

ACTAS

DE LAS

XXXVIII Jornadas de Automática

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



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo



CEA
Comité Español
de Automática

Colabora

Gijón

Convention Bureau

Actas de

XXXVIII

Jornadas de Automática

© 2017 Universidad de Oviedo
© Los autores

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

DL AS 2749-2017

ISBN: 978-84-16664-74-0

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

Prefacio

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

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

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

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

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

Gijón, septiembre de 2017

Hilario López
Presidente del Comité Organizador

Program Committee

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

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

Revisores Adicionales

Al-Kaff, Abdulla

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

Cancela, Brais

Ferraz, Luis

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

Hernandez Ruiz, Alejandro
Hernandez, Daniel

Jardón Huete, Alberto

López, Amable

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

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	
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>	

DDS en el desarrollo de sistemas distribuidos heterogéneos con soporte para criticidad mixta

Héctor Pérez Tijero y J. Javier Gutiérrez

*Grupo de Ingeniería Software y Tiempo Real, Universidad de Cantabria, 39005-Santander, SPAIN
{perezh, gutierjj}@unican.es*

Resumen

El uso de middleware de distribución facilita la programación de sistemas distribuidos heterogéneos, y por extensión también puede facilitar la generación automática de código como parte de una estrategia de desarrollo basada en modelos. Sin embargo, este middleware presenta una complejidad añadida que dificulta su uso en sistemas con ciertos requisitos de criticidad o de tiempo real. En este trabajo se hace una revisión de algunos estudios previos en los que se muestra la posibilidad de utilizar un middleware de distribución centrado en los datos (DDS, Data Distribution Service) para la integración de aplicaciones con criticidad mixta en sistemas distribuidos.

Palabras clave: Tiempo real, DDS, sistemas particionados, hipervisor, flujo e2e

1. Introducción

Durante las últimas décadas, los sistemas industriales de tiempo real han pasado de ejecutar aplicaciones cerradas en sistemas empotrados y de propósito muy específico a formar parte de entornos de ejecución potentes, abiertos e interconectados. Sin embargo, el incremento de potencia ha dejado de estar asociado a la velocidad de los procesadores, y en la actualidad está ligado a la presencia de un mayor número de *cores* o núcleos. A medida que los sistemas multicore van penetrando en la industria, se busca integrar cada vez más funcionalidad en un único sistema. Así, resulta habitual encontrarse con sistemas que deben satisfacer simultáneamente una combinación de requisitos no funcionales, relacionados por ejemplo con la seguridad, la integridad, los tiempos de respuesta o incluso el consumo energético. La aplicación de técnicas de virtualización resulta fundamental en este contexto, ya que habilitan la ejecución de aplicaciones heterogéneas en una misma plataforma computacional.

Dentro de las técnicas de virtualización, el particionamiento del sistema proporciona un entorno de ejecución integrado donde las aplicaciones están aisladas temporal y espacialmente, permitiendo la coexistencia de aplicaciones con distintos niveles de criticidad. Estas técnicas son habituales en sistemas que tienen que pasar por un proceso de certificación para comprobar que cumplen las

garantías necesarias establecidas por los estándares de certificación de cada sector industrial. Un ejemplo representativo de particionado en el campo de la aviónica es el propuesto por el estándar ARINC 653 [1].

Aunque el particionado puede ser implementado de diferentes formas [2], las técnicas de particionado basadas en un hipervisor son especialmente relevantes ya que permiten la ejecución de varios sistemas operativos independientes, lo que abre la posibilidad de integrar software empaquetado (COTS) en sistemas particionados.

En general, el particionamiento es utilizado principalmente en los sistemas críticos como pueden ser los de aviónica, aunque se está empezando a aplicar a otros sectores como el energético [3], la automoción [4] o el control industrial [5]. En este contexto, el uso de middleware basado en estándares de distribución puede resultar especialmente atractivo por sus características de interoperabilidad, abstracción de servicios de red o gestión transparente de las comunicaciones.

En la actualidad, uno de los estándares de distribución que más difusión está teniendo es DDS (*Data Distribution Service for Real-Time Systems*) [6], el cual está diseñado explícitamente para el desarrollo de aplicaciones de tiempo real. Uno de los objetivos principales de DDS es facilitar la integración de aplicaciones con independencia del lenguaje de programación o del sistema operativo. Por otro lado, el estándar también define un protocolo denominado DDSI-RTPS [7] para garantizar la interoperabilidad entre implementaciones.

Las características multiplataforma y multilenguaje de DDS, junto con su protocolo de interoperabilidad, resultan especialmente relevantes en sistemas heterogéneos como los que se encuentran habitualmente en los sistemas particionados. Así, en este artículo se muestra el papel que puede jugar la integración de DDS en los sistemas particionados para posibilitar el desarrollo de sistemas distribuidos en los que se pueden combinar aplicaciones críticas o con requisitos de tiempo real, con otras que no tienen restricciones de ejecución o éstas son más laxas. Para ello, se realiza una compilación de las ideas y resultados más relevantes mostrados en diferentes trabajos previos [8][9][10][11][12].

El documento está organizado de la siguiente manera. El apartado 2 está dedicado a presentar las características básicas del middleware de distribución DDS y de los sis-

temas particionados. En el apartado 3 se explora el modelado de DDS para el análisis de tiempo real. La propuesta de una arquitectura para sistemas particionados y distribuidos con DDS se realiza en el apartado 4, mientras que el apartado 5 presenta el desarrollo de una plataforma basada en la arquitectura propuesta. Finalmente, el apartado 6 plantea las conclusiones y el trabajo futuro.

2. DDS y sistemas particionados

2.1. Data Distribution Service

DDS es un estándar de distribución desarrollado por la OMG [6]. Está basado en un paradigma de comunicación denominado editor-suscriptor en el que el middleware se centra en la obtención de datos, trasladando a un segundo plano cuál es el origen de éstos. Las aplicaciones que siguen este modelo forman un sistema distribuido en el que los nodos procesadores se comunican entre sí enviando (los editores) y recibiendo (los suscriptores) datos de forma anónima, tal y como se ilustra en la Figura 1. DDS introduce el concepto de espacio global de datos virtual, en el que el flujo de información puede originarse en uno o varios editores y tener como destino uno o varios suscriptores.

La comunicación entre editores y suscriptores se lleva a cabo a través de la definición del tipo de dato a compartir (*topic*) por parte de los editores. Por su parte, los suscriptores registrarán en el sistema su interés por recibir determinados *topics*, siendo el propio middleware el encargado de hacer posible la comunicación de forma automática y transparente. El modelo propuesto se caracteriza por estar débilmente acoplado, pues tanto editores como suscriptores están desacoplados respecto al tiempo (los datos producidos pueden ser almacenados para un uso posterior) y al espacio (editores y suscriptores no se conocen mutuamente).

Por defecto, el servicio de descubrimiento o localización de entidades definido por DDS es dinámico, esto es, los participantes pueden incorporarse o abandonar el sistema de forma transparente al usuario. Con este fin, el middleware intercambia internamente información sobre la presencia y características de todas las entidades del sistema distribuido, generando un tráfico de red adicional que se conoce como metatráfico.

Además de definir el modelo de distribución, la especificación del DDS también contempla la configuración de distintos aspectos no funcionales del sistema distribuido a través de los parámetros de calidad de servicio (QoS). Estos parámetros permiten configurar, por ejemplo, la disponibilidad o el plazo temporal de recepción de datos.

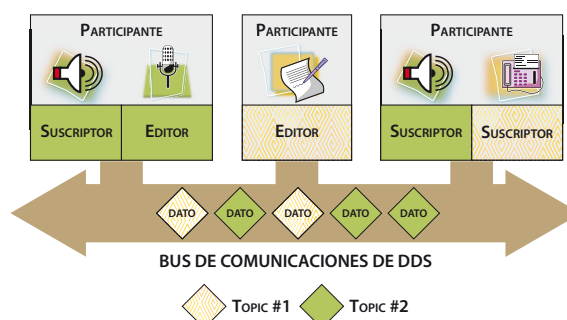


Figura 1 Distribución con DDS

Otro aspecto relevante de DDS para los sistemas de tiempo real son sus mecanismos de tolerancia a fallos. Éstos se basan en la redundancia de editores y/o suscriptores que son gestionados de forma transparente al usuario por parte del middleware.

2.2. Particionado de sistemas

Una partición representa un entorno de ejecución de aplicaciones protegido mediante técnicas de aislamiento y contención de fallos. Por un lado, las técnicas de aislamiento espacial buscan proteger los espacios de memoria asignados exclusivamente a cada partición. Por otro, el aislamiento temporal tiene por objeto garantizar intervalos de ejecución libres de interferencias para cada partición. Habitualmente, este tipo de aislamiento se implementa a través de una planificación estática que asigna a cada partición uno o varias ventanas temporales para su ejecución. Cuando el particionado se realiza a través de un hipervisor, cada partición puede ejecutar un sistema operativo independiente y por tanto existe un segundo nivel de planificación para los hilos o threads de las particiones.

Una de las tareas fundamentales del hipervisor consiste en virtualizar los recursos del sistema (por ejemplo, relojes, temporizadores, interrupciones, etc), así como los núcleos disponibles cuando se trata de un sistema multicore. Aunque existen técnicas de virtualización que no requieren modificar el sistema operativo, su elevada sobrecarga dificulta su uso en sistemas de tiempo real. En este contexto, las técnicas de paravirtualización son más habituales y requieren modificar el sistema operativo para que acceda a los recursos del sistema a través de los servicios proporcionados por el hipervisor.

En los sistemas particionados con ARINC 653, la comunicación entre particiones se lleva a cabo mediante el intercambio de mensajes a través de canales de comunicación. Un canal conecta un único puerto de envío con uno o varios puertos de recepción. Dado que las comunicaciones de un sistema particionado deben estar supervisadas y autorizadas por el hipervisor, la configuración de todos sus parámetros (canales, puertos y sus correspondientes atributos) deben realizarse estáticamente.

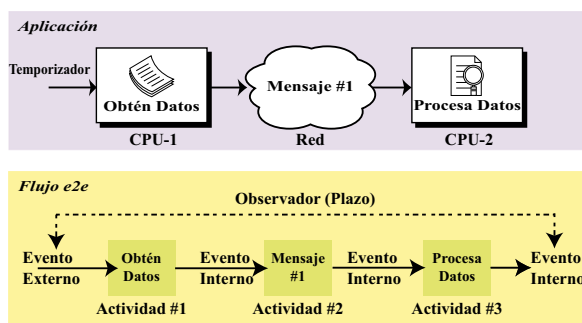


Figura 2 Modelo de tiempo real

Por último, la asignación de los recursos a particiones se realiza de forma estática, normalmente a través de un fichero de configuración. La definición de partición en la configuración se caracteriza por sus áreas de memoria, puertos de comunicaciones y requisitos temporales, así como cualquier otro recurso necesario para su ejecución. Esta asignación estática de recursos es el mecanismo básico para garantizar el determinismo y la seguridad en un sistema particionado.

3. Modelado de DDS para el análisis de tiempo real

En este apartado se analiza el estándar DDS para extraer el modelo que permite la aplicación de técnicas de cálculo de tiempos de respuesta.

3.1. Modelo de tiempo real

Un sistema de tiempo real se puede modelar como un conjunto de transacciones o flujos e2e (*end-to-end flows*) que representan un conjunto de tareas y mensajes en los que existen relaciones de precedencia en su ejecución, tal y como se ilustra en la Figura 2. Cada flujo e2e se activa por la llegada de uno o más eventos externos que generan la ejecución de actividades (por ejemplo, la ejecución de un trozo de código en el procesador o el envío de un mensaje por la red en la Figura 2). Estas actividades a su vez generan eventos que son internos al flujo e2e y que pueden activar a otras actividades del mismo, pudiendo tener cada uno de estos eventos requisitos temporales asociados.

Este modelo se ha utilizado tradicionalmente en el cálculo de los tiempos de respuesta de peor caso tanto en sistemas monoprocesadores como en sistemas distribuidos. Actualmente, este modelo forma parte del estándar de modelado MARTE [13] y puede ser utilizado en procesos de desarrollo dirigido por modelos (MDE) [14].

3.2. Modelado de las características de tiempo real

Aunque DDS está orientado al desarrollo de aplicaciones distribuidas de tiempo real, existen ciertos aspectos que el estándar no aborda y que podrían comprometer los tiempos de respuesta de la aplicación. Por ejemplo, la configuración de los parámetros de planifi-

cación de todas las entidades planificables en el sistema (esto es, threads y mensajes), o cotas en la influencia del metatráfico sobre el resto del sistema.

De acuerdo al trabajo presentado en [8], el modelo de distribución propuesto por DDS es adecuado para aplicar las técnicas de análisis de planificabilidad tradicionales sobre sistemas gobernados por eventos. De hecho, el modelo propuesto por DDS facilita la transición entre el modelo teórico de tiempo real definido en MARTE y el sistema físico. Esto se debe principalmente a que las características de desacoplo de DDS proporcionan flexibilidad a la hora de implementar un sistema distribuido, independientemente de la naturaleza síncrona o asíncrona de sus flujos e2e.

3.3. Modelado de los parámetros de QoS

Otra de las características relevantes de DDS es la configuración de los aspectos no funcionales a través de los parámetros de QoS. El uso de estos parámetros puede influir en el comportamiento temporal de la aplicación [15], por lo que resulta necesario explorar si las políticas de QoS definidas en el estándar pueden representarse mediante el modelo de tiempo real [9]. En general, la mayoría de los parámetros de QoS puede modelarse utilizando las relaciones de precedencia de los flujos e2e (lineales o no lineales). En otros casos, el modelado depende de la implementación a utilizar.

Por otro lado, algunos de los parámetros de QoS restringen las relaciones de precedencia que componen el flujo e2e. Por ejemplo, algunos parámetros de QoS pueden provocar el descarte de ciertas muestras de datos, con lo que los flujos e2e que utilicen estas políticas no podrían construirse siguiendo el ejemplo de la Figura 2. En ese caso, habría que utilizar un modelo desacoplado formado por varios flujos e2e independientes, y calcular el tiempo de respuesta de peor caso de principio-a-fin como la suma de los tiempos de respuesta de cada flujo e2e. Esta circunstancia puede influir en las técnicas de análisis de planificabilidad que pueden aplicarse en cada caso particular.

Además de verificar los tiempos de respuesta de peor caso del sistema distribuido, es importante resaltar que el uso de técnicas de modelado facilita también la integración del middleware de distribución en los procesos de desarrollo dirigidos por modelos.

4. Arquitectura de sistema distribuido: DDS sobre particiones ARINC 653

Aunque un hipervisor proporciona servicios propios para la comunicación entre particiones, el uso de un estándar de distribución facilitaría la interoperabilidad entre sistemas heterogéneos, así como el desarrollo de aplicaciones independientemente del lenguaje de programación, las redes subyacentes o la ubicación física. Si nos centramos en el paradigma de distribu-

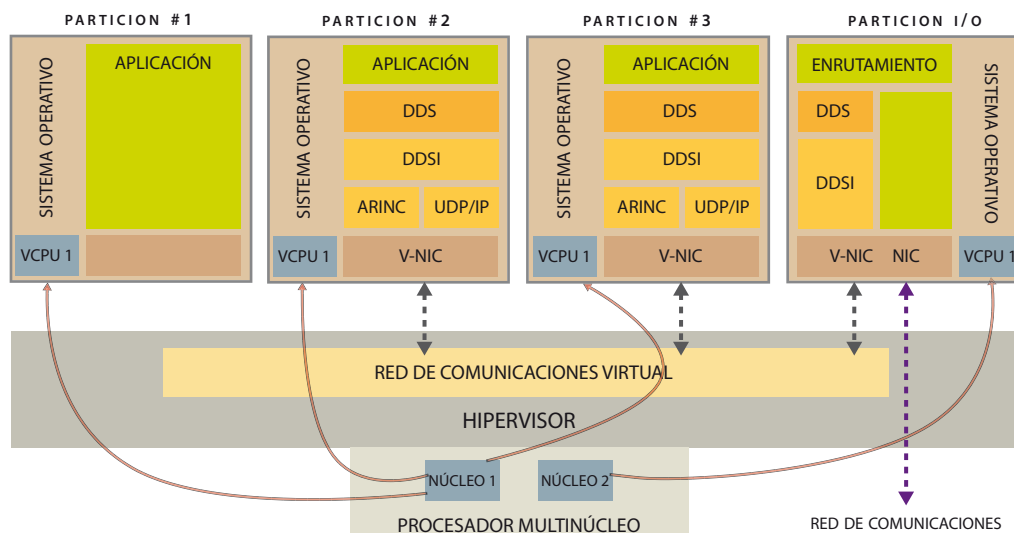


Figura 3. Arquitectura del sistema: nodo procesador multicore

ción, tanto DDS como ARINC 653 proporcionan servicios similares basados en comunicaciones débilmente acopladas y esencialmente asíncronas.

La Figura 3 muestra un ejemplo de la arquitectura del sistema que incluye un hipervisor sobre un procesador multicore con cuatro particiones con sistemas operativos independientes. En la arquitectura propuesta, las comunicaciones se realizan a través de DDS y, por tanto, cada partición que requiera comunicarse ejecutará una instancia del middleware (por ejemplo, las particiones 2 y 3 de la Figura 3). Para establecer con éxito esta comunicación, la plataforma virtualizada debe proporcionar unos recursos adicionales a modo de infraestructura de comunicaciones virtual. Esta infraestructura está compuesta por: (1) una interfaz de red virtual por cada partición, (2) una red virtual de comunicaciones para interconectar las particiones y (3) un mecanismo de acceso seguro a la interfaz de red física.

4.1. Infraestructura de comunicaciones

La interfaz de red virtual o V-NIC (ver Figura 3) proporciona una interfaz de red homogénea a las particiones, independientemente de si éstas tienen o no acceso al dispositivo de red. Esta abstracción se implementa en el nivel del sistema operativo y proporciona las funcionalidades básicas de una interfaz de red como son el envío y la recepción de mensajes. Además, es responsable de crear los puertos de comunicaciones que sirven de punto de acceso a los servicios de comunicaciones ofrecidos por el hipervisor. Por tanto, la V-NIC constituye la entidad fundamental para que el middleware de distribución pueda ejecutarse sin modificaciones en su arquitectura.

La transmisión de mensajes entre particiones se realiza a través de la red virtual de comunicaciones. Esta entidad representa una red lógica que interconecta las particiones locales a un nodo, tal y como se muestra en

la Figura 3. La red virtual se implementa en el nivel del hipervisor, el cual gestiona qué comunicaciones están permitidas y cuáles son sus características (por ejemplo, el tamaño máximo de los mensajes intercambiados).

Dependiendo de la criticidad de las particiones, la red virtual puede implementarse utilizando diferentes mecanismos de comunicación, como áreas de memoria compartida entre particiones o canales de comunicación gestionados internamente por el hipervisor. Asimismo, la red virtual del hipervisor debe proporcionar soporte para la notificación de los eventos relacionados con la comunicación (por ejemplo, la llegada de un nuevo mensaje).

Cuando las comunicaciones son entre particiones pertenecientes al mismo nodo, los mecanismos descritos hasta ahora son suficientes para el intercambio de información. Sin embargo, cuando las particiones se encuentran en diferentes nodos es necesario controlar además el acceso al dispositivo de red, ya que varias particiones pueden intentar acceder simultáneamente a él. La implementación de un acceso seguro puede realizarse a nivel del hipervisor o a nivel de partición. En el primer caso, se incrementa la complejidad y el tamaño del hipervisor, lo que hace que su código sea más difícil de verificar y certificar. En el segundo caso, el acceso al recurso de red compartido se controla a través de una partición especial denominada partición de entrada/salida o partición de I/O, tal y como se muestra en la Figura 3. Esta partición tiene acceso exclusivo a la interfaz de red y actúa como intermediario entre el origen del mensaje y su destino.

4.2. Middleware de distribución

Como ya se ha comentado, las similitudes entre los modelos de distribución propuestos por las especificaciones DDS y ARINC 653 facilitan la integración de ambos. Esta integración puede realizarse tanto a nivel

de hipervisor como a nivel de partición [11]. En el primer caso, DDS implementaría el servicio de comunicaciones del hipervisor y por tanto, se utilizaría como un bus de comunicaciones y protocolo de interoperabilidad. Sin embargo, integrar DDS a nivel de partición es una opción más flexible ya que abre la posibilidad de utilizar además las políticas de QoS definidas por el estándar. La Figura 3 muestra esta segunda opción en la que una instancia del middleware DDS se ejecuta en cada partición que requiera comunicaciones. Al mismo tiempo, el middleware puede integrarse en la partición de dos formas distintas: (1) mediante una implementación estándar de DDS que se comunica a través de la pila de protocolos UDP/IP [10]; y (2) a través de una implementación certificable de DDS, en la que parte de la funcionalidad de DDS puede estar restringida y los protocolos de comunicaciones pueden estar basados directamente en los servicios de comunicaciones del hipervisor [12] (por ejemplo, las comunicaciones ARINC 653).

En general, la partición de I/O no ejecutará ninguna instancia del middleware de distribución ya que su función se reduce a redireccionar los mensajes recibidos. Sin embargo, en sistemas no críticos también puede ser una opción ejecutar una instancia del middleware en la partición de I/O [10].

5. Claves de la integración DDS/ARINC 653

Aunque como ya se ha dicho, el modelo de distribución de DDS es similar al propuesto por el servicio de comunicaciones de los sistemas particionados con ARINC 653, existen diferencias entre ambos estándares que pueden comprometer la integración de ambas tecnologías, tal y como se describe a continuación.

5.1. Retos en la integración de tecnologías

El modelo de distribución definido por DDS soporta las interacciones uno-a-uno, uno-a-muchos y muchos-a-uno. Sin embargo, la interacción muchos-a-uno suele estar restringida en sistemas particionados para minimizar el riesgo de pérdida de mensajes [16].

En general, la interacción muchos-a-uno es habitual en los sistemas distribuidos tradicionales. Por ejemplo, el middleware suele abrir un puerto de comunicación pre-configurado y público donde puedan contactar los nuevos participantes. Además, en el caso de DDS, la interacción muchos-a-uno es un elemento fundamental para su servicio de tolerancia a fallos basado en la redundancia de editores. Para solventar este problema de integración, se propone soportar este tipo de interacción en el nivel del protocolo DDSI-RTPS, tal y como se ilustra en la Figura 4.

El tamaño de los mensajes intercambiados entre las particiones puede ser variable, pero debe ser acotado para mantener el determinismo del sistema. De

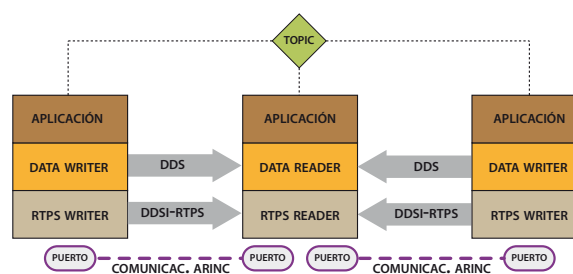


Figura 4 Interacción muchos-a-uno en sistemas particionados con DDS

acuerdo al estándar, el tamaño de los mensajes de DDS no está acotado ya que pueden incluir tanto datos de usuario como internos al protocolo (metatráfico). Por tanto, las implementaciones de DDS para sistemas particionados deberían permitir la configuración del tamaño máximo de los mensajes.

5.2. Características de las comunicaciones

La duración y asignación de ventanas temporales a particiones representa un aspecto clave en el diseño de sistemas particionados. En concreto, resulta especialmente relevante la configuración elegida para la partición de I/O, ya que actúa como intermediaria en todas las comunicaciones con el exterior. Por tanto, esta partición debería ejecutarse con regularidad suficiente para que las particiones puedan recibir/enviar sus mensajes de acuerdo a sus plazos temporales. Al mismo tiempo, la ejecución regular de esta partición limita la ejecución del resto de particiones y puede llegar a penalizar ampliamente su rendimiento [10]. Una opción para mitigar este problema viene dada por el uso de un procesador multicore en el que uno de los núcleos sea asignado a la partición de I/O [11].

Como contrapartida, el uso de procesadores multicore incrementa la complejidad en la gestión de las interrupciones. En un procesador con un solo núcleo, las particiones procesan las interrupciones al comienzo de su ejecución. Así, una interrupción de red se genera en la recepción de un mensaje, pero no se procesa hasta que entre en ejecución la partición de I/O. Una vez en ejecución, la partición de I/O redireccionará el mensaje y la correspondiente interrupción a la partición de destino. Por el contrario, un procesador multicore permite que la partición de I/O y la partición de destino del mensaje puedan estar en ejecución al mismo tiempo y, por tanto, que puedan interferirse durante su ventana de ejecución. Desde la perspectiva del rendimiento del sistema, resulta interesante que el mensaje pueda ser entregado tan pronto como se haya recibido. Para ello, es necesario incorporar mecanismos que permitan notificar la llegada de nuevos mensajes entre particiones (por ejemplo, interrupciones entre núcleos). Sin embargo, desde la perspectiva de la seguridad del sistema, es necesario que el hipervisor

también proporcione mecanismos de protección ante ráfagas incontroladas de interrupciones.

Además de la comunicación basada en paso de mensajes, algunos sistemas particionados permiten el uso de memoria compartida para comunicar particiones que requieran un mayor ancho de banda [4][10]. En este caso, el concepto de aislamiento espacial debe interpretarse de una forma más laxa, esto es, desde el punto de vista de la configuración estática del sistema, el hipervisor supervisa qué áreas de memoria son compartidas y sólo permite el acceso a las particiones autorizadas previamente.

5.3. Análisis de planificabilidad

La arquitectura propuesta en el apartado 4 puede beneficiarse del uso de técnicas de análisis de tiempos de respuesta de peor caso para verificar los plazos temporales del sistema distribuido particionado. Para ello, es necesario que estas técnicas tengan en cuenta las características de los sistemas distribuidos con DDS [8] [9], y también las de los sistemas particionados con ARINC 653. Para estos últimos, se pueden usar técnicas compatibles con sistemas gobernados por eventos tanto en los procesadores [17] como en las redes de comunicaciones [18].

6. Desarrollo de una plataforma distribuida

Este apartado describe la implementación de una plataforma distribuida de tiempo real que responde a la arquitectura presentada. Esta plataforma está basada en la implementación de DDS denominada RTI Connex Micro [19] que se ejecuta sobre el sistema operativo de tiempo real MaRTE OS [20], y que a su vez se ejecuta sobre el hipervisor XtratuM [21]. El desarrollo de esta plataforma se ha centrado en validar la arquitectura propuesta en el apartado 4. En concreto, la plataforma proporciona soporte para las siguientes características descritas en la Figura 3:

- La red de comunicaciones virtual está basada en el servicio de comunicaciones definido en ARINC 653, que en la plataforma está proporcionado por el hipervisor XtratuM.
- La interfaz de red virtual se ha implementado como un *driver* de MaRTE OS que proporciona una funcionalidad similar a los *drivers* de los dispositivos de red.
- La comunicación entre las particiones por medio de DDS se realiza por medio del protocolo de interoperabilidad DDSI-RTPS. En la plataforma, este protocolo se puede ejecutar sobre dos niveles de transporte diferentes: un transporte basado en la pila de protocolos UDP/IP, que es el definido por defecto en el estándar, y un transporte basado en el servicio de comunicaciones de ARINC 653.

La integración de estas tecnologías en la plataforma no puede realizarse directamente y requiere implementar un conjunto de extensiones que se describen brevemente a continuación.

6.1. Extensiones a la implementación de DDS

RTI Connex Micro [19] es un middleware de distribución que sigue el estándar DDS y que está especialmente orientado a sistemas empujados y/o certificables. Este middleware está diseñado para ser multiplataforma e integrar diferentes redes de comunicaciones. Para ello, implementa dos capas de abstracción de los servicios que debe proporcionar el sistema operativo y las comunicaciones subyacentes. Aunque algunos de los servicios requeridos por el middleware de distribución se proporcionan de forma virtualizada por el hipervisor, uno de nuestros objetivos es el uso de COTS, por lo que el middleware debe acceder a estos servicios a través de una interfaz estándar del sistema operativo como POSIX. En concreto, la adaptación del middleware a la plataforma requiere implementar las siguientes funcionalidades:

- *Servicios del sistema operativo.* Se ha desarrollado una capa de adaptación de los servicios proporcionados por MaRTE OS, incluyendo gestión de memoria, concurrencia, sincronización, gestión del tiempo y registro de eventos.
- *Servicios de red.* Se han añadido los servicios generales de gestión y registro de las interfaces de red existentes en el sistema. Además, la incorporación de un nuevo transporte basado en ARINC 653 requiere implementar dos capas de software adicionales: (1) una capa para las operaciones de alto nivel requeridas por el middleware (por ejemplo, operaciones para enviar/recibir mensajes DDSI-RTPS, creación de threads para operaciones de I/O, la gestión de los recursos de red, etc.), y (2) otra capa para interactuar directamente con el servicio de comunicaciones ARINC 653 y la interfaz de red virtual proporcionada por el sistema operativo.
- *Servicios de localización de entidades.* Un nuevo mecanismo para gestionar la información relacionada con la ubicación de las particiones y la forma de contactar con ellas.

6.2. Extensiones al sistema operativo de tiempo real

El sistema operativo utilizado en la plataforma es MaRTE OS [20], un *kernel* que proporciona la funcionalidad de la norma POSIX.13 [22] para plataformas empujadas de tiempo real.

En un sistema particionado como el propuesto, el hipervisor XtratuM es el encargado de gestionar todo el hardware de la plataforma. Para facilitar el acceso de las particiones a estos recursos, XtratuM proporciona una interfaz de acceso al hardware. Por tanto, los

sistemas operativos de las particiones no pueden acceder al hardware de forma nativa, sino que deben ser modificados para utilizar esta interfaz. En el caso de MaRTE OS, el *kernel* proporciona una capa de abstracción de bajo nivel para acceder al hardware, por lo que la adaptación se ha centrado en modificar esa capa de bajo nivel a la interfaz proporcionada por el hipervisor [23]. En concreto, se han realizado las siguientes modificaciones:

- *Adaptación al modelo de interrupciones virtualizadas.* Dado que el manejo de interrupciones corresponde al hipervisor, el sistema operativo debe adaptarse con objeto de utilizar las operaciones proporcionadas por el hipervisor para acceder a las interrupciones virtualizadas equivalentes, así como al resto de interrupciones internas al hipervisor que son propias de un sistema particionado. Además, el sistema operativo debe configurarse para atender exclusivamente las interrupciones autorizadas por el hipervisor para cada partición.
- *Integración de interfaces de red virtualizadas.* Para proporcionar acceso a los servicios de comunicaciones de XtratuM, se ha implementado la interfaz de red virtual en MaRTE OS. Esta entidad se ha implementado como un *driver* del sistema operativo que proporciona a las aplicaciones una interfaz estándar POSIX para acceder al dispositivo virtual (*open*, *close*, *read*, *write* e *ioctl*). La interfaz de red virtual es responsable de crear y configurar los puertos de comunicación establecidos en la configuración de la partición, así como de proporcionar una funcionalidad similar a la de la interfaz física de red. Dado que los servicios de comunicación proporcionados por XtratuM son no bloqueantes, otro aspecto a implementar ha sido un mecanismo bloqueante para la recepción de mensajes. Este mecanismo se basa en la gestión de interrupciones internas del hipervisor para notificar la entrega de mensajes a las particiones.
- *Uso de servicios virtualizados para la gestión del tiempo.* XtratuM proporciona relojes y temporizadores para la gestión del tiempo en las particiones. Así, los relojes y temporizadores de propósito general proporcionados por el sistema operativo, junto con otros servicios avanzados (por ejemplo, los relojes de tiempo de ejecución) deben implementarse utilizando los recursos virtuales proporcionados por XtratuM.
- *Integración en el proceso de desarrollo.* Una vez que la configuración del sistema particionado ha sido validada, el proceso de desarrollo genera un contenedor software que integra el gestor de arranque, las particiones y el hipervisor. Por tanto, el entorno de compilación cruzada de MaRTE OS debe integrarse dentro de ese proceso de desarrollo.

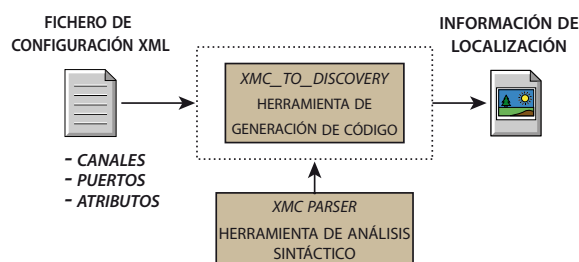


Figura 5 Generación automática de la información de localización de entidades para DDS

6.3. Extensiones al hipervisor

XtratuM es un hipervisor especialmente diseñado para sistemas empujados de tiempo real [21]. El servicio de comunicaciones implementado por XtratuM está basado en la especificación ARINC 653, pero sólo proporciona soporte para la comunicación entre particiones ubicadas en el mismo nodo procesador, es decir, que no requieren el uso de la red de comunicaciones. Por tanto, resulta necesario extender la configuración del hipervisor para indicar si las particiones van a ejecutarse o no en el mismo nodo [12]. Además, DDS requiere acceder a esta información de configuración para ejecutar su servicio de localización de entidades. En concreto, la integración del hipervisor en la plataforma distribuida ha requerido las siguientes extensiones:

- *Identificación del nodo en las comunicaciones.* Cada instancia del hipervisor puede ser identificada mediante la incorporación de un identificador al fichero de configuración. Dado que los canales de comunicación están definidos a nivel de sistema y no de partición, este identificador está también vinculado a los puertos de comunicación.
- *Generación automática de la información de contacto de las particiones para DDS.* Tal y como se ilustra en la Figura 5, se ha desarrollado una nueva herramienta *xmc_to_discovery* que genera la información que requiere DDS a partir del fichero de configuración de XtratuM.

7. Conclusiones y trabajo futuro

En este trabajo se ha explorado el modelado de tiempo real de aplicaciones distribuidas con DDS. Aunque DDS está orientado al diseño de aplicaciones distribuidas de tiempo real, quedan ciertos aspectos relevantes por concretar en el estándar y que por tanto quedan abiertos a la implementación.

Además, se ha analizado su integración en sistemas particionados con ARINC 653. Dado que uno de los principales inconvenientes de los sistemas distribuidos particionados es el cuello de botella en el uso de las comunicaciones, se ha propuesto una arquitectura distribuida utilizando un nodo multiprocesador, en el que

uno de los núcleos está dedicado a gestionar la interfaz de red. Por último, se ha presentado un desarrollo concreto de la plataforma distribuida de acuerdo con la arquitectura propuesta.

Con el incremento de la conectividad de los sistemas, uno de los aspectos que más preocupa en la actualidad es la seguridad de los sistemas. Por ello, resultaría interesante explorar la seguridad de la plataforma propuesta desde la perspectiva del middleware y del hipervisor. Por otro lado, nuestro trabajo continúa en la línea de los sistemas críticos mediante la integración de redes de comunicaciones especializadas como AFDX.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado en parte por el Gobierno de España en el proyecto TIN2014-56158-C4-2-P (M2C2).

Referencias

- [1] Airlines Electronic Engineering Committee, Aeronautical Radio INC. "Avionics Application Software Interface, required Services". ARINC Specification 653-1. 2010.
- [2] S. Han y H. Jin. "Resource partitioning for Integrated Modular Avionics: comparative study of implementation alternatives". *Software: Practice and Experience (SPE)*, <http://dx.doi.org/10.1002/spe.2210>. 2014.
- [3] J. Pérez, D. González, S. Trujillo, T. Trapman y J. M. Garate. "A Safety Concept For A Wind Power Mixed-Criticality Embedded System Based On Multicore Partitioning", *Proc. of the 1st Int. Workshop on Mixed Criticality Systems*, Vancouver (Canada), 2013.
- [4] Open VEHICulaR SEcurE platform (OVERSEE) European Project, 7th Framework Prog., <https://www.oversee-project.com>, 2013.
- [5] Open and cost-effective virtualization techniques and supporting separation kernel for the embedded systems industry (VOS4ES) European Project, 7th Framework Prog., http://cordis.europa.eu/project/rcn/100889_en.html, 2013.
- [6] Object Management Group. *Data Distribution Service for Real-time Systems*. v1.4, formal/15-04-10, 2015.
- [7] Object Management Group. *The Real-time Publish-Subscribe Wire Protocol. DDS Interoperability Wire Protocol Specification*. v2.2, formal/2014-09-01, 2014.
- [8] H. Pérez y J. J. Gutiérrez, "On the schedulability of a data-centric real-time distribution middleware", *Computer Standards and Interfaces*, Elsevier, Volume 34, Issue 1, págs. 203–211, 2012.
- [9] H. Pérez, y J. J. Gutiérrez, "Modeling the QoS parameters of DDS for event-driven real-time applications" *Journal of Systems and Software*, Volume 104, págs. 126-140, 2015
- [10] H. Pérez, y J. J. Gutiérrez, "Enabling data-centric distribution technology for partitioned embedded systems", *IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems*, Vol. 27(11), págs. 3186-3198, 2016.
- [11] H. Pérez, J. J. Gutiérrez, S. Peiró, y A. Crespo. "Distributed architecture for developing mixed-criticality systems in multi-core platforms". *The Journal of Systems and Software*, Vol. 123, Elsevier, págs. 145-159, 2017.
- [12] H. Pérez, y J. J. Gutiérrez, "Handling heterogeneous partitioned systems through ARINC-653 and DDS". *Computer Standards & Interfaces*, Vol. 50, Elsevier, págs. 258-268, 2017.
- [13] Object Management Group. "A UML Profile for MARTE: Modeling and Analysis of Real-Time Embedded Systems", v1.1. <http://www.omg.org/spec/MARTE/1.1/>. 2011.
- [14] L. Rioux, R. Henia, N. Sordon, M. González Harbour, J.J. Gutiérrez, J.M. Rivas, C. Cuevas, J.M. Drake, y J.L. Medina, "Schedulability analysis and optimization in a model-based integrated tool-chain: Synthetic MARTE models for optimizing real-time design with MAST and TEMPO" *Conf. on Forum on specification & Design Languages, Demo Night Session*, Spain, 2015.
- [15] J. L. Poza, J. L. Posadas, y J.E. Simó. "From the Queue to the Quality of Service Policy: A Middleware Implementation". *Proc. of the Int. Conference on Artificial Neural Networks*, Berlin, 2009.
- [16] Airlines Electronic Engineering Committee, Aeronautical Radio INC. "Aircraft Data Network, Part 7 - Avionics Full Duplex Switched Ethernet (AFDX) Network". ARINC Specification 664-7. September, 2009.
- [17] J.C. Palencia, M. González Harbour, J.J. Gutiérrez, y J.M. Rivas. "Response-Time Analysis in Hierarchically-Scheduled Time-Partitioned Distributed Systems". *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 28(7), págs. 2017-2030, 2017.
- [18] J.J. Gutiérrez, J.C. Palencia, y M. González Harbour. "Holistic schedulability analysis for multipacket messages in AFDX networks". *Journal of Real-Time Systems* 50(2), Springer, págs. 230-269, 2014.
- [19] RTI Connex DDS Micro is available at <http://www.rti.com>. Last access in June, 2017.
- [20] M. Aldea y M. González. "MaRTE OS: An Ada Kernel for Real-Time Embedded Applications". *Proc. of the Int. Conference on Reliable Software Technologies, Ada-Europe*, Leuven, Belgium, LNCS 2043. 2001.
- [21] M. Masmano, I. Ripoll, A. Crespo, y J.J. Metge, "Xtratum a hypervisor for safety critical embedded systems", *Proc. of the 11th Real-Time Linux Workshop*, Germany, 2009.
- [22] IEEE Portable Application Standards Committee (PASC). "Standard for Information Technology-Portable Operating System Interface (POSIX) Realtime and Embedded Application Support", Std. 1003.13. 2003.
- [23] H. Pérez, M. Aldea y D. Medina, "Multiprocessor platform for partitioned real-time systems", *Software: Practice and Experience*, In Press, doi: 10.1002/spe.2404, 2016.