

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Sistemas de Tiempo Real

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

Visión por Computador

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

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

Control de la Ejecución en Sistemas de Criticidad Mixta

A. Crespo, P. Balbastre, J. Simó
 Universitat Politècnica de València, (acrespo,patricia,jsimo)@ai2.upv.es

J. Coronel
 FentISS, (jcoronel@fentiss.com)

Resumen

En sistemas de tiempo real y, en general, en sistemas críticos, hay una tendencia en alza en utilizar aplicaciones con diferentes niveles de criticidad. Las soluciones basadas en hipervisores son una forma de implementar sistemas de criticidad mixta ya que proporcionan aislamiento temporal y espacial. Sin embargo, la ejecución de una partición puede ser afectada por la ejecución en otros núcleos, lo que se conoce comúnmente como interferencias, poniendo en peligro la ejecución en el tiempo especificado. En este artículo se intenta contribuir dando soluciones realistas a este problema. Se propone una solución de control de la planificación con dos controladores al nivel del hipervisor. Uno de los controladores está orientado a limitar el uso de recursos compartidos a través de la limitación en el uso de los buses en los núcleos no críticos. El otro controlador mide la actividad del núcleo crítico y toma decisiones sobre la ejecución de los núcleos no críticos.

Palabras clave: Hipervisor, sistemas de criticidad mixta, control retroalimentado.

1. Introducción

En sistemas de tiempo real y, en general, en sistemas críticos, hay una tendencia en alza en utilizar aplicaciones con diferentes niveles de criticidad donde varios componentes con diferentes restricciones temporales se integran conjuntamente en una misma plataforma [7]. Las razones detrás de esta tendencia son principalmente no funcionales: reducir costes, volumen, peso y potencia consumida para diferentes sectores como el del control industrial, aviónica, espacio y automóvil por citar sólo algunos. Las capacidades de procesamiento que los sistemas multiprocesador empotrados pueden alcanzar permite unificar en la misma plataforma hardware cada vez más funcionalidades y aplicaciones. En ambos casos, hay una necesidad de integración de aplicaciones críticas y no críticas. Esta integración es conocida actualmente en la comunidad de tiempo real como sistemas de cri-

ticidad mixta [5].

Desde el punto de vista de la arquitectura software, hay una tendencia en utilizar técnicas de virtualización para proporcionar aislamiento temporal y espacial a las arquitecturas particionadas. Esta técnica se utilizó por primera vez en el sector de la aviónica[17] y se extendió posteriormente al sector espacial[18]. El soporte de virtualización de las particiones es proporcionada por el hipervisor. Los hipervisores son capas de software que aprovechan las funcionalidades del hardware para establecer entornos de ejecución independientes. Esta tendencia se ha ido extendiendo y actualmente la mayoría de los procesadores ofrecen soporte de virtualización añadiendo un nivel más al modo de operación del procesador.

Las soluciones basadas en hipervisores son una forma de implementar sistemas de criticidad mixta, especialmente en sistemas multi núcleo. Las principales propiedades del hipervisor tiene que ver con el aislamiento temporal y espacial de las particiones software que se ejecutan por encima del hipervisor. Una partición se define como un entorno de ejecución que contiene una aplicación y su propio sistema operativo ejecutándose en su espacio de memoria propio. Los mecanismos del hipervisor proporcionan servicios para virtualizar los recursos hardware a las particiones. El hipervisor Xtra-tuM [9] es un hipervisor bare-metal para sistemas empotrados desarrollado en varios proyectos europeos [16] [10] y se está utilizando actualmente en varias misiones en el sector espacial.

Unos de los puntos cruciales en los sistemas críticos multi-núcleo es el aislamiento temporal. A este respecto, el hipervisor puede garantizar recursos temporales exactos y predecibles a las particiones. Sin embargo, la ejecución de una partición puede ser afectada por la ejecución en otros núcleos, lo que se conoce comúnmente como interferencias. Este problema, debido al uso de recursos compartidos, puede afectar a la ejecución de una partición crítica poniendo en peligro la ejecución en el tiempo especificado. Por tanto, estas interferencias introducen un factor de impredecibilidad en la ejecución de una tarea crítica y no permite estimar un límite superior en el tiempo de ejecución

de peor caso (WCET), introduciendo anomalías temporales [14].

En este artículo, nos centraremos en el control de la ejecución de sistemas particionados de criticidad mixta sobre un hipervisor. Se propone una solución de control de la planificación con dos controladores al nivel del hipervisor. el resto del artículo se organiza de la siguiente forma: el apartado 2 cuenta el estado del arte en este área. El apartado 3 describe los contadores de prestaciones utilizados por el hipervisor para definir el control. En el apartado 5 se presentan los objetivos del controlador y los mecanismos utilizados. El apartado 6 describe el ámbito de ejecución de los controladores. El apartado 7 presenta los resultados de los experimentos realizados sobre una plataforma multi núcleo. Finalmente, en el apartado 8 se comentan las conclusiones y el trabajo futuro.

2. Estado del arte

Hay muchos trabajos que han abordado el problema de los recursos compartidos en sistemas multi núcleo. En [1], se analiza el impacto de los buses compartidos, caches y otros recursos y sobre predicción de prestaciones.

En [6], se propone un protocolo de bus basado en TDMA junto con un segundo protocolo dinámico que facilita la integración de sistemas de criticidad mixta libre de interferencias.

En [12] se presenta un controlador de acceso a recursos compartidos por las tareas en ejecución. En [20], se define un mecanismo de protección de memoria que regula los accesos a la misma. En [13], se propone un controlador distribuido que para las tareas de baja criticidad cada vez que detecta que su ejecución puede hacer perder plazos a tareas de alta criticidad. En [19] se propone una infraestructura de planificación que utiliza contadores de prestaciones para calcular la latencia media de acceso a memoria.

Por otro lado, las técnicas de control y planificación controlan el uso de los recursos de una plataforma computacional por medio de controladores que actúan sobre las tareas en ejecución. Se han definido muchas estrategias en este sentido, entre otras: optimización del periodo [2], memoria como recurso compartido [15], ajuste de los periodos de las tareas para minimizar el hiperperiodo [3].

3. Contadores de monitorización de prestaciones

Los procesadores actuales proporcionan mecanismos para monitorizar el funcionamiento del sis-

tema, ofreciendo contadores de eventos que pueden ser leídos por las aplicaciones o los sistemas operativos. El monitor de prestaciones (Performance Monitor, PM) es un dispositivo que proporciona este mecanismo en el procesador multi núcleo PowerPC T2080 en la placa NXP QorIQ T2080RDB [11]. El procesador T2080 incluye cuatro núcleos de 64 bits e6500. El núcleo e6500 incluye un PM que proporciona un conjunto de PMCs (contadores de monitorización de prestaciones) para definir, habilitar y contar ciertas condiciones que pueden disparar la interrupción del monitor de prestaciones. Cada core puede configurar hasta seis contadores de 32 bits para almacenar eventos específicos.

Adicionalmente, el T2080 proporciona extensiones de hardware para virtualización y define un modo hipervisor que permite la ejecución del hipervisor. XtratuM ha sido portado a este procesador y proporciona virtualización completa, manejando los PMCs para almacenar eventos concretos durante la ejecución. Utilizando el PM, XtratuM proporciona la habilidad de contar eventos predefinidos por núcleo asociados con operaciones específicos, como ciclos de procesador, instrucciones ejecutadas, pérdidas de chace L1 y L2, accesos a bus de datos e instrucciones, etc.

Para cada contador se puede definir un umbral para disparar los eventos cuando un cierto valor es alcanzado. Los contadores pueden ser habilitados o deshabilitados según la necesidad del hipervisor o de las aplicaciones.

4. Planificación de hipervisor

XtratuM es un hipervisor bare-metal específicamente diseñado para sistemas empotrados de tiempo real, ofreciendo para-virtualización o virtualización completa dependiendo del soporte del hardware.

Xtratum define el concepto de CPU (núcleo) virtual (vCPU), las cuales son abstracciones que modelan el comportamiento de la CPU y pueden ser asignadas a las CPUs reales. XtratuM abstrae tantas vCPUS como núcleos físicos existan. Las particiones pueden ser mono núcleo o multi núcleo (utiilizan una o varias vCPUs). La asignación de vCPUS a CPUs se especifica en el fichero de configuración donde se define el sistema completo: hardware, dispositivos, planificación temporal, canales de comunicación, etc.

Una partición puede ser una aplicación compilada para ejecutarse sobre máquina desnuda, una aplicación de tiempo real con su propio sistema operativo de tiempo real o una aplicación ejecutándose sobre un sistema operativo de propósito

general. Las aplicaciones multi núcleo requieren un sistema operativo SMP y asignar varias CPUs a la partición.

La arquitectura software de un sistema particionado multi núcleo se muestra en la Figura 1. En la figura se muestra un sistema integrado por 5 particiones mono núcleo y una partición multi núcleo. También se muestra la asignación de núcleos virtuales a núcleos reales. P0 y P1 se asignan a la CPU0, P3 y P4 a la CPU1, P5 a la CPU2 y las dos vCPUs de P6 a las CPU2 y CPU3 respectivamente. Todas las tareas de una partición se ejecutan en su CPU asignada. La partición SMP planifica internamente qué tareas se asignan a cada vCPU y, en consecuencia, en qué CPU real se ejecutan.

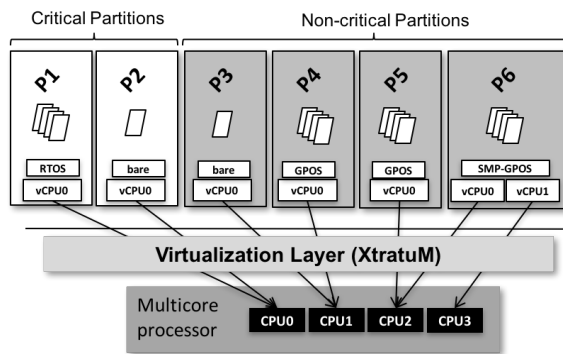


Figura 1: Arquitectura particionada en plataforma multi núcleo

La generación del plan cíclico debe considerar el impacto de los recursos compartidos (accesos a bus, caches L2, memoria, etc) en la ejecución de las tareas. En la herramienta Xoncrete [4] se implementan estas técnicas de planificación. En [8], se define una metodología para generar planes cíclicos en sistemas multi núcleo de criticidad mixta.

El número de núcleos se determina calculando la utilización de cada partición y asignando las particiones a los núcleos mediante técnicas de bin-packing.

El plan generado se caracteriza por:

- Todas las particiones críticas se asignan a un subconjunto de núcleos llamados CC.
- Las particiones no críticas se asignan a otro subconjunto llamado NCC.
- Cada tarea en una partición tiene asignado su propio slot en un núcleo.
- Se considera el tiempo de ejecución de peor caso incrementado por un factor que tiene en cuenta la interferencia entre núcleos.

En este artículo se asume que las particiones críticas están alojadas en un solo núcleo mientras que las no críticas pueden estar en varios núcleos. Sin embargo, el esquema de control propuesto es compatible con la ejecución de particiones no críticas en el núcleo crítico CC. Como trabajo futuro se considerarán más de un CC.

5. Controladores de ejecución

El objetivo de los controladores es limitar la interferencia producida por las aplicaciones de los núcleos no críticos (NCP) sobre el crítico (CP).

Las aplicaciones críticas ejecutándose en los núcleos críticos tienen que asegurar el cumplimiento de las restricciones temporales y, en consecuencia, los controladores no pueden actuar directamente sobre su ejecución. Sin embargo, los núcleos no críticos pueden suspender su ejecución durante los intervalos en que su ejecución comprometa las aplicaciones críticas.

La figura 2 muestra el esquema de control propuesto.

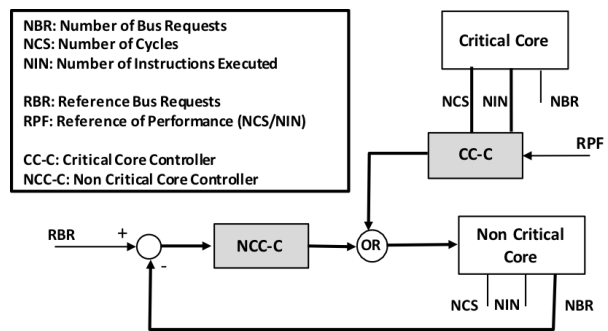


Figura 2: Esquema de control

Inicialmente, se consideraran 2 núcleos. El C_0 ejecuta particiones críticas y el C_1 las aplicaciones no críticas. El núcleo no crítico (NCC) lee las peticiones de bus y las compara con una referencia determinada. Cuando la lectura excede la referencia, se toma la acción sobre el NCC. En cambio, el núcleo crítico lee los ciclos e instrucciones de la unidad de prestaciones y calcula la relación de ciclos por instrucción (CPI) y si excede la referencia, se toma una acción sobre el núcleo no crítico.

Ambos controladores son basados en eventos con el fin de limitar las ejecuciones del hipervisor y por lo tanto reducir la sobrecarga del sistema. Esto se puede conseguir debido a que los contadores de prestaciones se pueden configurar para generar una interrupción sobre el núcleo correspondiente cuando se alcanza un valor limite que es la referencia.

6. Ámbito de actuación de los controladores

Se asume, por simplicidad, que se dispone de 2 núcleos y 4 particiones. P0 y P1 se consideran críticas y P2 y P3 no críticas.

La implementación de los controladores se realiza a nivel de hipervisor. Para definir su comportamiento se definen un conjunto de requisitos.

Req1 : Si un núcleo crítico está inactivo, su controlador esta deshabilitado.

Req2 : Al empezar la ejecución de una ranura de tiempo de una partición crítica, se activan ambos controladores

Req3 : Cuando el controlador del núcleo crítico toma la acción de suspender la actividad del no crítico, la ejecución de la partición actual y futuras se suspenden.

Req4 : Cuando el controlador del núcleo no crítico toma la acción de suspenderse, la ejecución de la partición actual se suspende hasta que se reanude externamente.

Req5 : Cuando una partición crítica finaliza su ejecución, los controladores se deshabilitan y se reanuda la actividad suspendida en los núcleos no críticos.

Req6 : Las comunicaciones entre núcleos se realizan mediante interrupciones entre núcleos (IPIs).

Req7 : Las decisiones y acciones a tomar han de ser simples con el fin de reducir la sobrecarga del hipervisor.

Req8 : Los controladores estarán basados en eventos con el fin de acotar el número de interrupciones.

En conclusión, el ámbito de los controladores de núcleo crítico será la ranura de tiempo de su ejecución. Los controladores de los núcleo no críticos será el mismo que el del anterior.

La figura 3 muestra un posible escenario de ejecución y activación de los controladores. La evolución de los contadores de prestaciones se muestra como ejemplo en la figura.

Durante la inicialización del hipervisor, se identifican los núcleos disponibles y se crea un hilo de ejecución interno para cada núcleo (HT0 and HT1). En t_0 , HT0 detecta el inicio de P0 e identifica (definido en la configuración) que es crítica y habilita los controladores definiendo los valores de referencia de estos. Al mismo tiempo, en t_0 , HT1

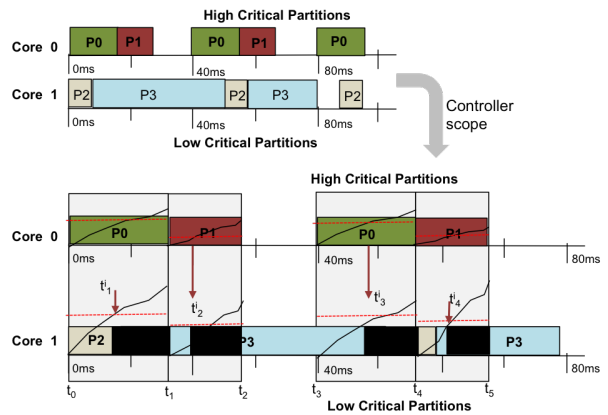


Figura 3: Controller scope

empieza la ejecución de P2 recibiendo una IPI de C_0 que indica que lo habilita. En el intervalo $[t_0, t_1^i]$, HT0 recibe varias interrupciones del contador de instrucciones y calcula el valor del CPI. Cuando este valor sea superior a la referencia suspenderá la actividad del C_1 (t_1^i).

En t_1 , P0 termina y envía una IPI a C_1 para que reanude su ejecución. En t_2^i , como consecuencia de la interrupción y del cálculo del PCI, se suspende el C_1 .

En t_2 , HT0 termina y envía la IPI para que C_1 reanude la ejecución. HT0 lee la siguiente ranura de tiempo y detecta que en el instante t_3 se iniciará. De la misma manera, la acción en t_3^i es suspender, mientras que en t_4^i , C_1 se autosuspende.

El escenario anterior se puede extender a multiples núcleos no críticos. Cada uno de éstos tiene su propio controlador local. La acción tomada por el crítico de suspender la actividad afecta a todos los no críticos. Asimismo, la acción de reanudar la ejecución es para todos ellos.

La figura 4 muestra el esquema de controladores para múltiples núcleos no críticos.

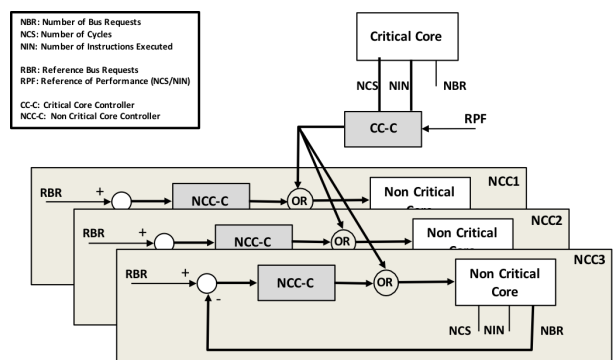


Figura 4: Esquema controladores para múltiples núcleos no críticos

7. Experimentación

En esta sección se detallan los escenarios evaluados y la influencia de los controladores. Después de un detallado análisis de los contadores de prestaciones, se han seleccionado 3 eventos para la implementación. Estos eventos son: `PME_PROCESSOR_CYCLES` que cuenta el número de ciclos, `PME_INSTR_COMPLETED` que cuenta el número de instrucciones ejecutadas y `BIU_MASTER_REQUESTS` que indica el número de peticiones de acceso a bus. Los eventos pueden contar cuando el procesador está en modo usuario, núcleo o hipervisor.

Estos escenarios se han ejecutado en la plataforma T2080 con una partición crítica (*CPart*) y de 0 a 3 particiones no críticas en los otros núcleos. Las particiones no críticas se consideran que van a interferir en la crítica y se identifican como dummies. El solapamiento entre la crítica y las no críticas varía en los experimentos con el fin de mostrar distintas situaciones y las acciones tomadas. El objetivo es medir el tiempo de respuesta de la partición crítica comparando su ejecución de forma aislada con su ejecución cuando hay otros núcleos en ejecución. Se han definido cuatro escenarios: *SC1* los controladores no están activos, *SC2* utiliza controladores locales, *SC3* usa el controlador del núcleo crítico y *SC4* utiliza ambos tipos. En las gráficas se identifican las gráficas mediante el número de particiones (dummy) no críticas en ejecución (n-D) y el intervalo de tiempo en el que se ejecutan.

7.1. Evaluación de escenarios

La figura 5 muestra la ejecución de *CPart* en todas las situaciones. El eje X representa el tiempo en milisegundos (aunque se leen los ciclos del procesador) mientras que el eje Y presenta las instrucciones ejecutadas.

En esta situación, *CPart* termina su ejecución después de 278ms si no hay interferencia. Cuando se ejecuta con 1,2 y 3 particiones en otros núcleos, su tiempo de ejecución es 409, 591 y 802 milisegundos, respectivamente.

La figura 6 muestra lo mismo que lo anterior pero con los controladores locales de los núcleos no críticos activados. La referencia puesta al *C_1* cuando se ejecuta 1 partición no crítica no es alcanzada por lo que se ejecuta sin suspensión. Cuando se ejecutan 2 particiones, *C1* y *C2* se suspenden en los instantes 426 y 477 ms, respectivamente. Cuando son 3 no críticas, las suspensiones se producen en los instantes 413, 426 and 478 ms, respectivamente.

La figura 7 muestra la ejecución del escenario *SC3*

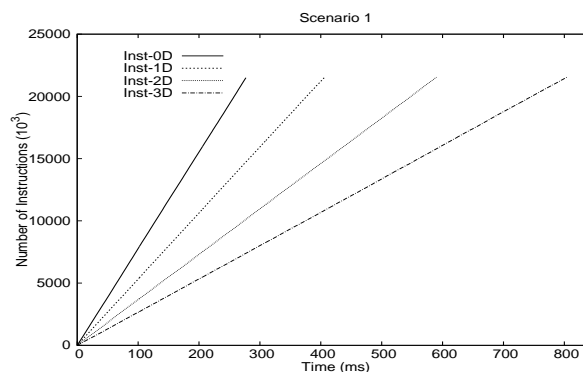


Figura 5: Todos los controladores están desactivados.

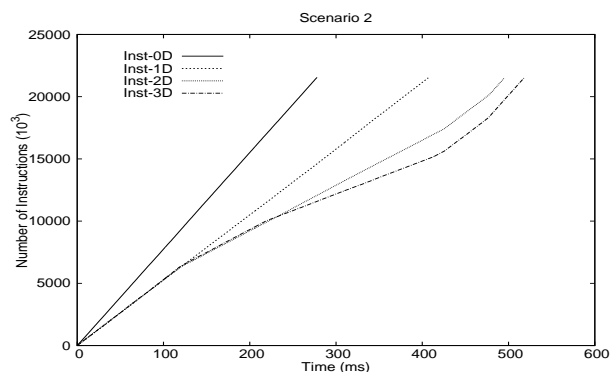


Figura 6: Los controladores locales están activados

con el controlador del núcleo crítico activado. En este caso, en el instante 205 ms suspende la actividad de *C1* cuando sólo hay otro núcleo activo, en 245 ms cuando hay dos y en 252 ms cuando hay tres. En este caso, la suspensión es de todos los núcleos no críticos.

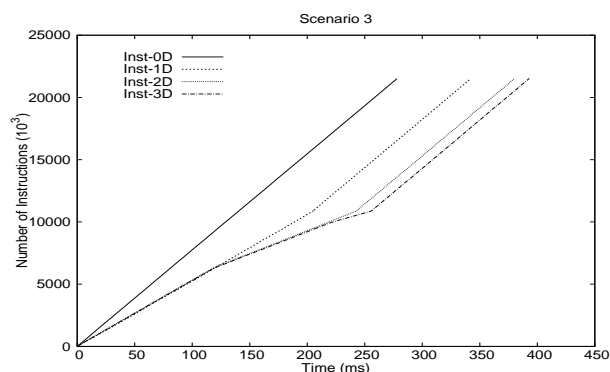


Figura 7: El Controlador crítico está activado

La figura 8 corresponde con el escenario *SC4*. En este caso, también es el controlador del núcleo crítico el que toma la decisión antes de los locales. En 206, 130 y 122 ms, se suspenden cuando hay 1, 2 o 3 núcleos no activos.

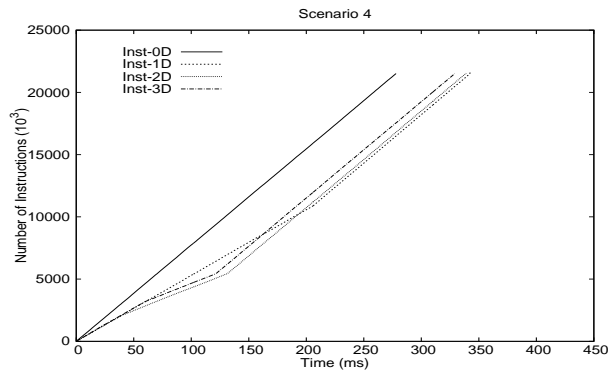


Figura 8: El controlador crítico y los locales activados

La conclusión de esta experimentación es que es posible controlar la ejecución de las actividades críticas en un sistema multi-núcleo. No obstante, es necesaria una identificación de estas actividades que permita determinar los parámetros apropiados de referencia para los controladores.

8. Conclusiones

En este artículo se ha propuesto un controlador implementado a nivel del hipervisor para controlar la ejecución de aplicaciones críticas en una plataforma multi núcleo. Se ha definido también el ámbito y el esquema del controlador, siendo este efectivo sólo cuando se están ejecutando las aplicaciones críticas. Las acciones de control sobre las aplicaciones críticas son simples: suspender la ejecución de los núcleos dedicados a las aplicaciones no críticas. Esto es debido a que las acciones a tomar por el hipervisor deben ser extremadamente sencillas de cara a facilitar una futura certificación y a evitar decisiones complejas que puedan incrementar la sobrecarga de tiempo de ejecución.

El trabajo futuro se centra en el ajuste del controlador y en cómo los parámetros de las particiones pueden tenerse en cuenta en el fichero de configuración del sistema para permitir al hipervisor definir las referencias más adecuadas para los controladores.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco de los proyectos de investigación M2C2 (TIN2014-56158-C4-01/02) y PROMETEOII/2014/031 (Generalitat Valenciana).

Referencias

[1] A. Abel and et al. Impact of resource sharing on performance and performance prediction: A survey. In Proc. 24th Int. Conf CONCUR

2013, Buenos Aires, Argentina, Aug. 27-30., pages 25–43, 2013.

- [2] E. Bini and M. D. Natale. Optimal task rate selection in fixed priority systems. In Proceedings of the 26th IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS 2005), 6-8 Dec. 2005, Miami, FL, USA, pages 399–409, 2005.
- [3] V. Brocal, P. Balbastre, R. Ballester, and I. Ripoll. Task period selection to minimize hyperperiod. In IEEE 16th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation, ETFA 2011, Toulouse, France, Sept. 5-9, 2011, pages 1–4, 2011.
- [4] V. Brocal, R. Masmano, I. Ripoll, A. Crespo, and P. Balbastre. Xconcrete: a scheduling tool for partitioned real-time systems. In Embedded Real-Time Software and Systems, 2010.
- [5] A. Burns and R. I. Davis. Mixed criticality systems - a review, Ed. 2017. Univ. York. Internal Report.
- [6] B. Cilku, A. Crespo, P. Puschner, J. Coronel, and S. Peiro. A tdma-based arbitration scheme for mixed-criticality multicore platforms. In Int. Conf. on Event-based Control, Communication and Signal Processing (EBCCSP), pp: 17-19, 2015. Krakow. Poland, 2015.
- [7] E. Commision. Workshop on Mixed Criticality Systems, 2012. Brussels. cordis.europa.eu/fp7/ict/computing/homeen.html.
- [8] A. Crespo, P. Balbastre, J. Simo, and P. Albertos. Static scheduling generation for multicore partitioned systems. In Lecture Notes in Electrical Engineering. Vol. 376., pages 511–522, 2016. Int. Conf. on Information Science and Applications, ICISA 2016, Ho Chi Min, Vietnam, Feb 2016.
- [9] A. Crespo, I. Ripoll, S. Peiró, and R. Masmano. Partitioned embedded architecture based on hypervisor: Then XtratatuM approach. In EDCC, pages 67–72, 2010.
- [10] DREAMS. Distributed real-time architecture for mixed criticality systems, 2013. EU FP7-ICT-610640 2013-17.
- [11] I. Freescale Semiconductors. E6500rm, e6500 core reference manual - reference manual, Mon Jun 9 19:06:06 2014.
- [12] S. Girbal, X. Jean, J. L. Rhun, D. Gracia Pérez, and M. Gatti. Deterministic platform

software for hard real-time systems using multi-core cots. In 34th Digital Avionics Systems Conference (DASC'2015), Prague, Czech Republic, 2015. Thales Research & Technology.

- [13] A. Kritikakou, C. Rochange, M. Faugère, C. Pagetti, M. Roy, S. Girbal, and D. Gracia Pérez. Distributed run-time WCET controller for concurrent critical tasks in mixed-critical systems. In 22nd International Conference on Real-Time Networks and Systems, RTNS 2014, Versailles, France, October 8-10, 2014, page 139, 2014.
- [14] T. Lundqvist and P. Stenström. Timing anomalies in dynamically scheduled microprocessors. In IEEE Real-Time Systems Symposium, pages 12–21, 1999.
- [15] A. Marchand, P. Balbastre, I. Ripoll, R. Masmano, and A. Crespo. Memory resource management for real-time systems. In 19th Euromicro Conf. on Real-Time Systems, ECRTS'07, 4-6 July 2007, Pisa, Italy, pages 201–210, 2007.
- [16] MultiPARTES. Multi-cores partitioning for trusted embedded systems, 2011. EU FP7-ICT-287702 2011-14.
- [17] J. Rushby. Partitioning in avionics architectures: Requirements, mechanisms, and assurance, 1999.
- [18] J. Windsor and K. Hjortnaes. Time and space partitioning in spacecraft avionics. Space Mission Challenges for Information Technology, 0:13–20, 2009.
- [19] Y. Ye, R. West, J. Zhang, and Z. Cheng. MARACAS: A real-time multicore VCPU scheduling framework. In 2016 IEEE Real-Time Systems Symposium, RTSS 2016, Porto, Portugal, November 29 - December 2, 2016, pages 179–190, 2016.
- [20] H. Yun, G. Yao, R. Pellizzoni, M. Caccamo, and L. Sha. Memguard: Memory bandwidth reservation system for efficient performance isolation in multi-core platforms. In 19th IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, RTAS 2013, Philadelphia, PA, USA, April 9-11, 2013, pages 55–64, 2013.