

ACTAS

DE LAS

XXXVIII Jornadas de Automática

Gijón · Palacio de Congresos · 6, 7 y 8 de Septiembre de 2017



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo



CEA
*Comité Español
de Automática*

Colabora

Gijón

Convention Bureau

Actas de

XXXVIII

Jornadas de Automática

© 2017 Universidad de Oviedo
© Los autores

Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo
Campus de Humanidades. Edificio de Servicios. 33011 Oviedo (Asturias)
Tel. 985 10 95 03 Fax 985 10 95 07
[http: www.uniovi.es/publicaciones](http://www.uniovi.es/publicaciones)
servipub@uniovi.es

DL AS 2749-2017

ISBN: 978-84-16664-74-0

Todos los derechos reservados. De conformidad con lo dispuesto en la legislación vigente, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes reproduzcan o plagien, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, fijada en cualquier tipo y soporte, sin la preceptiva autorización.

Prefacio

Las *Jornadas de Automática* se celebran desde hace **40 años** en una universidad nacional facilitando el encuentro entre expertos en esta área en un foro que permite la puesta en común de las nuevas ideas y proyectos en desarrollo. Al mismo tiempo, propician la siempre necesaria colaboración entre investigadores del ámbito de la Ingeniería de Control y Automática, así como de campos afines, a la hora de abordar complejos proyectos de investigación multidisciplinares.

En esta ocasión, las Jornadas estarán organizadas por la Universidad de Oviedo y se han celebrado del 6 al 8 de septiembre de 2017 en el Palacio de Congresos de Gijón, colaborando tanto la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón (EPI) como el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica de Computadores y de Sistemas del que depende el Área de Ingeniería de Sistemas y Automática.

Además de las habituales actividades científicas y culturales, esta edición es muy especial al celebrarse el **50 aniversario de la creación de CEA**, Comité Español de Automática. Igualmente este año se conmemora el 60 aniversario de la Federación Internacional del Control Automático de la que depende CEA. Así se ha llevado a cabo la presentación del libro que se ha realizado bajo la coordinación de D. Sebastián Dormido, sobre la historia de la Automática en España en una sesión en la que han participado todos los ex-presidentes de CEA conjuntamente con el actual, D. Joseba Quevedo.

Igualmente hemos contado con la presencia de conferenciantes de prestigio para las sesiones plenarias, comunicaciones y ponencias orales en las reuniones de los 9 grupos temáticos, contribuciones en formato póster. Se ha celebrado también el concurso de CEABOT, así como una nueva Competición de Drones, con el ánimo de involucrar a más estudiantes de últimos cursos de Grado/Máster.

En el marco de las actividades culturales programadas se ha podido efectuar un recorrido en el casco antiguo situado en torno al Cerro de Santa Catalina y visitar la Laboral.

Gijón, septiembre de 2017

Hilario López
Presidente del Comité Organizador

Program Committee

Antonio Agudo	Institut de Robòtica i Informàtica Industrial
Rosa M Aguilar	University of La Laguna.
Luciano Alonso	University of Cantabria
Ignacio Álvarez García	Universidad de Oviedo
Antonio Javier Artuñedo García	Centre for Automation and Robotics (CSIC-UPM)
José M. Azorín	Miguel Hernandez University of Elche
Pedro Balaguer	Universitat Jaume I
Antonio Javier Barragán Piña	Universidad de Huelva
Alfonso Baños	Universidad de Murcia
Guillermo Bejarano	University of Seville
Gerardo Beruvides	Centro de Automática y Robótica
Carlos Bordons	University of Seville
Jose Manuel Bravo	University of Huelva
Jose Luis Calvo-Rolle	University of A Coruña
Fernando Castaño Romero	Centro de Automática y Robótica (UPM -CSIC)
José Luis Casteleiro-Roca	University of Coruña
Alvaro Castro-Gonzalez	Universidad Carlos III de Madrid
Ramon Costa-Castelló	Universitat Politècnica de Catalunya
Abel A. Cuadrado	University of Oviedo
Arturo De La Escalera	Universidad Carlos III de Madrid
Emma Delgado	Universidad de Vigo
Jose-Luis Diez	Universitat Politecnica de Valencia
Manuel Domínguez	Universidad de León
Juan Manuel Escaño	Universidad de Sevilla
Mario Francisco	University of Salamanca
Maria Jesus Fuente	Universidad de Valladolid
Juan Garrido	Universtiy of Cordoba
Antonio Giménez	Universidad de Almeria
Evelio Gonzalez	Universidad de La Laguna
José-Luis Guzmán	Universidad de Almería
Rodolfo Haber	Center for Automation and Robotics (UPM-CSIC)
César Ernesto Hernández	Universidad de Almería
Eloy Irigoyen	UPV/EHU
Agustin Jimenez	Universidad PolitÁcnica de Madrid
Emilio Jiménez	University of La Rioja
Jesus Lozano	Universidad de Extremadura
Jorge Luis Madrid	Centro de Automática y Robótica
Luis Magdalena	Universidad Politécnic de Madrid
David Martin Gomez	Universidad Carlos III de Madrid
Fernando Matia	Universidad Politecnica de Madrid
Joaquim Melendez	Universitat de Girona
Juan Mendez	Universidad de La Laguna
Luis Moreno	Universidad Carlos III de Madrid
María Dolores Moreno Rabel	Universidad de Extremadura
David Muñoz	Universidad de Sevilla
Antonio José Muñoz-Ramirez	Universidad de Málaga
Jose Luis Navarro	Universidad Politecnica de Valencia
Manuel G. Ortega	University of Seville
Andrzej Pawlowski	UNED
Mercedes Perez de La Parte	University of La Rioja
Ignacio Peñarrocha	Universitat Jaume I de Castelló, Spain
José Luis Pitarch	Universidad de Valladolid

Daniel Pérez	University of Oviedo
Emilio Pérez	Universitat Jaume I
Juan Pérez Oria	Universidad de Cantabria
Miguel Ángel Ridao	Universidad de Sevilla
Gregorio Sainz-Palmero	Universidad de Valladolid
Antonio Sala	Universitat Politecnica de Valencia
Ester Sales-Setién	Universitat Jaume I
Jose Sanchez	UNED
Javier Sanchis Saez	Universitat Politecnica de Valencia (UPV)
José Pedro Santos	ITEFI-CSIC
Matilde Santos	Universidad Complutense de Madrid
Alvaro Serna	University of Valladolid
José Enrique Simó	Universidad Politécnica de Valencia
José A. Somolinos	ETS I Navales. Universidad Politecnica de Madrid
Fernando Tadeo	Univ. of Valladolid
Alejandro Tapia	Universidad de Loyola Andalucía
David Tena	Universitat Jaume I
Jesús Torres	Universidad de La Laguna
Pedro M. Vallejo	Universidad de Salamanca
Guilherme Vianna	Universidad de Sevilla
Alejandro Vignoni	AI2 - UPV
Ramón Vilanova	UAB
Francisco Vázquez	Universidad de Cordoba
Jesús M. Zamarreño	University of Valladolid

Revisores Adicionales

Al-Kaff, Abdulla

Balbastre, Patricia
Beltrán de La Cita, Jorge
Bermudez-Cameo, Jesus
Blanco-Claraco, Jose-Luis
Blanes, Francisco
Bonin-Font, Francisco

Cancela, Brais

Ferraz, Luis

Garita, Cesar
Gimenez, Antonio
Gruber, Patrick
Guindel, Carlos

Hernandez Ruiz, Alejandro
Hernandez, Daniel

Jardón Huete, Alberto

López, Amable

Marin, Raul
Marín Plaza, Pablo
Mañanas, Miguel Angel
Morales, Rafael
Moreno, Francisco-Angel

Núñez, Luis Ramón

Ponz Vila, Aurelio
Posadas-Yague, Juan-Luis
Poza-Luján, Jose-Luis
Pumarola, Albert

Raya, Rafael
Revestido Herrero, Elías
Rocon, Eduardo
Ruiz Sarmiento, José Raúl
Ruiz, Adria

Torres, Jose Luis

Vaquero, Victor

Table of Contents

Ingeniería de Control

TÚNEL DE AGUA PARA PRUEBAS Y CARACTERIZACIÓN DE DISEÑOS EXPERIMENTALES DE TURBINAS HIDROCINÉTICAS	1
<i>Eduardo Alvarez, Manuel Rico-Secades, Antonio Javier Calleja Rodríguez, Joaquín Fernández Francos, Aitor Fernández Jiménez, Mario Alvarez Fernández and Samuel Camba Fernández</i>	
Reduction of population variability in protein expression: A control engineering approach.	8
<i>Yadira Boada, Alejandro Vignoni and Jesús Picó</i>	
CONTROL ROBUSTO DEL PH EN FOTOBIORREACTORES MEDIANTE RECHAZO ACTIVO DE PERTURBACIONES	16
<i>José Carreño, Jose Luis Guzman, José Carlos Moreno and Rodolfo Villamizar</i>	
Control reset para maniobra de cambio de carril y validación con CarSim	23
<i>Miguel Cerdeira, Pablo Falcón, Antonio Barreiro, Emma Delgado and Miguel Díaz-Cacho</i>	
Maniobra de aterrizaje automática de una Cessna 172P modelada en FlightGear y controlada desde un programa en C	31
<i>Mario de La Rosa, Antonio Javier Gallego and Eduardo Fernández</i>	
Alternativas para el control de la red eléctrica aislada en parques eólicos marinos	38
<i>Carlos Díaz-Sanahuja, Ignacio Peñarrocha, Ricardo Vidal-Albalade and Ester Sales-Setién</i>	
CONTROL PREDICTIVO DISTRIBUIDO UTILIZANDO MODELOS DIFUSOS PARA LA NEGOCIACIÓN ENTRE AGENTES	46
<i>Lucía Fargallo, Silvana Roxani Revollar Chavez, Mario Francisco, Pastora Vega and Antonio Cembellín</i>	
Control Predictivo en el espacio de estados de un captador solar tipo Fresnel	54
<i>Antonio Javier Gallego, Mario de La Rosa and Eduardo Fernández</i>	
Control predictivo para la operación eficiente de una planta formada por un sistema de desalación solar y un invernadero	62
<i>Juan Diego Gil Vergel, Lidia Roca, Manuel Berenguel, Alba Ruiz Aguirre, Guillermo Zaragoza and Antonio Giménez</i>	
Depuración de Aguas Residuales en la Industria 4.0	70
<i>Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel, Ana María Jiménez Arévalo, Laura Eiroa Mateo and Fco. Javier Fernández-De-Cañete-Rodríguez</i>	
Control robusto con QFT del pH en un fotobioreactor raceway	77
<i>Ángeles Hoyo Sánchez, Jose Luis Guzman, Jose Carlos Moreno and Manuel Berenguel</i>	
Revisión sistemática de la literatura en ingeniería de sistemas. Caso práctico: técnicas de estimación distribuida de sistemas ciberfísicos	84
<i>Carmelina Ierardi, Luis Orihuela Espina, Isabel Jurado Flores, Álvaro Rodríguez Del Nozal and Alejandro Tapia Córdoba</i>	
Desarrollo de un Controlador Predictivo para Autómatas programables basado en la normativa IEC 61131-3	92
<i>Pablo Krupa, Daniel Limon and Teodoro Alamo</i>	
Diseño de un emulador de aerogenerador de velocidad variable DFIG y control de pitch ...	100
<i>Manuel Lara Ortiz, Juan Garrido Jurado and Francisco Vázquez Serrano</i>	

Observación de la fracción de agua líquida en pilas de combustible tipo PEM de cátodo abierto.....	108
<i>Julio Luna and Ramon Costa-Castelló</i>	
Control Predictivo Basado en Datos.....	115
<i>José María Manzano, Daniel Limón, Teodoro Álamo and Jan Peter Calliess</i>	
Control MPC basado en un modelo LTV para seguimiento de trayectoria con estabilidad garantizada.....	122
<i>Sara Mata, Asier Zubizarreta, Ione Nieva, Itziar Cabanes and Charles Pinto</i>	
Implementación y evaluación de controladores basados en eventos en la norma IEC-61499.	130
<i>Oscar Miguel-Escrig, Julio-Ariel Romero-Pérez and Esteban Querol-Dolz</i>	
AUTOMATIZACIÓN Y MONITORIZACIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE ENSAYO DE MOTORES.....	138
<i>Alfonso Poncela Méndez, Miguel Ochoa Vega, Eduardo J. Moya de La Torre and F. Javier García Ruíz</i>	
OPTIMIZACIÓN Y CONTROL EN CASCADA DE TEMPERATURA DE RECINTO MEDIANTE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.....	146
<i>David Rodríguez, José Enrique Alonso Alfaya, Guillermo Bejarano Pellicer and Manuel G. Ortega</i>	
Diseño LQ e implementación distribuida para la estimación de estado.....	154
<i>Álvaro Rodríguez Del Nozal, Luis Orihuela, Pablo Millán Gata, Carmelina Ierardi and Alejandro Tapia Córdoba</i>	
Estimación de fugas en un sistema industrial real mediante modelado por señales aditivas.	160
<i>Ester Sales-Setién, Ignacio Peñarrocha and David Tena</i>	
Advanced control based on MPC ideas for offshore hydrogen production.....	167
<i>Alvaro Serna, Fernando Tadeo and Julio. E Normey-Rico</i>	
Transfer function parameters estimation by symmetric send-on-delta sampling.....	174
<i>José Sánchez, María Guinaldo, Sebastián Dormido and Antonio Visioli</i>	
An Estimation Approach for Process Control based on Asymmetric Oscillations.....	181
<i>José Sánchez, María Guinaldo Losada, Sebastian Dormido, José Luis Fernández Marrón and Antonio Visioli</i>	
Robust PI controller for disturbance attenuation and its application for voltage regulation in islanded microgrid.....	189
<i>Ramon Vilanova, Carles Pedret and Orlando Arrieta</i>	
Infraestructura para explotación de datos de un simulador azucarero.....	197
<i>Jesús M. Zamarreño, Cristian Pablos, Alejandro Merino, L. Felipe Acebes and De Prada César</i>	
<hr/> Automar <hr/>	
INFRAESTRUCTURA PARA ESTUDIAR ADAPTABILIDAD Y TRANSPARENCIA EN EL CENTRO DE CONTROL VERSÁTIL.....	203
<i>Juan Antonio Bonache Seco, José Antonio Lopez Orozco, Eva Besada Portas and Jesús Manuel de La Cruz</i>	
ARQUITECTURA DE CONTROL HÍBRIDA PARA LA NAVEGACIÓN DE VEHÍCULOS SUBMARINOS NO TRIPULADOS.....	211
<i>Francisco J. Lastra, Jesús A. Trujillo, Francisco J. Velasco and Elías Revestido</i>	

Exploración y Reconstrucción 3D de Fondos Marinos Mediante AUVs y Sensores Acústicos	218
<i>Oscar L. Manrique Garcia, Mario Andrei Garzon Oviedo and Antonio Barrientos</i>	
AUTOMATIZACIÓN DE MANIOBRAS PARA UN TEC DE 2GdL	226
<i>Marina Pérez de La Portilla, José Andrés Somolinos Sánchez, Amable López Piñeiro, Rafael Morales Herrera and Eva Segura</i>	
MERBOTS PROJECT: OVERALL DESCRIPTION, MULTISENSORY AUTONOMOUS PERCEPTION AND GRASPING FOR UNDERWATER ROBOTICS INTERVENTIONS	232
<i>Pedro J. Sanz, Raul Marin, Antonio Peñalver, David Fornas and Diego Centelles</i>	
<hr/> Bioingeniería <hr/>	
MARCADORES CUADRADOS Y DEFORMACIÓN DE OBJETOS EN NAVEGACIÓN QUIRÚRGICA CON REALIDAD AUMENTADA	238
<i>Eliana Aguilar, Oscar Andres Vivas and Jose Maria Sabater-Navarro</i>	
Entrenamiento robótico de la marcha en pacientes con Parálisis Cerebral: definición de objetivos, propuesta de tratamiento e implementación clínica preliminar	244
<i>Cristina Bayón, Teresa Martín-Lorenzo, Beatriz Moral-Saiz, Óscar Ramírez, Álvaro Pérez-Somarriba, Sergio Lerma-Lara, Ignacio Martínez and Eduardo Rocon</i>	
PREDICCIÓN DE ACTIVIDADES DE LA VIDA DIARIA EN ENTORNOS INTELIGENTES PARA PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA	251
<i>Arturo Bertomeu-Motos, Santiago Ezquerro, Juan Antonio Barios, Luis Daniel Lledó, Francisco Javier Badesa and Nicolas Garcia-Aracil</i>	
Sistema de Visión Estereoscópico para el guiado de un Robot Quirúrgico en Operaciones de Cirugía Laparoscópica HALS.....	256
<i>Carlos Castedo Hernández, Rafael Estop Remacha, Eusebio de La Fuente López and Lidia Santos Del Blanco</i>	
Head movement assessment of cerebral palsy users with severe motor disorders when they control a computer thought eye movements.....	264
<i>Alejandro Clemotte, Miguel A. Velasco and Eduardo Rocon</i>	
Diseño de un sensor óptico de fuerza para exoesqueletos de mano.....	270
<i>Jorge Diez Pomares, Andrea Blanco Ivorra, José María Catalan Orts, Francisco Javier Badesa Clemente, José María Sabater and Nicolas Garcia Aracil</i>	
POSIBILIDADES DEL USO DE TRAMAS ARTIFICIALES DE IMAGEN MOTORA PARA UN BCI BASADO EN EEG	276
<i>Josep Dinarès-Ferran, Christoph Guger and Jordi Solé-Casals</i>	
EFFECTOS SOBRE LA ERD EN TAREAS DE CONTROL DE EXOESQUELETO DE MANO EMPLEANDO BCI.....	282
<i>Santiago Ezquerro, Juan Antonio Barios, Arturo Bertomeu-Motos, Luisa Lorente, Nuria Requena, Irene Delegido, Francisco Javier Badesa and Nicolas Garcia-Aracil</i>	
Formulación Topológica Adaptada para la Simulación y Control de Exoesqueletos Accionados con Transmisiones Harmonic Drive.....	288
<i>Andres Hidalgo Romero and Eduardo Rocon</i>	

Identificación de contracciones isométricas de la extremidad superior en pacientes con lesión medular incompleta mediante características espectrales de la electromiografía de alta densidad (HD-EMG)	296
<i>Mislav Jordanic, Mónica Rojas-Martínez, Joan Francesc Alonso, Carolina Migliorelli and Miguel Ángel Mañanas</i>	
Diseño de una plataforma para analizar el efecto de la estimulación mecánica aferente en el temblor de pacientes con temblor esencial	302
<i>Julio S. Lora, Roberto López, Jesús González de La Aleja and Eduardo Rocon</i>	
DEFINICIÓN DE UN PROTOCOLO PARA LA MEDIDA PRECISA DEL RANGO CERVICAL EMPLEANDO TECNOLOGÍA INERCIAL	308
<i>Álvaro Martín, Rafael Raya, Cristina Sánchez, Rodrigo Garcia-Carmona, Oscar Ramirez and Abraham Otero</i>	
SISTEMA BRAIN-COMPUTER INTEFACE DE NAVEGACIÓN WEB ORIENTADO A PERSONAS CON GRAVE DISCAPACIDAD.....	313
<i>Víctor Martínez-Cagigal, Javier Gómez-Pilar, Daniel Álvarez, Eduardo Santamaría-Vázquez and Roberto Hornero</i>	
ESTRATEGIAS DE NEUROESTIMULACIÓN TRANSCRANEAL POR CORRIENTE DIRECTA PARA MEJORA COGNITIVA	320
<i>Silvia Moreno Serrano, Mario Ortiz and José María Azorín Poveda</i>	
COMPARATIVA DE ALGORITMOS PARA LA DETECCIÓN ONLINE DE IMAGINACIÓN MOTORA DE LA MARCHA BASADO EN SEÑALES DE EEG	328
<i>Marisol Rodríguez-Ugarte, Irma Nayeli Angulo Sherman, Eduardo Iáñez and Jose M. Azorin</i>	
DETECCIÓN, MEDIANTE UN GUANTE SENSORIZADO, DE MOVIMIENTOS SELECCIONADOS EN UN SISTEMA ROBOTIZADO COLABORATIVO PARA HALS	334
<i>Lidia Santos, José Luis González, Eusebio de La Fuente, Juan Carlos Fraile and Javier Pérez Turiel</i>	
BIOSENSORES PARA CONTROL Y SEGUIMIENTO PATOLOGÍAS REUMATOIDES	340
<i>Amparo Tirado, Raúl Marín, José V Martí, Miguel Belmonte and Pedro Sanz</i>	
Assessment of tremor severity in patients with essential tremor using smartwatches	347
<i>Miguel A. Velasco, Roberto López-Blanco, Juan P. Romero, M. Dolores Del Castillo, J. Ignacio Serrano, Julián Benito-León and Eduardo Rocon</i>	
INTERFAZ CEREBRO-ORDENADOR PARA EL CONTROL DE UNA SILLA DE RUEDAS A TRAVÉS DE DOS PARADIGMAS DE NAVEGACIÓN	353
<i>Fernández-Rodríguez Álvaro, Velasco-Álvarez Francisco and Ricardo Ron-Angevin</i>	
<hr/>	
Control Inteligente	
Aprendizaje por Refuerzo para sistemas lineales discretos con dinámica desconocida: Simulación y Aplicación a un Sistema Electromecánico	360
<i>Henry Diaz, Antonio Sala and Leopoldo Armesto</i>	
Diseño de sistemas de control en cascada clásico y borroso para el seguimiento de trayectorias	368
<i>Javier G. Gonzalez, Rodolfo Haber, Fernando Matia and Marcelino Novo</i>	

ANÁLISIS FORMAL DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS NO LINEALES MEDIANTE REDES NEURONALES.....	376
<i>Eloy Irigoyen, Mikel Larrea, A. Javier Barragán, Miguel Ángel Martínez and José Manuel Andújar</i>	
Predicción de la energía renovable proveniente del oleaje en las islas de Fuerteventura y Lanzarote.	384
<i>G.Nicolás Marichal, Deivis Avila, Ángela Hernández, Isidro Padrón and José Ángel Rodríguez</i>	
Aplicación de Redes Neuronales para la Estimación de la Resistencia al Avance en Buques	393
<i>Daniel Marón Blanco and Matilde Santos</i>	
Novel Fuzzy Torque Vectoring Controller for Electric Vehicles with per-wheel Motors.....	401
<i>Alberto Parra, Martín Dendaluze, Asier Zubizarreta and Joshué Pérez</i>	
REPOSTAJE EN TIERRA DE UN AVIÓN MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS .	408
<i>Elías Plaza and Matilde Santos</i>	
VISUALIZACIÓN WEB INTERACTIVA PARA EL ANÁLISIS DEL CHATTER EN LAMINACIÓN EN FRÍO.....	416
<i>Daniel Pérez López, Abel Alberto Cuadrado Vega and Ignacio Díaz Blanco</i>	
BANCADA PARA ANÁLISIS INTELIGENTE DE DATOS EN MONITORIZACIÓN DE SALUD ESTRUCTURAL.....	424
<i>Daniel Pérez López, Diego García Pérez, Ignacio Díaz Blanco and Abel Alberto Cuadrado Vega</i>	
CONTROL DE UN VEHÍCULO CUATRIRROTOR BASADO EN REDES NEURONALES.....	431
<i>Jesus Enrique Sierra and Matilde Santos</i>	
CONTROL PREDICTIVO FUZZY CON APLICACIÓN A LA DEPURACIÓN BIOLÓGICA DE FANGOS ACTIVADOS.....	437
<i>Pedro M. Vallejo Llamas and Pastora Vega Cruz</i>	
<hr/> Educación en Automática <hr/>	
REFLEXIONES SOBRE EL VALOR DOCENTE DE UNA COMPETICION DE DRONES EN LA EDUCACIÓN PARA EL CONTROL.....	445
<i>Ignacio Díaz Blanco, Alvaro Escanciano Urigüen, Antonio Robles Alvarez and Hilario López García</i>	
Uso del Haptic Paddle con aprendizaje basado en proyectos.....	451
<i>Juan M. Gandarias, Antonio José Muñoz-Ramírez and Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel</i>	
REPRESENTACION INTEGRADA DE ACCIONAMIENTOS MECANICOS Y CONTROL DE EJES ORIENTADA A LA COMUNICACIÓN Y DOCENCIA EN MECATRONICA.....	457
<i>Julio Garrido Campos, David Santos Esterán, Juan Sáez López and José Ignacio Armesto Quiroga</i>	
Construcción y modelado de un prototipo fan & plate para prácticas de control automático	465
<i>Cristina Lampon, Javier Martin, Ramon Costa-Castelló and Muppaneni Lokesh Chowdary</i>	

EDUCACION EN AUTOMATICA E INDUSTRIA 4.0 MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS 3D	471
<i>Jose Ramon Llata, Esther Gonzalez-Sarabia, Carlos Torre-Ferrero and Ramon Sancibrian</i>	
Desarrollo e implementación de un sistema de control en una planta piloto hibrida.....	479
<i>Maria P. Marcos, Cesar de Prada and Jose Luis Pitarch</i>	
LA INFORMÁTICA INDUSTRIAL EN LAS INGENIERÍAS INDUSTRIALES	486
<i>Rogelio Mazaeda, Eusebio de La Fuente López, José Luis González, Eduardo J. Moya de La Torre, Miguel Angel García Blanco, Javier García Ruiz, María Jesús de La Fuente Aparicio, Gregorio Sainz Palmero and Smaranda Cristea</i>	
Ventajas docentes de un flotador magnético para la experimentación de técnicas control ..	495
<i>Eduardo Montijano, Carlos Bernal, Carlos Sagües, Antonio Bono and Jesús Sergio Artal</i>	
PROGRAMACIÓN ATRACTIVA DE PLC	502
<i>Eduardo J. Moya de La Torre, F. Javier García Ruíz, Alfonso Poncela Méndez and Victor Barrio Lángara</i>	
MODERNIZACIÓN DE EQUIPO FEEDBACK MS-150 PARA EL APRENDIZAJE ACTIVO EN INGENIERÍA DE CONTROL	510
<i>Perfecto Reguera Acevedo, Miguel Ángel Prada Medrano, Antonio Morán Álvarez, Juan José Fuertes Martínez, Manuel Domínguez González and Serafín Alonso Castro</i>	
INNOVACIÓN PEDAGÓGICA EN LA FORMACIÓN DEL PERFIL PROFESIONAL PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL A TRAVÉS DE UNA APROXIMACIÓN HOLÍSTICA.	517
<i>Juan Carlos Ríos, Zaneta Babel, Daniel Martínez, José María Paredes, Luis Alonso, Pablo Hernández, Alejandro García, David Álvarez, Jorge Miranda, Constantino Manuel Valdés and Jesús Alonso</i>	
Aprendiendo Simulación de Eventos Discretos con JaamSim	522
<i>Enrique Teruel and Rosario Aragüés</i>	
RED NEURONAL AUTORREGRESIVA NO LINEAL CON ENTRADAS EXÓGENAS PARA LA PREDICCIÓN DEL ELECTROENCEFALOGRAMA FETAL...	528
<i>Rosa M Aguilar, Jesús Torres and Carlos Martín</i>	
ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MATERIA EN REACTORES RACEWAYS.....	534
<i>Marta Barceló, Jose Luis Guzman, Francisco Gabriel Acién, Ismael Martín and Jorge Antonio Sánchez</i>	
MODELADO DINÁMICO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE FRÍO VINCULADO A UN CICLO DE REFRIGERACIÓN	539
<i>Guillermo Bejarano Pellicer, José Joaquín Suffo, Manuel Vargas and Manuel G. Ortega</i>	
Predictor Intervalar basado en hiperplano soporte	547
<i>José Manuel Bravo Caro, Manuel Vasallo Vázquez, Emilian Cojocarú and Teodoro Alamo Cantarero</i>	
Dynamic simulation applied to refinery hydrogen networks	555
<i>Anibal Galan Prado, Cesar De Prada, Gloria Gutierrez, Rafael Gonzalez and Daniel Sarabia</i>	

APROXIMACIÓN DE MODELOS ALGEBRAICOS MEDIANTE ALAMO Y ECOSIMPRO	563
<i>Carlos Gómez Palacín, José Luis Pitarch, Gloria Gutiérrez and Cesar De Prada</i>	
A Causal Model to Analyze Aircraft Collision Avoidance Deadlock Scenarios	569
<i>Miquel Àngel Piera Eroles, Julia de Homdedeu, Maria Del Mar Tous, Thimjo Koca and Marko Radanovic</i>	
ONLINE DECISION SUPPORT FOR AN EVAPORATION NETWORK	575
<i>José Luis Pitarch, Marc Kalliski, Carlos Gómez Palacín, Christian Jasch and Cesar De Prada</i>	
Predicción de la irradiancia a partir de datos de satélite mediante deep learning	582
<i>Javier Pérez, Jorge Segarra-Tamarit, Hector Beltran, Carlos Ariño, José Carlos Alfonso Gil, Aleks Attanasio and Emilio Pérez</i>	
MODELO DINÁMICO ORIENTADO AL TRATAMIENTO Y SEGUIMIENTO DE LA LEUCEMIA MIELOIDE CRÓNICA	589
<i>Gabriel Pérez Rodríguez and Fernando Morilla</i>	
Modelado y optimización de la operación de un sistema de bombeo de múltiples depósitos	596
<i>Roberto Sanchis Llopis and Ignacio Peñarrocha</i>	
DEVELOPMENT OF A GREY MODEL FOR A MEDIUM DENSITY FIBREBOARD DRYER IN ECOSIMPRO	604
<i>Pedro Santos, Jose Luis Pitarch and César de Prada</i>	
DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE FALLOS MEDIANTE MONITORIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LAS FECHAS DE LIMPIEZA PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS	611
<i>Jorge Segarra-Tamarit, Emilio Pérez, Hector Beltran, Enrique Belenguer and José Luis Gandía</i>	
Modelado de micro-central hidráulica para el diseño de controladores con aplicación en regiones aisladas de Honduras	618
<i>Alejandro Tapia Córdoba, Pablo Millán Gata, Fabio Gómez-Estern Aguilar, Carmelina Ierardi and Álvaro Rodríguez Del Nozal</i>	
FRAMEWORK PARA EL MODELADO DE UN LAGO DE DATOS	626
<i>J.M Torres, R.M. Aguilar, C.A. Martin and S. Diaz</i>	
SIMULADOR CARDIOVASCULAR PARA ENSAYO DE ROBOTS DE NAVEGACION AUTONOMA	633
<i>José Emilio Traver, Juan Francisco Ortega Morán, Ines Tejado, J. Blas Pagador, Fei Sun, Raquel Pérez-Aloe, Blas M. Vinagre and F. Miguel Sánchez Margallo</i>	
PLANIFICACION DE LA PRODUCCION BASADA EN CONTROL PREDICTIVO PARA PLANTAS TERMOSOLARES	641
<i>Manuel Jesús Vasallo Vázquez, José Manuel Bravo Caro, Emilian Cojocarú and Manuel Emilio Gegundez Arias</i>	
Evaluación multicriterio para la optimización de redes de energía	649
<i>Ascensión Zafra Cabeza, Rafael Espinosa, Miguel Àngel Ridao Carlini and Carlos Bordóns Alba</i>	
Percibiendo el entorno en los robots sociales del RoboticsLab	657
<i>Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo Montoya, Àlvaro Castro-Gonzalez, Juan José Gamboa, Marcos Maroto Gómez, Sara Marqués Villaroya, Antonio J. Pérez Vidal and Miguel Àngel Salichs</i>	

DISEÑO DE UNA PRÓTESIS DE MANO ADAPTABLE AL CRECIMIENTO	664
<i>Marta Ayats and Raul Suarez</i>	
COOPERATIVISMO BIOINSPIRADO BASADO EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS HORMIGAS	672
<i>Brayan Bermudez, Kristel Novoa and Miguel Valbuena</i>	
PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN EXOESQUELETO DE MIEMBRO SUPERIOR PARA SOPORTE DE CARGAS	680
<i>Andrea Blanco Ivorra, Jorge Diez Pomares, David Lopez Perez, Francisco Javier Badesa Clemente, Miguel Ignacio Sanchez and Nicolas Garcia Aracil</i>	
Estructura de control en ROS y modos de marcha basados en máquinas de estados de un robot hexápodo	686
<i>Raúl Cebolla Arroyo, Jorge De Leon Rivas and Antonio Barrientos</i>	
USING AN UAV TO GUIDE THE TELEOPERATION OF A MOBILE MANIPULATOR	694
<i>Josep Arnau Claret and Luis Basañez</i>	
Estudio de los patrones de marcha para un robot hexápodo en tareas de búsqueda y rescate	701
<i>Jorge De León Rivas and Antonio Barrientos</i>	
SISTEMA DE INTERACCIÓN VISUAL PARA UN ROBOT SOCIAL	709
<i>Mario Domínguez López, Eduardo Zalama Casanova, Jaime Gómez García-Bermejo and Samuel Marcos Pablos</i>	
Mejora del Comportamiento Proxémico de un Robot Autónomo mediante Motores de Inteligencia Artificial Desarrollados para Plataformas de Videojuegos	717
<i>David Fernández Chaves, Javier Monroy and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	
Micrófonos de contacto: una alternativa para sensado táctil en robots sociales	724
<i>Juan José Gamboa, Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo, Marcos Maroto Gómez and Miguel A. Salichs</i>	
Clasificación de información táctil para la detección de personas	732
<i>Juan M. Gandarias, Jesús M. Gómez-De-Gabriel and Alfonso García-Cerezo</i>	
Planificación para interceptación de objetivos: Integración del Método Fast Marching y Risk-RRT	738
<i>David Alfredo Garzon Ramos, Mario Andrei Garzon Oviedo and Antonio Barrientos</i>	
ESTABILIZACIÓN DE UNA BOLA SOBRE UN PLANO UTILIZANDO UN ROBOT PARALELO 6-RSS	746
<i>Daniel González, Lluís Ros and Federico Thomas</i>	
TELEOPERACIÓN DE INSTRUMENTOS QUIRÚRGICOS ARTICULADOS	754
<i>Ana Gómez Delgado, Carlos Perez-Del-Pulgar, Antonio Reina Terol and Victor Muñoz Martinez</i>	
CONTROL OF A ROBOTIC ARM FOR TRANSPORTING OBJECTS BASED ON NEURO-FUZZY LEARNING VISUAL INFORMATION	760
<i>Juan Hernández Vicén, Santiago Martínez de La Casa Díaz and Carlos Balaguer</i>	
PLATAFORMA BASADA EN LA INTEGRACIÓN DE MATLAB Y ROS PARA LA DOCENCIA DE ROBÓTICA DE SERVICIO	766
<i>Carlos G. Juan, Jose Maria Vicente, Alvaro Garcia and Jose Maria Sabater-Navarro</i>	

Estimadores de fuerza y movimiento para el control de un robot de rehabilitación de extremidad superior.....	772
<i>Aitziber Mancisidor, Asier Zubizarreta, Itziar Cabanes, Pablo Bengoa and Asier Brull</i>	
Definiendo los elementos que constituyen un robot social portable de bajo coste	780
<i>Marcos Maroto Gómez, José Carlos Castillo, Fernando Alonso-Martín, Juan José Gamboa, Sara Marqués Villarroya and Miguel Ángel Salichs</i>	
Interfaces táctiles para Interacción Humano-Robot	787
<i>Sara Marqués Villarroya, Jose Carlos Castillo Montoya, Fernando Alonso Martín, Marcos Maroto Gómez, Juan José Gamboa and Miguel A. Salichs</i>	
HERRAMIENTAS DE ENTRENAMIENTO Y MONITORIZACIÓN PARA EL DESMINADO HUMANITARIO	793
<i>Hector Montes, Roemi Fernandez, Pablo Gonzalez de Santos and Manuel Armada</i>	
Control a Baja Velocidad de una Rueda con Motor de Accionamiento Directo mediante Ingeniería Basada en Modelos	799
<i>Antonio José Muñoz-Ramírez, Jesús Manuel Luque-Bedmar, Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel, Anthony Mandow, Javier Serón and Alfonso Garcia-Cerezo</i>	
SIMULACIÓN DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS USANDO V-REP BAJO ROS	806
<i>Cándido Otero Moreira, Enrique Paz Domonte, Rafael Sanz Dominguez, Joaquín López Fernández, Rafael Barea, Eduardo Romera, Eduardo Molinos, Roberto Arroyo, Luís Miguel Bergasa and Elena López</i>	
Cinemática y prototipado de un manipulador paralelo con centro de rotación remoto para robótica quirúrgica.....	814
<i>Francisco Pastor, Juan M. Gandarias and Jesús M. Gómez-De-Gabriel</i>	
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE SINGULARIDADES AISLADAS EN ROBOTS PARALELOS MEDIANTE DESARROLLOS DE TAYLOR DE SEGUNDO ORDEN.....	821
<i>Adrián Peidro Vidal, Óscar Reinoso, Arturo Gil, José María Marín and Luis Payá</i>	
INTERFAZ DE CONTROL PARA UN ROBOT MANIPULADOR MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL	829
<i>Elena Peña-Tapia, Juan Jesús Roldán, Mario Garzón, Andrés Martín-Barrio and Antonio Barrientos</i>	
Evolución de la robótica social y nuevas tendencias.....	836
<i>Antonio J. Pérez Vidal, Alvaro Castro-Gonzalez, Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo Montoya and Miguel A. Salichs</i>	
DISEÑO MECÁNICO DE UN ASISTENTE ROBÓTICO CAMARÓGRAFO CON APRENDIZAJE COGNITIVO	844
<i>Irene Rivas-Blanco, M Carmen López-Casado, Carlos Pérez-Del-Pulgar, Francisco García-Vacas, Víctor Fernando Muñoz, Enrique Bauzano and Juan Carlos Fraile</i>	
CÁLCULO DE FUERZAS DE CONTACTO PARA PRENSIONES BIMANUALES.....	852
<i>Francisco Abiud Rojas-De-Silva and Raul Suarez</i>	
Modelado del Contexto Geométrico para el Reconocimiento de Objetos.....	860
<i>José Raúl Ruiz Sarmiento, Cipriano Galindo and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	
Estimación Probabilística de Áreas de Emisión de Gases con un Robot Móvil Mediante la Integración Temporal de Observaciones de Gas y Viento	868
<i>Carlos Sanchez-Garrido, Javier Monroy and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	

MANIPULADOR AÉREO CON BRAZOS ANTROPOMÓRFICOS DE ARTICULACIONES FLEXIBLES	876
<i>Alejandro Suarez, Guillermo Heredia and Anibal Ollero</i>	
EVALUACIÓN DE UN ENTORNO DE TELEOPERACIÓN CON ROS	864
<i>David Vargas Frutos, Juan Carlos Ramos Martínez, José Luis Samper Escudero, Miguel Ángel Sánchez-Urán González and Manuel Ferre Pérez</i>	

Sistemas de Tiempo Real

GENERACIÓN DE CÓDIGO IEC 61131-3 A PARTIR DE DISEÑOS EN GRAFCET....	892
<i>María Luz Alvarez Gutierrez, Isabel Sarachaga Gonzalez, Arantzazu Burgos Fernandez, Nagore Iriondo Urbistazu and Marga Marcos Muñoz</i>	
CONTROL EN TIEMPO REAL Y SUPERVISIÓN DE PROCESOS MEDIANTE SERVIDORES OPC-UA	900
<i>Francisco Blanes Noguera and Andrés Benlloch Faus</i>	
Control de la Ejecución en Sistemas de Criticidad Mixta	906
<i>Alfons Crespo, Patricia Balbastre, Jose Simo and Javier Coronel</i>	
GENERACIÓN AUTOMÁTICA DEL PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN TIA PORTAL PARA MÁQUINAS MODULARES	913
<i>Darío Orive, Aintzane Armentia, Eneko Fernandez and Marga Marcos</i>	
DDS en el desarrollo de sistemas distribuidos heterogéneos con soporte para criticidad mixta	921
<i>Hector Perez and J. Javier Gutiérrez</i>	
ARQUITECTURA DISTRIBUIDA PARA EL CONTROL AUTÓNOMO DE DRONES EN INTERIOR	929
<i>Jose-Luis Poza-Luján, Juan-Luis Posadas-Yaguë, Giovanni-Javier Tipantuña-Topanta, Francisco Abad and Ramón Mollá</i>	
Ingeniería Conducida por Modelos en Sistemas de Automatización Flexibles	935
<i>Rafael Priego, Elisabet Estévez, Darío Orive, Isabel Sarachaga and Marga Marcos</i>	
Estudio e implementación de Middleware para aplicaciones de control distribuido	942
<i>Jose Simo, Jose-Luis Poza-Lujan, Juan-Luis Posadas-Yaguë and Francisco Blanes</i>	

Visión por Computador

Real-Time Image Mosaicking for Mapping and Exploration Purposes	948
<i>Abdulla Al-Kaff, Juan Camilo Soto Triviño, Raúl Sosa San Frutos, Arturo de La Escalera and José María Armingol Moreno</i>	
ALGORITMO DE SLAM UTILIZANDO APARIENCIA GLOBAL DE IMÁGENES OMNIDIRECCIONALES	956
<i>Yerai Berenguer, Luis Payá, Mónica Ballesta, Luis Miguel Jiménez, Sergio Cebollada and Oscar Reinoso</i>	
Medición de Oximetría de Pulso mediante Imagen fotopletismográfica.....	964
<i>Juan-Carlos Cobos-Torres, Jordan Ortega Rodríguez, Pablo J. Alhama Blanco and Mohamed Abderrahim</i>	
Algoritmo de captura de movimiento basado en visión por computador para la teleoperación de robots humanoides	970
<i>Juan Miguel Garcia Haro and Santiago Martinez de La Casa</i>	

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DETECCIÓN DE ROSTROS EN IMÁGENES DIGITALES	976
<i>Natalia García Del Prado, Victor Gonzalez Castro, Enrique Alegre and Eduardo Fidalgo Fernández</i>	
LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE FUGA PARA SISTEMA DE DETECCIÓN DE LÍNEAS DE CARRIL	983
<i>Manuel Ibarra-Arenado, Tardi Tjahjadi, Sandra Robla-Gómez and Juan Pérez-Oria</i>	
Oculus-Crawl, a Software Tool for Building Datasets for Computer Vision Tasks	991
<i>Iván De Paz Centeno, Eduardo Fidalgo Fernández, Enrique Alegre Gutiérrez and Wesam Al Nabki</i>	
Clasificación automática de obstáculos empleando escáner láser y visión por computador ..	999
<i>Aurelio Ponz, Fernando Garcia, David Martin, Arturo de La Escalera and Jose Maria Armingol</i>	
T-SCAN: OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS CON COLOR Y TEMPERATURA EN INTERIOR DE EDIFICIOS	1007
<i>Tomás Prado, Blanca Quintana, Samuel A. Prieto and Antonio Adan</i>	
EVALUACIÓN DE MÉTODOS PARA REALIZAR RESÚMENES AUTOMÁTICOS DE VÍDEOS	1015
<i>Pablo Rubio, Eduardo Fidalgo, Enrique Alegre and Víctor González</i>	
SIMULADOR PARA LA CREACIÓN DE MUNDOS VIRTUALES PARA LA ASISTENCIA A PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA EN SILLA DE RUEDAS .	1023
<i>Carlos Sánchez Sánchez, María Cidoncha Jiménez, Emiliano Pérez, Ines Tejado and Blas M. Vinagre</i>	
Calibración Extrínseca de un Conjunto de Cámaras RGB-D sobre un Robot Móvil	1031
<i>David Zúñiga-Nöel, Rubén Gómez Ojeda, Francisco-Ángel Moreno and Javier González Jiménez</i>	

ASSESSMENT OF TREMOR SEVERITY IN PATIENTS WITH ESSENTIAL TREMOR USING SMARTWATCHES

M.A. Velasco¹, R. López-Blanco², J.P. Romero³, M.D. del Castillo¹, J.I. Serrano¹, J. Benito-León², E. Rocon¹

¹Neural and Cognitive Engineering group, Centro de Automática y Robótica (CAR) CSIC-UPM, Ctra. Campo Real, km 0.2, 28500, Arganda del Rey, e.rocon@csic.es; ²Instituto de Investigación (i+12), Hospital Universitario 12 de Octubre, Av. de Córdoba s/n, 28041, Madrid, jbenitol67@gmail.com; ³Unidad de Daño Cerebral, Hospital Beata María Ana, Madrid, C. del Dr. Esquerdo, 83, 28007, Madrid, p.romero.prof@ufv.es

Abstract

This paper presents a classification model for the automatic quantification of tremor severity in patients with essential tremor (ET). The system is based on the signals measured by two commercial smartwatches that the patients wear on their wrist and ankle. The smartwatches register acceleration and angular velocity in these body segments. A set of nine tremor features were used to train the classification algorithm. The proposed algorithm is based on a C4.5 decision tree classifier. It is able to assess rest and kinetic (postural or action) tremor. The method was evaluated using data collected from thirty-four patients with ET. The algorithm classifies the severity of tremor in five levels 0-4 corresponding to those in the Fahn-Tolosa-Marin tremor rating scale with a 94% accuracy. The method can be implemented in a networked platform for the remote monitoring and assessment of movement disorders such as ET or Parkinson's disease.

Keywords: tremor assessment; time series classification; Essential Tremor.

1 INTRODUCTION

Essential tremor (ET) is considered the most prevalent type of tremor in adults, affecting ~ 5% of people over age 65 [1]. Bilateral postural with or without kinetic (in posture or action) tremor are the hallmarks of this entity, but mild rest tremor can be observed in some long-standing severe kinetic tremor [2]. Remarkably, 75% of the patients with ET report significant disability [3], consisting in relevant interference with employment, activities of daily living (ADL), and social function [4]. Improving tremor management in these patients could therefore drastically reduce direct and indirect costs related to the disease. It could also improve the quality of life and independence of both patients and caregivers.

Many objective transducer-based measures, such as electromyography (EMG), vocal acoustic analysis, accelerometers, or gyroscopes, have been used for the quantification and characterization of tremor [5]. They proved to be more sensitive than clinical rating scores to changes in tremor amplitude and frequency in specific scenarios [6]. The miniaturization of inertial measurement units (IMU) makes wearable technology closer to be ready for the clinical practice and long-term ambulatory tremor monitoring [7], [8]. However, new machine learning algorithms are needed to translate the high-dimensional data provided by wearables into clinically meaningful information [9].

Kubota et al. reviewed [9] unsupervised (clustering) and supervised machine learning algorithms such as linear regression, neural networks classifiers, support vector machines, k-nearest neighbors, naïve Bayes, or decision trees for measuring tremor symptoms in Parkinson's disease [9]. Whereas these methods can achieve very high values of accuracy, an incorrect training of the classifier can lead to errors in the prediction of new tremor episodes due to the overfitting of the trained model. Furthermore, these algorithms are trained with the assumption that the distribution of the training data is static and unchanging. Hence, the algorithms must be re-trained periodically in order to prevent invalid predictions. On the other hand, many of the reviewed algorithms focus on the detection of tremor and rely on further analysis for the quantification of severity [10].

In this paper, we propose an automated method for the classification of tremor severity in patients with ET. The methodology is based on the analysis of the signals registered by accelerometers and gyroscopes during standard clinical tasks to assess rest, postural and action tremor. A simple set of 9 features and a C4.5 decision tree classifier can be used to build a model that can be used later for the online classification of tremor in ambulatory monitoring applications. The automatic detection and

characterization of tremor are two of the main goals of the NetMD Project¹.

2 METHODOLOGY

2.1 PARTICIPANTS

Thirty-four patients (ages 18-81) with ET were recruited by the Neurology Department of the University Hospital 12 de Octubre in Madrid. Eighteen of them were taking medication for their disease during the tests. Table 1 depicts the main clinical features of the participants in the study.

Table 1: Demographic and clinical data of patients with essential tremor (N = 34).

Age	
Mean \pm SD	64 \pm 14.4
Gender	
Female	14 (41.1%)
Male	20 (59.9%)
Disease duration (years)	
Mean \pm SD	12.5 \pm 10.4
Global FTM-TRS score at recruitment	
FTM-TRS-A	9.1 \pm 4.9
FTM-TRS-B	13.5 \pm 6.4
FTM-TRS-C	5.3 \pm 2.6

2.2 APPARATUS

An expert neurologist in movement disorders examined the patients. He used the Fahn-Tolosa-Marin (FTM) tremor rating scale (TRS) to assign a score to several items measured during a clinical examination: rest tremor, postural tremor, and action tremor. All the patients followed a specific protocol, which includes the following tasks:

- Measurement of rest tremor. Sitting on a chair with their hands resting in their lap. Count from 100 to 0.
- Measurement of kinetic (postural) tremor. Holding the arms outstretched with the hands in pronation.
- Measurement of kinetic (action) tremor. Finger to nose movements starting and ending with the arms outstretched to the sides.
- Measurement of kinetic (action) tremor. Pouring water between two glasses starting and ending with the arms resting.

These items are enumerated in Table 2 and correspond to the FTM-TRS part A and B [11]. The whole session was videotaped. The neurologist assigned a score to each task and patient after a thorough examination of the video.

Table 2: Fahn-Tolosa-Marin (FTM) tremor rating scale (TRS) score pattern for the tasks A-D.

FTM-TRS-A: Items 5 or 6	
Tasks A,B,C: rest and kinetic tremor	0: None
	1: Slight. May be intermittent.
	2: Moderate. Intermittent (< 2 cm).
	3: Marked amplitude (2-4 cm).
	4: Severe amplitude (> 4 cm).
FTM-TRS-B: Item 14	
Task D: Pouring water from a glass	0: Normal
	1: Slow, but no water is spilled.
	2: Spills 10% of water.
	3: Spills ~50% of water.
	4: Unable to complete the task.

During the experiments, the patients wore two Sony Smartwatch3 located on the wrist (SW3_w) and ankle (SW3_a) of the most affected hemibody. They also carried an Android Smartphone ASUS inside of a belt-pouch on the waist. An ad-hoc Android application acquired raw data obtained from the gyroscopes and the accelerometers at a sampling frequency of 50Hz. The Smartphone stored a timestamp and angular velocity and linear acceleration in three axis in a text file (txt). See Figure 1.



Figure 1: System of reference of the SW3.

The experiments were approved by the ethical standards committees on human experimentation at the University Hospital 12 de Octubre (Madrid). The participants read and signed informed consent prior to the tests.

¹ http://g-nec.com/project_NetMD.html

2.3 CLASSIFICATION ALGORITHM

2.3.1 Signal preprocessing

The txt files were processed on a 2.83 GHz Inter Core 2 Quad Q9500 machine running Windows 7 Professional 32-bit. The preprocessing of the signal was done off-line using Matlab software (version 7.11.0 (R2010b); MathWorks, Natick, MA). A total of 136 segments (4 tasks x 34 patients) were annotated by the neurologists in terms of clinical task (A-D) and severity (0-4). The durations (mean \pm SD) of the segments corresponding to the tasks A-D are:

- Task A (rest tremor): 20.1 ± 11.4 s
- Task B (kinetic tremor): 23.3 ± 20 s
- Task C (kinetic tremor): 12.8 ± 3.5 s
- Task D (kinetic tremor): 54.8 ± 18 s

Figures 2-4 illustrate three examples of the gyroscope signal measured during the tasks which assessed kinetic tremor.

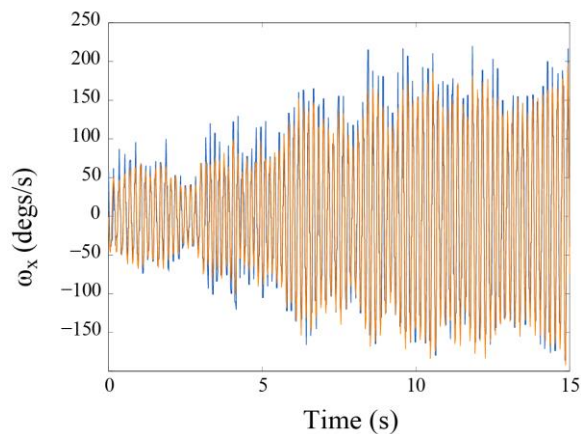


Figure 2: Gyroscope signal measured in the x-axis of the SW3_w. The blue curve represents the velocity of the wrist pronosupination in task B; the orange, the band-pass filtered signal.

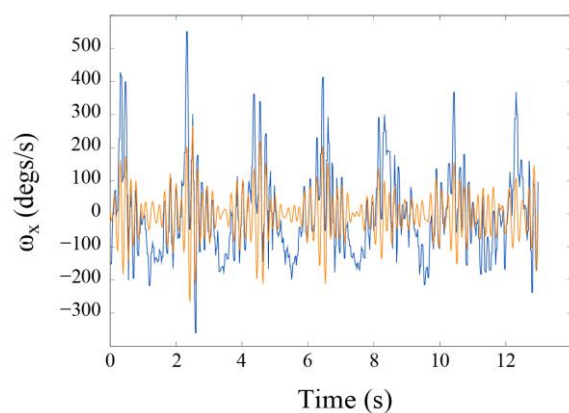


Figure 3: Seven repetitions of the finger-to-nose task (Task C). Raw and filtered wrist pronosupination.

More precisely, Figure 2 shows postural tremor, Figure 3 depicts action tremor in the finger-to-nose task, and Figure 4 exemplifies action tremor in the pouring task.

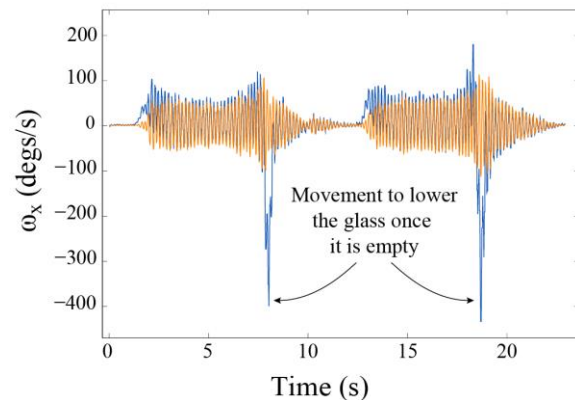


Figure 4: Two repetitions of the pouring task (Task D). Raw (blue) and filtered (orange) wrist pronosupination

The segmented signals were band-pass filtered using a 10th order Butterworth high-pass filter ($\text{freq}_1 > 3$ Hz) which removed the voluntary component, followed by a 10th order Butterworth low-pass filter ($\text{freq}_2 < 12$ Hz) which eliminated tremors of higher frequency.

2.3.2 Feature extraction

Nine tremor features were estimated from the recordings of the smartwatches as determined in [10]. They are enumerated in Table 3. The data registered by the SW3_w in the wrist was used to estimate the features f1-f6, f8, and f9. Note that feature f4 was estimated from the 3 Hz low-passed gyroscope signal. On the other hand, the feature f7, other body segment energy was calculated from the data registered by SW3_a, located in the ankle. The extraction of the features is based on a 3 s moving window with 0.1 s overlapping.

Table 3: Features for tremor recognition

Feature	Id	Sensor
Dominant Frequency	f1	Gyro
Energy on Dominant Frequency	f2	Gyro
High Frequency Energy	f3	Gyro
Low Frequency Energy	f4	Gyro
Spectrum Entropy	f5	Gyro
Mechanical Energy	f6	Acce
Other Body Segment Energy	f7	Gyro
Ratio Hi/Lo Frequency	f8	Gyro
f1*f2	f9	Gyro

Gyro = gyroscopes; Acce = accelerometers

2.3.2 Tremor classification

We used the Weka [12] collection of machine learning algorithms for the training of a C4.5 decision tree classifier and the evaluation of our set of tremor features.

The method proposed for the selection of the features was the wrapper approach. This method takes into account the classifier chosen. It also uses the best-first search algorithm. The wrapper approach used two classifiers: the C4.5 decision tree classifier and the naïve Bayes classifier consecutively. Additionally, a 10-fold cross-validation procedure was employed to achieve a more robust evaluation.

We also computed a 10-fold cross-validation during the training of the classifiers in order to avoid overfitting [13].

3 RESULTS

A total of 32745 sets of features were analyzed. The patients recruited showed mostly episodes of mild to moderate tremor. The FTM-TRS scores in the instances analyzed is depicted in Figure 5.

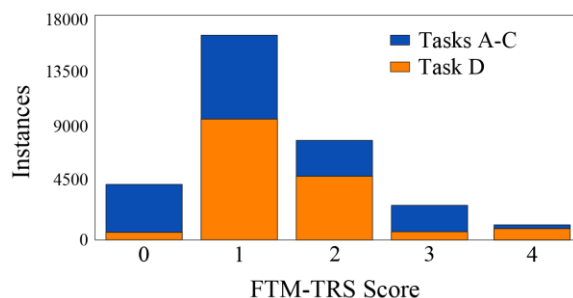


Figure 5: Distribution of instances corresponding to each FTM-TRS level assigned by the neurologist.

3.1 SELECTION OF FEATURES

With the C4.5 decision tree, the most selected features were the dominant frequency (f1), the energy at the dominant frequency (f2), the energy at low frequencies (f4), the spectrum entropy (f5), the mechanical energy (f6), the energy measured in SW3_a (f7), and the ratio of high/low energy (f8). The least selected features were the energy at high frequencies (f3) and f9. On the other hand, the naïve Bayes classifier selected f1, f5, and f8.

3.2 CLASSIFICATION MODELS

Two tremor severity classifiers were built: TC1 and TC2. TC1 was trained with the 9 features. The features f3 and f9, which were discarded by the

wrapper approach, are not included in the training and evaluation of the tremor classifier TC2.

The decision tree TC1 was built in 4.9 s. It had 1050 leaves and showed a classification error of 5.85 %. The range of error with a confident interval (CI) of 95 % was 5.55-6.09 %. The areas under ROC for the classes 0 to 4 were 0.969, 0.965, 0.968, 0.976, and 0.974, respectively.

TC2 had 1040 leaves and was able to only classify incorrectly 1804 instances (5.51%), CI at 95 %, 5.25-5.77 %. The time taken to build it with Weka was 3.33 s. In this case, the areas under ROC for the classes 0 to 4 were 0.971, 0.966, 0.969, 0.977, and 0.973. Table 4 depicts the confusion matrix estimated for TC2.

Table 4: Confusion matrix of the C4.5 decision tree classifier TC2 for tremor in ET.

TC2 Class	Classified as				
	0	1	2	3	4
0	4153	303	17	2	1
1	232	15701	348	69	23
2	22	406	7414	79	51
3	1	53	92	2623	9
4	0	17	58	21	1050

We could not achieve a significant improvement of the classification errors after not including f3 and f9 in TC2. However, we improved the time needed to build the model by 32 %.

4 DISCUSSION

In this paper we proposed an algorithm for the automatic assessment of tremor severity in patients with ET. The algorithm is based on the analysis of the signals recorded by the accelerometers and gyroscopes which are integrated in two smartwatches that the patients wear in their wrist and ankle. These signals were preprocessed and characterized by a set of nine features. These extracted features were then used to train two C4.5 decision tree classifiers, TC1 and TC2. The system was validated with thirty-four patients with ET recruited at the University Hospital 12 de Octubre .

The results show that the classifiers are able to identify the tremor severity among 5 levels of FMT-TRS score. Even though the accuracy of TC1 and TC2 is very similar, we were able to reduce the time needed to build the model in Weka by 32%.

The simplicity of the model makes it very easy to implement in different platforms. Additionally, the smartwatches used for the measurement of tremor

showed good wearability and an affordable price. These characteristics make the proposed platform a very interesting solution for the continuous and objective ambulatory monitoring of tremor and other movement disorders.

4.1 EXPERIMENTAL CONCERNS

There are some limitations in the experiment that could affect the results and the reproducibility of the study. The neurologist was blinded to the signals registered by the smartwatches. However, he had treated the patients during the recruitment phase. Hence, his evaluation of the videotapes could be biased. In future studies, a second neurologist with expertise in pathological tremor and movement disorders will be included in the analysis. The agreement between raters will be assessed with a correlation Cohen's kappa coefficient. Additionally, the location of the smartwatch in the distal forearm could affect the registry of tremor. The amplitude of the tremorous signal increases distally and it is maximum in the hand and fingers. Consequently, our smartwatch could be unable to register significant components of distal tremor on these body segments.

Our results reveal a slightly higher number of classification errors between the classes 1 and 2. This could be due to the imbalanced data from these classes, but also to the nature of the FTM tremor rating scale. In the case of the levels 1 slight, intermittent and 2 moderate, intermittent, the rating provided by the neurologists can be extremely subjective. Other well-known clinical scales such as The Essential Tremor Rating Assessment Scale (TETRAS) rate tremor 0-4 in half-point intervals [14]. We will be able to reduce the variability of the rating and improve the accuracy of our tremor classifiers if we use this clinical scale in the future.

4.2 FUTURE WORKS

In future studies, we will improve our tremor classifier by including several neurologists to achieve a more precise rating of the tremor segments. We will also evaluate the performance of other classifiers such as Hidden Markov Models, Support Vector Machines, or k-Nearest Neighbors and extract new tremor features. The model will be implemented in the NetMD online platform. The platform will register the movements of the patient during a 24-hour monitoring and will provide the neurologists, patients and caregivers with an objective full tremor report. More information on the NetMD Project can be found at the link provided in Section 1.

In addition to this, we are interested in introducing new context awareness to our assessment of tremor. More specifically, we will train new classifiers to

identify several activities of the daily living. We will detect periods of rest and physical activity, including gait. Tasks of special interest are those related to dressing (putting a shirt on and buttoning it), grooming (combing hair or brushing teeth) or feeding (fine movements and gross movements with a spoon or a fork and a knife). A similar method was presented in [15] using signals registered by four IMUs located in the hand, forearm and arm of patients with ET.

With all this new information, the neurologists will be able to monitor and characterize not only episodes of tremor but also to identify the specific activity that the patient was performing when an onset of tremor was detected. This will be very valuable information to assess the evolution of the disease. It can also help them to detect the possible side effects that the medication can have on the daily activities of the patients and the tremor in their upper and lower limbs.

5 CONCLUSION

In this paper, we used nine features to train an automatic tremor severity classifier. The proposed method showed good accuracy in the identification of tremor severity in signals of gyroscopes and accelerometers. The method was able to assess the severity of tremor in 34 patients with ET. The system classified tremor instances as five levels of severity (0, 1, 2, 3, and 4), corresponding to the levels described by Fahn-Tolosa-Marin tremor rating scale.

The method can be implemented in a networked platform for the remote monitoring and assessment of movement disorders.

Acknowledgements

We would like to thank A. Clemotte and J.A. Gallego for their comments on the methodology. This work was possible thanks to the projects NetMD (RTC-2015-3967-1), NeuroMOD (DPI2015-68664-C4-1-R), and InterAAC (RTC-2015-4327-1). They are all financed by the Spanish Ministry of Economy, Industry and Competitiveness.

References

- [1] J. Benito-Leon and E. D. Louis, Essential tremor: emerging views of a common disorder., *Nat. Clin. Pract. Neurol.*, vol. 2, no. 12, p. 666–78; quiz 2p following 691, Dec. 2006.
- [2] G. Deuschl, P. Bain, M. Brin, Y. Agid, L. Benabid, R. Benecke, A. Berardelli, D. J. Brooks, R. Elble, S. Fahn, L. J. Findley, M.

- Hallett, J. Jankovic, W. C. Koller, P. Krack, A. E. Lang, A. Lees, C. H. Lucking, C. D. Marsden, J. A. Obeso, W. H. Oertel, W. Poewe, P. Pollak, N. Quinn, J. C. Rothwell, H. Shibasaki, P. Thompson, and E. Tolosa, Consensus Statement of the Movement Disorder Society on Tremor, *Mov. Disord.*, vol. 13, no. S3, pp. 2–23, 1998.
- [3] K. L. Busenbark, J. Nash, J. P. Hubble, and W. C. Koller, Is essential tremor benign?, *Neurology*, vol. 41, pp. 1982–3, 1991.
- [4] E. D. Louis, L. Barnes, S. M. Albert, L. Cote, F. R. Schneider, S. L. Pullman, and Q. Yu, Correlates of Functional Disability in Essential Tremor, *Mov. Disord.*, vol. 16, no. 5, pp. 914–920, 2001.
- [5] R. J. Elble and J. McNames, Using Portable Transducers to Measure Tremor Severity., *Tremor Other Hyperkinet. Mov. (N. Y.)*, vol. 6, p. 375, 2016.
- [6] D. Haubenberger, G. Abbruzzese, P. G. Bain, N. Bajaj, J. Benito-León, K. P. Bhatia, G. Deuschl, M. J. Forjaz, M. Hallett, E. D. Louis, K. E. Lyons, T. A. Mestre, J. Raethjen, M. Stamelou, E. K. Tan, C. M. Testa, and R. J. Elble, Transducer-based evaluation of tremor, *Mov. Disord.*, vol. 31, no. 9, pp. 1327–1336, 2016.
- [7] E. R. de Lima, A. O. Andrade, J. L. Pons, P. Kyberd, and S. J. Nasuto, Empirical mode decomposition: a novel technique for the study of tremor time series., *Med. Biol. Eng. Comput.*, vol. 44, no. 7, pp. 569–82, Jul. 2006.
- [8] G. Mostile, J. P. Giuffrida, O. R. Adam, A. Davidson, and J. Jankovic, Correlation between Kinesia system assessments and clinical tremor scores in patients with essential tremor, *Mov. Disord.*, vol. 25, no. 12, pp. 1938–1943, Sep. 2010.
- [9] K. J. Kubota, J. A. Chen, and M. A. Little, Machine learning for large-scale wearable sensor data in Parkinson s disease: Concepts, promises, pitfalls, and futures, *Mov. Disord.*, vol. 31, no. 9, pp. 1314–1326, 2016.
- [10] G. Rigas, A. T. Tzallas, M. G. Tsipouras, P. Bougia, E. E. Tripoliti, D. Baga, D. I. Fotiadis, S. Member, S. G. Tsouli, and S. Konitsiotis, Assessment of Tremor Activity in the Parkinson s Disease Using a Set of Wearable Sensors, vol. 16, no. 3, pp. 478–487, 2012.
- [11] C. M. Fahn S, Tolosa E, *Clinical rating scale for tremor*, 2nd ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1993.
- [12] Hall. M, E. Frank, G. Holmes, B. Pfahringer, P. Reutemann, and I. H. Witten, The WEKA Data Mining Software: An Update, *SIGKDD Explor.*, vol. 11, no. 1, 2009.
- [13] S. Lambrecht, J. A. Gallego, E. Rocon, and J. L. Pons, Automatic real-time monitoring and assessment of tremor parameters in the upper limb from orientation data, *Front. Neurosci.*, vol. 8, no. July, p. 221, Jul. 2014.
- [14] R. J. Elble, The Essential Tremor Rating Assessment Scale, *J Neurol Neuromed*, vol. 1, no. 4, pp. 34–38, 2016.
- [15] J. I. Serrano, S. Lambrecht, M. Dolores del Castillo, J. P. Romero, J. Benito-León, and E. Rocon, Identification of activities of daily living in tremorous patients using inertial sensors, *Expert Syst. Appl.*, Apr. 2017.