

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

Revisores Adicionales

Al-Kaff, Abdulla

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

Cancela, Brais

Ferraz, Luis

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

Hernandez Ruiz, Alejandro
Hernandez, Daniel

Jardón Huete, Alberto

López, Amable

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

Núñez, Luis Ramón

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

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

Torres, Jose Luis

Vaquero, Victor

Table of Contents

Ingeniería de Control

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Sistemas de Tiempo Real

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

Visión por Computador

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

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

SIMULACIÓN DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS USANDO V-REP BAJO ROS

C. Otero, E. Paz, R. Sanz y J. López

Dep. Ing. de Sistemas y Automática, Universidad de Vigo, {omcandido, epaz, rsanz,joaquin}@uvigo.es

R. Barea, E. Romera, E. Molinos, R. Arroyo, L.M. Bergasa, E. López

Dep. Electrónica, Universidad de Alcalá, {rafael.barea, luism.bergasa,elenalopezg}@uah.es,
{eduardo.romera, eduardo.molinos, roberto.arroyo}@edu.uah.es

Resumen

En este artículo se presentan las principales características del entorno de simulación que se está utilizando para el desarrollo de diferentes algoritmos de conducción autónoma. Estos desarrollos forman parte de un proyecto de conducción autónoma de vehículo en el marco del Plan Nacional de Investigación denominado SmartElderlyCar y desarrollado por la Universidad de Alcalá (UAH) y la Universidad de Vigo (UVIGO). Se ha realizado de forma exitosa la simulación de un vehículo comercial en V-REP controlado mediante nodos desarrollados bajo el sistema ROS en el campus externo de la UAH y se ha logrado conducir por sus carriles siguiendo la línea central mediante un algoritmo de seguimiento de trayectoria.

Palabras Clave: Simulación, conducción autónoma, V-REP, ROS.

1 INTRODUCCIÓN

La conducción autónoma es indiscutiblemente una de las tecnologías que mayor auge ha tenido en los últimos años. El reto al que hay que enfrentarse es el desarrollo de un sistema que pueda ser implantado en un vehículo con el objetivo de conducirlo de manera totalmente autónoma. Es en este ámbito donde se desarrolla el proyecto de investigación de los grupos que presentan este trabajo, orientado a la investigación en tecnologías que posibiliten un sistema de conducción inteligente para personas mayores en entornos fundamentalmente urbanos. Para tal fin, estamos utilizando el sistema operativo de código abierto ROS [13], que ha ido creciendo estos años gracias a la contribución de distintos profesionales y aficionados de la robótica. ROS proporciona un sistema de comunicación entre los diferentes programas de nuestro sistema. Los trabajos de investigación sobre navegación autónoma requieren la creación de un entorno de simulación

que permita evaluar exhaustivamente los algoritmos desarrollados antes de su validación en condiciones reales. El primer paso en nuestra labor está siendo el desarrollo de un entorno simulado en el que se puedan probar nuestros algoritmos antes de implementarlos en el vehículo real.

Este artículo presenta la etapa de simulación de nuestro proyecto, explicando la justificación para la elección del entorno V-REP [15], las distintas decisiones que se han adoptado y mostrando los avances alcanzados.

El artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se explica la decisión de utilizar V-REP frente a otros simuladores similares, haciendo una breve presentación del mismo y de sus ventajas. La sección 3 detalla la etapa de simulación propiamente dicha. Se explica cómo se obtiene el mapa del entorno, cómo se diseña y controla el vehículo junto con sus sensores y se indica la manera en que se comunica con ROS. En la sección 4 se explica la arquitectura software, que hemos bautizado como *SmartCar*, que consiste de una serie de capas de distinto nivel de abstracción. Aquí se da una pincelada de cada capa, explicando con un poco más de detenimiento los distintos sistemas que intervienen en la capa de control (mapeado, planificación, percepción, etc.). La sección 5 muestra las conclusiones y recoge algunas de las líneas de desarrollo futuras en las que ya se está trabajando.

2 EL SIMULADOR V-REP Y SU INTEGRACIÓN EN ROS

Existen diferentes criterios para la elección de un simulador de vehículos [5]. Aunque generalmente prevalecen criterios técnicos, muchas veces las preferencias personales afectan a la toma de la mejor decisión. En nuestro caso, hemos considerado dos de los simuladores en 3D más empleados en el ámbito de la robótica: V-REP y Gazebo, por su facilidad de integración en el entorno ROS.

Gazebo es un simulador en 3D bastante popular entre los investigadores en robótica, por lo que se pueden encontrar muchos modelos de robots, actuadores y sensores. Es un simulador de código abierto, y tiene una interfaz con ROS nativa y, además, tiene una comunidad de usuarios grande y activa.

Por otro lado, V-REP es un simulador en 3D con un entorno de desarrollo integrado, que se basa en una arquitectura de control distribuido [11]. Esto hace que V-REP sea muy versátil e ideal para aplicaciones multi-robot. V-REP se utiliza para el desarrollo rápido de algoritmos, simulaciones de automatización de procesos de fabricación, prototipado rápido y verificación, educación relacionada con robótica, entre otros.

Para la elección del simulador nos hemos basado en el rendimiento de ambos en un entorno complejo [8]. El rendimiento de un simulador de robot y su precisión son típicamente el resultado de un balance entre el número de robots y la velocidad de la simulación. Se ha tenido en cuenta la facilidad de integración de mapas de entorno y objetos estáticos y dinámicos en el escenario.

2.1 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE V-REP

V-REP es un software de simulación multiplataforma desarrollado por Coppelia Robotics GmbH. Permite la personalización completa de la simulación mediante diferentes enfoques (complementos, plugins, scripts, etc.) y soporta cuatro motores dinámicos/físicos: Bullet, ODE, Newton y Vortex. Es posible crear modelos personalizados utilizando una amplia variedad de actuadores y sensores incorporados, articulaciones, formas y mallas, scripts, etc. [16].

V-REP está en una etapa de desarrollo avanzada y continua y tiene un foro de soporte muy activo. En cuanto a las condiciones de licencia, está disponible para investigadores y entusiastas de la robótica, una versión gratuita totalmente funcional de V-REP.

2.2 VENTAJAS POTENCIALES DE V-REP

Inicialmente se consideró la posibilidad de utilizar Gazebo, ya que soporta de forma nativa la comunicación con ROS. Sin embargo, V-REP fue finalmente elegido por su facilidad para crear nuevos modelos o modificar los ya existentes. Además, se pueden hacer pequeños cambios de programación utilizando *scripts* en LUA, dejando la carga computacional más pesada a complementos compilados escritos en C++.

V-REP es compatible con muchos formatos de objetos, lo que lo hace perfecto para cargar un entorno de simulación personalizado.

El rendimiento que se ha observado es muy similar entre V-REP y Gazebo, por lo que no ha sido un punto decisivo en la elección final de V-REP.

3 ETAPA DE SIMULACIÓN

Aunque V-REP no soporta nativamente la comunicación con nodos ROS, el *plugin RosInterface* permite esta funcionalidad, replicando de manera natural la API de la librería *roscpp*.

Tanto en simulación como con hardware real, se respetarán las convenciones para los diferentes sistemas de ejes [9][10]. Las diferentes convenciones adoptadas se irán señalando en cada uno de los siguientes apartados.

3.1 ENTORNO

El entorno en el que se probará el vehículo real es el campus externo de la UAH. Se ha modelado el entorno utilizando el servicio abierto *OpenStreetMap*. En este servicio los usuarios pueden mapear una zona y subirla a los servidores para uso público.

3.1.1 Mapa y edificios

V-REP permite importar fácilmente diversos formatos de mallas, por lo que las carreteras y los edificios se han cargado mediante archivos OBJ. Para importar los edificios se ha descargado el archivo OSM correspondiente al campus de la UAH, directamente de la web de *OpenStreetMap*. Posteriormente, este archivo se ha convertido a formato OBJ con la herramienta de código abierto *OSM2World*. Una vez importado este archivo nos quedamos únicamente con los edificios, eliminando el resto de los elementos.

A la hora de importar el archivo OBJ en V-REP, aparece un diálogo para seleccionar la escala y la orientación de la figura. La escala se escoge de tal manera que una unidad equivale a un metro y la orientación se establece con el vector Z apuntando hacia arriba. Si se examina el archivo OBJ con un editor de texto, se comprobará que las cuatro primeras líneas son una cabecera comentada que contiene esta información junto con la coordenada de origen (*origin coordinate*) del mapa local. Esta coordenada es el punto en coordenadas WGS84 (lat,lon,ele) que equivale en el simulador a la coordenada cartesiana (0,0,0).

Las carreteras se importan utilizando otro método. En la sección 4.2 se explica que los carriles se mapean mediante lanelets. Para importar los lanelets en V-REP se ha desarrollado un programa sencillo que convierte los carriles en mallas. Este software es objeto de mejora pudiendo añadir automáticamente otros elementos como señalización y marcado de la carretera en función de la riqueza del mapa de OSM.

Es importante tener en cuenta que el mapeado se realiza en coordenadas WGS84 y que el simulador trabaja en coordenadas cartesianas (UTM) relativas al punto origen anteriormente mencionado. Las transformaciones de un sistema a otro se realizan empleando las librerías implementadas en el paquete ROS *geodesy* y restando el desfase dado por la coordenada de origen del mapa, convirtiéndola previamente también a UTM.

3.1.2 Otros elementos

Para realizar pruebas de percepción con los sensores de visión, se han añadido manualmente elementos comunes encontrados habitualmente en el campus de la UAH (señales, árboles, farolas, etc.). Estos elementos han sido obtenidos de repositorios de archivos CAD libres y convertidos a formato OBJ.

3.2 VEHÍCULO

En la Figura 1 se muestra una captura del vehículo simulado tomando una rotonda. La parte visual del vehículo ha sido importada de un repositorio de CAD, dándole el aspecto de un vehículo comercial.

La parte con propiedades dinámicas está formada por *cuboids* (paralelepípedos rectos) a los que se les da una masa para simular la inercia del vehículo. Además, está dotado de cuatro ruedas con amortiguación, motor propulsor, frenos, dirección y sensores.

El sistema de referencia del coche se sitúa centrado en el eje trasero, tomando el eje X apuntando al frente, el Y a la izquierda y el Z arriba. El vehículo es controlado por comandos de velocidad (lineal en X y angular en Z). La velocidad angular en Z se toma positiva según la regla de la mano derecha, por lo que los giros a la izquierda serán positivos. Estos comandos de velocidad son interpretados por el módulo base, obteniendo el ángulo de giro correspondiente, según se esté en modo automático o manual, y enviando al volante la consigna de giro correspondiente.

3.2.1 Control de dirección

Para simular el sistema de dirección del vehículo real con aceleraciones finitas, éste se ha simulado en V-REP como un sistema dinámico (con inercia y fricción) actuado por un motor servo-controlado en posición. Esto quiere decir que la posición del volante es controlada internamente por V-REP mediante un PID. El simulador recibe consignas de posición del volante de la misma manera que el vehículo real. La posición actual del volante determina el ángulo de dirección de una rueda directriz virtual central según el modelo bicicleta [6]. Mediante una serie de relaciones matemáticas, se

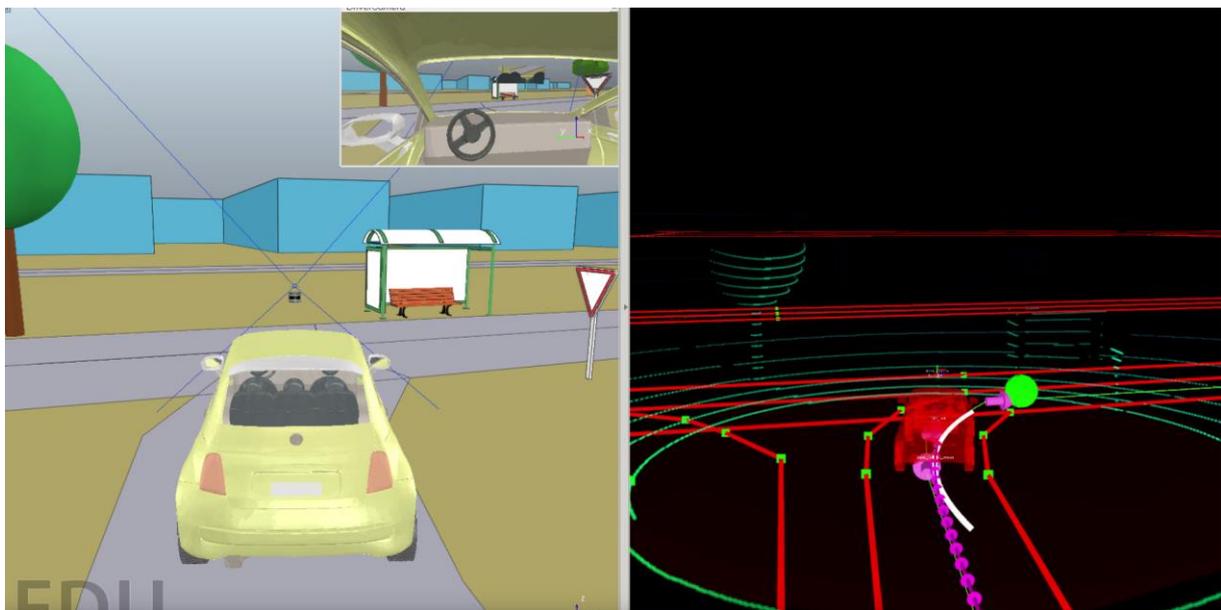


Figura 1: Ejemplo de seguimiento de la línea central de un carril utilizando el algoritmo *pure pursuit*. A la izquierda se muestra el vehículo simulado en V-REP y a la izquierda se visualizan las lecturas del LiDAR, los carriles mapeados, la curvatura instantánea (línea blanca) y el próximo punto objetivo (punto verde)

establece la orientación de las ruedas delanteras de tal manera que se cumpla la disposición Ackermann de las mismas para un centro instantáneo de rotación determinado.

3.2.2 Sensores

Los principales sensores de los que se ha dotado al vehículo son un láser LiDAR 3D, una cámara estéreo y un GPS. Se ha creado un modelo de cada uno de ellos que simula su comportamiento.

LiDAR: colocado sobre la carrocería del vehículo y en el centro del mismo. La implementación más intuitiva sería utilizar un único sensor de N haces (resolución $1 \times N$) y hacerlo girar mediante una junta de revolución. Se ha probado esta implementación y se ha visto que implica leer cientos de veces los datos de visión en cada ciclo de simulación de 50 ms, que en V-REP implica un gran coste computacional, haciendo la simulación inviable. Por tanto, se parte del modelo *velodyne VPL-16* incluido por defecto en el repositorio de sensores de V-REP. Este sensor está modelado como 4 sensores de visión equiespaciados barriendo un ángulo horizontal de 360° y uno vertical de $\pm 15^\circ$ con 16 haces diferentes, que es una forma mucho más eficiente de modelarlo.

La información del LiDAR debe ser dada en *PointCloud2*, que es el formato estándar más extendido actualmente para nubes de puntos. Debido a que crear este mensaje desde un *child script* en V-REP implicaría la creación de un gran número de tablas en LUA, lo cual es computacionalmente inviable, se ha modificado el *plugin* que trae por defecto el sensor de V-REP. Los tres cambios realizados son:

- Se publica directamente en ROS en formato *PointCloud2*.
- Se espera a que se hayan barrido 360° para publicar una vuelta completa.
- Las medidas del barrido completo (360°) se obtienen en varios pasos, cada uno referido a la posición en que se encuentra el vehículo. Como al final se transmiten todas juntas, es necesario ajustarlas para corregir el desfase debido al desplazamiento del vehículo.

Cámara estéreo: para modelar una cámara estéreo, colocada en la parte frontal del vehículo a la altura del espejo retrovisor y orientada hacia la carretera, se ha creado un modelo que consta de dos sensores de visión que leen únicamente información RGB. Ambos sensores están separados horizontalmente una distancia interocular fija d (línea base). A partir de la publicación en ROS de estas imágenes y de las matrices de calibración de los sensores, se pueden utilizar paquetes de procesamiento de imágenes que

obtienen la información de profundidad y devuelvan una nube de puntos 3D.

Adicionalmente, se utiliza un sensor de visión situado en medio de los dos sensores anteriores que devuelve directamente una nube de puntos con gran precisión. Tiene sentido incorporar este sensor en el caso de que la cámara estéreo comercial que incorpore el vehículo real ya incluya internamente un módulo de cálculo de profundidad. Dependiendo de la solución final adoptada, tendrá sentido utilizar el sensor de profundidad o los dos de visión RGB.

Los mensajes de imágenes (de tipo *sensor_msgs/Image*) deberían ser publicados con el eje X apuntando hacia la derecha, el Y hacia abajo y el Z hacia adentro en el plano de la imagen. Si se visualiza directamente en ROS una imagen tomada por un sensor de V-REP, se verá que la imagen está volteada horizontalmente. Esto puede solucionarse para las cámaras RGB utilizando filtros integrados en V-REP. Para la cámara de profundidad, ha sido necesario utilizar un *plugin* y crear una función que voltee la imagen.

La imagen de profundidad se publica con codificación 32FC1 (4 bytes) y las imágenes RGB con codificación rgb8 (3 bytes). Es importante tener esto en cuenta a la hora de cubrir los campos del mensaje que contiene la imagen [14].

3.2.3 Control mediante palanca de mando (*joystick*)

Para hacer algunas pruebas, es importante poder mover manualmente el coche. Para ello se ha utilizado un *joystick* y se ha creado un nodo que lee la posición de los ejes de interés (velocidad y dirección), y envía la velocidad y el ángulo deseado de giro de volante. Por simplicidad, se utiliza el campo de velocidad angular en Z del mensaje *twist_vel* para enviar el ángulo de giro del volante. En el simulador, según esté en modo automático o manual, se interpreta el campo *twist.angular.z* como velocidad angular, o como ángulo de giro de volante si está en modo manual.

Se ha utilizado con éxito un mando de PS3 y un volante USB para conducir manualmente el vehículo. Para conectar los *joysticks* con ROS, se instala el paquete *joystick_drivers*. Tras haber configurado la ruta del dispositivo, el nodo *joy_node* publica el *topic* ROS *joy* con el valor de todos los ejes y botones del dispositivo. Atendiendo al índice de los ejes de interés y de los valores límite de cada uno, se crea un nodo que lee el *topic joy* y publica un comando de velocidad. Se recomienda parametrizar los índices, los desfases y las ganancias de cada eje

(empareja las lecturas de imagen y las publica en el formato correcto) y *GPS* (lee las medidas GPS y las publica en formato estándar).

Capa hardware/simulación: esta es la capa de nivel más bajo. Se trata del vehículo real, en el caso de la capa de hardware, o bien del modelo simulado, en el caso de la capa de simulación.

4.2 GESTIÓN DE MAPAS

Las carreteras han sido mapeadas utilizando *lanelets* [17]. Mediante la herramienta abierta JOSM, se ha accedido a un mapa satélite del campus de la UAH y se han delimitado manualmente los carriles, incluyendo información regulatoria de tráfico, como puntos de parada, intersecciones, etc.

Este mapa topológico que hemos enriquecido para poder conducir con seguridad por las carreteras, es procesado por el *map manager*, que se encarga de planificar la ruta y enviársela al planificador de trayectorias.

4.3 PERCEPCIÓN DEL ENTORNO

El organigrama de funcionamiento del sistema de percepción se muestra en la Figura 3. El sistema de percepción percibe el entorno y obtiene la información correspondiente al LiDAR 3D y la cámara.

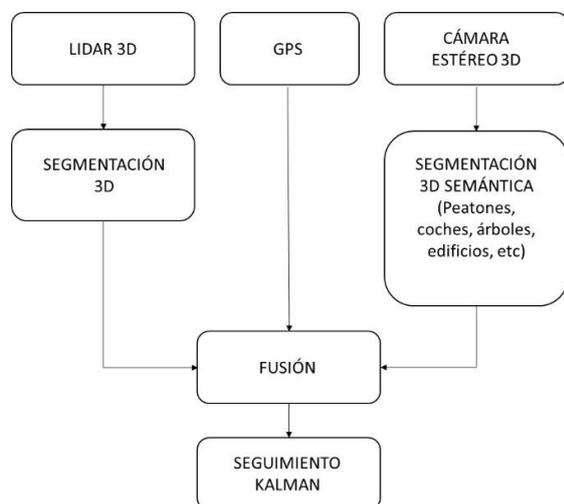


Figura 3: Organigrama del sistema de percepción

A partir de la imagen RGB de la cámara de la derecha se segmentan los diferentes objetos que componen la escena usando un algoritmo basado en color. En la versión sobre el dispositivo real se usará la *Red Neuronal Computacional (CNN) ERNet* desarrollada por el grupo de la UAH [12]. Con esta información junto con la nube de puntos obtenida de

imagen de profundidad, se obtiene la segmentación semántica 3D de los objetos de la escena. Por otro lado, a partir de la nube de puntos obtenida del LiDAR 3D se realiza también una segmentación 3D de los objetos usando el método referenciado en [1].

Finalmente se hace una fusión de los objetos detectados por visión y por el LiDAR basada en la distancia Euclídea de sus centroides y el solape entre los paralelepípedos que circunscriben las nubes de puntos de cada objeto, tal como se muestra en la Figura 4. De esta forma se obtiene la posición 3D, el volumen y la clase cada uno de los objetos detectados. Para cada uno de ellos se realiza un seguimiento basado en filtro de Kalman [7], con la intención de obtener la predicción de su posición.

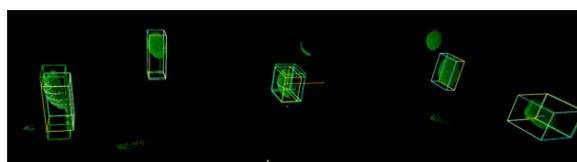


Figura 4: Objetos identificados e inscritos en paralelepípedos para mejor visualización

En la Figura 5 se muestran la carretera y los obstáculos detectados en el *RViz* de ROS, con respecto a la posición del vehículo, representados mediante esferas amarillas. Añadiendo la posición GPS del vehículo se puede referenciar el mapa de obstáculos al mapa global del entorno.

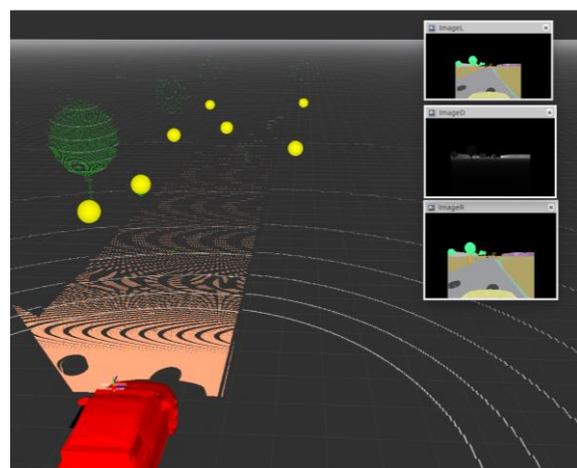


Figura 5: Carretera y obstáculos detectados tras segmentar la imagen

4.4 PLANIFICACIÓN

La planificación de un camino factible es uno de los primeros pasos para lograr una conducción totalmente autónoma. Se ha dividido esta tarea en dos etapas diferentes, una a nivel global y otra a nivel local.

4.4.1 Planificación de rutas

En entornos abiertos, el primer paso para planificar una ruta factible es generar un plan global utilizando una rejilla de ocupación. En el caso de conducción autónoma, se dispone de un mapa detallado de las carreteras, por lo que las restricciones de movimiento (velocidad, puntos de parada, carriles, etc.) están bien delimitadas. Por esta razón, en lugar de un planificador global tradicional, empleamos un planificador de rutas. Este planificador de rutas recibe dos posiciones GPS, inicio y meta, y recupera una lista de nodos del mapa topológico que se debe recorrer en orden para seguir el plan.

4.4.2 Planificación de trayectorias

Una vez que se dispone de la lista de nodos a través de los cuales debe conducir el vehículo, debe ser trazada una trayectoria factible. El enfoque principal es generar una serie de puntos de paso equidistantes en la línea central del carril (*centerline*), que es generalmente la zona de conducción más deseable.

Después de obtener la lista de puntos de paso objetivo, usamos el algoritmo *pure pursuit* [3] para seguir la trayectoria discretizada. Este algoritmo publica en cada ciclo de control un comando de velocidad (tangencial y angular) que describe un radio constante en cada instante infinitesimal. Este radio hace que el robot se dirija hacia el siguiente punto objetivo. El *lookahead* (distancia que establece el punto que “persigue” el vehículo) se ajusta de tal manera que disminuye a baja velocidad y con grandes curvaturas del carril, al igual que haría un conductor. Esta estrategia permite que el algoritmo adapte la distancia objetivo para seguir correctamente la trayectoria.

4.5 GESTIÓN DE COMPORTAMIENTOS

El planificador de trayectorias se encarga de obtener la secuencia de *lanelets* entre dos puntos. No obstante, estos *lanelets* pueden ser de distinto tipo según formen parte de una carretera sin cruces, un cruce de dos vías con preferencia, un cruce con semáforo, etc. En la solución que aquí se propone se define un comportamiento distinto para cada uno de los tipos de *lanelets*. La entrada a estos comportamientos son eventos producidos por una serie de monitores u observadores similares a los presentados en [2].

La secuencia de acciones y eventos que forman parte de un comportamiento se implementa mediante redes de Petri usando una herramienta de la Universidad de Vigo llamada *RoboGraph* [4]. Para ello, cada comportamiento es definido mediante una o varias Redes de Petri usando la herramienta *RoboGraph*

Editor mientras que su ejecución la lleva a cabo *RoboGraph Dispatch*.

Dispatch se encarga de la ejecución de las distintas acciones de la capa funcional (acciones básicas), ejecutiva (otras redes de Petri) e interfaces, así como de la sincronización con los eventos producidos. La interacción con los módulos de la arquitectura se realiza mediante la publicación y suscripción de mensajes. De esta manera, los problemas que se puedan producir en un módulo, como un bloqueo, no provocará el bloqueo del *Dispatch*. Incluso mediante un simple mecanismo se puede detectar el error y recuperarse de un fallo en determinadas situaciones.

Dispatch forma parte de la herramienta de gestión de tareas *RoboGraph* (www.webs.uvigo.es/vigobot). *RoboGraph* utiliza redes de Petri jerarquizadas e interpretadas para coordinar la actividad de dichos módulos. Las tareas se definen utilizando un editor de redes de Petri interpretadas y se guardan en un fichero XML. *Dispatch* es el programa de ejecución que se encarga de cargar estos ficheros y ejecutar las redes de Petri cada vez que un nodo del sistema lo solicite mediante el envío del correspondiente mensaje. Por otro lado, se dispone de un programa para monitorizar la evolución de las redes de Petri en ejecución, muy útil para depuración y trazado.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Se ha llevado a cabo de forma exitosa la simulación de un vehículo comercial controlado mediante nodos desarrollados bajo el sistema ROS. Se ha mapeado el campus externo de la UAH y se ha logrado conducir por sus carriles siguiendo la línea central mediante el algoritmo de seguimiento de trayectoria *pure pursuit*. En la Figura 6 se muestra el trazado del vehículo tras realizar un cambio de sentido en una rotonda.

Se sigue trabajando en técnicas que aporten al vehículo información sobre los obstáculos estáticos y dinámicos (anticipándose a su futura posición).

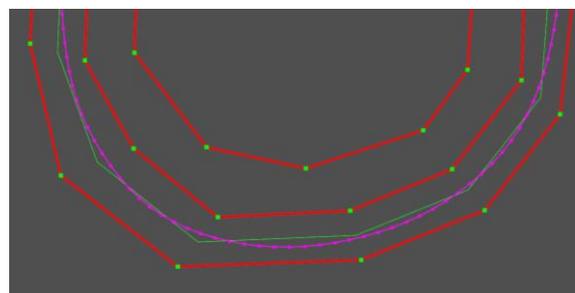


Figura 6: Trazado del coche (fucsia) después de conducir a través de una rotonda. El coche sigue la línea central (verde) del carril (rojo) derecho.

Se está trabajando en un módulo de navegación reactiva que pueda asegurarse de mantener el coche dentro del carril y evitar los posibles obstáculos dinámicos que se encuentre.

Agradecimientos

La investigación presentada en este artículo ha sido financiada por los siguientes proyectos de investigación del Programa Estatal de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad del Ministerio de Economía y Competitividad: Vehículo inteligente para personas mayores (TRA2015-70501-C2-1-R (MINECO/FEDER)) y *Smartelderlycar*: control y planificación de rutas (TRA2015-70501-C2-2-R (MINECO/FEDER)).

Referencias

- [1] Aldoma, A., Marton, Z-C., Tombari, F., Wohlkinger, W., Potthast, C., Zeisl, B., Rusu, R.B., Gedikli, S., and Vincze, M., (2012) “Point Cloud Library: Three-Dimensional Object Recognition and 6 DOF Pose Estimation”, *IEEE Robotics & Automation Magazine* pp. 80-91.
- [2] Beeson, P., O’Quin, J., Gillan, B., Nimmagadda, T., Ristroph, M., Li, D., and Stone, P., (2008) “Multiagent interactions in urban driving”, *Journal of Physical Agents*. Vol. 2(1), pp. 15-29.
- [3] Coulter, R., (1992) Implementation of the pure pursuit path-tracking algorithm, Carnegie Mellon University, the Robotics Institute, Pittsburgh, Pa.
- [4] Fernández, J. L., Sanz, R., Paz, E., and Alonso, C., (2008) “Using hierarchical binary Petri nets to build robust mobile robot applications: RoboGraph”, in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2008)*, Vol. I, pp. 1372-1377.
- [5] Ivaldi, S., Padois, V., and Nori, F., (2014) Tools for dynamics simulation of robots: a survey based on user feedback. *arXiv preprint arXiv:1402.7050*.
- [6] Jazar, R., (2014) *Vehicle dynamics* (2nd ed.), New York, Springer New York.
- [7] Kalman filter Opencv tutorial, http://docs.opencv.org/trunk/dd/d6a/classcv_1_1KalmanFilter.html
- [8] Nogueira, L., (2014) “Comparative Analysis between Gazebo and V-REP Robotic Simulators”, *Seminario Interno de Cognicao Artificial - SICA 2014*, pp. 5.
- [9] REP 103 -- Standard Units of Measure and Coordinate Conventions, (2017) Ros.org, retrieved 15 June 2017, from <http://www.ros.org/reps/rep-0103.html>.
- [10] REP 105 -- Coordinate Frames for Mobile Platforms, (2017) Ros.org, retrieved 15 June 2017, from <http://www.ros.org/reps/rep-0105.html>.
- [11] Rohmer, E., Singh, S. P., and Freese, M., (2013) “V-REP: A versatile and scalable robot simulation framework” in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 1321-1326.
- [12] Romera, E., Álvarez, J.M^a. Bergasa, L.M., Arroyo, R., (2017) “Efficient ConvNet for Real-time Semantic Segmentation”, in *Intelligent Vehicles Symposium Proceedings*, pp. 1789-1794.
- [13] ROS Web page, <http://www.ros.org/>
- [14] sensor_msgs/Image Documentation. (2017) Docs.ros.org, retrieved 15 June 2017, from http://docs.ros.org/indigo/api/sensor_msgs/html/msg/Image.html.
- [15] V-REP simulator Web page, <http://www.coppeliarobotics.com/>
- [16] V-REP User Manual (2017), Coppeliarobotics.com, retrieved 15 June 2017, from <http://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/>.
- [17] Ziegler, J., Bender, P., Dang, T., and Stiller, C., (2014) “Trajectory planning for Bertha—A local, continuous method”, in *IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings*, pp. 450-457.