

ACTAS

DE LAS

XXXVIII Jornadas de Automática

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



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo



CEA
Comité Español
de Automática

Colabora

Gijón

Convention Bureau

Actas de

XXXVIII

Jornadas de Automática

© 2017 Universidad de Oviedo
© Los autores

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

DL AS 2749-2017

ISBN: 978-84-16664-74-0

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

Prefacio

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

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

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

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

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

Gijón, septiembre de 2017

Hilario López
Presidente del Comité Organizador

Program Committee

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

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

Revisores Adicionales

Al-Kaff, Abdulla

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

Cancela, Brais

Ferraz, Luis

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

Hernandez Ruiz, Alejandro
Hernandez, Daniel

Jardón Huete, Alberto

López, Amable

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

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 fotobiorreactor raceway	77
<i>Ángeles Hoyo Sánchez, Jose Luis Guzman, Jose Carlos Moreno and Manuel Berenguel</i>	
Revisión sistemática de la literatura en ingeniería de sistemas. Caso práctico: técnicas de estimación distribuida de sistemas ciberfísicos	84
<i>Carmelina Ierardi, Luis Orihuela Espina, Isabel Jurado Flores, Álvaro Rodríguez Del Nozal and Alejandro Tapia Córdoba</i>	
Desarrollo de un Controlador Predictivo para Autómatas programables basado en la normativa IEC 61131-3	92
<i>Pablo Krupa, Daniel Limon and Teodoro Alamo</i>	
Diseño de un emulador de aerogenerador de velocidad variable DFIG y control de pitch ...	100
<i>Manuel Lara Ortiz, Juan Garrido Jurado and Francisco Vázquez Serrano</i>	

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Sistemas de Tiempo Real

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

Visión por Computador

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

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

ARQUITECTURA DE CONTROL HÍBRIDA PARA LA NAVEGACIÓN DE VEHÍCULOS SUBMARINOS NO TRIPULADOS

Francisco J. Lastra^(a), Jesús A. Trujillo^(b), Francisco J. Velasco^(a), Elías Revestido^(a).

^(a) C/ Gamazo 1, E. T. S. de Náutica, 39004, Santander, Universidad de Cantabria, e-mail: fjlustra@teisa.unican.es, velascof@unican.es, revestidoe@unican.es.

^(b) C/Avda. de Fuencarral, 44, Madrid, Iberalter, e-mail:info@iberalter.es.

Resumen

En el presente trabajo, se propone una arquitectura híbrida basada en sistemas multi-agentes en capas. Esta arquitectura presenta cualidades de modularidad y escalabilidad. También se desarrolla una metodología para el seguimiento de trayectorias basado en la generación de un espacio virtual fiable, en el que la navegación se lleva a cabo en condiciones operativas de seguridad y eficacia. Se espera obtener una reducción en el tiempo de procesamiento de operaciones durante la inspección.

Palabras clave: Arquitectura de control híbrida, modularidad, escalabilidad, sistemas supervisores.

1 Introducción

Los sistemas subacuáticos autónomos no tripulados han atesorado un aumento en su autonomía durante la última década [6], tanto desde el punto de vista del suministro de energía como del punto de vista de la capacidad de decisión. Esta autonomía permite la posibilidad de realizar aplicaciones fiables y seguras con este tipo de sistemas.

La inclusión de sistemas robotizados en el entorno subacuático es muy compleja, principalmente debido a un comportamiento dinámico variable e impredecible del entorno que tiene un impacto significativo en las diferentes actividades que pueden llevarse a cabo. Una de estas actividades complejas, es la inspección de cables submarinos [7, 2], debido a la dificultad de operar en un ambiente hostil. Esto constituye una línea de investigación de interés creciente.

Los sistemas de inspección para cables submarinos han evolucionado con el desarrollo de sistemas robóticos bajo el agua. La tendencia operativa submarina convencional se puede dividir en dos grupos: uno es la inspección submarina del cable por buceadores y otro es la inspección usando vehículos submarinos autónomos. El primero es el más arriesgado, ya que los buzos están expuestos a los peligros inherentes a las altas profundidades. Este último se realiza mediante el uso de

vehículos submarinos que ayudan a un operador humano en una operación peligrosa. Básicamente, los vehículos submarinos [13] desarrollan tareas de localización y posicionamiento, con el fin de mejorar la inspección de cables submarinos a través de sistemas de visión bajo el agua (visión estéreo).

Debido a la alta complejidad de estas aplicaciones es esencial, su desarrollo bajo el amparo una arquitectura de control que contiene implícitamente características de modularidad y escalabilidad, que permiten transacciones entre niveles de arquitectura. Hoy en día los sistemas autónomos no tripulados tienen altas restricciones para realizar estas acciones de inspección. Estas restricciones se refieren al tiempo de ejecución de las rutinas de procesamiento de imágenes, bloques de exploración, etc.

En este trabajo se propone una arquitectura cooperativa multi-agente [8, 12, 11] que deriva del concepto convencional de arquitectura híbrida basado en un sistema estratificado dividido en grupos comportamentales: un comportamiento reactivo, en el que el sistema debe reaccionar de manera automática a un evento particular, es decir, si se detecta un objeto, el sistema de evitación de obstáculos modifica la trayectoria del vehículo para evitar un impacto y un comportamiento deliberativo, en el que se evalúan diferentes posibilidades y se seleccionan las más adecuadas en cada situación, por ejemplo, la generación de un camino entre dos puntos dependiendo del consumo, etc.

2 El Problema

Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo de este trabajo es la inspección de cables submarinos mediante sistemas autónomos no tripulados. Para ello, el vehículo debe rastrear el cable y evaluar los datos capturados por la instrumentación para determinar los defectos del cable.

La metodología convencional para la inspección de cables submarinos consiste en un seguidor de cables, en el fondo del mar, basado en datos adquiridos de un sonar frontal. Para ello, las empresas utilizan vehículos submarinos no tripulados que detectan el cable con antelación y gen-

eran la trayectoria de referencia del vehículo. Sin embargo, en nuestra propuesta, generamos una trayectoria virtual basada en datos de sonar de barrido lateral que predice la trayectoria virtual por medio de datos previos. De esta manera, proponemos una arquitectura que se ocupa del seguimiento de cables submarinos utilizando datos de sonar de barrido lateral.

La estructura interna de los cables submarinos suele incorporar diferentes tipos de cables de acero que evitan cambios abruptos en la dirección del cable que descansa sobre el lecho marino. Es por eso que se espera que las trayectorias de estos cables sean suaves y que este aspecto se tenga en cuenta en el diseño del seguidor en las secciones siguientes.

2.1 El Vehículos Subacuático

En el presente trabajo, para resolver el problema indicado, se utiliza un vehículo con forma de torpedo, en el que se montan dos tipos diferentes de sonar: un sonar de barrido lateral (SBL) [3] y un sonar de navegación (SN). De esta manera, el vehículo puede adquirir datos relacionados con el lecho marino, en ambos lados del vehículo. La cobertura SBL nos permite detectar aproximadamente 1 metro del ancho del lecho marino. El SN está situado en la proa del vehículo y el SBL en la parte central del vehículo.

El estudio de la imagen se realiza mediante técnicas de visión por ordenador. Gracias a la imagen SN del entorno, es posible detectar objetos con anticipación, tanto dinámicos como estáticos, proporcionando un camino fiable y seguro. Es probable que en la imagen del SBL aparezcan diferentes objetos sobre el lecho marino, en ese estudio se debe tener en cuenta el estudio de las sombras acústicas, ya que proporciona características de los objetos.

Como se ha mencionado anteriormente, el SBL está situado en la parte central del vehículo proporcionando información de objetos dentro de la zona determinada por el ángulo sonar de detección. Esta zona de detección depende de la profundidad, por lo tanto hay límites más altos y más bajos para la detección fiable de cables submarinos.

Después de analizar y detectar el cable utilizando el SBL, los nuevos puntos de posición que corroboran la trayectoria correcta se determinan mediante un bloque de navegación que se describirá en la sección 3. Por lo tanto, el vehículo navega a partir del desarrollo teórico de una trayectoria obtenida ajustando, los puntos SBL adquiridos, por una función. Es importante destacar la ex-

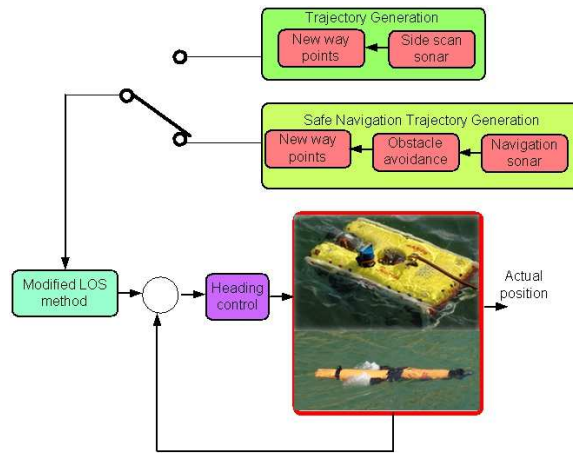


Figura 1: Arquitectura básica para el control de vehículos subacuáticos.

istencia de una relación entre la generación de la trayectoria y los cambios de velocidad repentinos en el equipo, ya que estos nuevos puntos de generación dependen de la velocidad del vehículo y por lo tanto de la posición obtenida en cada iteración.

2.2 Arquitectura Básica

La figura 1 muestra la arquitectura básica para el seguimiento de cables submarinos utilizando un vehículo con forma de torpedo con las características indicadas anteriormente. Esta arquitectura se basa en 4 módulos. Un módulo de generación de trayectorias para el seguimiento del cable submarino, que es capaz de generar una trayectoria teórica desde una función que combina todos los puntos previamente adquiridos para el siguiente conjunto de puntos de referencia, un sistema de navegación seguro, capaz de analizar y evitar cualquier objeto que pueda interceptar la trayectoria establecida por el módulo anterior, un sistema de decisión, basado en las reglas ECA (evento-condición-acción) [1], capaz de modificar el comportamiento del sistema cambiando el modo operativo de navegación a navegación segura en el instante que se detecta un peligro potencial y, finalmente, un sistema de seguimiento trayectoria, para seguir fielmente cada uno de los puntos de ruta proporcionados por el módulo de navegación encargado de reducir el error transversal.

3 Arquitectura de Control Propuesta

A partir de la arquitectura básica mencionada, se ha desarrollado una arquitectura compleja basada en un marco de sistemas multi-agente. La figura 2 muestra los diferentes módulos enmarcados den-

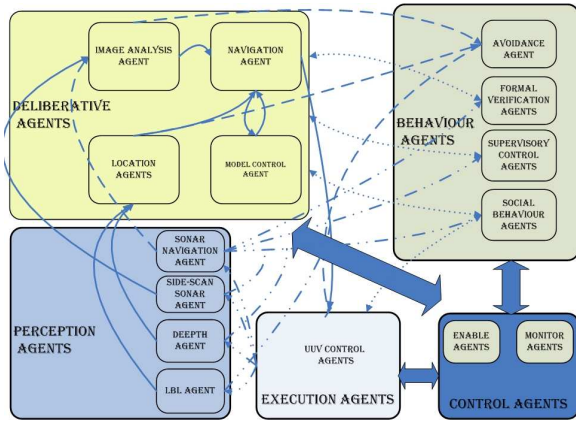


Figura 2: Arquitectura multi-agentes.

tro de cada capa y sus agentes correspondientes. Hay diferentes clases de agentes responsables de diferentes tareas, un grupo de ellos son responsables de la adquisición de datos ambientales y de posición del vehículo. Otros están a cargo de controlar el comportamiento dinámico del vehículo en diferentes situaciones. Por último, hay un grupo de ellos que proporciona cohesión a los diferentes módulos, los agentes de supervisión, cuya funcionalidad es unir a todos los grupos, mediante la planificación y control de los diferentes bloques.

Se ha incluido un bloque de control de agentes para el correcto funcionamiento del sistema, que habilita/deshabilita los módulos en función del rendimiento general del sistema. Es decir, el bloque de control del supervisor [10] modifica el rendimiento general con el fin de evitar comportamientos no deseados. Un claro ejemplo es la desactivación del bloque de navegación cuando el vehículo está dentro del bloque de evitación de obstáculos.

La figura 3 muestra los módulos y submódulos que componen el sistema, junto con los datos que se transmiten entre ellos. Como se ha indicado anteriormente, la arquitectura propuesta está dispuesta en capas, por lo tanto, estos módulos deben estar situados en su capa correcta.

La capa deliberativa tiene los módulos de navegación, los módulos de pérdida de cable. Por otra parte en la capa reactiva, podemos encontrar los módulos de evitación de obstáculos y los módulos de seguimiento de trayectoria.

El sonar del módulo de adquisición y procesamiento de imágenes es común a ambas capas, ya que los datos obtenidos por el SBL se usan en la capa deliberativa mientras que el SN es alimentado por sus propios datos.

3.1 Módulos

La arquitectura propuesta consta de cinco módulos principales. Las restricciones de tiempo de los módulos son diferentes, mientras que algunas de ellas funcionan en tiempo real como lo hace el módulo de ejecución, otros sistemas están latentes esperando su habilitación de un evento, el evento de este último tipo son los módulos de Evitación de Obstáculos y los Módulos de Pérdida de Cable. Esta sección resume cada uno de los módulos:

El módulo de navegación es responsable de la generación de una ruta fiable y segura para el vehículo. En el módulo de adquisición y procesamiento de imágenes se obtiene la posición del cable y se transfiere al sistema de coordenadas fijado a tierra. El sistema genera una trayectoria a partir de los puntos adquiridos en las etapas anteriores, para ello, los datos obtenidos se utilizan de tal manera que el sistema de decisión no sigue el camino definido cuando hay una gran variación en la velocidad. Cuando se ha definido la trayectoria del cable, que es una función de velocidad, se genera una trayectoria factible para el vehículo al alisar la trayectoria mediante b-splines. La zona de detección de objetos se calcula a partir de la definición de B-spline [9]. Esto se puede hacer resolviendo la siguiente ecuación:

$$P(t) = \sum_{i=1}^n P_i N_{i,j}(t) \quad (1)$$

siendo $P(t)$ la posición del vector a lo largo de una curva de dimensión m como una función de $t \in \mathcal{R}$, una curva de tipo spline de orden j , $P_i \in \mathcal{R}^m$ ($i = 0, \dots, n$) puntos de control y $N_{i,j}(t)$ son las funciones normalizadas B-spline de orden j y el vector $\Xi = \{x_0, \dots, x_{n+k}\}$. Estas funciones B-spline están definidas por las fórmulas de recursión de Cox-de Boor,

$$N_{i,j} \equiv \begin{cases} 1 & \text{if } x_i \leq t \leq x_{i+1} \\ 0 & \text{for the rest of the cases} \end{cases} \quad (2)$$

y para todo $j > 1$

$$N_{i,j}(t) = \frac{(t - x_i)N_{i,j-1}(t)}{x_{i+j-1} - x_i} + \frac{(-t + x_{i+j})N_{i+1,j-1}(t)}{x_{i+j} - x_{j+1}} \quad (3)$$

donde t es el tiempo, x es la posición del vehículo en el eje horizontal.

Aplicando las expresiones (1), (2) y (3), obtenemos una zona de operación segura como se puede ver en la figura 4.

De esta manera, a partir de la zona citada podemos establecer un volumen seguro para la operación del sistema (Figura 5). Sobreponiendo las

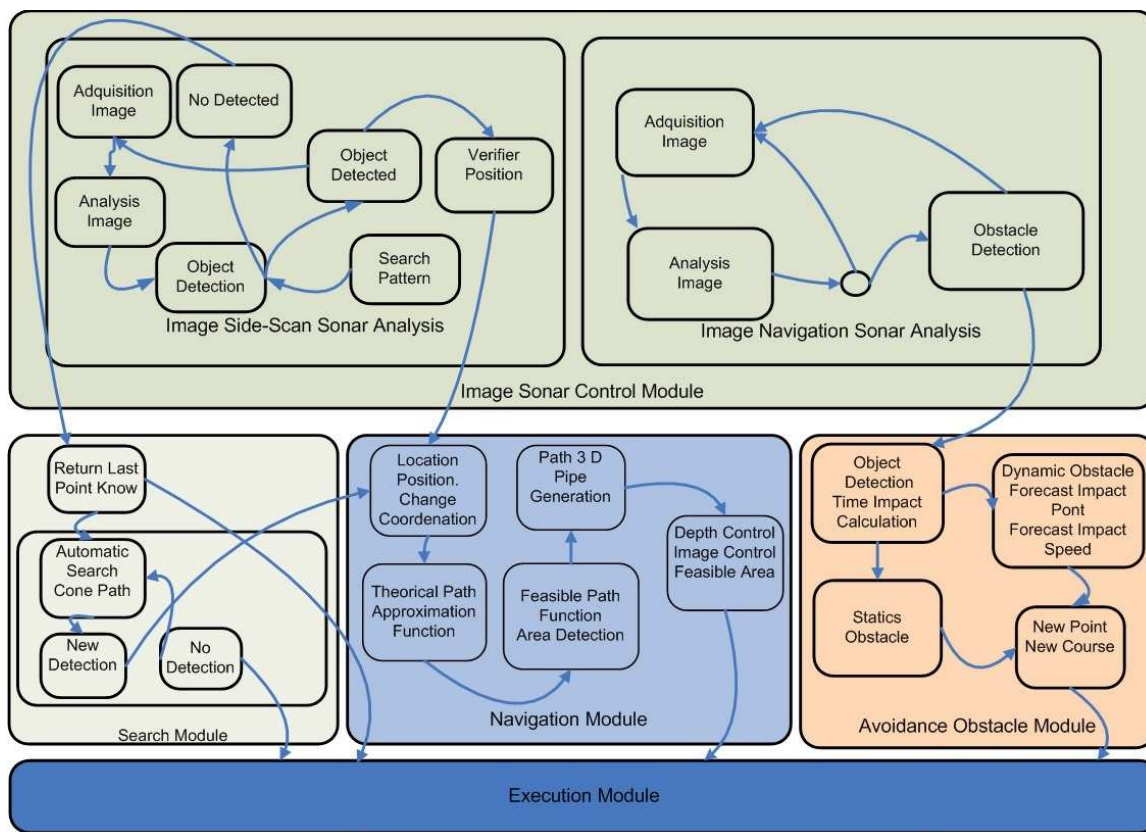


Figura 3: Arquitectura de control propuesta.

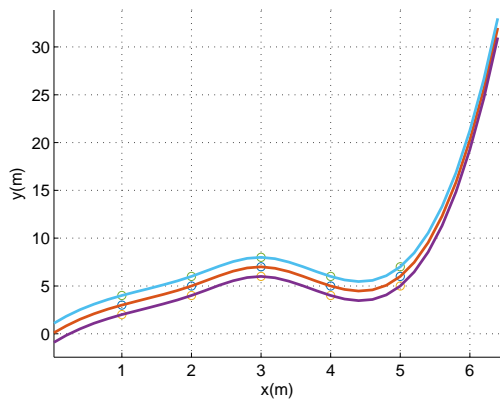


Figura 4: Área de detección (área entre las líneas azul y morada) y ruta teórica (línea roja)

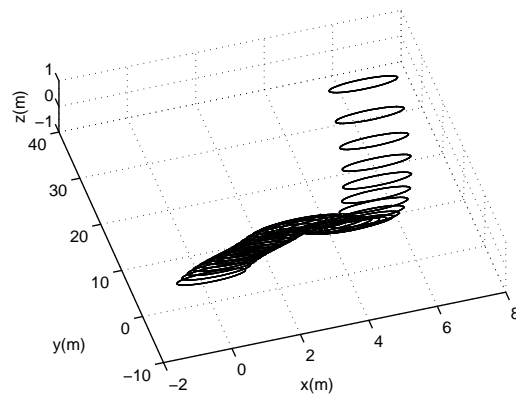


Figura 5: Ruta de seguridad volumétrica.

diferentes capas, limitadas sólo por la profundidad y la caracterización precisa de los objetos del fondo marino.

El módulo de control de imagen de sonar, alimenta los módulos de navegación y evitación de obstáculos. Al estudiar las imágenes SBL, se determina la posición del cable en el lecho marino. Además, al estudiar las imágenes del SN se determina la existencia de objetos en la trayectoria del sistema robótico.

Módulo de Evitación de Obstáculos, define un camino fiable para evitar un impacto sobre el vehículo, determinado por la trayectoria proporcionada por el módulo de navegación y cualquier objeto que esté en la zona frontal del vehículo.

Se supone que cada objeto detectado es estático y se evalúa con las siguientes imágenes adquiridas para determinar si esta suposición es aceptada o rechazada. El siguiente análisis de imágenes adquiridas se realiza en dos etapas, en el primer

paso, el módulo de evitación evalúa la posición relativa entre el vehículo y el objeto detectado y en el segundo paso se verifica si se ha modificado la forma proporcional del objeto comprobando un umbral predefinido. En el caso afirmativo, el supuesto inicial es rechazado y el objeto se considera dinámico.

Después de esto, se calcula la trayectoria del objeto dinámico y se determina el tiempo de impacto. Tanto para objetos dinámicos como estáticos, el módulo de prevención de obstáculos calcula la nueva ruta y la envía al módulo de ejecución.

Módulo de búsqueda. Cuando se accede a este módulo, se carga la última posición de cable conocida y luego se establece un camino seguro hasta este punto, después de que el vehículo lo alcance, el algoritmo de cable de búsqueda establece una trayectoria cónica para el vehículo, comenzando desde el último punto conocido hasta el área teórica determinada por el módulo de navegación. Una vez determinado el cable de nuevo, el sistema elimina el conjunto de puntos correspondiente a la ruta anterior y el ciclo comienza de nuevo. En caso de no encontrar el vehículo, éste sube a la superficie y transmite la última posición conocida a la estación de control.

Módulo de ejecución se compone de dos módulos. Un módulo de decisión, en el que la acción a realizar se determina en cada momento. Es un sistema basado en eventos que depende del comportamiento del sistema. Si el módulo de prevención de obstáculos detecta un objeto, se genera un camino para evitar el objeto. El control vuelve al módulo de navegación una vez que los vehículos han evitado el objeto. Otro módulo corresponde al algoritmo de seguimiento de ruta, donde se aplica el método LOS (Line of Sight) modificado, cuyo objetivo es reducir el error transversal entre cada uno de los puntos obtenidos por los Módulos de Navegación y Evitación de Obstáculos.

3.2 Características de la Arquitectura

En la arquitectura propuesta se utiliza una plataforma multi-agente cooperativa, que consiste en un grupo de agentes que integran los conceptos de modularidad y escalabilidad requeridos para tales aplicaciones.

La modularidad de la arquitectura permite un aumento en la capacidad de intercambiabilidad y conectividad entre módulos evitando incompatibilidades y riesgos de entendimiento entre ellos.

La escalabilidad del sistema permite reducir errores, producidos por el cambio de nivel o entorno. Un aspecto de suma importancia es la necesidad

de desarrollar diferentes estrategias de control operacional. Para ello se estima que se necesitará un módulo de verificación en el sistema. Por lo tanto, el módulo de generación de trayectorias se basa en datos previamente verificados y cuya interpretación no tiene inconsistencias potenciales que conduzcan respuestas indefinidas por el sistema de control. También se interpreta el trabajo de restricciones temporales de las capas, reduciendo los retrasos causados por los intérpretes de diferentes niveles en el lanzamiento de interrupciones o subrutinas para diferentes escenarios en el procesamiento de datos recibidos de sensores. El uso de esta arquitectura cooperativa multi-agente limita estos retrasos.

4 Resultados de Simulación

En base a lo expuesto en las secciones anteriores se ha implementado en el entorno Matlab/Simulink una máquina de estados finitos para la simulación del módulo de ejecución de navegación. Basado en un trabajo anterior [5], hemos implementado un modelo de maniobra para un sistema de guía basado en el método LOS modificado. Las corrientes oceánicas se han simulado mediante la inclusión de las fuerzas inducidas por la corriente y momentos en las ecuaciones dinámicas. Una forma de hacer esto es suponer que las ecuaciones están representadas en términos de la velocidad relativa. La forma en que se ha implementado la contribución de las corrientes al modelo de maniobra se encuentra en [4].

Los resultados para el sistema de guía se muestran en la figura 6 donde se comparan los resultados del LOS convencional con los de LOS modificado. Se observa una reducción en el error transversal de camino cuando se aplica el método LOS modificado para el vector de referencia de referencia dado por $([0,0;20,25;-20,30;-30,40;20,70;0,80])$.

La figura 7 muestra la generación de trayectorias para el vehículo con forma de torpedo. La línea verde discontinua representa la trayectoria dada por el módulo de navegación, ya que se ve que está casi totalmente dentro del área delimitada por el rango de haz de detección de cable del SBL a una profundidad constante.

En la figura 8 se muestra el volumen de navegación fiable para varias profundidades mostradas en cada una de las posiciones alcanzables por el vehículo submarino dentro del rango de detección.

5 Conclusiones

En este artículo hemos propuesto una arquitectura basada en agentes múltiples que permite respon-

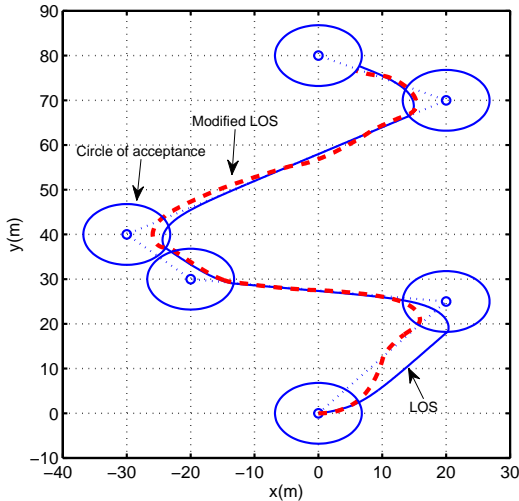


Figura 6: LOS convencional (línea azul) y LOS modificado (línea roja discontinua) con corrientes (0,3m/s) para el vector de referencia de waypoints=[0,0;20,25;-20,30;-30,40;20,70;0,80].

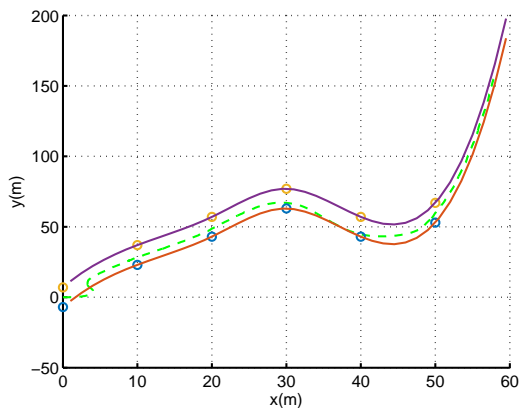


Figura 7: Área de detección (entre líneas azules y rojas) y camino simulado (línea verde discontinua) para el vehículo con forma de torpedo.

der a las restricciones de tiempo preestablecidas, que afectan tanto el tiempo como el seguimiento para la inspección de cables submarinos utilizando vehículos submarinos autónomos.

El uso de este tipo de vehículos en los últimos años se debe al avance en su autonomía, tanto desde el punto de vista de la energía como de la capacidad de decisión.

A través de la arquitectura propuesta, añadiendo la metodología basada en la generación de un espacio virtual tubular, perseguimos reducir la identificación del tiempo y mejorar el rendimiento de seguimiento del cable, además de dar una op-

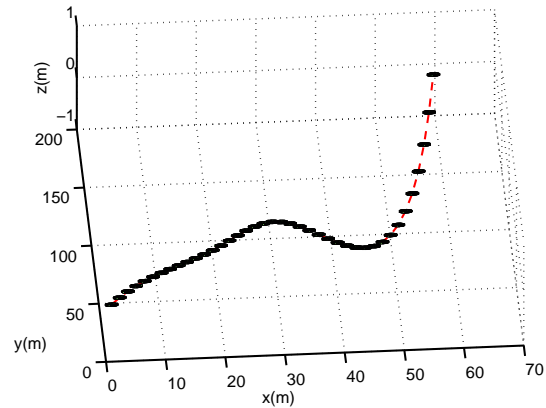


Figura 8: Volumen de detección y trayectoria desarrollada por el vehículo.

eración más fiable y segura.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el MINECO: DPI2011-27990 con fondos FEDER.

Referencias

- [1] Luntz Jonathan Almeida Emanuel and Tilbury Dawn. Modular finite state machines implemented as event-condition-action systems. In *Proceedings of the 16th IFAC World Congress*, 2005.
- [2] K. Asakawa, J. Kojima, Y. Kato, S. Matsumoto, N. Kato, T. Asai, and T. Iso. Design concept and experimental results of the autonomous underwater vehicle aqua explorer 2 for the inspection of underwater cables. *Advanced Robotics*, 16(1):27 – 42, 2002.
- [3] A. Bagnitsky, A. Inzartsev, A. Pavin, S. Melman, and M. Morozov. Side scan sonar using for underwater cables pipelines tracking by means of auv. pages 10 pp. –, Piscataway, NJ, USA, 2011//.
- [4] T.I. Fossen. *Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles*. Marine Cybernetics, 2002.
- [5] Francisco J. Lastra Santos Jose Maria Riola Rodriguez Juan Jesus Diaz Hernandez Francisco J. Velasco, Elias Revestido Herrero and Luis M. Vega Antolin. Measurements of hydrodynamic parameters and control of an underwater torpedo-shaped vehicle. In *IFAC Workshop on Navigation, Guidance and Control of Underwater Vehicles*, 2015.

- [6] C.C. Insaurralde and D.M. Lane. Autonomy-assessment criteria for underwater vehicles. pages 8 pp. –, Piscataway, NJ, USA, 2012.
- [7] M. Jacobi and D. Karimanzira. Underwater pipeline and cable inspection using autonomous underwater vehicles. pages 6 pp. –, Piscataway, NJ, USA, 2013.
- [8] Liviu Panait and Sean Luke. Cooperative multi-agent learning: The state of the art. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 11(3):387–434, 2005.
- [9] L. Pedraza, D. Rodriguez-Losada, F. Matia, G. Dissanayake, and J.V. Miro. Extending the limits of feature-based slam with b-splines. *IEEE Transactions on Robotics*, 25(2):353 – 66, 2009/.
- [10] P.J. Ramadge and W.M. Wonham. Supervisory control of a class of discrete event processes. In A. Bensoussan and J.L. Lions, editors, *Analysis and Optimization of Systems*, volume 63 of *Lecture Notes in Control and Information Sciences*, pages 475–498. Springer Berlin Heidelberg, 1984.
- [11] Stuart J. Russell and Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson Education, 2 edition, 2003.
- [12] Michael Woolridge and Michael J. Wooldridge. *Introduction to Multiagent Systems*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 2001.
- [13] O. Yildiz, A.E. Yilmaz, and B. Gokalp. State-of-the-art system solutions for unmanned underwater vehicles. *Radioengineering*, 18(4):590 – 600, 2009/12/.