

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 Politécnica 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
MiguelÁngel 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	
<hr/>	
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>	

Percibiendo el entorno en los robots sociales del RoboticsLab

Fernando Alonso-Martín
University Carlos III of Madrid
famartin@ing.uc3m.es

José Carlos Castillo
University Carlos III of Madrid
jocastil@ing.uc3m.es

Álvaro Castro-González
University Carlos III of Madrid
acgonzal@ing.uc3m.es

Juan José Gamboa
University Carlos III of Madrid
jgamboa@ing.uc3m.es

Marcos Maroto
University Carlos III of Madrid
marmarot@pa.uc3m.es

Sara Marqués Villaroya
University Carlos III of Madrid
smarques@ing.uc3m.es

Antonio J. Pérez Vidal
University Carlos III of Madrid
100355616@alumnos.uc3m.es

Miguel Ángel Salichs
University Carlos III of Madrid
salichs@ing.uc3m.es

Resumen

La percepción del entorno es un aspecto clave para cualquier robot que tenga que interactuar con el mundo, objetos y personas de su entorno. Por este motivo, el campo de la percepción sensorial tiene una gran importancia. Este artículo describe los mecanismos empleados para dotar a los robots sociales del RoboticsLab, de la Universidad Carlos III de Madrid, de la capacidad de percibir el entorno. Desarrollos recientes en tecnologías sensoriales y algoritmos han permitido en los últimos años alcanzar un nivel de percepción cercano al de los humanos en algunas situaciones. La capacidad de percibir el entorno comprende áreas de investigación tan diversas como: la detección y reconocimiento de objetos, lugares, y personas; el procesamiento del lenguaje natural; la detección, localización, y reconocimiento de los toques producidos por los usuarios con el robot; el análisis del nivel de “enganche” en la interacción del usuario con el robot, etc. En este artículo incluimos una descripción de los tipos de sensores equipados en los robots, los módulos software desarrollados, y el gestor de la percepción que logra empaquetar y unificar temporalmente la información suministrada por cada uno de estos en diferentes niveles de abstracción de la información percibida.

Keywords—Robótica social, percepción automática, gestor de la percepción, interacción humano-robot

1. Introducción

El éxito de la Interacción Humano-Robot (HRI, por sus siglas en inglés) depende en gran parte de la capacidad que tengan los robots sociales de percibir el entorno que les rodea. Es por ello, el interés en desarrollar y mejorar las técnicas que permiten llevarla a cabo. Es en este ámbito de la percepción donde se están produciendo numerosos avances que han permitido, entre otras cosas, conseguir vehículos con auto-pilotaaje, automatizar completamente cadenas de producción, etc. Sin embargo, su aplicación en robótica social resulta complejo, debido a la enorme cantidad de campos de investigación que involucra, tales como: reconocimiento

de voz, procesamiento del lenguaje natural, visión artificial, balizas electrónicas, y un largo etcétera.

El trabajo en este campo se centra en desarrollar nuevos sensores, nuevos algoritmos que usen estos nuevos sensores o los ya existentes, y nuevas arquitecturas de fusión de la información multisensorial (también conocida información multimodal). La amalgama de sensores que se pueden aplicar en este campo es extensa: cámaras de color, de temperatura, de profundidad; micrófonos de aire o de contacto; sensores táctiles como son los capacitivos, resistivos, piezoeléctricos; acelerómetros, giróscopos, sensores de temperatura y luminosidad; etc. Esta diversidad de sensores y métodos, unido al creciente interés en su desarrollo para su aplicación en todo tipo de dispositivos electrónicos y por supuesto en robots, convierte a la percepción automática en campo de investigación en constante crecimiento.

En este artículo se expone de manera concisa los mecanismos métodos que se aplican en los robots sociales del RoboticsLab de la Universidad Carlos III de Madrid para dotarles de la capacidad de percibir el entorno que les rodea. Reseñar que los métodos empleados están en consonancia con el estado del arte en esta área. El artículo continúa con un recorrido por la literatura relacionada en la sección 2. En la sección 3 se describen los robots del grupo, los sensores, los métodos para procesar la información sensorial obtenida, y la arquitectura de fusión empleados en nuestros robots sociales. Finalmente, en la sección 4 se presentan las conclusiones del trabajo desarrollado.

2. Trabajos relacionados

Los sistemas de percepción en robótica social tienen gran importancia dado que las capacidades de interacción y el conocimiento del entorno del robot dependen en gran medida de ellos. Existen numerosos trabajos que combinan información de uno o más sensores para conseguir este objetivo. Entre los robots con una percepción sencilla encontramos el robot Aibo [1] integra una serie de botones en el cuerpo que utilizaba para conocer la presencia de usuarios o el robot RHINO [2], que

también interactúa con las personas a través de una serie de botones.

Existen otros ejemplos de robots sociales que integran sistemas de percepción más sofisticados capaces de detectar automáticamente los usuarios y objetos a su alrededor. En esta línea, el robot Kismet [3] es capaz de detectar la cara y los ojos de las personas frente a él. Además, este robot está equipado con un sistema de reconocimiento de voz. El robot ALIAS [4] posee capacidades similares al anterior, detectando la cara de los usuarios y realizando análisis de voz. Adicionalmente, este robot incorpora una tableta para HRI.

En el caso de los robots presentados en el proyecto MOnarCH [5], estos disponen de mecanismos de percepción tanto para navegación por el entorno como para interacción. En el primer caso, los robots utilizan información de sensores láser y odometría para desplazarse. La percepción para interacción se realiza a través de sensores de tacto colocados en el robot, una pantalla táctil, análisis de voz y cámaras externas.

Aparte de realizar simplemente detección de los usuarios alrededor del robot, hay sistemas de percepción que permiten el reconocimiento y seguimiento de las personas. Este es el caso de plataformas como Valerie [6], un robot recepcionista que utiliza tarjetas magnéticas para reconocer a los usuarios. En el caso del robot JiboJibo¹, se realiza un reconocimiento de rostros para diferenciar a los usuarios, así como análisis de voz.

En Springer Handbook of Robotics'16 [7] se presenta un extenso meta-análisis del estado del arte en cuanto a métodos de percepción en robots. En él, se describen y analizan los siguientes mecanismos de percepción: sensores para percibir el tacto, sensores de odometría y posicionamiento, cámaras de profundidad para navegación, manipulación, reconocimiento de objetos. Finalmente, se dedica un capítulo a los mecanismos de fusión de la información sensorial percibida en instantes temporales, tanto métodos, como arquitecturas, y aplicaciones de las mismas. En cuanto a métodos para realizar la fusión de la información sensorial se propone el uso de teoría bayesiana, mallas probabilísticas, filtro de Kalman, métodos basados en Monte Carlos. Por otro lado, se presentan varias arquitecturas de fusión como: Distributed Field Robot Architecture (DFRA) [8], Sensor Fusion Effects (SFX) [9], SEPIA [10], MESSIE (Multi Expert System for Scene Interpretation and Evaluation) [11], Active Sensor Network (ASN) [12].

¹Sitio web de Jibo: <https://www.jibo.com>

3. Nuestro sistema de percepción

3.1. Los robots sociales

El grupo de robots sociales de la Universidad Carlos III de Madrid ha desarrollado tres plataformas robóticas de investigación en Interacción Humano-Robot (HRI). El primero de ellos, el robot Maggie [13], es el más antiguo de los tres y su principal objetivo ha sido interactuar con niños de entre 4 a 14 años. El robot Mini [14] sirve como plataforma de investigación en interacciones con ancianos con problemas cognitivos. Por último el robot Mbot [15], desarrollado durante el proyecto MOnarCH², se ha destinado a la interacción con niños en la planta pediátrica del hospital oncológico de Lisboa (ver figura 1).



Figura 1: Los robots sociales del RoboticsLab. Arriba, robot Maggie. Centro, robot Mini. Abajo, robot Mbot.

²Sitio web del proyecto MOnarCH: <http://monarch-fp7.eu/>

3.2. Sensores empleados

Los robots sociales del RoboticsLab están dotados de numerosos sensores que son empleados por los módulos de percepción para “conocer” el entorno que les rodea. A continuación se presenta una enumeración y breve descripción del conjunto de sensores empleados:

Los **micrófonos “de aire”** son los más extensamente usados en robótica y son empleados tradicionalmente para tareas fundamentalmente de procesamiento del lenguaje natural (NLP, por sus siglas en inglés). Por tanto, los principales usos son el reconocimiento de voz, identificación del hablante, identificación de la emoción del hablante. Adicionalmente, se pueden emplear micrófonos para tareas de localización de la fuente de sonido y para analizar el nivel de excitación sonora (*arousal*) del entorno. El emplazamiento y la elección del modelo concreto de micrófono debe ser analizado en profundidad para cada caso. En este sentido, existen multitud de tipos de micrófonos en función del empleo que se quiera hacer del mismo. En el caso de aplicarse fundamentalmente para tareas de reconocimiento automático del habla conviene el uso de micrófonos especialmente diseñados para esta tarea. Además, se deberán integrar en el robot en la posición más ventajosa para evitar, en la medida de lo posible, los ruidos producidos por el propio robot (altavoces, motores, etc.) y al mismo tiempo captar la voz de los posibles usuarios con claridad.

Los **micrófonos “de contacto”** en nuestro caso son empleados para dotar a los robots de “sentido del tacto”, es decir para detectar y reconocer que tipo de contactos produce el usuario sobre la superficie del robot. Estos micrófonos son muy sensibles a captar cualquier vibración sonora propagada por un cuerpo sólido. Aprovechando esta propiedad es posible analizar el tipo de contacto que se produce cuando los usuarios tocan al robot. Este análisis, usando técnicas de aprendizaje automático, permite clasificar el tipo de contacto realizado, así como localizar en que zona del robot se ha producido (ver figura 2).

Los **sensores táctiles capacitivos** proporcionan información menos rica que los micrófonos de contacto en el sentido de que su señal es normalmente binaria (toque vs no toque). Aún así, por su sencillez y bajo coste, se integra esta tecnología en nuestros robots para dotar a los robots de la posibilidad de detectar toques donde los micrófonos de contacto no son factibles (p. ej. en partes del cuerpo del robot con fuentes de ruido próximas como motores).

Las **cámaras** son empleadas por los algoritmos de



Figura 2: Principales sensores de nuestros robots: Arriba, izquierda, micrófono de contacto usado como sensor de tacto; Arriba, derecha, cámara Creative Sens3D; En el medio, izquierda, LeapMotion; En el medio, derecha, telémetro láser Hokuyo. Abajo, las balizas electrónicas.

visión artificial en tareas como el reconocimiento de personas, objetos, lugares, emociones, y poses. En nuestros robots se integran cámaras RGB tradicionales y cámaras de profundidad como la *Kinect* (I y II), *Creative Sens3D* (ver figura 2), y *Softkinetic DepthSense*. Además de las cámaras incorporadas en los propios robots, suele ser habitual el uso de cámaras posicionadas directamente en el entorno de trabajo del robot, en nuestro caso empleamos cámaras omnidireccionales tanto en el laboratorio como en las áreas donde se suelen mover los robots.

El dispositivo **LeapMotion**³ (ver figura 2) es un tipo especial de cámara empleada para interacciones a menos de 1.5 metros. Normalmente, y en nuestro caso también, es empleado para detectar los gestos realizados por los usuarios con las manos. Basándonos en su uso hemos desarrollado el tradicional juego de “piedra, papel, o tijera” entre los usuarios y nuestros robots.

El uso del **magnetómetro** o **brújula** es llevado a cabo para detectar variaciones en el campo magnético. Esto puede permitir al robot localizarse en el entorno. Esta tecnología hace uso de lo que se conoce como “huella magnética del edificio”. Los **acelerómetros** y **giróscopos** permite detectar si

³www.leapmotion.com

el robot ha sido levantado o si ha sufrido una caída no programada.

Los **telémetros** como el láser, sonar, o infrarrojos son empleados para medir distancias del robot respecto a los objetos y/o personas que le rodean (ver figura 2).

Las **balizas electrónicas** proporcionan información acerca de los usuarios alrededor del robot (ver figura 2). Estos elementos no son capaces de dar una posición exacta, sino que aportan una estimación de la distancia de la baliza al receptor, siendo posible establecer la posición de los usuarios dentro de zonas concéntricas. Asimismo, las balizas permiten la identificación de los usuarios [16].

Al igual que los sensores de tacto, las **pantallas táctiles** proporcionan información acerca de la interacción de los usuarios con una pantalla, mitigando los problemas de reconocimiento asociados a los sistemas NLP a la hora de proporcionar información. Además, estos dispositivos proporcionan un soporte gráfico que aumentan las posibilidades de interacción del robot, pudiendo mostrar contenido multimedia, información variada o realizar juegos con el usuario.

Podrían emplearse sensores adicionales como barómetros, cámaras de temperatura, de huella dactilar, de luz, etc. Sin embargo, para los módulos que se han desarrollado, y que a continuación presentamos, no han resultado necesarios.

3.3. Módulos desarrollados para percibir el entorno

Los robots sociales del grupo están dotados de técnicas que combinan desarrollos software con hardware para percibir el entorno. En concreto los módulos que se han desarrollado para dicha percepción son los que enumeramos a continuación:

1. Detección y reconocimiento de personas [17]: en la literatura podemos encontrar el empleo de diferentes sensores y métodos para esta tarea, las más habituales son mediante el empleo de técnicas basadas en visión artificial, a través del análisis del tono de voz del usuario, o mediante el uso de balizas electrónicas. En nuestro caso, es precisamente mediante la combinación de estos tres modos como llevamos a cabo esta tarea.
2. Detección y reconocimiento de objetos: de igual forma que en el caso anterior, mediante el empleo de algoritmos basados en el análisis de las imágenes obtenidas por las cámaras del robot, tanto de color como de profundidad, es posible la detección y el reconocimiento de los

objetos, previamente conocidos, que rodean al robot.

3. Detección y reconocimiento de lugares: mediante técnicas, normalmente aplicadas a tareas de navegación, es posible localizar el robot en el entorno, identificando la sala en la que se encuentra.
4. Detección y reconocimiento de emociones en los usuarios [18]: mediante técnicas basadas en el análisis facial de los rostros de los usuarios, así como otras técnicas basadas en el análisis de la voz, e incluso imágenes de temperatura, es posible clasificar la emoción de los usuarios.
5. Detección y reconocimiento de poses/gestos de los usuarios: es posible reconocer gestos realizados por los usuarios como saludos, despedidas, etc. Para ello se suele emplear técnicas basadas en el análisis del esqueleto del usuario en secuencias de imágenes continuas [19]. Asimismo, dispositivos como el LeapMotion proporcionan información acerca de los movimientos de las manos a través de técnicas de clasificación, que se pueden explotar para interacción [20].
6. Evaluación del nivel de “enganche” (*engagement*) de los usuarios con el robot: es de gran interés conocer cuando los usuarios prestan atención al robot durante la interacción o por contra la interacción para ellos carece de interés. Para analizar el enganche se suelen tener en cuenta aspectos como el número de veces que el usuario mira al robot, el número de turnos de diálogo, el grado de consecución de los objetivos marcados en la interacción, etc.
7. Detección y reconocimiento de “toques” de los usuarios en el robot [21]: los robots sociales suelen estar dotados de la capacidad de detectar cuando el usuario toca, al menos, una parte determinada del robot, por ello existe multitud de sensores y algoritmos para llevar a cabo esta tarea. En recientes trabajos hemos presentado un sistema para detectar, reconocer, y localizar el tipo de toque realizado en cualquier parte del robot. Para ello, nos hemos valido de micrófonos y técnicas de análisis de audio y aprendizaje automático.
8. Procesamiento del lenguaje natural (detección de actividad de voz [22], reconocimiento de voz. [23], enriquecimiento semántico [24]): es deseable que el robot sea capaz de comprender y generar el lenguaje natural, para interactuar por voz con el usuario de manera satisfactoria.

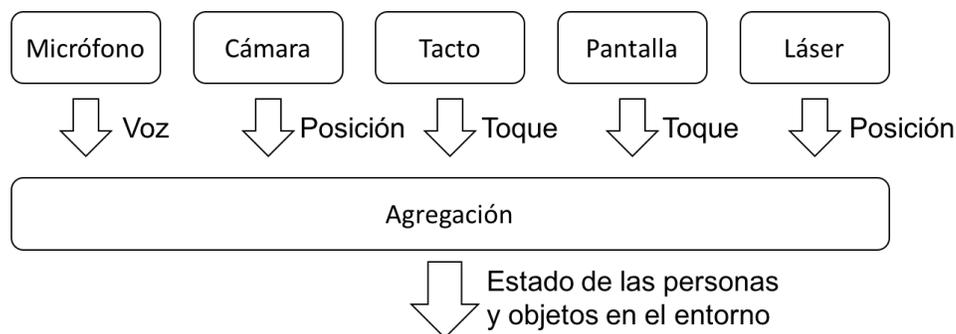


Figura 3: Módulo de agregación. La información proveniente de los módulos de procesamiento de los sensores se unifica para proporcionar información de más alto nivel acerca del estado de las personas y objetos en el entorno.

Cada uno de estos módulos emplea sensores y algoritmos que han sido descritos en profundidad en los artículos citados.

3.4. Agregación

El módulo de agregación se encarga de recibir los datos procesados por los módulos sensoriales y relacionarla para proporcionar la información relativa al entorno en cada momento. Recordemos que esta información es relativa a los usuarios y objetos que rodean al robot, la posición del robot, la emoción de los usuarios, etc. El objetivo de este módulo es empaquetar y entregar esta información en paquetes temporales con cierta coherencia temporal y fusionar fuentes de información complementarias. Este tipo de procesamiento involucra procesar información procedente de varios modos o módulos perceptivos simultáneamente a lo largo de un largo periodo de tiempo. La figura 3 muestra un ejemplo de la arquitectura de percepción con algunos de los módulos descritos en la sección 3.3.

La implementación de cada nivel de fusión de información se puede realizar fundamentalmente siguiendo dos posibles aproximaciones. La primera de ella consiste en establecer reglas de manera manual, normalmente mediante experimentos y pruebas de campo. La segunda aproximación podría establecer reglas automáticamente usando técnicas de aprendizaje automática e inteligencia artificial usando un conjunto de datos de entrenamiento y validación. Una aproximación híbrida entre la manual y la automática también se puede plantear como una alternativa válida.

En nuestro caso hemos desarrollado ambas aproximaciones. Reseñar que ciertos módulos sensoriales anteriormente mencionados internamente también incorporan mecanismos para fusionar información obtenida por varios sensores diferentes o por varios clasificadores. A modo de ejemplo el sistema de de-

tección de usuarios incorpora un Filtro de Kalman Extendido. El sistema de detección de emociones implementa un algoritmo de fusión bayesiano que le permite mezclar la información que suministran los algoritmos basados en visión con los basados en sonido.

4. Conclusiones

En este artículo hacemos una revisión completa del conjunto de técnicas empleadas para dotar a los robots sociales del RoboticsLab de ciertas capacidades sensoriales que les permiten percibir su entorno. Esta revisión incluye enumerar y describir los principales sensores empleados en los robots sociales, el conjunto de módulos perceptivos, así como el gestor de la percepción que permite mezclar la información suministrada por estos módulos perceptivos.

El objetivo final es que los robots sociales sean capaces de interactuar de manera natural con los humanos, y para ello es fundamental lograr que nuestros robots tengan capacidades sensoriales similares a las de los humanos. El conjunto de capacidades humanas, que de alguna forma se tratan de imitar, es amplio. Entre estas capacidades se encuentran las de detectar y reconocer con que humanos interactúan, que objetos les rodean, y en que lugar se encuentran. La de procesar el lenguaje natural, reconociendo y entendiendo el mensaje verbalmente transmitido por los usuarios. La de detectar y comprender los toques que realizan los usuarios sobre la superficie del robot. Detectar y clasificar las emociones de los usuarios que se generan durante la interacción, así como evaluar el grado de enganche del usuario con el robot.

El uso de estas capacidades sensoriales, inspiradas en las propias de los humanos, permite interacciones multimodales que usan varios modos/canales de interacción, como son: la voz, el tacto, el uso

de gestos, expresiones faciales, etc.

Agradecimientos

La investigación desarrollada ha recibido financiación de dos proyectos: “Development of social robots to help seniors with cognitive impairment” (ROBSEN), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad; y “RoboCity2030-III-CM”, financiado por la Comunidad de Madrid y cofinanciado por los Fondos Estructurales de la Unión Europea.

Referencias

- [1] Y. Moon, S. Dutta, and S. Oundhakar, *Sony AIBO: The world's first entertainment robot*. Harvard Business School Pub, 2005.
- [2] W. Burgard, A. Cremers, and D. Fox, “The interactive museum tour-guide robot,” in *Proceedings of the 15th national/10th conference on Artificial intelligence/Innovative applications of artificial intelligence*, pp. 11–18, 1998.
- [3] C. Breazeal and B. Scassellati, “A context-dependent attention system for a social robot,” in *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, vol. 2, pp. 1146–1151, 1999.
- [4] J. Geiger, T. Leykauf, and T. Rehrl, “The Robot ALIAS as a Gaming Platform for Elderly Persons,” *Lebensqualität im Wandel von Demografie und Technik - 6. Deutscher AAL-Kongress mit Ausstellung*, 2013.
- [5] M. I. Aldinhas and J. Sequeira, “Designing a robotic interface for children: The monarch robot example,” in *Advances in Cooperative Robotics*, pp. 652–659, World Scientific, 2017.
- [6] R. Gockley, A. Bruce, J. Forlizzi, M. Michalowski, A. Mundell, S. Rosenthal, B. Sellner, R. Simmons, K. Snipes, A. C. Schultz, and J. Wang, “Designing robots for long-term social interaction,” in *2005 IEEE/RSJ IROS*, pp. 2199–2204, 2005.
- [7] M. Hägele, K. Nilsson, J. N. Pires, and R. Bischoff, *Industrial Robotics*. Cham: Springer International Publishing, 2016.
- [8] M. Long, A. Gage, R. Murphy, and K. Valavanis, “Application of the distributed field robot architecture to a simulated demining task,” in *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 2005, pp. 3193–3200, IEEE, 2005.
- [9] R. Murphy and R. Arkin, “SFX: An Architecture For Action-oriented Sensor Fusion.,” in *IROS*, pp. 1079–1086, 1992.
- [10] L. Tolbert, H. Q. H. Qi, and F. Peng, “Scalable multi-agent system for real-time electric power management,” *2001 Power Engineering Society Summer Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.01CH37262)*, vol. 3, pp. 1–4, 2001.
- [11] P. Giraudon, G., Garnesson, P., y ONTESINOS, “MESÍAS : un multi-especialista en sistema de visión. ApplicationA interpretación de las imágenes aéreas,” *Procesamiento de Señales*, vol. 9, no. 5, pp. 403–419, 1992.
- [12] A. Makarenko and H. Durrant-Whyte, “Decentralized data fusion and control in active sensor networks,” in *Proceedings of the Seventh International Conference on Information Fusion*, vol. 1, pp. 479–486, 2004.
- [13] M. A. Salichs, R. Barber, A. M. Khamis, M. Malfaz, J. F. Gorostiza, R. Pacheco, R. Rivas, A. Corrales, E. Delgado, and D. Garcia, “Maggie: A robotic platform for human-robot social interaction,” in *2006 IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics*, pp. 1–7, June 2006.
- [14] Á. Castro-González, J. C. Castillo, F. Alonso-Martín, O. V. Olortegui-Ortega, V. González-Pacheco, M. Malfaz, and M. A. Salichs, “The effects of an impolite vs. a polite robot playing rock-paper-scissors,” in *International Conference on Social Robotics*, pp. 306–316, Springer, 2016.
- [15] V. González-Pacheco, Á. Castro-González, M. Malfaz, and M. A. Salichs, “Human robot interaction in the monarch project,” in *Proc. 13th Workshop Robocity2030*, pp. 1–8, 2015.
- [16] F. Alonso-Martín, A. Castro-González, M. Malfaz, J. C. Castillo, and M. A. Salichs, “Identification and distance estimation of users and objects by means of electronic beacons in social robotics,” *Expert Systems with Applications*, 2017.
- [17] F. Alonso-Martín, A. Ramey, and M. Á. Salichs, “Speaker identification using three signal voice domains during human-robot interaction,” in *Proceedings of the 2014 ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction - HRI '14*, (Bielefeld (Germany)), pp. 114–115, ACM Press, mar 2014.

- [18] F. Alonso-Martin, M. Malfaz, J. Sequeira, J. Gorostiza, and M. A. Salichs, "A Multimodal Emotion Detection System during Human-Robot Interaction," *Sensors*, vol. 13, no. 11, pp. 15549–15581, 2013.
- [19] V. Gonzalez-Pacheco, M. Malfaz, J. C. Castillo, A. Castro-Gonzalez, F. Alonso-Martín, and M. A. Salichs, "How much should a robot trust the user feedback? analyzing the impact of verbal answers in active learning," in *International Conference on Social Robotics*, pp. 190–199, Springer, 2016.
- [20] Á. Castro-González, J. C. Castillo, F. Alonso-Martín, O. V. Olortegui-Ortega, V. González-Pacheco, M. Malfaz, and M. A. Salichs, "The effects of an impolite vs. a polite robot playing rock-paper-scissors," in *International Conference on Social Robotics*, pp. 306–316, Springer International Publishing, 2016.
- [21] F. Alonso-martín, J. C. Castillo, J. J. Gamboa, and M. Á. Salichs, "Acoustic Sensing for Touch Recognition in a Social Robot," in *Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction* (ACM, ed.), (Viena), pp. 65–66, 2017.
- [22] F. Alonso-Martin, Á. Castro-González, J. Gorostiza, and M. A. Salichs, "Multidomain Voice Activity Detection during Human-Robot Interaction," in *International Conference on Social Robotics (ICSR 2013)*, pp. 64–73, Bristol: Springer International Publishing, 2013.
- [23] F. Alonso-Martin and M. Salichs, "Integration of a voice recognition system in a social robot," *Cybernetics and Systems*, vol. 42, pp. 215–245, may 2011.
- [24] F. Alonso-Martín, A. Castro-González, F. Luengo, and M. Salichs, "Augmented Robotics Dialog System for Enhancing Human–Robot Interaction," *Sensors*, vol. 15, pp. 15799–15829, jul 2015.