

ACTAS

DE LAS

XXXVIII Jornadas de Automática

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



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo



CEA
*Comité Español
de Automática*

Colabora

Gijón

Convention Bureau

Actas de

XXXVIII

Jornadas de Automática

© 2017 Universidad de Oviedo
© Los autores

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

DL AS 2749-2017

ISBN: 978-84-16664-74-0

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

Prefacio

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

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

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

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

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

Gijón, septiembre de 2017

Hilario López
Presidente del Comité Organizador

Program Committee

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

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

Revisores Adicionales

Al-Kaff, Abdulla

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

Cancela, Brais

Ferraz, Luis

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

Hernandez Ruiz, Alejandro
Hernandez, Daniel

Jardón Huete, Alberto

López, Amable

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

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	
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	
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>	

Algoritmo de captura de movimiento basado en visión por computador para la teleoperación de robots humanoides.

J.M. GARCIA

RoboticsLab, Universidad Carlos III de Madrid, jgarciah@ing.uc3m.es

S. MARTINEZ

RoboticsLab, Universidad Carlos III de Madrid, scasa@ing.uc3m.es

Resumen

Desde hace tiempo, los seres humanos estamos desarrollando robots que puedan ayudarnos a mejorar nuestra calidad de vida. Esta ayuda puede ofrecerse de distintas maneras, ya sea con la sustitución completa de la persona para eliminar completamente cualquier riesgo o con la idea de compartir distintas tareas. Desde el grupo de investigación RoboticsLab de robots humanoides en la universidad Carlos III de Madrid, estamos empezando a sentar las bases de desarrollo de un robot humanoide con la habilidad de realizar tareas de camarero. Por ello, esta investigación es una primera fase, la cual se centra en la búsqueda de un método de teleoperación que nos permita posteriormente enseñar al robot humanoide comportamientos o trayectorias relacionadas con el ofrecimiento de bebidas. Para ello, a través de la cámara Kinect y sus herramientas, hemos desarrollado un algoritmo de teleoperación basado en RPY (roll-pitch-yaw) para la obtención de los valores de actuación que a posterior se aplicaran sobre el robot humanoide TEO.

Palabras clave: Robot camarero, Visión, Teleoperación, Esqueletización, Roll Pitch Yaw, Kinect.

1. INTRODUCCIÓN

Aprovechando las cualidades que nos ofrece la visión por computador, se pretende asentar las bases para el desarrollo de una base de datos a futuro donde se pueda almacenar diferentes movimientos o trayectorias de manipulación que, a posteriori, un robot humanoide pueda ejecutar de forma autónoma y automática.

La generación de esta base de datos comienza con la implementación de una aplicación que sea capaz de capturar y almacenar los movimientos que realizar una persona. Además, este artículo se quiere enfocar a próximas investigaciones relacionadas con el robot TEO, el cual pretende realizar tareas iguales o parecidas a las de un camarero sirviendo bebidas sobre una bandeja.

Es en este punto donde la teleoperación entra en esta investigación como parte fundamental, para la generación de tareas, movimientos o trayectorias. La posibilidad de teledirigir un brazo articulado de un robot o de un robot humanoide, como es el caso, da la oportunidad de generar nuevas trayectorias aplicables al propio robot. Mediante el uso del procesamiento de imágenes, se creará la recogida de información del teleoperador para, más adelante, aplicar sobre el propio robot [1][7][8].

El objetivo de este artículo se enfoca en la implementación de una aplicación que sea capaz de capturar las características de movimiento del teleoperador a través del uso de una cámara Kinect y generar la información de cómo el robot teleoperado debe moverse para poder imitar el movimiento o trayectoria del teleoperador. Se busca que el movimiento se realice en tres dimensiones y que el robot reproduzca fielmente los movimientos realizados por la persona que se encuentra frente al dispositivo Kinect [3][4]. Para llegar a alcanzar dicho objetivo se dividió el proceso en una serie de subtareas.

La primera subtask está asociada con la detección de detectar una persona mediante el dispositivo Kinect y realizar la esqueletización de la misma. Después, se pasará al cálculo de los ángulos articulares necesarios para que el robot ejecute los movimientos. Por último, se pasarán los ángulos articulares calculados al simulador, mostrándolos en este último caso por pantalla y verificando la validez de estos.

A continuación el artículo se redactará de la siguiente manera. En el siguiente capítulo, se mostrará una breve idea del robot humanoide TEO sobre el que se ha probado los experimentos y la finalidad de ellos. En el tercer capítulo, se podrá ver como es necesario realizar una esqueletización del teleoperador. Después, en el capítulo 4 se explicará todo algoritmo del cálculo cinemático inverso a través del método RPY para el cálculo de los ángulos. Por último, se expondrán los experimentos y sus resultados, juntos con unas conclusiones sobre estos.

2. EL ROBOT HUMANOIDE CAMARERO TEO

En la Universidad Carlos III de Madrid, el grupo de robótica humanoide RoboticsLab[®], ha comenzado a desarrollar un robot humanoide móvil y autónomo TEO (Figura 1), el cual deberá insertarse como robot asistencial o robot personal en una oficina o un entorno de trabajo como un robot camarero. El componente principal de este robot que manipula objetos es su mano la cual lleva una bandeja incorporada.

TEO es la nueva versión que es capaz de caminar en cualquier dirección, sentarse en una silla, subir y bajar escaleras, o moverse por sí mismo en entornos humanos. Con un enfoque diferente, la altura, el peso y la rigidez de enlace se han incrementado. De hecho, pesa aproximadamente 65 kg, tiene una altura de 1,75 m, y tiene 28 grados de libertad. Además, los sistemas hardware y de control son mejores. Por lo tanto, se pueden manejar más información de los sensores y algoritmos de control complejos con una capacidad de cálculo superior. Los principales objetivos de esta investigación han sido la estabilidad del robot humanoide [5] y la generación de caminata o pasos [2][9].

El objetivo de esta investigación es indagar en el área de control con los robots humanoides con un enfoque en el diseño y ejecución de las habilidades de manipulación complejas. En particular, hay que abordar el control de la manipulación basado en el control de visión por ordenador.

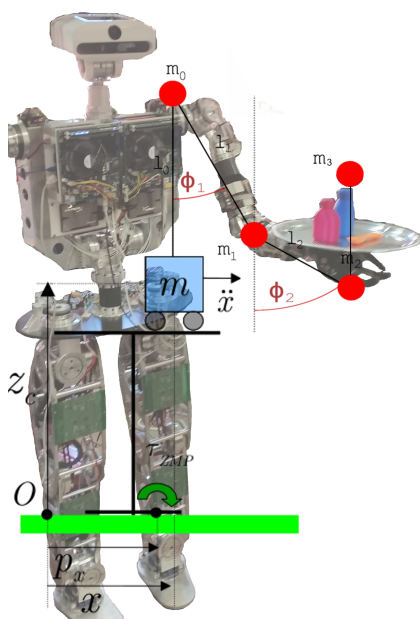


Figura 1: The waiter robot TEO.

3. ESQUELETIZACIÓN

El proceso de esqueletización consta en procesar las imágenes de profundidad obtenidas con Kinect para detectar formas humanas e identificar las partes del cuerpo del usuario, presente en la imagen. Cada parte del cuerpo es abstraída como una coordenada 3D o articulación. Un conjunto de articulaciones forman un esqueleto virtual para cada imagen 24 de profundidad de Kinect, es decir, se obtienen 30 esqueletos por segundo. Las articulaciones generadas varían de acuerdo a la biblioteca de Kinect que se utilice. Para este caso, cada esqueleto como lo indica la figura 18 está formado por 20 articulaciones $a_i = x_i, y_i, z_i$ con $z_i > 0$ cuyas coordenadas se encuentran expresadas en milímetros con respecto a la posición de Kinect en la escena [6][10][11][12].

La propia esqueletización se debe de encargar de asegurarse que el esqueleto rastreado no tiene partes fuera de la pantalla. Además, es capaz de rastrear de forma activa a dos esqueletos a la vez diferenciándolos y de forma pasiva a otros cuatro. Cada esqueleto será representado por un color diferente.

Los datos que se han obtenido son los puntos que representan partes representativas del cuerpo como centro de la cabeza, pecho o la cadera. Por lo tanto es necesario dibujar segmentos entre los puntos calculados y más tarde cada punto característico será resaltado en un color como se aprecia en la Figura 2.

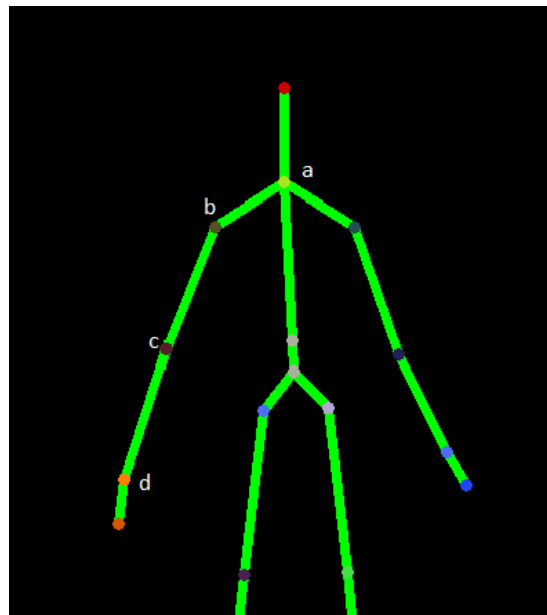


Figura 2: Esqueletización y marcación de las articulaciones características para la tarea de manipulación.

4. TELEOPERACIÓN BASADO EN RPY

Una vez terminado la subtask de la esquelización, el siguiente paso consiste en extraer la información que nos interesa para nuestro proyecto. En este caso se comenzará extrayendo la posición y movimiento del brazo derecho. Para esto se deberá obtener la cinemática inversa de la cadena cinemática compuesta por el codo y el hombro. De forma más concreta, se calcularán varios ángulos, siendo los más importantes el del codo (*angulo_codo*) y el formado entre el bíceps y el torso (*angulo_hombro*) y todo ello en un espacio tridimensional.

El primer paso será localizar los puntos característicos que se necesitan, en este caso serán la base del cuello, el hombro derecho, el codo derecho y la muñeca derecha. Se utilizará los datos del mapa del esqueleto ya preparados para salir por pantalla, por lo tanto se cuenta con que el centro de coordenadas está en la esquina superior izquierda y que no se cuenta con efecto espejo, por lo que el brazo de interés aparecerá en la parte izquierda. Todos los puntos estarán definidos sobre un espacio tridimensional.

Para simplificar la obtención de datos se supondrá los segmentos de la articulación en un plano imaginario. Para sacar el valor de cada ángulo se contará con la posición de los 3 vértices (base del cuello, hombro y codo para el *angulo_hombro* y el hombro, codo y muñeca para el *angulo_codo*). Con estos datos se puede sacar fácilmente los lados del triángulo permitiéndonos obtener los ángulos mediante cinemática inversa como se indica a continuación.

A continuación, se detalla el proceso a seguir los ángulos de rotación tanto de la articulación del hombro como del codo. Ya sea para el hombro o el codo, solo se describe en este artículo que proceso para definir el ángulo únicamente en el plano XY. Para la obtención de los grados en los planos XZ y YZ, los pasos a seguir serán exactamente los mismos pero utilizados los propios datos de cada plano a calcular. Para el caso del hombro contaremos con tres vértices formados por base del cuello, hombro y codo, los cuales forman un triángulo (ABC) del cual podremos sacar sus lados permitiéndonos así obtener los ángulos mediante el método RPY. Utilizando el teorema del coseno se obtiene el ángulo del hombro respecto al codo.

$$AH_{xy} = \arccos \left(\frac{BC_{xy}^2 + AB_{xy}^2 - AC_{xy}^2}{2 * BC_{xy} * AB_{xy}} \right) \quad (1)$$

Donde AH_{xy} es el ángulo entre las rectas AB y BC. AB_{xy} es la distancia entre los puntos A y B. BC_{xy} es la distancia entre los puntos B y C. AC_{xy} es la distancia entre los puntos C y A.

Por otro lado también es necesario calcular el ángulo del hombro respecto al cuello, para posteriormente restárselo. Hay que tener en cuenta también el ángulo formado por la recta que une la base del cuello y el hombro con la horizontal, ya que este no es fijo sino que va disminuyendo a medida que levantamos el brazo y si no lo tenemos en cuenta tendríamos un error en el ángulo del hombro bastante apreciable (Figura 3).

$$ACH_{xy} = \arctan \left(\frac{AB_y}{AB_x} \right) \quad (2)$$

Donde AB_x es la componente X de la recta AB. AB_y es la componente Y de la recta AB.

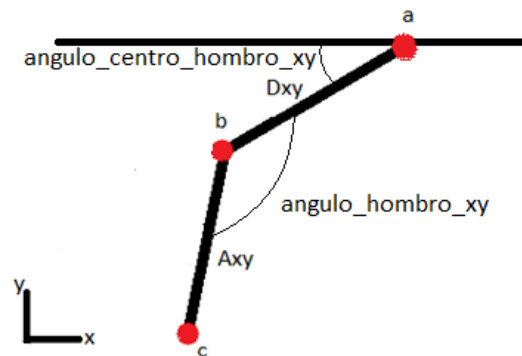


Figura 3: Esquema de la configuración y cálculo de ángulo del hombro respecto del cuello y del codo respecto al hombro.

Por último, para conseguir el valor final del ángulo de lo hombro, es necesario tener en cuenta el problema asociado de codo arriba/elbow up (EU) o codo abajo/elbow down (ED) para la articulación del hombro. Esta situación implica que dependiendo de si el codo se encuentra por encima o por debajo de la prolongación de la recta AB, el comportamiento del sistema será totalmente diferente. En la Figura 4, se muestra este inconveniente que influirá en los cálculos. De esta forma, teniendo en consideración las ecuaciones 1 y 2 y la posición del codo, se obtienen las ecuaciones que definen el ángulo del hombro:

$$EU \Rightarrow H_{xy} = \frac{3\pi}{2} - AH_{xy} - ACH_{xy} \quad (3)$$

$$ED \Rightarrow H_{xy} = AH_{xy} - \pi - ACH_{xy} \quad (4)$$

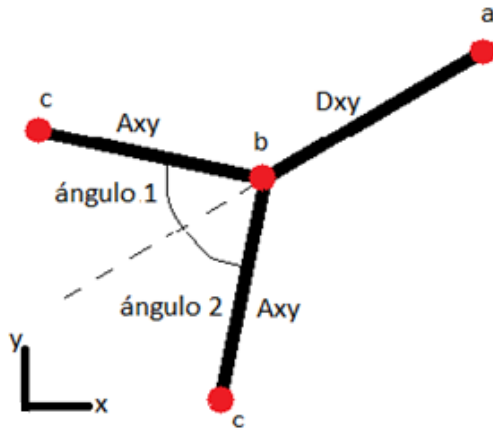


Figura 4: Esquema de la configuración codo arriba o codo abajo.

Una vez calculado el ángulo del hombro, pasamos a obtener el ángulo del codo. Para calcular los ángulos del codo contaremos con tres vértices formados por hombro, codo y muñeca (BCD), los cuales forman un triángulo del cual podremos sacar sus lados permitiéndonos así obtener los ángulos mediante el método RPY. Además hay que tener en cuenta que la muñeca no se ha considerado, por lo tanto, se simplificaran todos los cálculos asociados al codo. Utilizando el teorema del coseno se obtiene el ángulo del codo respecto a la muñeca.

$$AC_{xy} = \pi - \arccos \left(\frac{BC_{xy}^2 + CD_{xy}^2 - BD_{xy}^2}{2 * BC_{xy} * CD_{xy}} \right) \quad (5)$$

Donde AC_{xy} es el ángulo entre las rectas BC y CD. CD_{xy} es la distancia del punto C al D en el plano XY. BD_{xy} es la distancia del punto B al D en el plano XY.

5. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

Una vez explicado los pasos que a seguir para completar la aplicación, llega el momento de definir los experimentos y evaluar los resultados obtenidos para determinar la fiabilidad del programa. Para ello, aplicaremos todas las trayectorias sobre un simulador del robot humanoide TEO y de esa forma, comprobamos lo bien o mal que funciona el algoritmo. Para demostrar la eficacia del programa implementado, se ha realizado dos tiempos de pruebas. La primera está relacionada con la capacidad de obtener unos valores correctos durante el procesamiento de la imagen. Y el segundo está asociado con la velocidad de reacción ante movimientos rápidos por parte del teleoperador.

Por primer experimento se evaluarán los tres ángulos del hombro al mismo tiempo para comprobar que dichos ángulos se corresponden con la realidad. Para ello se empezará con el brazo pegado al tronco y se elevará de forma oblicua hasta que quede paralelo al suelo, es decir, que los ángulos de los planos XY e YZ están a unos 90°, momento en el que se moverá hacia adelante, hacia atrás, y de nuevo hacia adelante hasta quedar en la posición inicial paralelo al suelo, para posteriormente elevarlo pero sin llegar a forzar la articulación. La trayectoria de este movimiento se puede observar en la Figura 5.

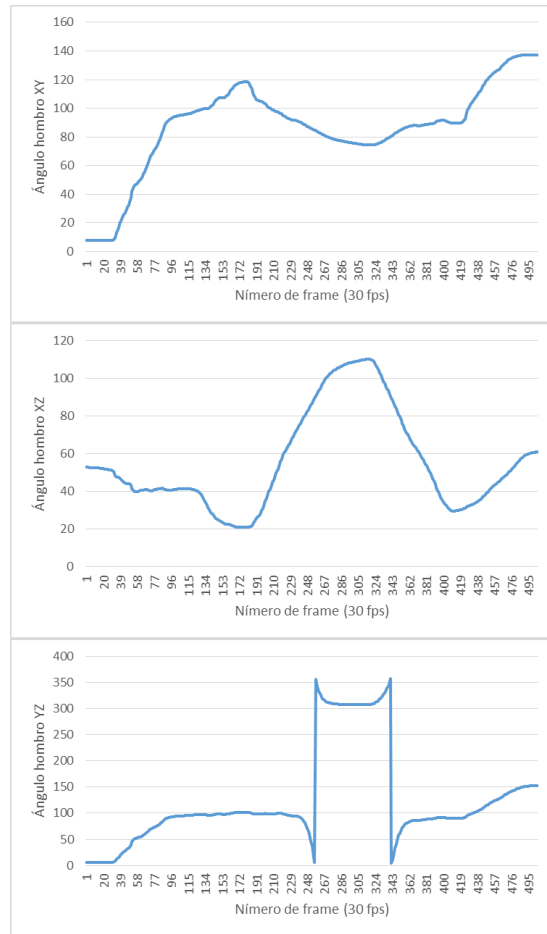


Figura 5: Ángulo del hombro en los planos XY, XZ y YZ para un movimiento compuesto.

Comparando las tres gráficas se puede apreciar el movimiento descrito anteriormente aunque con bastantes irregularidades ante la dificultad física de, por ejemplo, realizar movimientos paralelos al suelo manteniendo la misma altura. Fijándonos en la primera gráfica que describe el movimiento del hombro en el plano XY, se puede observar como partimos de casi 0°, es decir, el brazo pegado al tronco y como a medida que levantamos el brazo el ángulo va aumentando hasta alcanzar la posición deseada rondando los 90°.

Finalmente el ángulo vuelve a aumentar cuando levantamos el brazo para terminar el movimiento. Respecto a la segunda gráfica que representa el movimiento del hombro en el plano XZ, se puede observar que mientras elevamos el brazo de forma oblicua, el ángulo se mantiene próximo a los 45° , que sería el ángulo deseado. Posteriormente realizamos el movimiento hacia adelante con el brazo paralelo al suelo llegando hasta los 20° , luego hacia atrás llegando a los 110° y finalmente tratamos de volver a una posición de 45° aunque, como se aprecia en la gráfica, nos pasamos y llegamos hasta los 25° . Finalmente, al elevar el brazo tratamos de corregir la desviación anterior pasándonos esta vez y llegando hasta los 60° con el brazo ya levantado.

Por último, fijándonos en la última gráfica de la Figura 5 que representa el movimiento del hombro en el plano YZ, se ve como partimos de los 0° que representan el brazo pegado al torso y éstos van aumentando a medida que levantamos el brazo hasta estabilizarse en los 100° mientras realizamos los movimientos horizontales. Además, si comparamos la segunda y la tercera gráfica, se ve cómo en el momento en el que el ángulo del hombro en el plano XZ pasa de los 90° , es decir, el brazo pasa de estar por delante del torso a estar por detrás, el ángulo del hombro en el plano YZ pasa rápidamente de los 100° a casi los 310° . Si el movimiento horizontal fuese perfecto el ángulo debería pasar de 90° a 270° , sin embargo llegamos casi a los 310° debido a que los humanos al mover el brazo hacia atrás paralelo al suelo no podemos y tendemos a bajar el brazo para llegar lo más atrás posible. Cuando el brazo vuelve a estar por delante del torso el ángulo vuelve en este caso a los 90° y a partir de ahí vemos como a medida que levantamos el brazo en el último movimiento, el ángulo va subiendo hasta llegar a los 150° aproximadamente.

Para el segundo experimento, se ha tenido en cuenta los errores que han aparecido debido a la alta frecuencia de muestreo (30fps). Aunque en los experimentos anteriores se haya tomado una frecuencia muy alta, con la cual se es capaz de seguir movimientos muy bruscos, es necesario eliminar los errores producidos para movimiento bruscos. Para ello, se ha aplicado un filtro de paso bajo. Se ha mantenido las mismas condiciones que en el experimento anterior, y además se añade un filtro de paso bajo.

Como se observa en la Figura 6 y en primer lugar, el sistema es capaz de seguir el movimiento del brazo fielmente. Manteniendo esa velocidad de muestre de 30 fps, la respuesta del sistema es bastante robusta, pues es capaz de leer de manera

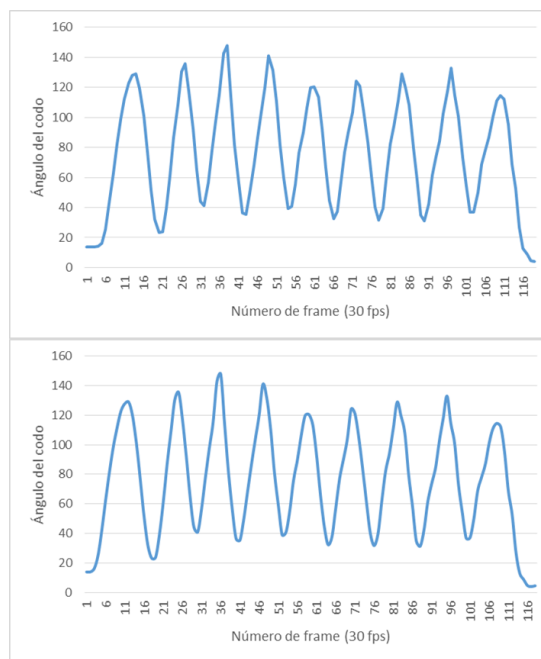


Figura 6: Ángulo del codo para movimientos de alta frecuencia con y sin un filtro paso bajo.

correcta el ángulo (en este caso el del codo) de manera precisa. Y en segundo lugar, además se aprecia que las anomalías o errores antes descritos se mitigan gracias al filtro paso bajo aplicado, dejando el movimiento mucho más constante y suave, y por tanto, más favorable para la posterior teleoperación del robot.

6. CONCLUSIONES

El desarrollo del proyecto ha servido para descubrir las enormes posibilidades que ofrece el sensor Kinect para llevar a cabo todo tipo de funciones relacionadas con la visión artificial. Sus capacidades no solo ofrecen buenos resultados a la hora de capturar a un usuario, también es capaz de funcionar como sensor de visión en cualquier robot que necesite captar y analizar su entorno. Esto es interesante, pues con la visión foveal que tienen los seres humanos, podemos bioinspirarnos para controlar los alrededores del robot y además interactuar con sus funciones de camarero.

En cuanto al sistema de teleoperación, el sistema se comporta de forma robusta en primer lugar ante cualquier tipo de movimiento ya sea en el plano XY, XZ o YZ. En cualquiera de los casos, se ha conseguido un seguimiento correcto. Y en segundo lugar ante movimientos con hasta velocidades de $20^\circ/s$, el sistema ha recodificado fielmente cada uno de los ángulos del brazo. Lo que permite asegurar que los datos sean fiables independientemente de la velocidad de acción de teleoperador.

Como trabajos futuros, el siguiente paso consistirá en desarrollar una cadena cinemática más compleja donde se tenga en consideración tanto el movimiento de la muñeca, como la consideración de la orientación del TCP (Tool Center Point). Esto permitirá dar más versatilidad a los movimientos. Otro paso a dar será la generación de nuevos movimientos más adecuados con las de un robot camarero. Esta base de datos permitirá elaborar a su vez comportamientos más complejos, los cuales darán naturalidad al comportamiento del robot.

Agradecimientos

The research leading to these results has received funding from the ROBOHEALTH-A project (DPI2013-47944-C4-1-R) funded by Spanish Ministry of Economy and Competitiveness and from the RoboCity2030-III-CM project (S2013/MIT-2748), funded by Programas de Actividades I+D en la Comunidad de Madrid and cofunded by Structural Funds of the EU.

Referencias

- [1] Alfaro Ballesteros, S. (2012). Sistema de teleoperación mediante una interfaz natural de usuario (Master's thesis).
- [2] Arbulú, M., and Balaguer C.. Real-Time Gait Planning for the Humanoid Robot Rh-1 Using the Local Axis Gait Algorithm. *International Journal of Humanoid Robotics*, 2009, Vol. 6.01, pp. 71-91.
- [3] Dai, X., Wu, M., Davidson, B., Mahoor, M., & Zhang, J. (2013, September). Image-based fall detection with human posture sequence modeling. In *Healthcare Informatics (ICHI)*, 2013 IEEE International Conference on (pp. 376-381). IEEE.
- [4] García, M. A., Cárdenas, A., Rendón, J. M., & Maya Méndez, M. (2009). Una Plataforma de Control Basado en Visión para la Rehabilitación de Robots Manipuladores de Tipo Industrial. *Computación y Sistemas*, 12(4), 409-420.
- [5] Kaynov, D., et al. A practical decoupled stabilizer for joint-position controlled humanoid robots. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2009)*, St. Louis, USA, 2009; IEEE, pp. 3392 - 3397.
- [6] Marcos Viforcós, E. (2012). Aplicación de las cámaras 3D al reconocimiento de actividades (Bachelor's thesis).
- [7] Montiel, O. P. (2008). Manipulador teleoperado inalámbricamente. Universidad de las Américas Puebla.
- [8] Ortega, E. N., & Villaluenga, L. B. (2004). Teleoperación: técnicas, aplicaciones, entorno sensorial y teleoperación inteligente. *Reports de recerca de l'Institut d'Organització i Control de Sistemes Industrials*, (5), 1.
- [9] Pardos, J.M., and Balaguer C.. Humanoid robot kinematics modeling using lie groups. *Climbing and Walking Robots*, Springer Berlin Heidelberg, 2005, pp. 569-575.
- [10] Plagemann, C., Ganapathi, V., Koller, D., & Thrun, S. (2010, May). Real-time identification and localization of body parts from depth images. In *Robotics and Automation (ICRA)*, 2010 IEEE International Conference on (pp. 3108-3113). IEEE.
- [11] Shotton, J., Sharp, T., Kipman, A., Fitzgibbon, A., Finocchio, M., Blake, A., & Moore, R. (2013). Real-time human pose recognition in parts from single depth images. *Communications of the ACM*, 56(1), 116-124.
- [12] Webster, D., & Celik, O. (2014, February). Experimental evaluation of Microsoft Kinect's accuracy and capture rate for stroke rehabilitation applications. In *Haptics Symposium (HAPTICS)*, 2014 IEEE (pp. 455-460). IEEE.