

ASIGNATURA: SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE CAPTURA Y ANÁLISIS DE MARCHA HUMANA

MODALIDAD: PRESENCIAL TEÓRICO-PRÁCTICA

INTENSIDAD: 3 HORAS SEMANALES

PRE-REQUISITOS: NINGUNO

CRÉDITOS: 3

PROFESOR: CARLOS FELIPE RENGIFO RODAS

OBJETIVO GENERAL

Los estudiantes que finalicen exitosamente el curso estarán en capacidad de formular un proyecto de investigación que involucre la utilización de dispositivos de captura de movimiento y algoritmos para la estabilidad de la marcha humana.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Específicamente, dichos estudiantes podrán:

- Identificar brechas de conocimiento en análisis de marcha de humana susceptibles de ser resueltas con sistemas automáticos de captura y análisis de marcha humana.
- Proponer experimentos de captura de movimiento basados en diferentes tecnologías como marcadores ópticos, sistemas inerciales y plataformas de fuerza
- Implementar algoritmos que a partir de la información entregada por sistemas de captura de movimiento evalúen la estabilidad de la marcha humana.

METODOLOGÍA

La estrategia de aprendizaje que se utilizará en este curso se basa en: clases magistrales, solución de problemas en clase, utilización de sistemas de captura de movimiento y desarrollo de fragmentos de código en Matlab para procesar variables de marcha humana.

CONTENIDO

1. FUNDAMENTOS DE MARCHA HUMANA (3 horas)

- 1.1. Presentación del curso.
- 1.2. Breve historia del análisis de marcha humana.
- 1.3. Definición de marcha humana.
- 1.4. Diagnóstico de patologías a través del análisis de marcha.
- 1.5. Parámetros de marcha humana temporales, espaciales y mixtos.

2. SISTEMAS ÓPTICOS DE CAPTURA DE MOVIMIENTO (3 horas)

- 2.1. Introducción a los sistemas ópticos de captura de movimiento (SOCM).
- 2.2. Componentes de un SOCM.
- 2.3. Configuración de marcadores e inicialización de un SOCM.
- 2.4. Detección de marcadores.
- 2.5. Cálculo de variables angulares a partir de la información entregada por el SOCM.

3. PLATAFORMAS DE MEDICIÓN DE PRESIÓN Y DE FUERZA (3 horas)

- 3.1. Fuerzas de reacción en marcha no patológica.
- 3.2. Centro de presión (COP) del pie durante la marcha humana.
- 3.3. Efecto de la velocidad de marcha en la posición del COP.
- 3.4. Principio de funcionamiento de las plataformas de presión y de fuerza.
- 3.5. Bandas caminadoras para medición de fuerzas.

4. SISTEMAS INERCIALES DE CAPTURA DE MOVIMIENTO (9 horas)

- 4.1. Principio de funcionamiento de unidades inerciales de medida (UIM).
- 4.2. Componentes internos de una UIM.
- 4.3. Acelerómetros y giróscopos.
- 4.4. Descripción de la orientación e integración de velocidades angulares.
- 4.5. Estimación de los parámetros estáticos de corrección de un UIM.

5. FILTRO DE KALMAN (3 horas)

- 5.1. Modelos de tiempo discreto en espacio de estados.
- 5.2. Ecuaciones del filtro de Kalman.
- 5.3. Implementación de un filtro de Kalman.
- 5.4. Filtro de Kalman para sistemas no lineales
- 5.5. Control de divergencia para el filtro de Kalman aplicado a sistemas no lineales.

6. FUNDAMENTOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO (3 horas)

- 6.1. Funciones de densidad de probabilidad de tipo normal.
- 6.2. Distribución de la media de una muestra de variables con distribución normal.
- 6.3. Prueba de hipótesis sobre la media de una muestra de variables normales
- 6.4. Análisis de varianzas (ANOVA).
- 6.5. Prueba no paramétrica de Wilcoxon.

7. ESTIMACION DE VARIABLES TEMPORALES Y ESPACIALES DE MARCHA HUMANA (3 horas)

- 7.1. Variables temporales de marcha humana.
- 7.2. Algoritmos para la estimación de variables temporales de marcha humana.
- 7.3. Variables espaciales de marcha humana.
- 7.4. Algoritmos para la estimación de variables espaciales de marcha humana.
- 7.5. Algoritmos para la estimación de la velocidad de marcha humana.

8. TÉCNICAS SEMISUBJETIVAS DE ANÁLISIS DE MARCHA HUMANA (3 horas)

- 8.1. Prueba de los 25 pasos.
- 8.2. Prueba de TINETTI.
- 8.3. Prueba *Timed Get Up and Got*.
- 8.4. Escala de balanceo de *Berg*.
- 8.5. Escala de evaluación de la anormalidad de marcha.

9. ÍNDICES DE VARIABILIDAD DE MARCHA (3 horas)

- 9.1. Variabilidad del tiempo de zancada.
- 9.2. Análisis de fluctuaciones sin tendencia.
- 9.3. Índice de Hurt de una serie de tiempo.
- 9.4. Variabilidad de corto y largo plazo a partir de los gráficos de *Poincaré*.
- 9.5. Radio armónico.

10. ÍNDICE DE ESTABILIDAD LOCAL DE MARCHA (3 horas)

- 10.1. Definición de exponentes de *Lyapunov* (EL).
- 10.2. Cálculo de los EL para sistemas dinámicos.
- 10.3. Cálculo de los EL para la ecuación logística y el atractor de *Lorenz*.

- 10.4. Técnicas de funciones embebidas.
- 10.5. Cálculo de los EL para series de tiempo.

11. ÍNDICE DE ESTABILIDAD ORBITAL DE MARCHA (3 horas)

- 11.1. La sección de *Poincaré* (SP) de la órbita periódica de un sistema dinámico.
- 11.2. Definición de multiplicadores de *Floquet* (MF).
- 11.3. Cálculo general de los MF para sistemas dinámicos.
- 11.4. Cálculo de los MF para el oscilador de *Van der Pol* y el atractor de *Lorenz*.
- 11.5. Cálculo de la SP para series de tiempo.

12. ÍNDICE DE RECURRENCIA DE MARCHA (3 horas)

- 12.1. Análisis de cuantificación de recurrencia (ACR)
- 12.2. Ventajas del ACR.
- 12.3. Topologías de gran escala del ACR.
- 12.4. Topologías de pequeña escala del ACR.
- 12.5. Indicadores obtenidos a partir del ACR.

13. ÍNDICE DE ENTROPIA DE MARCHA (3 horas)

- 13.1. Análisis de cuantificación de recurrencia (ACR)
- 13.2. Ventajas del ACR.
- 13.3. Topologías de gran escala del ACR.
- 13.4. Topologías de pequeña escala del ACR.

Indicadores obtenidos a partir del ACR.

ACTIVIDADES ACADÉMICAS A DESARROLLAR

Actividad presencial					Actividad extra clase		Total Horas	Créditos
Teoría	Seminarios	Problemas	Prácticas	Tutorías	Horas Teóricas	Horas Prácticas		
15	5	15	15	16	32	46	144	3

EVALUACIÓN Y PORCENTAJES

Número	%	Componentes
1	30	Promedio de los trabajos realizados en clase
2	10	Exposición sobre sensores vestibles a la detección de patologías
3	10	Exposición sobre técnicas semi subjetivas de análisis de marcha
4	30	Documento con la propuesta de investigación
5	20	Exposición de la propuesta de investigación

RECURSOS HARDWARE Y SOFTWARE

- Acceso a la base de datos SCIENCE DIRECT
- Computadores con el software Matlab.
- Tarjetas Arduino MEGA 2560.
- Unidades inerciales MPU 6050.
- Plantillas para medición de fuerzas de reacción MOTICON OPEN GO.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrle, M. S., & Crassidis, J. L. (2013). Geometric Integration of Quaternions. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 36(6), 1762–1767. <https://doi.org/10.2514/1.58558>
- Armitage, P., Matthews, J. N. S., & Berry, G. (2001). *Statistical Methods in Medical Research*. Blackwell science.
- Benoussaad, M., Sijobert, B., Mombaur, K., & Coste, C. A. (2015). Robust foot clearance estimation based on the integration of foot-mounted IMU acceleration data. *Sensors (Switzerland)*, 16(1), 1–12. <https://doi.org/10.3390/s16010012>
- Bisi, M. C., Riva, F., & Stagni, R. (2014). Measures of gait stability: Performance on adults and toddlers at the beginning of independent walking. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-131>
- Bisi, M., & Stagni, R. (2016). Complexity of human gait pattern at different ages assessed using multiscale entropy: From development to decline. *Gait and Posture*, 47, 37–42. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.04.001>
- Bizovska, L., Svoboda, Z., Vuillerme, N., & Janura, M. (2017). Multiscale and Shannon entropies during gait as fall risk predictor - A prospective study. *Gait & Posture*, 52, 5–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.11.009>
- Bötzel, K., Olivares, A., Cunha, J. P., Górriz Sáez, J. M., Weiss, R., & Plate, A. (2018). Quantification of gait parameters with inertial sensors and inverse kinematics. *Journal of Biomechanics*, 72, 207–214. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.03.012>
- Caicedo, P. E., Rengifo, C. F., & Ro, L. E. (2017). VII Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2016, Bucaramanga, Santander, Colombia, October 26th -28th, 2016. In I. Torres, J. Bustamante, & D. A. Sierra (Eds.), *VII Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB (Vol. 60)*. Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-4086-3>

- Caicedo, P. E., Rengifo, C. F., Rodríguez, L. E., & Sierra, W. A. (2017). Análisis de la variabilidad de señales temporales de marcha humana en población afectada por enfermedades neurodegenerativas. In *Proceedings of IX Congreso Iberoamericano de Tecnologías de Apoyo a la Discapacidad (Iberdiscap)*.
- Chelidze, D. (2017). Reliable Estimation of Minimum Embedding Dimension Through Statistical Analysis of Nearest Neighbors. *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*, 12(5). <https://doi.org/10.1115/1.4036814>
- Chen, S., Lach, J., Lo, B., & Yang, G. Z. (2016). Toward Pervasive Gait Analysis With Wearable Sensors: A Systematic Review. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 20(6), 1521–1537. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2016.2608720>
- Costa, M., Goldberger, A. L., & Peng, C. K. (2005). Multiscale entropy analysis of biological signals. *Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 71(2). <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.71.021906>
- Damouras, S., Chang, M. D., Sejdi?, E., & Chau, T. (2010). An empirical examination of detrended fluctuation analysis for gait data. *Gait and Posture*, 31(3), 336–340. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.12.002>
- Dingwell, J. B. (2006). Differences Between Local and Orbital Dynamic Stability During Human Walking. *Journal of Biomechanical Engineering*, 129(4), 586. <https://doi.org/10.1115/1.2746383>
- Dingwell, J. B., & Cusumano, J. P. (2000). Nonlinear time series analysis of normal and pathological human walking. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 10(4), 848–863. <https://doi.org/10.1063/1.1324008>
- Greene, B. R., McGrath, D., O'Neill, R., O'Donovan, K. J., Burns, A., & Caulfield, B. (2010). An adaptive gyroscope-based algorithm for temporal gait analysis. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 48(12), 1251–1260. <https://doi.org/10.1007/s11517-010-0692-0>
- Guerra-filho, G. B. (2005). Optical motion capture: Theory and implementation. *Journal of Theoretical and Applied Informatics*, 12, 61--89. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.106.7248>
- Hong, Y., & Bartlett, R. (2008). *Routledge handbook of biomechanics and human movement science*. Routledge International Handbooks. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203889688.ch2>
- Howell, D. R., Berkstresser, B., Wang, F., Buckley, T. A., Mannix, R., Stillman, A., & Meehan, W. P. (2018). Self-reported sleep duration affects tandem gait, but not steady-state gait outcomes among healthy collegiate athletes. *Gait and Posture*, 62, 291–296. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.03.038>
- Howell, D. R., Straccolini, A., Geminiani, E., & Meehan, W. P. (2017). Dual-task gait differences in female and male adolescents following sport-related concussion. *Gait and Posture*, 54, 284–289. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.03.034>
- Hurmuzlu, Y., & Tx, D. (1994). On the Measurement of Dynamic Stability of Human Locomotion 1. *Journal of Biomechanical Engineering*, 116(February), 30–36. <https://doi.org/doi:10.1115/1.2895701>
- Iosa, M., Fusco, A., Marchetti, F., Morone, G., Caltagirone, C., Paolucci, S., & Peppe, A. (2013). The golden ratio of gait harmony: Repetitive proportions of repetitive gait phases. *BioMed Research International*, 2013, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2013/918642>

- Iosa, M., Morone, G., Fusco, A., Marchetti, F., Caltagirone, C., Paolucci, S., & Peppe, A. (2016). Loss of fractal gait harmony in Parkinson's Disease. *Clinical Neurophysiology*, 127(2), 1540–1546. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.11.016>
- Khandoker, A. H., Taylor, S. B., Karmakar, C. K., Begg, R. K., & Palaniswami, M. (2008). Investigating scale invariant dynamics in minimum toe clearance variability of the young and elderly during treadmill walking. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 16(4), 380–389. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2008.925071>
- Kirtley, C. (2006). *Gait Analysis: theory and practice*. Churchill Livingstone.
- Kitagawa, N., & Ogihara, N. (2016). Estimation of foot trajectory during human walking by a wearable inertial measurement unit mounted to the foot. *Gait and Posture*, 45(Supplement C), 110–114. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.01.014>
- Mannini, A., Martínez-Manzanera, O., Lawerman, T. F., Trojaniello, D., Croce, U. Della, Sival, D. A., ... Sabatini, A. M. (2017). Automatic classification of gait in children with early-onset ataxia or developmental coordination disorder and controls using inertial sensors. *Gait & Posture*, 52, 287–292. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.12.002>
- Mehdizadeh, S. (2018). The largest Lyapunov exponent of gait in young and elderly individuals: A systematic review. *Gait and Posture*, 60, 241–250. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.12.016>
- Muro-de-la-Herran, A., García-Zapirain, B., & Méndez-Zorrilla, A. (2014). Gait analysis methods: An overview of wearable and non-wearable systems, highlighting clinical applications. *Sensors (Switzerland)*, 14(2), 3362–3394. <https://doi.org/10.3390/s140203362>
- Nieto-Hidalgo, M., Ferrández-Pastor, F. J., Valdivieso-Sarabia, R. J., Mora-Pascual, J., & García-Chamizo, J. M. (2016). A vision based proposal for classification of normal and abnormal gait using RGB camera. *Journal of Biomedical Informatics*, 63, 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2016.08.003>
- Noureldin, A., Karamat, T. B., & Georgy, J. (2013). *Fundamentals of Inertial Navigation, Satellite-based Positioning and their Integration; Chapter 2 Basic Navigational Mathematics, Reference Frames and the Earth's Geometry*. Springer - Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-30466-8>
- Riley, M. A., Balasubramaniam, R., & Turvey, M. T. (1999). Recurrence quantification analysis of postural fluctuations. *Gait and Posture*, 9(1), 65–78. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(98\)00044-7](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(98)00044-7)
- Rosenstein, M., Collins, J. J., & De Luca, C. (1993). A practical method for calculating largest Lyapunov exponents from small data sets. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 65(1–2), 117–134. [https://doi.org/10.1016/0167-2789\(93\)90009-P](https://doi.org/10.1016/0167-2789(93)90009-P)
- Sarkar, A., & Barat, P. (2006). Multiscale Entropy Analysis: A New Method to Detect Determinism in a Time Series. *Entropy*, 8, 1–9. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/physics/0604040>
- Shaeffer, D. K. (2013). MEMS inertial sensors: A tutorial overview. *IEEE Communications Magazine*, 51(4), 100–109. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2013.6495768>
- Sulovská, K., Fišerová, E., Chvosteková, M., & Adámek, M. (2017). Appropriateness of gait analysis for biometrics: Initial study using FDA method. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 105, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.03.042>
- Sylos, F., Meli, A., Ivanenko, Y. P., & Tufarelli, D. (2012). Gait & Posture Recurrence quantification analysis

-
- of gait in normal and hypovestibular subjects. *Gait & Posture*, 35(1), 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.08.004>
- Tedaldi, D., Pretto, A., & Menegatti, E. (2014). A robust and easy to implement method for IMU calibration without external equipments. In *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 3042–3049). <https://doi.org/10.1109/ICRA.2014.6907297>
- Yap, B. W., & Sim, C. H. (2011). Comparisons of various types of normality tests. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 81(12), 2141–2155. <https://doi.org/10.1080/00949655.2010.520163>
- Zeng, W., Liu, F., Wang, Q., Wang, Y., Ma, L., & Zhang, Y. (2016). Parkinson's disease classification using gait analysis via deterministic learning. *Neuroscience Letters*, 633, 268–278. <https://doi.org/http://doi.org/10.1016/j.neulet.2016.09.043>
- Zhang, Z. (2000). A flexible new technique for camera calibration. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(11), 1330–1334. <https://doi.org/10.1109/34.888718>