

Caracterización de la sedestación y bipedestación mediante análisis de energía RMS, skewness y evaluación de robustez con el algoritmo Douglas-Peucker

Mendoza Castro, Fatima

2024

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/6132>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

Caracterización de la sedestación y bipedestación mediante análisis de energía RMS, skewness y evaluación de robustez con el algoritmo Douglas-Peucker

Medel Jarillas Evelin Michelle (sexto semestre en Ingeniería Mecánica)¹, Mendoza Castro Fátima (séptimo semestre en Ingeniería Biomédica)¹, Wynter Marín Valeria (séptimo semestre en Ingeniería Biomédica)¹, Merino Arroyo Carlos Miguel (profesor responsable)¹, Acevedo Escalante Manuel F. (profesor asesor)¹, Jaramillo Ávila Benjamín Raziel (profesor asesor) y Galaviz Mosqueda Gabriel Alejandro (profesor asesor).

¹Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México

Palabras clave: algoritmo Douglas Peucker, bipedestación, energía RMS, IMUs, sedestación, skewness

*Autor Corresponsal: evelin.medel@iberopuebla.mx

Introducción

El análisis de los movimientos humanos es esencial para la investigación en áreas tales como la rehabilitación y la biomecánica. De especial interés son los movimientos como la sedestación (MS) y bipedestación (MB), ya que son fundamentales para el análisis de la movilidad humana, especialmente en el ámbito de las patologías musculoesqueléticas como la sarcopenia y la osteoartritis. Un ejemplo muy relevante utilizado para la evaluación de la movilidad es la prueba Sit-to-Stand.

Para la caracterización de los MS y MB existen técnicas de visión computacional que permiten un seguimiento preciso. Sin embargo, requiere de condiciones de despliegue difíciles de replicar fuera de un laboratorio especializado. En este sentido, el uso de Unidades de Censado Inercial (IMUs por sus siglas en inglés), i.e., giroscopios y acelerómetros, son una alternativa con mucho potencial dado que son baratas y más accesibles, encontrándose incluso en dispositivos usados día a día, como los celulares.

Para poder desplegar sistemas de seguimiento de movimiento es importante utilizar técnicas de procesamiento digital de señales para cada uno de los ejes de las IMUs. Esto puede ser costoso computacionalmente y hacer más compleja la tarea para los algoritmos de Inteligencia Artificial es por ello que existen distintas técnicas de simplificación de señales como el algoritmo Douglas Peucker para disminuir la carga computacional. Además, representar los movimientos utilizando las IMUs es también un reto, considerando que cada eje se muestra de forma independiente y la sincronización puede representar un problema adicional.

El objetivo de este estudio es caracterizar los MS y MB en función a la orientación representada por la recolección de datos de una IMU ubicada en el tórax durante los movimientos. Se propone el uso de dos métricas para caracterizar las curvas de orientación: skewness (asimetría) de los datos de movimiento y la energía RMS (Root Mean Square). Se pretende, mediante esta caracterización, identificar patrones relevantes que puedan aplicarse en la rehabilitación y el monitoreo de enfermedades musculoesqueléticas, mediante el uso de sensores inerciales en dispositivos móviles y el procesamiento de señales.

Cabe señalar que las metodologías empleadas en este estudio están respaldadas por investigaciones previas, como las de Tosi et al. (2018) y Giansanti et al. (2007), quienes demostraron la efectividad del uso de sensores inerciales en la evaluación de la movilidad humana [1, 2].

Metodología

El análisis de los movimientos de sedestación (MS) y bipedestación (MB) se llevó a cabo mediante el uso de dispositivos móviles equipados con sensores inerciales (IMUs). Para garantizar la consistencia en la captura de datos, todos los dispositivos utilizados contaban con especificaciones uniformes, incluyendo una resolución de $\pm 2000^\circ/\text{s}$ para el giroscopio, lo que permitió registrar señales de alta precisión durante las pruebas.

El procesamiento de las señales obtenidas se realizó aplicando el método de integración de Euler, que permitió calcular las orientaciones a partir de las velocidades angulares captadas por los sensores. Adicionalmente, se empleó el algoritmo Douglas-Peucker para simplificar las trayectorias de las señales, reduciendo el número de puntos sin comprometer las características principales de los datos. Posteriormente, se calcularon dos métricas clave para la caracterización de los movimientos: skewness y energía RMS.

Se realizaron 2 diferentes pruebas de los movimientos MS y MB, ambas con las mismas condiciones únicamente cambiando el área delimitada para realizar el movimiento con mayor o menor inclinación, se colocó el dispositivo móvil a

nivel del tórax y se realizaron 30 movimientos para cada una de las 2 pruebas, el análisis se enfocó exclusivamente en el eje X de los sensores, ya que este eje representa de manera más precisa los movimientos de sedestación y bipedestación cuando el dispositivo se coloca a nivel torácico.

El procesamiento y análisis de los datos se realizó utilizando MATLAB, un software ampliamente reconocido por sus capacidades en el análisis de señales y manejo eficiente de grandes volúmenes de datos. Este entorno permitió la implementación de los cálculos necesarios para extraer las características fundamentales de los movimientos analizados. Las métricas empleadas se calcularon utilizando fórmulas estándar. Para el skewness, se empleó la ecuación:

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \right)^3$$

Mientras que para la energía RMS se utilizó la fórmula:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}$$

Estas métricas proporcionan una visión detallada y cuantitativa de los patrones y esfuerzos asociados a los MB y MS.

Resultados

Se realizaron 12 comparativas en total para MB y MS, debido a la similitud de las curvas de sedestación con las de bipedestación (*Fig. 1*), únicamente se utilizarán las 6 comparativas de MB para analizar los resultados.

Una vez calculados los valores de RMS y skewness de cada uno de los 30 movimientos de las pruebas se realizaron gráficas de cajas y bigotes de cada variable y se compararon:

1. Skewness de MB sin inclinación- MB con inclinación (*Fig. 2*)
2. Energía RMS de MB sin inclinación - MB con inclinación (*Fig. 3*)
3. Skewness de MB sin inclinación original- MB sin inclinación aplicando Douglas Peucker (*Fig. 4*)
4. Skewness de MB con inclinación original- MB con inclinación aplicando Douglas Peucker (*Fig. 5*)
5. Energía RMS de MB sin inclinación original- MB sin inclinación aplicando Douglas Peucker (*Fig. 6*)
6. Energía RMS de MB con inclinación original- MB con inclinación aplicando Douglas Peucker (*Fig. 7*)

Análisis de Resultados

Al comparar las gráficas de cajas y bigotes de la *Fig. 2* se puede notar que ambas cajas se traslapan, por lo que resulta difícil distinguir la inclinación empleando únicamente la métrica de skewness. Sin embargo, para la *Fig. 3* se nota a simple vista la diferencia que existe en la energía RMS entre los movimientos MB con inclinación y sin inclinación, resultando en una mejor manera de caracterizar la inclinación del tórax en ambos movimientos MB y MS.

Para los casos de las *Fig. 4* y *5*, se realiza una comparativa entre los valores de skewness de las señales originales con las señales simplificadas con el algoritmo Douglas Peucker y se puede observar que al simplificar la señal, los valores de skewness difieren considerablemente, esto debido a que, al ser el skewness un parámetro estadístico, la aplicación de la simplificación o disminución de la resolución de las gráficas reduce la representatividad de los valores utilizados para calcular la media.

Por último, para las figuras *6* y *7* se puede identificar que no existe una diferencia significativa en los valores de la energía RMS cuando se aplica el algoritmo Douglas Peucker en comparación con los originales ya que la simplificación no genera cambios en la morfología de la señal por lo que el área bajo la curva, es decir, los valores de la energía se mantienen relativamente constantes.

Conclusiones

Para concluir, este estudio demuestra la efectividad del uso de sensores inerciales (IMUs) para caracterizar los movimientos de sedestación y bipedestación mediante el análisis de skewness y energía RMS. Los resultados indican que la energía RMS es un mejor indicador para diferenciar inclinaciones en los movimientos de bipedestación, mientras que el skewness presenta limitaciones en esta tarea. La aplicación del algoritmo Douglas-Peucker para simplificar las señales permite reducir la carga computacional sin afectar significativamente los valores de energía RMS, aunque se observa una pérdida de precisión en los valores de skewness. Estos hallazgos destacan el potencial de los dispositivos móviles equipados con sensores inerciales para el monitoreo de la movilidad humana, lo cual podría ser útil en aplicaciones de rehabilitación y monitoreo de enfermedades musculoesqueléticas, así como para la implementación de inteligencias artificiales en el campo de la fisioterapia.

Anexo de Figuras

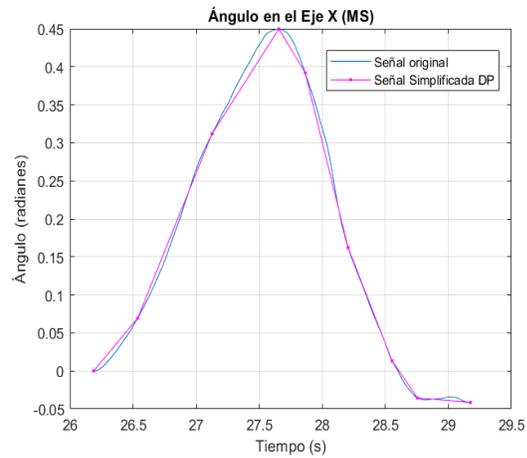
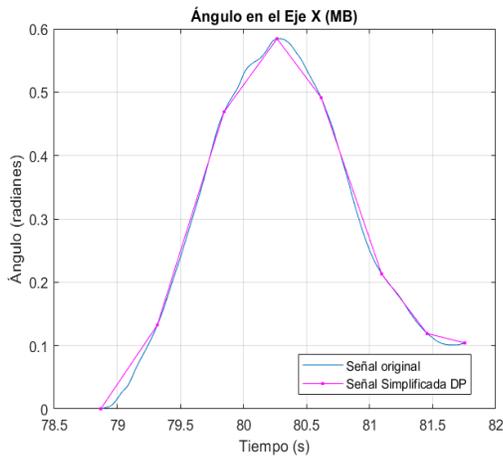


Fig. 1 Graficas de los movimientos de bipedestación MB y sedestación MS originales y aplicando el algoritmo Douglas Peucker

SK MB
SIN INCLINACIÓN VS. CON INCLINACIÓN

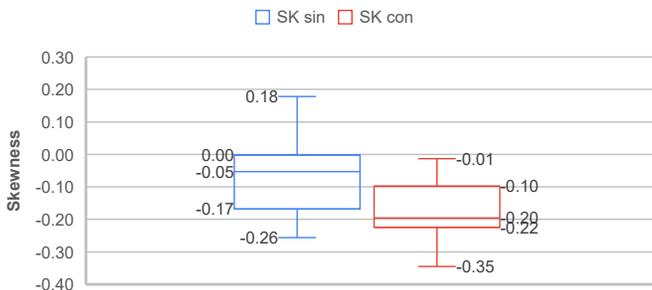


Fig. 2 Grafica de comparación cajas y bigotes del skewness de MB sin inclinación vs MB con inclinación

RMS MB
SIN INCLINACIÓN VS. INCLINACIÓN

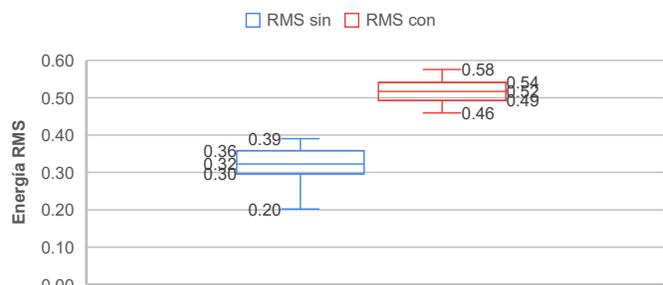


Fig. 3 Grafica de comparación cajas y bigotes de la energía RMS de MB sin inclinación vs MB con inclinación

SK MB
SIN INCLINACIÓN ORIGINAL VS. SIN INCLINACIÓN DP

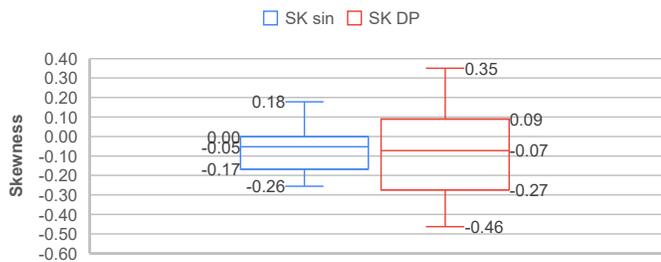


Fig. 4 Grafica de comparación cajas y bigotes del skewness de MB sin inclinación original vs MB simplificado con Douglas Peucker sin inclinación

SK MB
INCLINACIÓN ORIGINAL VS. INCLINACIÓN DP

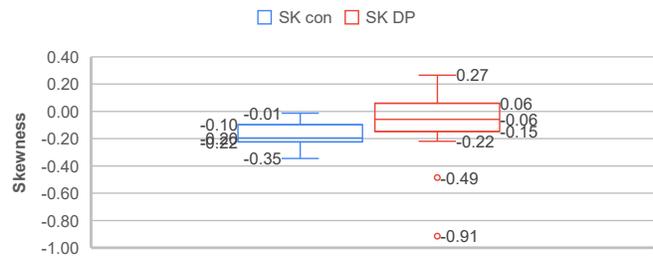


Fig. 5 Grafica de comparación cajas y bigotes del skewness de MB con inclinación original vs MB simplificado con Douglas Peucker con inclinación

RMS MB
SIN INCLINACIÓN ORIGINAL VS. SIN INCLINACIÓN DP

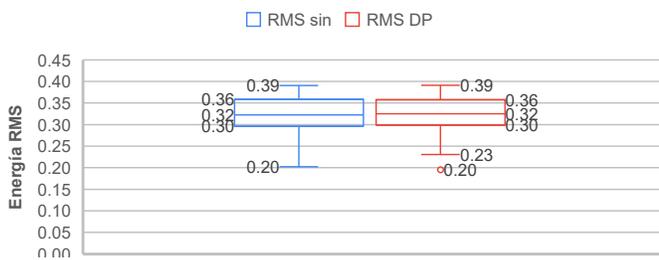


Fig. 6 Grafica de comparación cajas y bigotes de la energía RMS de MB sin inclinación original vs MB simplificado con Douglas Peucker sin inclinación

RMS MB
INCLINACIÓN ORIGINAL VS. INCLINACIÓN DP

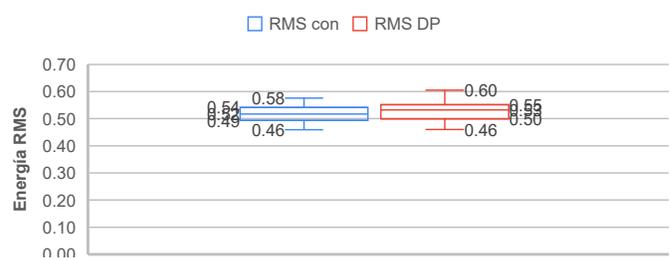


Fig. 7 Grafica de comparación cajas y bigotes de la energía RMS de MB con inclinación original vs MB simplificado con Douglas Peucker con inclinación

Referencias.

1. J. Tosi et al., "Feature Extraction in Sit-to-Stand Task Using M-IMU Sensors and Evaluatiton in Parkinson's Disease," 2018 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA), Rome, Italy, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/MeMeA.2018.8438737.
2. D. Giansanti, G. Maccioni, F. Benvenuti, and V. Macellari, "Inertial measurement units furnish accurate trunk trajectory reconstruction of the sit-to-stand manoeuvre in healthy subjects," *Medical & Biological Engineering & Computing*, vol. 45, no. 10, pp. 969–976, Jul. 2007, doi: 10.1007/s11517-007-0224-8.
3. "Reconstructing the motion of a tossed iPhone | Rotations." <https://rotations.berkeley.edu/reconstructing-the-motion-of-a-tossed-iphone/>
4. DataScience-ProF, "Understanding Skewness: A Statistical Concept with Real-World Applications," Medium, Mar. 24, 2024. [Online]. Available: <https://medium.com/@TheDataScience-ProF/understanding-skewness-a-statistical-concept-with-real-world-applications-bfb64c2e4c36>
5. "What is RMS?: Understanding True RMS (Root-Mean-Square)." <https://aimdynamics.com/what-is-root-mean-square>