

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
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

Nuñez, 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. Zamarréño, 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>	
<hr/> Sistemas de Tiempo Real <hr/>	
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>	
<hr/> Visión por Computador <hr/>	
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>	

Definiendo los elementos que constituyen un robot social portable de bajo coste

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

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

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

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

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

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

Resumen

Existen numerosos trabajos y estudios que evalúan la utilización de animales en terapias con personas que presentan problemas de desarrollo cognitivo o de aprendizaje. Estos métodos se utilizan principalmente en sesiones de rehabilitación orientadas a disminuir los efectos de enfermedades mentales como alzheimer, demencia o autismo. Cada vez son más los trabajos que tratan de incorporar robots sociales en sustitución de animales reales. Dado el tipo de aplicación a la que estos robots sociales están destinados, resulta un factor determinante que estos sistemas presenten una apariencia externa agradable para el usuario. En este sentido, son muchos los estudios que proponen el uso de robots con forma de animal o humanoide como medio de interacción con personas. Para ello, resulta fundamental el diseño de un robot que presente unas características concretas, fundamentalmente en aspectos relacionados con el tamaño, peso y apariencia de forma que el robot resulte fácilmente manejable y portable reduciendo su coste económico en la medida de lo posible. Este artículo realiza un repaso de los robots actuales utilizados en este tipo de aplicaciones, describiendo los elementos que debe incorporar, en su fase de diseño, un robot social de bajo coste orientado a aplicaciones de terapia y compañía a personas mayores y niños con enfermedades mentales.

Keywords—Robótica social, terapias robóticas, terapia con animales, robots humanoides, animales, diseño de robots.

1. Introducción

Actualmente, la robótica se encuentra inmersa en procesos donde no solo se pretende crear máquinas automáticas, sino dotarlas de un cierto grado de inteligencia y autonomía. En este sentido, la robótica social se centra en desarrollar la tecnología existente para permitir y facilitar la interacción humano-robot (HRI, por sus siglas en inglés) o robot-robot [1, 2]. Esta interacción normalmente pretende reproducir comportamientos propios de los animales y de los seres humanos en las máquinas para conseguir desarrollar vínculos afectivos

entre los mismos con el fin de mejorar su operabilidad en el mundo cotidiano. Además, pese a que la mayor parte de los robots desarrollados hasta ahora en robótica social han sido enfocados a la morfología y comportamientos de los seres humanos, reproduciendo comportamientos mediante imitación [3], cada vez son más los que poseen otras formas como pueden ser animales, aprovechando las capacidades que pueden aportar en campos como la medicina (aplicado en terapias) o actuando como sistemas que aportan compañía [4].

Por otro lado, la existencia en la actualidad de equipos y dispositivos electrónicos de bajo-medio coste, como minicomputadores y placas microcontroladoras de hardware y software libre, con buenas capacidades tecnológicas, permiten la realización de plataformas robotizadas que hace unos años resultaban difíciles de desarrollar debido principalmente a su alto coste económico.

2. Robots sociales para compañía y terapia

Todo robot social debe presentar unas características bien definidas, entre las que se deben encontrar mecanismos de interacción humano-robot (HRI), interacción con el mundo físico que le rodea, generación de emociones, apariencia externa agradable y realización aplicaciones que beneficien a las personas que los utilicen [5]. En este sentido, los robots sociales, en los últimos años, están adquiriendo una gran importancia en nuevos proyectos desarrollados en medicina [6]. Especialmente, un gran número de ellos son utilizados como sistemas de ayuda y compañía a personas mayores o niños con enfermedades mentales. Estos robots, en algunos casos, surgen como elemento de guía a los terapeutas en sesiones de rehabilitación mental o física o como elemento de compañía a personas con problemas mentales que normalmente se encuentran hospitalizadas o internas en centros especiales. Algunos de los robots más importantes en la actualidad destinados a este ámbito son PARO [7] y Aibo [11], Mini Maggie [14] y NAO [15] mostrados todos ellos en la Figura 1.

PARO (Personal Assistant Robot) [7] o NUKA (nombre en territorio europeo) nace en la década de los 90 como un robot de interacción social avanzada con forma de foca. Principalmente, se utiliza en hospitales y centros especializados en tratar a personas mayores con problemas mentales, aprovechando los efectos que tiene la terapia con animales reales [8]. La utilización de este tipo de robots disminuye la dificultad que supondría utilizar animales reales en hospitales y centros de atención de enfermedades mentales. Desde el punto de vista médico, quedaron demostrados los efectos positivos de realizar terapias con animales en enfermedades cognitivas como alzheimer o demencia [9]. Los estudios realizados recientemente con el robot PARO en experiencias reales con personas mayores enfermas muestran los resultados satisfactorios de realizar terapias este robot utilizando métodos utilizados en terapia con animales reales [10].

Como robot social de compañía surgió Aibo (Artificial Intelligence Robot) [11]. Desarrollado por Sony a finales de los años 90, Aibo representa el estándar de robot de compañía. Este robot ha adquirido diferentes formas durante su existencia, destacando principalmente con forma de cachorro de perro. Pese a que fue diseñado para su uso doméstico como robot mascota o de compañía, ha sido utilizado en multitud de aplicaciones como educación, robot futurista en películas o estudios de investigación. Como se puede comprobar en distintos trabajos de investigación [12, 13], ha sido estudiada la utilización de este robot como animal robótico de compañía con personas de todo tipo de edades para comprobar los efectos de la utilización de robots en sustitución de animales reales.

Mini Maggie es un robot social desarrollado por la Universidad Carlos III de Madrid para ayudar al terapeuta encargado de dirigir sesiones de rehabilitación con personas que presentan enfermedades mentales como alzheimer o demencia [14]. Para ello, incorpora mecanismos de interacción mediante voz con un sintetizador de texto o TTS (Text to Speech, de sus siglas en inglés) y un reconocedor de voz, distintos ejercicios que sirven para estimular mentalmente a los enfermos a través de una tableta, mecanismos de percepción del entorno mediante una cámara de visión 3D y diversos sensores y actuadores que permiten realizar movimientos e interactuar de una forma más realista con el usuario.

El robot humanoide NAO [15] ha sido utilizado para ayudar a niños autistas en numerosas terapias para mejorar las habilidades de comunicación e interacción de estos niños [16]. Otros estudios de investigación [17] han presentado diversos casos en

los que se pretende mejorar la interacción y respuesta ante estímulos de niños autistas a través de la interacción con el robot NAO. Las técnicas utilizadas proponen que los niños imiten los movimientos físicos y otras acciones como gestos o expresiones que el robot realiza para conseguir estimular la interacción social entre humano-robot (HRI).

Otros robots, tanto humanoides como con forma de animal han sido utilizados como medio de interacción con personas que presentan algún tipo de enfermedad mental o física y como medio de compañía. Por ejemplo, ASIMO [18], uno de los robots humanoides más famosos, ha sido utilizado como guía en terapias de rehabilitación física para mejorar la movilidad de articulaciones [19]. Como robot de compañía destaca NeCoro [20], un gato robótico con capacidades similares a las de un gato real capaz de mostrar emociones realizando distintos gestos y movimientos como medio de interacción.

3. Sistema hardware

El diseño y construcción de un robot social destinado a terapia y compañía debe cumplir unas especificaciones precisas que permitan al usuario una interacción cercana y agradable con el robot. Por este motivo, resulta determinante que el sistema hardware que da forma al robot quede bien estructurado y definido en diversos subsistemas tal y como muestra la Figura 2. Dichos subsistemas se detallan a continuación.

3.1. Sistema de alimentación

Como parte fundamental de todo sistema que incorpore elementos cuya fuente de energía sea la electricidad, es necesario el diseño de un sistema de alimentación robusto que permita aportar la cantidad de energía suficiente para que todos los dispositivos operen de forma satisfactoria tal y como se muestra en la Figura 2.

Dependiendo de la aplicación a la que esté destinado el robot diseñado, la forma de aportar la energía a los dispositivos será diferente. Al tratarse de un robot que debe poder transportarse y manejarse de forma sencilla, el método de alimentación del sistema más adecuado es mediante la utilización de una batería, incorporada dentro de la estructura del robot. Las baterías a utilizar deben tener el menor tamaño y peso posible, además de un coste bajo y una capacidad eléctrica elevada. En este sentido, las baterías que presentan este tipo de características son las fabricadas con Litio, en concreto baterías de Litio-Ión y Polímero de Litio debido a su alta capacidad en pequeño tamaño y peso. Quedan descartadas por tanto otras

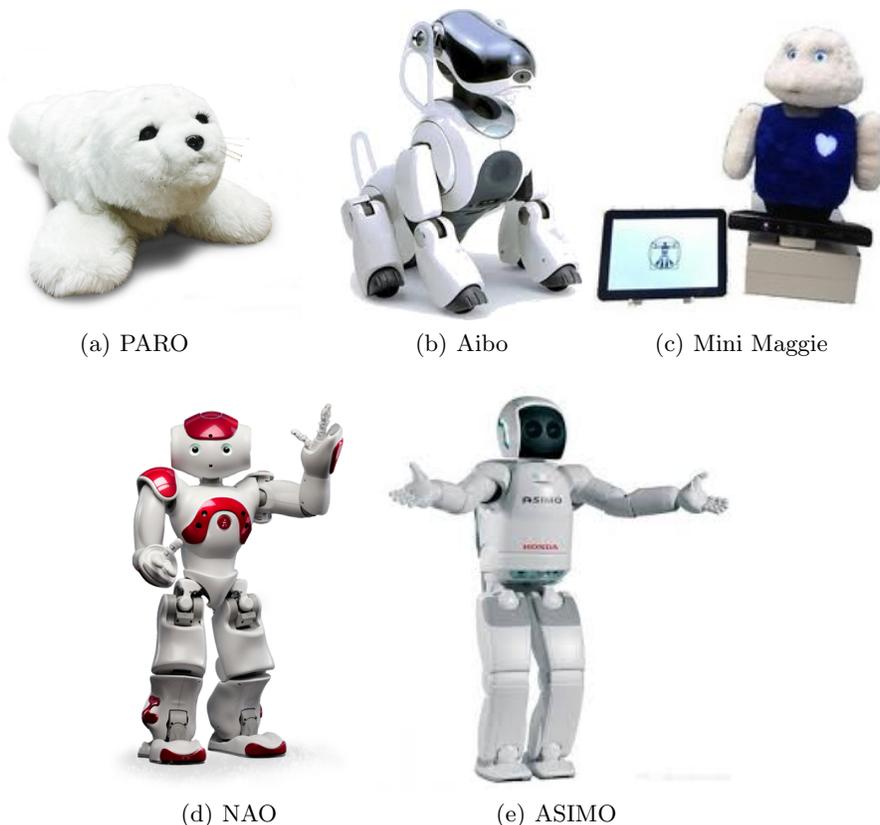


Figura 1: Algunos de los principales robots sociales destinados a aplicaciones relacionadas con la terapia y la compañía.

baterías como las fabricadas con plomo debido a su alto peso y tamaño.

Dado que la batería está incluida dentro del robot, es necesario que incorpore un sistema que permita cargarla de forma cómoda desde el exterior. Por lo tanto, será necesario, mediante un convertidor *AC/DC* adaptar la tensión aportada por la red de corriente eléctrica (corriente alterna monofásica) a los niveles de voltaje óptimos de carga de la batería (operando en corriente continua o directa). De acuerdo con la filosofía adoptada en el diseño de cualquier robot social, el sistema de carga de la batería deberá ser lo más estético posible, estando siempre acorde con la apariencia externa con la que se dote al robot.

El sistema de alimentación también debe estar correctamente dimensionado para permitir adaptar el nivel de tensión que aporte la batería a los distintos dispositivos de control, sensorización y actuación incluidos en el robot. Por este motivo, será necesario utilizar la electrónica necesaria para cumplir este requisito teniendo siempre en cuenta el consumo de corriente de cada uno de estos elementos. Comúnmente, los dispositivos electrónicos más utilizados para suministrar la energía eléctrica de la batería a los distintos elementos del robot

son los llamados convertidores *DC/DC* (convertidores de corriente directa a corriente directa).

3.2. Sistema de control

Como elemento controlador y de gestión de datos, el robot normalmente lleva incorporado un miniordenador. Este ordenador se encarga de realizar todas las operaciones lógicas del sistema y gestionar la comunicación entre los distintos procesos que desarrolla el robot. Dentro de los miniordenadores de bajo coste más utilizados actualmente destaca Raspberry Pi¹. Este dispositivo permite instalar Microsoft Windows y Ubuntu entre otros sistemas operativos conocidos, aparte de tener un bajo precio y muy pequeño tamaño con una capacidad de cómputo relativamente alta. Además permite conectar un gran número de dispositivos y tarjetas de expansión con las que es compatible. Como alternativa, es posible encontrar BeagleBone Black², con características similares a Raspberry Pi, o Intel Galileo [21] y MinnowBoard³, inspirados estos dos últimos en la idea de IoT (Internet of Things, Internet de las cosas), donde cualquier dispositi-

¹<https://www.raspberrypi.org/>

²<https://beagleboard.org/>

³<https://minnowboard.org/>

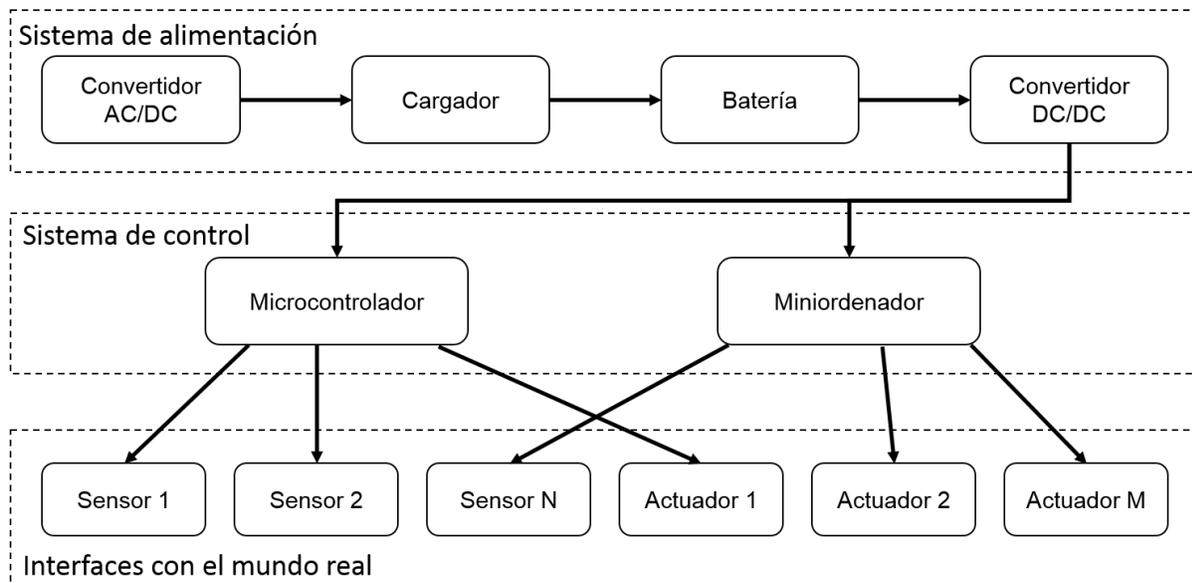


Figura 2: Relación entre los elementos hardware que debe incorporar un robot social portable de bajo coste. En la parte superior se pueden observar los elementos que componen el sistema de alimentación y las relaciones existentes entre ellos. En la parte media se encuentra tanto el miniordenador como el microcontrolador, elementos que forman parte del sistema de control del robot. Por último la parte inferior muestra los distintos sensores y actuadores, que pueden estar gestionados tanto por el miniordenador como por el microcontrolador, y que se encargan de actuar como interfaces con el mundo real.

vo estaría conectado con Internet para compartir información entre sí.

La principal función de los robots sociales es interactuar con el mundo físico que los rodea, por lo que resulta fundamental que incluyan un microcontrolador conectado al ordenador principal del robot que se encargue de gestionar los sensores y actuadores. De este modo es posible liberar de carga de trabajo al ordenador principal incluido en el robot, además de simplificar el proceso de adquisición de datos de los sensores incorporados en el robot y de aportar las señales necesarias para comandar los actuadores del mismo. En cualquier caso, se debe tener en cuenta que algunas tecnologías de sensores y actuadores pueden conectarse directamente al miniordenador (p.ej una webcam o un altavoz).

Dentro de los microcontroladores de bajo coste comerciales, destacan los pertenecientes a Arduino⁴ debido a su bajo coste y gran variedad de modelos que presentan diferentes características entre sí. Este tipo de microcontrolador resulta una buena alternativa para incorporar en un robot, reemplazando a algunos microcontroladores mucho más costosos económicamente como las tarjetas de adquisición de datos o microcontroladores más difíciles de programar y conectar como los PIC (Peripheral Interface Controller).

⁴<https://www.arduino.cc/>

3.3. Interfaces con el mundo real

Cualquier robot social debe incluir una serie de sensores que le permita obtener información del entorno. Al mismo tiempo, estos robots deben ser capaces de interactuar con el mundo físico que lo rodea mediante sus actuadores.

3.3.1. Sensores

Los principales sensores que un robot social destinado a tareas de terapia y compañía debe incluir son:

- *Tacto*: Permite captar cuando una persona interactúa con el robot tocando su superficie. En la actualidad, los más utilizados son los sensores de tacto capacitivos, colocados en zonas estratégicas del robot como la cabeza, pecho o extremidades para captar los toques del usuario en esas zonas. Como alternativa se pueden utilizar micrófonos de contacto para captar los toques del usuario mediante sonido.
- *Temperatura*: Permite conocer el ambiente en el que se encuentra el robot, tanto interna como externamente. Colocado en el interior permite saber la temperatura a la que se encuentra la electrónica del robot para limitar sus movimientos en el caso de que exista sobrecalentamiento. Colocado en el exterior del

robot permite conocer la temperatura del entorno en el que se encuentra el robot.

- *Movimiento*: Mediante la inclusión de un sensor de medición inercial (IMU, Inertial Measurement Unit), que incorpora normalmente un giróscopo, un acelerómetro y un magnetómetro, es posible conocer entre otras magnitudes la orientación del robot en el espacio o la aceleración a lo largo de los tres ejes (X, Y o Z) del robot.
- *Sonido*: En ocasiones, puede resultar interesante utilizar micrófonos para atender órdenes por parte de los usuarios que se comunican con el robot mediante el habla o sonidos no verbales.
- *Cámara*: La incorporación de una cámara en el robot permite la utilización de técnicas de procesamiento de imágenes por computador. Estas cámaras pueden proporcionar información en 2D o 3D. La cámara de visión 3D incluye una segunda lente adicional, no incluida en la cámaras estándar o de visión 2D, que permite obtener información sobre la profundidad de los objetos que capta la lente de la cámara en 2D.

3.3.2. Actuadores

Los principales actuadores a incluir en un robot social destinado a interacción son:

- *Movimiento*: La capacidad de dotar de movimiento a la estructura del robot es fundamental para dotar de expresividad a un robot social. Por ello, se coloca un motor por cada grado de libertad que se le quiera dar al robot. En aplicaciones donde el robot debe realizar movimientos de forma muy controlada, con un recorrido corto y de forma silenciosa se suele utilizar servomotores. Como alternativa, se pueden utilizar motores de corriente continua con codificador de posición para obtener la posición angular del motor o motores paso a paso, pese a que estos últimos presentan mayor dificultad en el control de su posición debido a que son menos precisos.
- *Iluminación*: La colocación de actuadores como diodos LED en la estructura externa del robot permite aportar expresividad en la interacción con el usuario. Estos actuadores normalmente se colocan en zonas específicas como mejillas, corazón o cabeza.
- *Temperatura*: La variación de la temperatura del robot se puede utilizar también, de forma regulada, para transmitir sensación de calidez

o frialdad al usuario, aportando de esta forma realismo al robot.

- *Pantallas*: Cada vez son más los robots que incorporan una pantalla LCD o una tablet para generar animaciones que representen algunos elementos de la fisiología de los animales como los ojos, boca o para mostrar emociones a través de ella.
- *Sonido*: La utilización de un altavoz incluido en el interior del robot permite la reproducción de sonidos no verbales que podrían estar inspirados en animales u otros seres animados.
- *Vibración*: Con el fin de aportar sensación de movimiento en el interior del robot, es posible incluir dispositivos de vibración que aporten esta sensación al usuario.

4. Estructura mecánica y apariencia externa de un robot social

Debido al auge que la impresión 3D ha experimentado, cada vez es más sencillo poder realizar piezas a medida a un coste relativamente bajo. Este método de prototipado rápido ha afectado también en gran medida a la robótica. Utilizando esta tecnología es posible diseñar casi cualquier estructura mecánica que de forma al robot.

La fabricación de la estructura del robot mediante impresión 3D limita el tipo de materiales a utilizar. Las impresoras 3D de bajo coste normalmente imprimen materiales de tipo plástico rígido como ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno) o PLA (Ácido poli-láctico). En los últimos meses, el número de materiales que admiten las impresoras 3D de bajo coste se encuentra en expansión, incluyendo filamentos de materiales como plástico flexible o incluso madera sintética, cerámica o cobre. En este sentido, el abanico de posibilidades que ofrece la impresión 3D permitiría construir un robot social como el que se propone diseñar en el presente trabajo. Como alternativa, sería posible realizar la estructura del robot mediante otras técnicas más clásicas utilizando materiales como aluminio o madera.

La apariencia externa del robot, depende, por lo tanto, de la estructura mecánica siendo uno de los factores fundamentales en el diseño de un robot social [22] en tanto que es uno de los factores que más influye en el usuario. Además, dentro de la aplicación a la que se destina este tipo de robots, como es la terapia y la compañía, principalmente a personas mayores que puedan presentar algún

tipo de deterioro cognitivo, resulta aún más determinante que la impresión que el usuario tenga del robot sea buena. La apariencia externa de los robots sociales ha tendido en los últimos años a adoptar formas de robots inspirados en animales, robots humanoides y robots de carácter menos realista. Todos ellos están orientados a aportar al usuario una sensación de cercanía y comodidad en base a su apariencia.

Los robots sociales utilizados en aplicaciones de terapia y compañía han tomado principalmente apariencia de animal de compañía clásico como perro (Aibo) o gato (NeCoro) a animales acuáticos como focas (PARO). La mayoría de estos animales presentan la característica común de no tener una movilidad alta, sobretodo en sus primeros meses de vida, reduciendo así la complejidad de los movimientos a realizar. Además, emiten sonidos no verbales agradables, por lo que el usuario no se sentirá intimidado ni asustado. Los animales que sirven como inspiración para este tipo de aplicaciones presentan una piel suave, adecuada para aportar calidez y tranquilidad al usuario. Por último, dada la aplicación a la que estos robots están enfocados, la inspiración en animales permite poder intentar reproducir las técnicas de rehabilitación y terapia que se utilizan con animales reales y que ha quedado demostrado científicamente que son muy beneficiosas para cierto tipo de enfermedades mentales [8].

Los robots sociales con apariencia humanoide, como NAO o ASIMO, utilizan técnicas de interacción distintas a los robots con forma de animal. Estos robots utilizan su similitud con la morfología humana para realizar movimientos más complejos. Por este motivo, los robots sociales humanoides se utilizan en sesiones de rehabilitación para personas que presentan problemas de movilidad [19] o autismo [16, 17]. En cuanto a los robots que presentan una forma menos definida, estos pueden presentar ambos tipos de interacción, ya que su estructura y apariencia puede presentar tanto características humanoides como de animales.

5. Conclusiones

Este artículo describe las características principales y elementos que puede incluir un robot social dedicado a aplicaciones relacionadas con la terapia y la compañía, así como las técnicas de diseño más utilizadas actualmente. En este artículo se detalla los diferentes sistemas que de forma general forman parte del robot, como son el sistema de alimentación, el sistema de control y los elementos que sirven como interfaces con el mundo real (sensores y actuadores). En este artículo se realiza

un análisis de los métodos actuales que permiten construir robots de pequeñas dimensiones utilizando electrónica de bajo coste e impresión 3D.

Además, se presentan los principales robots sociales utilizados actualmente en aplicaciones de terapia y compañía, como PARO o Mini Maggie. Este tipo de robots, como se ha descrito a lo largo de este artículo, están orientados a ayudar a personas mayores y niños que puedan presentar algún tipo de enfermedad mental, como alzheimer, demencia o autismo. Además, se han realizado diversos trabajos de investigación que pretenden utilizar robots como NAO o ASIMO en terapias de rehabilitación del aparato locomotor. Utilizando como ejemplos los robots presentados en la Figura 1, es posible establecer los aspectos más importantes en la estructura mecánica y la apariencia externa que debe tomar un robot social destinado a este tipo de aplicaciones como son los materiales con los que están construido, su precio, los grados de libertad que debe tener y la apariencia externa del robot.

A partir de este artículo podría resultar interesante realizar un trabajo de investigación orientado a construir prototipos de robots con distinta apariencia, principalmente de animales que resulten atractivos por su aspecto, y comprobar cual de ellos resulta más adecuado para la interacción con usuarios en función de su apariencia externa.

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] C. Breazeal, “Social interactions in hri: the robot view,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 34, no. 2, pp. 181–186, 2004.
- [2] C. Breazeal, “Emotion and sociable humanoid robots,” *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 59, no. 1, pp. 119–155, 2003.
- [3] S. Schaal, “Is imitation learning the route to humanoid robots?,” *Trends in cognitive sciences*, vol. 3, no. 6, pp. 233–242, 1999.
- [4] T. Shibata, K. Inoue, and R. Irie, “Emotional robot for intelligent system-artificial emotio-

- nal creature project,” in *Robot and Human Communication, 1996., 5th IEEE International Workshop on*, pp. 466–471, IEEE, 1996.
- [5] S. Satake, T. Kanda, D. F. Glas, M. Imai, H. Ishiguro, and N. Hagita, “How to approach humans?-strategies for social robots to initiate interaction,” in *Human-Robot Interaction (HRI), 2009 4th ACM/IEEE International Conference on*, pp. 109–116, IEEE, 2009.
- [6] R. Bemelmans, G. J. Gelderblom, P. Jonker, and L. De Witte, “Socially assistive robots in elderly care: A systematic review into effects and effectiveness,” *Journal of the American Medical Directors Association*, vol. 13, no. 2, pp. 114–120, 2012.
- [7] T. Shibata, M. Yoshida, and J. Yamato, “Artificial emotional creature for human-machine interaction,” in *Systems, Man, and Cybernetics, 1997. Computational Cybernetics and Simulation., 1997 IEEE International Conference on*, vol. 3, pp. 2269–2274, IEEE, 1997.
- [8] N. E. Richeson, “Effects of animal-assisted therapy on agitated behaviors and social interactions of older adults with dementia,” *American Journal of Alzheimer’s Disease & Other Dementias®*, vol. 18, no. 6, pp. 353–358, 2003.
- [9] K. Wada and T. Shibata, “Living with seal robots-its sociopsychological and physiological influences on the elderly at a care house,” *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 23, no. 5, pp. 972–980, 2007.
- [10] K. Wada, T. Shibata, T. Saito, K. Sakamoto, and K. Tanie, “Psychological and social effects of one year robot assisted activity on elderly people at a health service facility for the aged,” in *Proceedings of the 2005 IEEE international conference on robotics and automation*, pp. 2785–2790, IEEE, 2005.
- [11] M. Fujita, “On activating human communications with pet-type robot aibo,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 92, no. 11, pp. 1804–1813, 2004.
- [12] M. R. Banks, L. M. Willoughby, and W. A. Banks, “Animal-assisted therapy and loneliness in nursing homes: use of robotic versus living dogs,” *Journal of the American Medical Directors Association*, vol. 9, no. 3, pp. 173–177, 2008.
- [13] A. Kerepesi, E. Kubinyi, G. Jonsson, M. Magnusson, and A. Miklosi, “Behavioural comparison of human–animal (dog) and human–robot (aibo) interactions,” *Behavioural processes*, vol. 73, no. 1, pp. 92–99, 2006.
- [14] M. A. Salichs, I. P. Encinar, E. Salichs, Á. Castro-González, and M. Malfaz, “Study of scenarios and technical requirements of a social assistive robot for alzheimer’s disease patients and their caregivers,” *International Journal of Social Robotics*, vol. 8, no. 1, pp. 85–102, 2016.
- [15] D. Gouaillier, V. Hugel, P. Blazevic, C. Kilner, J. Monceaux, P. Lafourcade, B. Marnier, J. Serre, and B. Maisonnier, “Mechatronic design of nao humanoid,” in *Robotics and Automation, 2009. ICRA’09. IEEE International Conference on*, pp. 769–774, IEEE, 2009.
- [16] S. Shamsuddin, H. Yussof, L. Ismail, F. A. Hanapiah, S. Mohamed, H. A. Piah, and N. I. Zahari, “Initial response of autistic children in human-robot interaction therapy with humanoid robot nao,” in *Signal Processing and its Applications (CSPA), 2012 IEEE 8th International Colloquium on*, pp. 188–193, IEEE, 2012.
- [17] A. Tapus, A. Peca, A. Aly, C. Pop, L. Jisa, S. Pintea, A. S. Rusu, and D. O. David, “Children with autism social engagement in interaction with nao, an imitative robot: A series of single case experiments,” *Interaction studies*, vol. 13, no. 3, pp. 315–347, 2012.
- [18] M. Hirose, “Development of humanoid robot asimo,” in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems (Oct. 29, 2001)*, 2001.
- [19] Y. Sakagami, R. Watanabe, C. Aoyama, S. Matsunaga, N. Higaki, and K. Fujimura, “The intelligent asimo: System overview and integration,” in *Intelligent Robots and Systems, 2002. IEEE/RSJ International Conference on*, vol. 3, pp. 2478–2483, IEEE, 2002.
- [20] A. Libin, E. Libin, T. Ojika, Y. Nishimoto, T. Takeuchi, Y. Matsuda, and Y. Takahashi, “On person–robot interactions: Cat necoro communicating in two cultures (phase 1. usa–japanese study),” in *Proceedings of the 8th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, pp. 899–905, 2002.
- [21] M. C. Ramon, “Intel galileo and intel galileo gen 2,” in *Intel® Galileo and Intel® Galileo Gen 2*, pp. 1–33, Springer, 2014.
- [22] B. R. Duffy, “Anthropomorphism and the social robot,” *Robotics and autonomous systems*, vol. 42, no. 3, pp. 177–190, 2003.