conseguir que la acción de la mano permita movimientos más precisos y con la fuerza adecuada.

Se pueden encontrar iniciativas parecidas en aplicaciones de ayuda a personas con movilidad reducida [15]. En el presente trabajo se plantea la actuación sobre un brazo biónico a partir del brazo disponible del usuario. En este caso, el control de un brazo artificial se ve limitado a la reproducción de movimientos simétricos. Con todo, después de un entrenamiento, es previsible que el miembro implantado sea de gran ayuda en la vida cotidiana. Los futuros trabajos han de servir para determinar la utilidad de estas prótesis.

Cuando enfocamos la atención en proyectos de bajo coste y altas prestaciones vemos que se abren muchas posibilidades de implementación que abarcan tanto la fabricación como el accionamiento y el control. El proyecto descrito en este artículo permite construir un brazo biónico, mover los dedos y la muñeca y accionarlo mediante sensores. Obviamente, la propuesta descrita no es la única posible y se podrían diseñar algunas otras priorizando otras especificaciones y requisitos. No está en el alcance de este trabajo la descripción exhaustiva de todas ellas. Se describe aquí una propuesta que por su alcance y combinación de disciplinas intenta aportar una perspectiva útil a la solución de un problema.

6. CONCLUSIONES

Se ha conseguido desarrollar un brazo robótico impreso en 3D capaz de reproducir los movimientos de una mano real mediante distintos sistemas de captación de movimiento. Cumpliendo con los objetivos específicos, se llevó a cabo una investigación de los distintos "mocap" existentes y se eligieron los que mejor convenían al proyecto. Como se ha visto en la fase de implementación se consiguió primero con el dispositivo *Leap Motion* y más tarde con el brazalete *Myo* reproducir los movimientos de una mano real en el brazo robótico.

El brazo fue presentado en la Innovation Week de Oslo y en The 22nd MMVR (Medicine Meets Virtual Reality) de Los Ángeles el 2016. En estos eventos se reconoció el interés del prototipo y su potencialidad como una solución funcional y de bajo coste.

En trabajos futuros se podría incidir sobre varios aspectos:

En referencia a la función motriz del brazo robótico y a los accionamientos no invasivos basados en la detección del movimiento de los músculos, los nervios o los movimientos de la otra mano, se puede trabajar en algunas opciones, como:

- Diferentes tipos de servomotores. Se puede conseguir que los movimientos de la mano se desarrollen con más o menos potencia.
- Sensores de presencia, presión y temperatura. Regular la fuerza aplicada y aumentar la eficacia y seguridad del proceso.
- Guantes instrumentados mediante fibra óptica (p.e. *Dataglove*)
- *Freehand 3D Computer Interaction Without Glove* [9], emite un láser que, al reflejarse en los dedos, es recibido por una cámara que lee estos reflejos y es capaz de determinar los gestos.
- Tecnología *Syntouch* [10] que permite la identificación de texturas de los materiales.
- Gafas Microsoft "*HoloLens*" [11] nos permiten tener una visión con profundidad y posicionamiento. Función muy

interesante puesto permitiría interactuar con objetos virtuales sin necesitar ningún otro tipo de sensor.

REFERENCIAS

- [1] Pahl G, Beitz W, Feldhusen J. et al. *Engineering Design*. London: Springer-Verlag, 2007. ISBN: 9781846283192
- [2] Michael Molitch-Hou. *It Takes a Village to Build a Free, Open Source, 3D-Printed Robot* [en línea]. [Paris, Francia]: InMoov, January 2013 [ref. de 25 septiembre 2016]. Disponible en Web <<http://inmoov.fr/project/>>
- [3] Jessica Stoller-Conrad. *Controlling a Robotic Arm with a Patient's Intentions* [en línea]. [California, USA]: California Institute of Technology, may 2015 [ref. de 25 noviembre 2016]. Disponible en Web <<https://www.caltech.edu/news/controlling-robotic-arm-patients-intentions-46786>>
- [4] Johanna Wilde. *World's first implanted bionic arm on test in global competition* [en línea]. [Göteborg, Sweden]: Chalmers University of Technology, October 2016 [ref de 15 octubre 2016]. Disponible en Web <<http://www.chalmers.se/en/departments/s2/news/Pages/World%E2%80%99s-first-implanted-bionic-arm-on-test-in-global-competition-.aspx>>
- [5] Paulette Campbell. *Modular Prosthetic Limb* [en línea]. [Maryland, USA]: The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory LLC, 201? [ref. de 15 octubre 2016]. Disponible en Web <<http://www.jhuapl.edu/prosthetics/scientists/mpl.asp>>
- [6] Julia Layton. *How can someone control a machine with her thoughts?* [en línea]. [USA]: HowStuffWorks, September 2006 [ref. de 18 noviembre 2016]. Disponible en Web <<http://science.howstuffworks.com/bionic-arm.htm>>
- [7] Kernighan B, Ritchie D M. *El Lenguaje de Programación C*. 2a Ed. México: Prentice-Hall, 1991. 287p. ISBN: 9688802050
- [8] Joyanes L. *C algoritmos programación y estructuras de datos*. 1a Ed. Madrid: McGraw-Hill Interamericana, 2005. ISBN: 9788448608279
- [9] Tom Cashman. *Fully Articulated Hand Tracking* [en línea]. [Cambridge, UK]: Microsoft Research Ltd, October 2014 [ref. de 7 noviembre 2016]. Disponible en Web <<https://www.microsoft.com/en-us/research/project/fully-articulated-hand-tracking/>>
- [10] SynTouch. *Biomimetic Process* [en línea]. [Los Angeles, USA]: SynTouch Inc [ref. de 13 noviembre 2016]. Disponible en Web <<https://www.syntouchinc.com/biomimetic-process/>>
- [11] Microsoft. *Hololens - Hardware* [en línea]. [USA]: Microsoft, 2016 [ref. de 27 noviembre 2016]. Disponible en Web <<https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us/hardware>>
- [12] Weichert, Frank; Bachmann, Daniel; Rudak, Bartholomäus; Fisseler, Denis (2013-05-14). "Analysis of the Accuracy and Robustness of the Leap Motion Controller". *Sensors (Basel, Switzerland)*. 13 (5): 6380–6393. doi:10.3390/s130506380. ISSN 1424-8220.
- [13] Jože Guna et al. *An Analysis of the Precision and Reliability of the Leap Motion Sensor and Its Suitability for Static and Dynamic Tracking*. *Sensors* 2014, 14(2), 3702-3720; doi:10.3390/s140203702.
- [14] Giulio Marin et al. *Hand gesture recognition with leap motion and kinect devices*. *Image Processing (ICIP)*, 2014. ISBN: 978-1-4799-5751-4. DOI: 10.1109/ICIP.2014.7025313
- [15] D. Bassily et al. *Intuitive and Adaptive Robotic Arm Manipulation using the Leap Motion Controller*. *ISR/Robotik 2014; 41st International Symposium on Robotics*. ISBN: 978-3-8007-3601-0.
- [16] Xie, Q., Liang, G., Tang, C., Wu, X, *Robust Gesture Based Interaction System for Manipulating Service Robot*, 2013. *Third International Conference on Information Science and Technology*. 658–662.
- [17] Oscar Justinico et al. *Control gestual de robot de 4 GDL con sensor Leap Motion*. *IV CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN - CIIMA 2015*

AGRADECIMENTOS

A la comunidad educativa de Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE-UPC)
A la empresa Visyon360