

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 Rodriguez-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	
<hr/>	
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>	

SISTEMA DE INTERACCIÓN VISUAL PARA UN ROBOT SOCIAL

Mario Domínguez López
Universidad de Valladolid, Escuela de Ingenierías Industriales.
Paseo del Cauce 59, 47011 Valladolid
ikermario@gmail.com

Samuel Marcos Pablos
Centro Tecnológico CARTIF. Parque Tecnológico de Boecillo, 205, 47151 Boecillo, Valladolid
sammar@cartif.es

Eduardo Zalama Casanova, Jaime Gómez García-Bermejo
Universidad de Valladolid, Escuela de Ingenierías Industriales, ITAP-DISA.
Paseo del Cauce 59, 47011 Valladolid
ezalama@eii.uva.es , jaigom@eii.uva.es

Resumen

Una de las características de los robots sociales es que tengan expresividad y fluidez lo más cercana a la naturaleza humana. En este caso una de las mayores fuentes de expresividad son los rasgos faciales. Por otra parte, estamos acostumbrados a comunicarnos mirando a otras personas a la cara por lo que desarrollar robots con expresividad, capacidad gestual y de seguimiento facial es una de las características buscadas en el desarrollo de robots sociales.

El presente artículo describe el desarrollo de un sistema de interacción hombre-máquina para un robot móvil social constituido por dos subsistemas o módulos. El primer subsistema se encarga de la detección del interlocutor y su seguimiento facial. Para ello realiza una detección inicial a partir de la información suministrada por el láser de navegación del robot, para posteriormente fijar la atención a partir de la información obtenida con una cámara de rango tipo Kinect. El segundo subsistema de encarga de la generación de gestos del robot. Para ello se ha adoptado el estándar FACS (Facial Action Coding System) lo cual permite su utilización en diferentes tipos de robots. La generación de expresiones se realiza mediante la combinación del movimiento controlado de cuello, párpados y ojos, con gestos mostrados en un display luminoso en la boca del robot.

Palabras clave: FACS, ROS, Interacción hombre-máquina, Robot social.

1 INTRODUCCIÓN

Un robot social es aquel que comunica e interactúa con las personas de forma sencilla y agradable siguiendo comportamientos, patrones y normas sociales. Para ello, además de tener apariencia humanoide, se necesita que disponga de habilidades que se enmarcan dentro del dominio de la llamada inteligencia social. Se debe tener en cuenta que la socialización con las personas es un tema difícil, ya que los robots y los humanos no comparten un lenguaje común ni perciben el mundo de la misma forma [12].

Según Dauthenhahn [3] los robots sociales son agentes personalizados que forman parte de un grupo heterogéneo. Para llevar a cabo estos objetivos un robot tiene que ser capaz de mostrar ciertas características: *personificación, emoción, diálogo, personalidad, percepción orientada a humanos, modelado del entorno, aprendizaje social, e intencionalidad*. Se considera muy importante que posean una interfaz natural con algún grado de representación antropomórfica tal como una cabeza (personificación), con la que pueda realizar expresiones faciales para comunicar estados de ánimo de manera gestual (emociones).

Por ello en los últimos años los investigadores han tratado de desarrollar robots con personificación, capacidad gestual y sistemas de percepción y control que faciliten la interacción con las personas.

La entidad corpórea y capacidad gestual de los robots facilita la interacción, al fin y al cabo desde siempre nos hemos comunicado con otras personas cara a cara. El aspecto del robot también ha sido discutido ampliamente desde que M. Mori [8] definió la regla

básica sobre la familiaridad y empatía en función de su grado de similaridad a las personas. Sin embargo, es necesario dotar a los robots de capacidades de interacción inspiradas en las de los humanos.

En este artículo se presenta el desarrollo de un sistema de seguimiento facial y de generación gestual para Sacarino, un robot desarrollado en Fundación Cartif. El artículo está organizado de la siguiente forma. En la sección 2 se describe Sacarino, el robot en el que se han implementado los sistemas de interacción descritos en este artículo. En la sección 3 se explica el sistema de seguimiento Facial. En la sección 4 se explica el sistema de generación gestual. En la sección 5 se aborda el sistema global de interacción para finalizar con las conclusiones en la sección 6.

2 EL ROBOT SACARINO II

En investigaciones precedentes nuestro grupo de investigación ha desarrollado el robot social Sacarino, integrado por una base móvil y un sistema de interacción antropomorfo [8, 11]. El robot ha sido probado de forma intensiva en un entorno hotelero, durante largos periodos de tiempo.

Fruto de esta experimentación se ha abordado el desarrollo de un nuevo robot, Sacarino II (Figura 2). Este robot tiene como finalidad ofrecer servicio en un hogar con personas mayores, donde desempeñará funciones de acompañamiento, juegos, actividades físicas, información, apoyo a terapia etc. El nuevo robot es más ligero y estilizado que la versión precedente, tiene tracción diferencial y en él se ha integrado una Tablet Android que permite utilizar multitud de aplicaciones y servicios de Google Play, en particular el servicio de reconocimiento de voz de Google. Además, este elemento sirve para apoyar la comunicación oral cuando el reconocimiento de voz y la gestión de diálogo se ven comprometidos, especialmente en ambientes ruidosos y poco estructurados.



Figura 2. Robot Sacarino II

La Figura 3 se muestra la estructura básica de la cabeza del robot, que es su elemento fundamental de interacción. Además, para facilitar la percepción del entorno y de los usuarios se ha incluido un sensor Kinect en la parte superior de dicha cabeza, que se complementa con el láser de navegación situado en la base del robot.

El presente trabajo se centra en dos aspectos específicos de la interacción usuario-robot: que la cabeza siga al interlocutor con la mirada y que sea capaz de generar un conjunto de expresiones emocionales básicas.

A partir de una primera detección del usuario mediante un sensor de visión 2D como es el láser SICK, el robot en modo de funcionamiento de seguimiento, pasará a realizar un seguimiento facial del usuario mediante Microsoft Kinect. La principal novedad aquí es el diseño de una función de filtrado tal, que consigue transiciones suaves y fluidas en el movimiento facial, lo que provoca un impacto positivo sobre la interacción del robot con las personas.

Por su parte, en la generación de emociones resulta novedosa la adopción del estándar FACS (*Facial Action Coding System*), que permite la formulación generalista de expresiones y gestos faciales, reforzando la interacción usuario-robot.

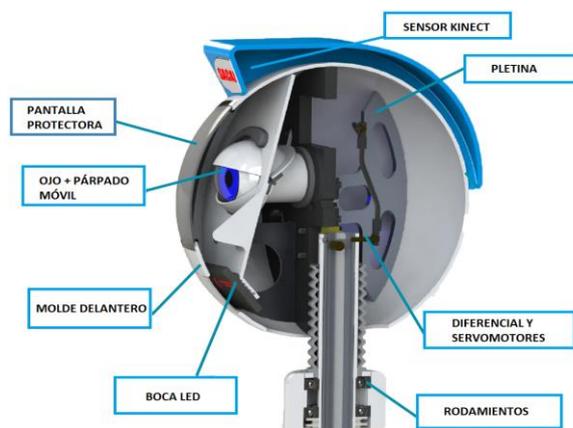


Figura 3: Detalle de la cabeza de Sacarino II

La cabeza integra seis servomotores controlados por el driver SCS32. Tres de estos motores se encargan de gestionar los grados de libertad del cuello y el resto se destinan al movimiento de párpados y cejas. Además, Sacarino II cuenta con una pantalla de matriz de leds como boca, que le permite acompañar los diferentes gestos de cabeza, cejas y párpados con muecas labiales, dotando a así a la cara de una mayor expresividad.

Tanto el sistema de seguimiento facial como el de generación de gestos se han desarrollado sobre *Robot Operating System*, ROS [7]. Se trata de un sistema

operativo de código abierto (Open source) que cuenta con una comunidad desarrolladora muy extensa y facilita la programación modular basada en componentes, y abstracción hardware.

3 MÓDULO DE SEGUIMIENTO FACIAL

Para establecer una interacción satisfactoria el robot tiene que cumplir una serie de normas básicas de actuación cuando se encuentra ante un humano. En concreto, una de las reglas básicas de comportamiento es mirar a la persona que se tiene delante. El presente apartado aborda este aspecto.

3.1 OBTENCIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Como elementos sensores para realizar el seguimiento del usuario se ha optado por combinar el sensor Microsoft Kinect situado en la cabeza del robot, con el láser SICK situado en la base móvil. Este último proyecta un haz de luz en un arco de 270° y es utilizado también durante la navegación del robot por el entorno.

Para tratar los datos que ofrece Kinect se han seleccionado las librerías OpenNi, disponibles en ROS, que procesan la información suministrada por el sensor de Kinect a formatos que pueden ser utilizados para el trabajo a alto nivel.

En concreto, la librería OpenNi_Tracker [10] es un nodo ROS que, mediante técnicas de tratamiento de imagen (segmentación y esqueletización) en conjunto con la nube de puntos, es capaz de situar sistemas de referencia en las articulaciones de un usuario que se encuentre dentro del campo visual de Kinect. Esto se logra a partir de una serie de matrices de transformación, denominadas *Transformed Frames*.

Por su parte, el láser de la base se utiliza en la detección de las piernas de los usuarios. En primer lugar, un nodo ROS llamado *leg_detector* [9], se encarga de, mediante un algoritmo probabilista, encontrar posibles conjuntos de puntos (*clusters*) que puedan tener la morfología de piernas humanas. Seguidamente, refiere cada uno de los puntos a un sistema de referencia situado en el propio láser mediante los ya comentados *Transformed Frames*.

Finalmente, este nodo ofrece como salida un vector de posibles personas detectadas.

3.2 ALGORITMO DE SEGUIMIENTO CON KINECT

Para lograr el objetivo de que el robot dirija la mirada hacia el usuario, los ángulos (panorámico y cabeceo)

que forman la orientación de referencia de la cabeza del usuario, respecto del de Kinect, deben ser llevados a 0 por el sistema de control.

Para el control de movimiento de la cabeza y resto de elementos (párpados y cejas) se utiliza un conjunto de servomotores y la tarjeta controladora SSC32 de Lynxmotion [13], capaz de controlar hasta 32 servomotores mediante un microcontrolador Atmel Atmega168 de 14.74MHz.

Uno de los problemas importantes a la hora de hacer seguimiento, es que los movimientos de la cabeza sean suaves evitando oscilaciones al alcanzar la posición de referencia para lo que se ha introducido un controlador no lineal con zona muerta y saturación mediante una expresión sigmoide. La expresión viene dada por:

$$f(e) = \operatorname{sgn}(e) \cdot \frac{e_{max}}{1 + e^{-(2e - e_{max})}} \quad (1)$$

donde e es el error, $\operatorname{sgn}(e)$ es la función signo que da un valor +1 o -1 dependiendo de si el error es mayor o menor que cero y e_{max} es el error máximo admisible.

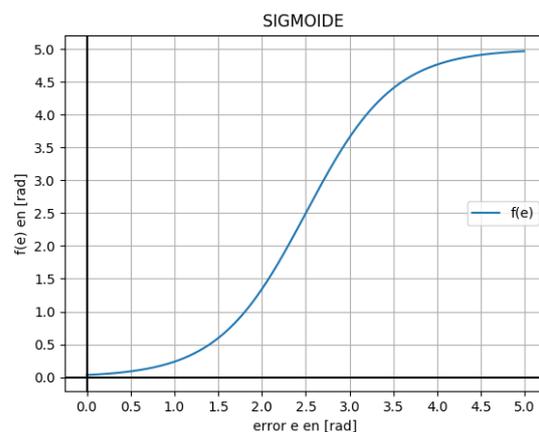


Figura 5. Función sigmoide definida en ecuación (1).

La sigmoide limita la acción de control para valores grandes del error y la limita ante errores pequeños. Esto último permite restringir el movimiento ante pequeños desplazamientos del usuario, evitando oscilaciones.

La referencia de velocidad que se envía a la tarjeta controladora es la máxima admitida para cada servomotor pues la tarjeta controladora se encarga de generar los perfiles de aceleración y deceleración.

3.3 ESTRATEGIA DE SEGUIMIENTO CON EL LÁSER SICK

El láser SICK se utiliza para obtener la posición de un usuario en función de la detección de pares de

piernas, para, tras esto, hacer un seguimiento del usuario con la cabeza del robot, restringido al plano panorámico o de guiñada (primer grado de libertad).

Como se introducía en (3.1), la salida tras los nodos de tratamiento e identificación de pares de piernas devuelve un vector de posibles personas detectadas (punto medio entre dos piernas candidatas). Cada uno de los objetos persona en el vector, tiene un campo llamado fiabilidad (*reliability*), que se mueve en un intervalo de 0 a 1 y da muestra de cuán seguro es que verdaderamente se trate de una persona real (no de ruido u otros objetos).

La estrategia seguida comienza por ordenar este vector de mayor a menor fiabilidad, escogiendo como valor inicial el primer elemento.

A continuación, se compara un umbral para evitar hacer seguimiento a elementos ruidosos, con perturbaciones u objetos. Para ello se ha fijado un umbral de 0.2 (20%).

A partir de este momento, el sistema de control toma nota del número de identificador de esa persona, y, en cada iteración la busca por dicho identificador, con el fin de realizar un seguimiento estable de la misma incluso en presencia de otras personas.

Las únicas dos condiciones que se pueden dar para que el robot cambie de persona a la que hace el seguimiento son las siguientes:

1. Que la persona salga del rango de alcance del láser, en cuyo caso, volveremos a tomar del vector de entrada, la persona que tenga la fiabilidad más alta.
2. Que la persona seguida actualmente permanezca estática y que, a su vez, otra persona varíe su posición de manera significativa, en cuyo caso se pasará a seguir a esta última.

Con objeto de enviar la referencia angular a la controladora y, por tanto, al servomotor de movimiento panorámico del cuello, se calcula el ángulo que forman el punto medio del par de piernas y el sistema de referencia láser mediante:

$$\theta = \arctan \frac{y}{x} \quad (2)$$

donde x e y corresponden al punto medio del par de piernas seleccionado.

4 MÓDULO DE EXPRESIÓN GESTUAL

Otro de los ingredientes que se ponen en juego en toda interacción humana son todas aquellas acciones

que tienen que ver con la comunicación no verbal, es decir, con el complejo sistema de gestos.

El saber interpretar qué movimientos dan lugar a ciertas emociones no es tarea fácil. Se trata de un campo de estudio bastante amplio y que comprende varias disciplinas, no solamente técnicas, sino que incumben a la medicina o psicología, por ejemplo.

De hecho, el primero en formular el problema en forma de clasificación fue el psicólogo Paul Ekman en los años 70 [6]. Propuso un estándar muy utilizado en la actualidad conocido como estándar FACS (*Facial Action Coding System*) que asigna una determinada emoción a un conjunto concreto de músculos faciales, cada uno activado a un determinado nivel de intensidad.

La unidad básica del sistema FACS es la unidad de acción, o *Action Unit* (UA). Una UA representa las actividades musculares que producen cambios momentáneos en las apariencias faciales. Dicho de otra manera, una unidad de acción es un código numérico para describir los movimientos de los músculos faciales.

Tabla 1: Codificación de unidades de acción en Sacarino II basada en FACS

Identificador	Descripción
2	Levantamiento exterior de cejas.
3	Bajar cejas.
45	Bajar párpados.
M45	Levantamiento de párpados.
46	Guiño ojo izquierdo.
M46	Guiño ojo derecho.
47	Apertura de ojos.
51	Movimiento cuello izquierda.
52	Movimiento cuello derecha.
53	Alzar cuello.
54	Bajar cuello.
57	Inclinar cabeza izquierda
58	Inclinar cabeza derecha

La relación entre las AU y los músculos faciales no es necesariamente 1-a-1; algunas UA se componen de más de un músculo y otras UA se basan en describir movimientos separados del mismo músculo.

El acto de describir movimientos faciales utilizando el sistema de codificación facial se llama FACS de codificación. Códigos múltiples FACS se notan usando más (+). Por ejemplo 1 + 2 representa elevar las partes interior y exterior de la ceja (es decir, elevar toda la ceja).

El FACS también incluye un sistema para describir la intensidad de cada AU mediante la colocación de una letra de A a E después del código numérico, pero

antes del signo más. El rango de intensidad para cada letra es:

- Rastro (A)
- Leve (B)
- Marcado / Pronunciado (C)
- Severo (D)
- Extremo / Máximo (E)

Para continuar con el ejemplo anterior, $1E + 2E$ representa la elevación extrema (o máxima) de las porciones interior y exterior de las cejas.

Pongamos un caso real que se puede dar en el robot, sea el gesto sorpresa el que tiene que expresar Sacarino II. Las unidades de acción que se deben activar serían la 1 con intensidad E (Levantar las cejas al máximo), levantamiento labio superior (unidad de acción 10) a intensidad severa D, levantar párpado superior 5 también con intensidad D y por último alzar la cabeza (53) con intensidad marcada, C. Es decir:

$$\text{Sorpresa} = 1E + 10D + 5D + 53C \quad (3)$$

En Sacarino II se han implementado las unidades de acción expuestas en la Tabla 1 y cuya combinación da lugar a las seis emociones básicas además de la expresión neutra, que son: tristeza, asco, miedo, alegría, enfado, sorpresa.

4.1 IMPLANTACIÓN

Para llevar a cabo este subsistema de expresiones en el robot, se ha optado por una estructura modular, que aprovecha el potencial de ROS en este aspecto, tal como ya ha sido comentado. Esto significa que se ha seguido una programación jerárquica en la que cada nivel inferior proporciona una serie de servicios al nivel superior, y este no se debe preocupar de cómo lo lleva a cabo.

4.1.1 Servidor de acciones

Cada gesto es una combinación de unidades de acción y, a su vez, cada unidad de acción se concreta en el movimiento de ciertos servomotores.

Este nodo ROS se encarga de recibir como entrada las unidades de acción que le llegan del cliente (nivel 2) y traducirlas en movimiento de servomotores, lo cual significa dar el identificador del servomotor, y su posición y velocidad. Una vez realizado este cálculo, publica un vector con la cadena de servomotores, especificando para cada uno posición y velocidad, al servicio de la controladora para que esta mueva los servomotores.

4.1.2 Cliente de acciones

Se encuentra en el nivel 2 de la arquitectura. Siguiendo un paradigma cliente-servidor este nodo se comunica con el servidor de acciones.

Recibe como entrada la expresión que se desea realizar, para, seguidamente, hacer la correspondencia entre el gesto y las unidades de acción, intensidad y velocidad que le corresponden. Una vez termina, ofrece como salida un vector con la estructura expuesta en la ecuación (3) y que sirve como entrada del servidor de acciones.

La arquitectura de los subsistemas de seguimiento y de expresión gestual se muestran en la Figura 6.

A continuación, se hablará de la última capa en la arquitectura que sincroniza ambos módulos según ordene la entidad que gobierna el robot entero, el secuenciador.

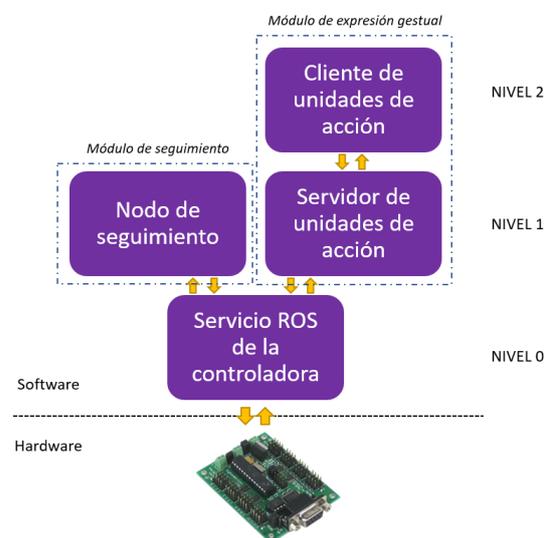


Figura 6: Arquitectura de los subsistemas

5 SISTEMA GLOBAL DE INTERACCIÓN

Con objeto de unificar los subsistemas vistos hasta ahora se ha aprovechado una herramienta potente incluida en ROS, como es la librería de acciones (actionlib).

En definitiva, lo que se persigue es una última capa superior en la arquitectura que sirva de interfaz entre todo el sistema de interacción y el secuenciador del robot. La librería de acciones parte del paradigma cliente-servidor pero incluyendo nuevos matices.

Básicamente, este nuevo modelo de comunicación permite que el cliente reciba información del estado de su petición en tiempo real (*feedback*), en lo que

espera el resultado final del servidor. Además, ahora es posible, por parte del cliente, cancelar las peticiones que hace al servidor en tiempo real.

Hemos definido una serie de comandos de alto nivel, que van a ir siendo modificados por el secuenciador:

- Modo de seguimiento
- Modo interacción
- Modo descanso

De esta manera, el secuenciador de programa irá ordenando el cambio de modo de acuerdo a estímulos externos.



Figura 7: Nivel superior de la arquitectura

Cuando el robot se encuentre en modo seguimiento, solamente se centrará en reconocer y dirigir la mirada a un usuario que pase por las proximidades. Por tanto, no realizará ningún gesto. Sin embargo, cuando se encuentre en modo interacción, el robot, además de hacer seguimiento horizontal al usuario, ejecutará los gestos consignados por el secuenciador. Finalmente se encuentra el modo reposo en el que ambos subsistemas estarían inactivos.

Queda justificado, por tanto, el uso de un nivel superior en la arquitectura que controle ambos subsistemas.

5.1 DESARROLLO

Toda la implementación de la interfaz de acciones está concentrada en el nodo que recibe el mismo nombre (Figura 7).

El servidor de acciones toma como entrada un objetivo ordenado por el cliente (en nuestro caso el secuenciador), por ejemplo: *Modo interacción* y *expresión tristeza*. Entonces, el servidor cambia su estado a *Procesando* y, mientras el cambio de modo y la realización del gesto se está llevando a cabo, el secuenciador irá recibiendo información sobre el estado de la orden. Esto último se hace mediante porcentaje, donde un 0% corresponde a aún no iniciado y, a medida que transcurre el tiempo, el porcentaje progresará hasta el 100% que significará que se ha cambiado el modo y el gesto ha

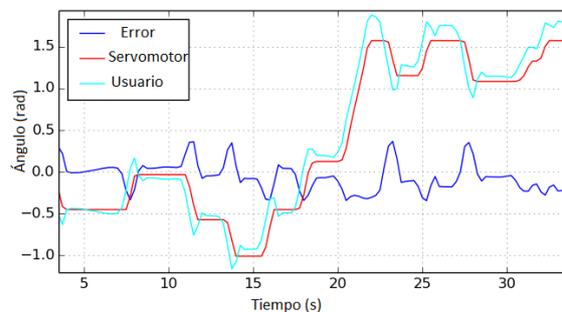
sido ejecutado, si todo ha transcurrido correctamente. Si es así, el servidor cambia su estado a *liberado* y queda a la espera de recibir nuevas órdenes.

6 RESULTADOS OBTENIDOS

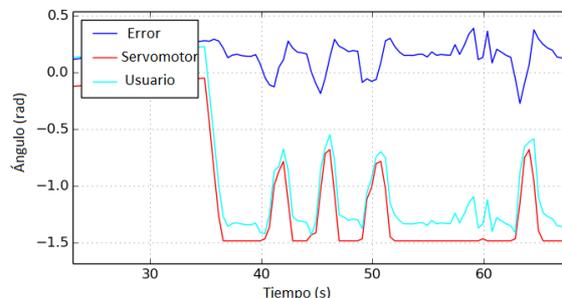
En esta sección se van a exponer los resultados obtenidos en los subsistemas desarrollados.

Para analizar el sistema de seguimiento con Kinect se muestra la evolución del error respecto al tiempo, así como la evolución de la referencia y el ángulo del servomotor.

Como se puede observar en la Figura 8, se han diseñado una serie de experimentos en forma de cambios en la posición del usuario bruscos (escalón) y progresivos (rampa).



(a) Evolución temporal en el plano guiñada



(b) Evolución temporal en el plano de cabeceo

Figura 8: Respuestas temporales del sistema de seguimiento

La respuesta de los servomotores es rápida y sobreamortiguada, con un retardo menor de 0.15 s. Además, se puede apreciar que, aunque la referencia oscile en algunos casos, los esfuerzos de control no comienzan a ser apreciables hasta que no se produzcan cambios más significativos, de acuerdo al tratamiento no lineal que se le ha dado al error.

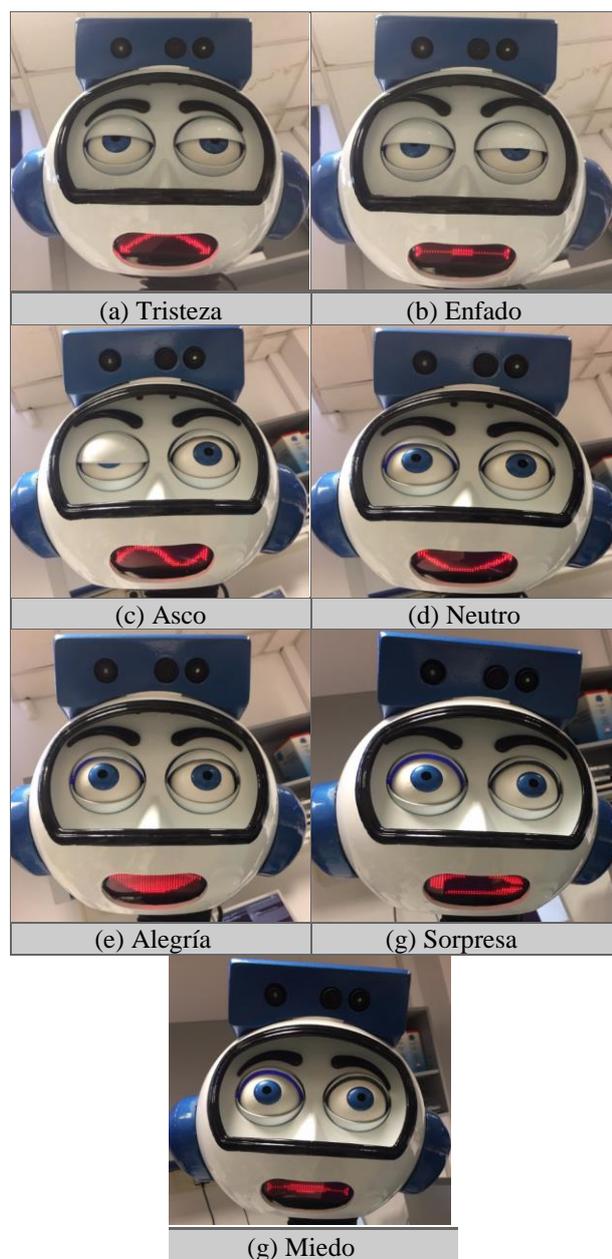
Por su parte, el error de posicionamiento se mantiene en una banda de 0 ± 0.1 rad en el estacionario. Dicha banda se produce porque para errores pequeños la

salida de la función sigmoide es aproximadamente cero, por lo que no se excita a la señal de control.

Esto último es beneficioso, puesto que la cabeza del robot no está continuamente reacomodándose una vez está centrada en el usuario. De lo contrario, el servomotor se podría quedar oscilando en torno a la posición final y producir un efecto negativo en la interacción.

Para finalizar este apartado, se muestran los resultados obtenidos en el subsistema de expresión gestual (Tabla II).

Tabla 2: Expresión gestual de Sacarino II



7 CONCLUSIONES

El objetivo fijado era el de dotar al robot Sacarino II de una mayor expresividad, para lograr un mejor impacto en la interacción hombre máquina.

Los estándares de comportamiento social dictan que es importante, a la hora de tratar con una persona, mirarla a los ojos, signo de estar activo en la conversación; y por otra parte, la gesticulación y expresividad facial acentúan el acercamiento y lo hacen más humano, reforzando positivamente la interacción. Para abordar este objetivo se ha propuesto un sistema de interacción basado en dos módulos.

Se ha desarrollado un primer módulo de detección de usuarios mediante un láser SICK. Una vez seleccionado uno de los usuarios se realiza su seguimiento visual mediante sensor Kinect integrado en la propia cabeza. Este seguimiento realiza de forma suave evitando oscilaciones mediante la inclusión de un controlador no lineal sigmoidal.

Los experimentos han demostrado un comportamiento natural en el seguimiento de usuarios.

Por otra parte, el subsistema de expresión gestual basado en FACS, proporciona al robot una gran expresividad, y una experiencia que resulta agradable para el usuario.

Para coordinar estos dos subsistemas, la biblioteca *actionlib* de ROS se ha mostrado como una herramienta muy útil a la hora de proporcionar al secuenciador del robot una realimentación en tiempo real de las órdenes que éste envía al sistema de interacción.

A partir del desarrollo propuesto en este proyecto y como líneas futuras de desarrollo se propone por un lado, la posible incorporación de un sistema de detección de expresiones emocionales del usuario así como sistemas adicionales de interacción.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, proyecto de investigación fundamental DPI2014-56500.

Bibliografía

- [1] A. J. Sánchez, «Desarrollo de un sistema de visión-3D para su integración en un robot móvil social,» 2014

- [2] D. C. L. Matovelle, «Diseño y Construcción de una cabeza mecatrónica de aspecto realista,» 2013. 2017 05 19].
- [3] Dautenhahn, K., Nehaniv, C. L. (1999). Embodiment and interaction in socially intelligent lifelike agents. In *Computation for Metaphors, Analogy and Agent*, Ed., LNAI 1562, pp. 102-142. Springer
- [4] Eduardo Zalama Casanova; Jaime Gómez García-Bermejo; Samuel Marcos; Salvador Domínguez; Raúl Feliz; Roberto Pinillos. Sacarino, a service robot in a hotel environment. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 253. pp. 1 - 14. Madrid. Springer (USA). ISSN 2194-5357. (2013)
- [5] Joaquin Lopez, Diego Perez, Eduardo Zalama and Jaime Gomez-Garcia-Bermejo. BellBot - A Hotel Assistant System Using Mobile Robots. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Vedran Kordic, Aleksandar Lazinica, Munir Merdan (Ed.) 2013. InTech. ISBN: 1729-8806. (2013)
- [6] P. Ekman and W. Friesen. *Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement*. Consulting Psychologists Press, Palo Alto, 1978.
- [7] «Página oficial de ROS,» [En línea]. Available: <http://wiki.ros.org/>.
- [8] R. Pinillos, «Diseño de un robot social y validación de servicios en entornos hoteleros,». Trabajo Fin de Master. Universidad de Valladolid. 2014.
- [9] «Repositorio oficial de ROS,» [En línea]. Available: http://wiki.ros.org/leg_detector
- [10] «Repositorio oficial de ROS,» [En línea]. Available: http://wiki.ros.org/openni_tracker
- [11] Roberto Pinillos, Samuel Marcos, Raul Feliz, Eduardo Zalama, Jaime Gómez-García-Bermejo. «Long-Term Assessment of a Service Robot in a Hotel Environment». *Robotics and Autonomous System*. ISSN: 0921-8890. DOI: 10.1016/j.robot.2016.01.014 (2016).
- [12] S. Moriello, «Robots sociales, la nueva generación.,» 2008. [En línea]. Available: http://www.tendencias21.net/Robots-sociales-la-nueva-generacion_a2833.html. [Último acceso:
- [13] SSC-32 Servo Controller Driver. Lynxmotion. <http://www.lynxmotion.com/p-395-ssc-32-servo-controller.aspx>