

AVANCES EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL ANÁLISIS DE MOVIMIENTO MEDIANTE SENSORES INERCIALES (IMU)

Gómez, Carlos Marcelo ⁽¹⁾ – **Dugarte Jerez, Nelson** ⁽²⁾ – **Alvarez Abril, Antonio** ⁽²⁾ – **Holote, Christian** ⁽¹⁾ – **Turra, Daniel Nicolás** ⁽¹⁾ – **Morzán, María Laura** ⁽¹⁾.

(1) Cátedra Bioelectrónica, Departamento Ingeniería Electrónica UTN-FRLR

(2) Cátedra Bioelectrónica, Departamento Ingeniería Electrónica UTN-FRM

e-mail: mgomez_ar@hotmail.com

Resumen: El movimiento humano se produce como resultado de la acción coordinada de diversos sistemas musculares sobre la estructura ósea. Determinados procesos neurológicos y/o patológicos pueden causar alteraciones de la fuerza y coordinación que debe existir entre las respuestas musculares, que en principio podrían pasar desapercibidos pero que a largo plazo pueden generar daños físicos irreparables. Actualmente, el método más utilizado para el análisis del movimiento humano se basa en el estudio de fotografía secuencial en espacio limitado, aunque en menor medida también se utilizan sistemas de posicionamiento digital. Este proyecto trata sobre el desarrollo de tecnología para la evaluación del movimiento humano utilizando sensores de medida inercial. La idea es detallar el desplazamiento espacial de secciones específicas del cuerpo a partir de la medición de aceleración y movimiento angular en las articulaciones involucradas. El objetivo es desarrollar un sistema que permita a los médicos especialistas identificar anomalías en el movimiento del paciente en estudio. Los resultados preliminares demuestran la eficiencia del sensor inercial implementado y con una respuesta de 200 muestras por segundo permite describir movimientos incluso imperceptibles al ojo humano.

Palabras Claves: Medición del movimiento humano – Unidades de medida inerciales.

1. Introducción

A lo largo de la vida se forman esquemas de movimientos que están potencialmente impresos en el sistema nervioso, y que transfieren a los músculos la acción antes de ingresar a la conciencia, dando lugar a lo que denominamos posturas. Esto implica que el movimiento requiere del trabajo en conjunto de los sistemas esquelético, muscular y nervioso (Lizárraga, 1999).

El Análisis de Movimiento Humano (AMH) tiene como propósito cuantificar el funcionamiento del sistema músculo esquelético y su relación con el sistema nervioso, durante la realización del trabajo mecánico (Pérez, 2015). El interés por el AMH tiene su origen en la Edad Antigua, aunque solo surge como disciplina de estudio en el Siglo XIX. Los griegos fueron pioneros en el estudio de la mecánica del cuerpo y su relación con el estado de salud del cuerpo. Con los avances en la tecnología médica se generan aportaciones importantes a la biomecánica del cuerpo basados en la anatomía moderna y la fisiología (Guillamón, 2014).

La ciencia moderna aún desconoce mucho acerca de los procesos psíquicos que tienen lugar cuando el movimiento es continuado, en especial sobre las patologías que pueden afectar el correcto desempeño del cuerpo al moverse. Actualmente existen diferentes técnicas utilizadas para el AMH, basadas en la utilización de instrumentos especializados. Algunos de estos instrumentos son:

- Plataforma de presiones, utilizado en los estudios de podología para conocer el comportamiento de las presiones que ejerce el cuerpo sobre las plantas de los pies en condiciones estáticas y dinámicas (García, 2017).
- Dinamómetro o newtómetro, es un instrumento utilizado para medir intensidades de fuerzas al sistema biológico. Basa su funcionamiento en un resorte que sigue la Ley de Hooke, siendo las deformaciones proporcionales a la fuerza aplicada (García, 2017).
- Captura y procesamiento de video, utiliza una o múltiples cámaras de video con las cuales se pretende encontrar la diferencia en la postura del cuerpo entre cada fotograma, en la secuencia temporal de la filmación. Esta técnica resulta relativamente efectiva, de acuerdo a la eficiencia del software de procesamiento utilizado, pero suele ser muy costosa (Valladolid y col., 2019).

En este artículo se presenta una técnica para el AMH basada en el empleo de sensores inerciales IMU (inertial measurement unit). La idea es colocar sensores en las partes del cuerpo del paciente con el propósito de estudiar los cambios de movimiento por medio de las respuestas a la aceleración y al movimiento angular que los sensores IMU generan.

Desde el año 2019, en los laboratorios del Instituto Regional de Bioingeniería (IRB) del Centro Regional de Computación y Neurociencia (CeReCoN) de la Universidad Tecnológica Nacional – Regional Mendoza (UTN - FRM) (CeReCoN, 2018), y a partir del 2023 junto al laboratorio de Bioelectrónica de UTN – FRLR, se realiza un esfuerzo en conjunto entre la Escuela de Ingeniería Electrónica y la Escuela de Ingeniería en Sistemas de Información en el desarrollo de tecnología propia en la utilización de sensores IMU en el campo biomédico.

2. Metodología

El proyecto trata sobre la implementación de sensores IMU estratégicamente ubicados sobre el cuerpo del paciente, donde la diferencia de movimiento generada en las articulaciones sea reflejada en las curvas de respuesta de cada uno de los sensores. Específicamente para captar el movimiento en la pierna de un paciente se utilizaría una disposición de cuatro sensores IMU identificados como SC (sensor en la cadera), SM (sensor en el muslo), ST (sensor en la Tibia) y SP (sensor en el pie).

Los cambios de posición en cualquiera de los ejes cartesianos de los sensores, se transmite de forma inalámbrica al computador, donde se realiza el procesamiento de la señal captada. El algoritmo de procesamiento se desarrolla en software libre, utilizando el lenguaje de programación Python.

2.1 Sensor IMU utilizado en el sistema

Existen diferentes tipos de sensores inerciales tipo IMU que se podrían utilizar en el desarrollo de este proyecto, pero se escogió el BWT901CL por sus características de funcionamiento (WitMotion, 2021). Es un multisensor tipo IMU, basado en tecnología MEMS (SBG Systems, 2023), el cual realiza mediciones de aceleración, velocidad angular y campo magnético en 3D, con mediciones de alta precisión en relación a los ejes cartesianos (X Y Z). Este componente implementa un algoritmo de calibración de detección automática de polarización cero. Adicionalmente, se considera de bajo costo en relación con otros componentes comerciales del mismo tipo.

El diseño implementado en este proyecto utiliza comunicación inalámbrica para evitar la interferencia de los cables con el movimiento del paciente. La velocidad de salida de datos puede ser regulada arbitrariamente entre 0,2 y 200 muestras por segundo (mps) con precisión de 16 bits por muestra.

3 Resultados

Para evaluar el funcionamiento de las IMU se diseñó un experimento simple. Consiste en fijar el sensor al extremo de un péndulo con brazo oscilante rígido de 35 cm de largo que se encuentra sujeto al anclaje por un eje transversal para que el movimiento solo se pueda ejecutar en un plano. El experimento inicia al liberar el brazo oscilante a 45° con respecto al eje del anclaje. Dado que el movimiento del péndulo es calculable, puede ser utilizado como referencia ante la medición que se obtiene del sensor IMU. La adquisición de datos se realiza durante 30 segundos, con lo cual solo se captan los primeros ciclos de oscilación del péndulo. La Fig. 1, muestra una imagen del péndulo y la gráfica que se obtiene como respuesta del movimiento angular en el eje Z con respecto al tiempo.

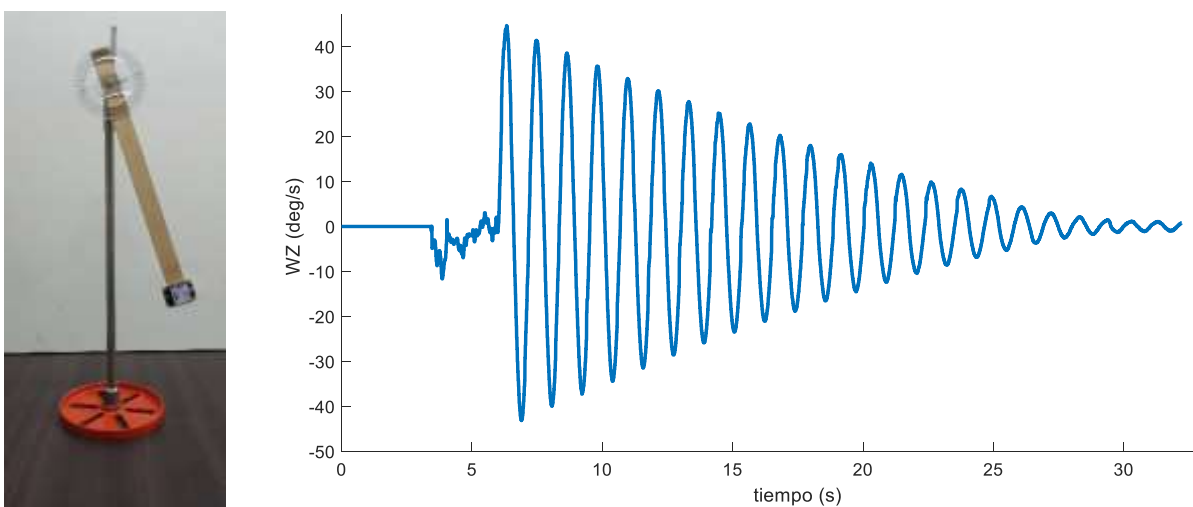


Fig. 1. Diseño del péndulo y gráfica de movimiento angular en el eje z adquirida con el sensor IMU.

3.1 Discusión de los resultados

Del experimento se destaca la precisión en la medida, con 16 bit de resolución por muestra permite definir 0.01 g en aceleración y 0.05° en movimiento angular. Esto permite obtener mediciones de cambios de posición en cualquier parte del cuerpo con errores inferiores a fracciones de milímetros. También se comprobó la respuesta de adquisición a 200 mps, lo cual puede identificar micromovimientos en intervalos de 5 milisegundos, lo cual está dentro del tiempo de respuesta de cualquier parte del sistema neuromuscular del cuerpo.

3. Conclusiones

Dados los resultados emanados del experimento con el sensor IMU implementado, se tiene como conclusión que puede ser implementado en la medición del movimiento humano. Cabe destacar que la velocidad de respuesta y la precisión en la adquisición de datos lo hacen óptimo para captar el movimiento de respuesta extrema, lo cual apunta al estudio de la respuesta de atletas en la medicina del deporte.

4. Referencias

- CeReCoN de la UTN-FRM, (2023), URL: <http://irbutn.org/laboratorios-cerecon/>
- García, G. Elvar, H. Arenas, A. Pérez, C. Aguilera, J. Dispositivos y Técnicas Para la Medición del Rendimiento del Salto Vertical. Journal of Physical Exercise and Health Science for Trainers, 2017.
- Guillamón, A. Biomecánica del movimiento humano: evolución histórica y aparatos de medida. Revista Digital EFDeportes.com. 2014; 18 (188).
- Lizárraga G., Cuerpo y movimiento: dimensión psicológica. Revista de Psicología - Año III, Nº 5, 1999.
- Pérez A., Análisis de movimiento humano: aplicaciones en rehabilitación física. Seminario del Instituto de Ciencias Físicas ICF, Universidad Nacional Autónoma de México. México DF. Marzo de 2015.
- SBG Systems. ¿Qué es la tecnología MEMS?. Disponible en: <https://www.sbg-systems.com/es/soporte/tecnolog%C3%ADa/tecnolog%C3%ADa-mems-imu-ahrs-ins/> (Consultado enero de 2023).
- Valladolid, O. Madera, F. Aguayo, A. Análisis Gráfico del Movimiento Humano para Detectar Alteraciones Biomecánicas. Revista de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán. Mexico DF. 2019; 23 (2): 52-67.
- WitMotion Shenzhen Co. Bluetooth AHRS IMU sensor BWT901CL, Datasheet. v20-0707. Disponible en: www.wit-motion.com (Consultado 10 de febrero de 2021).