

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



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. Zamarréño, 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>	

Ingeniería Conducida por Modelos en Sistemas de Automatización Flexibles

R. Priego*, E. Estévez**, D. Orive*, I. Sarachaga*, M. Marcos*

*Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática, UPV/EHU, España

email: {rafael.priego, dario.orive, sabel.sarachaga, marga.marcos}@ehu.eus

**Dpto. Ingeniería Electrónica y Automática, EPS de Jaén, España

email: eestevez@ujaen.es

Resumen

Los sistemas de automatización industrial actuales tienen que hacer frente a los desafíos que surgen al tratar de solventar las necesidades generadas por un mercado altamente competitivo. Por ello, los sistemas de automatización modernos tratan de ofrecer soluciones más flexibles y eficientes con objeto de satisfacer requisitos como: eficiencia energética, optimización de rendimiento y/o tolerancia a fallos en el proceso o controlador. El hecho de añadir mecanismos de reconfiguración en este tipo de sistemas permite alcanzar muchos de estos requisitos pero a cambio de incrementar la complejidad en diseño e implementación. Este trabajo explora las ventajas de la Ingeniería Conducida por Modelos para manejar dicha complejidad. En concreto, se presenta una plataforma basada en modelos que ayuda y guía en el diseño y desarrollo de sistemas de automatización flexibles. La aproximación propuesta está fundamentada en dos estándares muy aceptados en el sector de la automatización: AutomationML e IEC 61131-3.

Palabras Clave: Sistemas de Automatización Flexibles, Ingeniería Conducida por Modelos, AutomationML, IEC 61131-3, PLCopen.

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente, instituciones públicas de países como Alemania [4], Estados Unidos [7] e incluso a nivel de Europa [16] están haciendo una apuesta en la automatización industrial con objeto de fomentar la innovación, empleo y crecimiento económico. Estas iniciativas persiguen la satisfacción de requisitos de integración, reutilización, flexibilidad así como la optimización del proceso de fabricación mediante soluciones de alta tecnología fundamentadas en equipos y sistemas adaptables e inteligentes [2].

En este contexto, los sistemas de automatización han comenzado a soportar mecanismos de reconfiguración dinámica con objeto de garantizar

requisitos no funcionales entre los que se encuentran aquellas propiedades que hacen que los productos sean más atractivos, utilizables, fiables o seguros sin modificar la funcionalidad del producto.

El término de reconfiguración se puede utilizar para referirse o representar diferentes situaciones [18], [12], [24]. Este trabajo usa dicho término como la capacidad de reubicar las diferentes funcionalidades sobre el sistema de control distribuido con objeto de optimizar algún tipo de calidad de servicio. Por ejemplo: rendimiento del controlador [6], consumo de la batería [8] o la continuidad del servicio a pesar de fallo en el controlador o en la red [14], [19].

Sin embargo, la integración de los mecanismos de reconfiguración dentro de los sistemas de producción de automatización implica un aumento de su complejidad en términos de tamaño, funcionalidad y distribución, lo que hace que su diseño y desarrollo sean más complejos. En este contexto, se ha demostrado que el uso de la Ingeniería Conducida por Modelos (MDE- Model Driven Engineering) es adecuado para guiar y ayudar en las fases de diseño, desarrollo e implementación de sistemas complejos [17].

El uso de MDE en la automatización industrial no es nuevo [5], [9], [11], [20], [21], [23]. En los últimos años, se han publicado trabajos que hacen uso de estas técnicas para extender la caracterización de los sistemas (e.g. controladores, máquina, Unidades de programación POU-Program Organization Units- ...) para poder soportar el concepto de reconfiguración. [10] caracteriza la vista del software con información relacionada a las demandas de recursos (cantidad de memoria y número de bytes intercambiados con otros bloques de función FB) y esta información se utiliza para decidir los nodos del sistema en los que se desplieguen los FB. [22] introduce requisitos funcionales y no funcionales como restricción en las diferentes vistas de producción del sistema de automatización, comenzando por los sensores y actuadores hasta la planta completa. [3] presenta una caracterización de requisitos no funcionales basada en aspectos para sistemas de control embebidos.

El objetivo de este trabajo va un paso más allá de los trabajos comentados anteriormente. Se presenta una plataforma basada en modelos que permite generar

los mecanismos necesarios para asegurar una determinada calidad de servicio a los sistemas de automatización. Se trata de una plataforma construida a partir de dos estándares bien aceptados en el sector que además tienen notación de Lenguaje de Marcado (ML-Markup Language), como son: AutomationML [1] y PLCOpenXML [13]. Por lo tanto, las contribuciones de dicho trabajo son: (1) una aproximación de modelado que captura la información relevante del proceso de producción y el sistema distribuido de automatización, así como, cómo pasarlo a información valiosa para la plataforma de gestión en tiempo de ejecución; (2) un conjunto de herramientas que implementa la aproximación añadiendo flexibilidad a los sistemas de automatización originales, soportando una reconfiguración dinámica del sistema de control.

La estructura del trabajo es la siguiente: la sección 2 presenta una aproximación basada en AutomationML para modelar sistemas de automatización flexibles. Las secciones 3 y 4 se centran en la generación automática de código. Concretamente, la sección 3 detalla la generación de proyectos de automatización flexibles, mientras que la sección 4 detalla el procedimiento a seguir para la generación de código dependiente de la aplicación. La sección 5 presenta un caso de estudio y finalmente las conclusiones más relevantes se detallan en la sección 6.

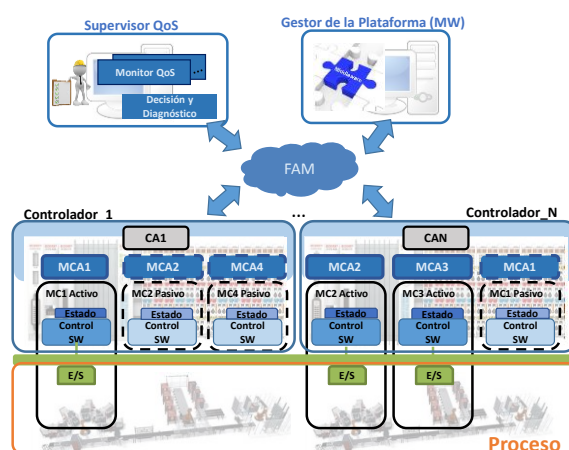
2 DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN RECONFIGURABLE

Esta sección en primer lugar define lo que se entiende por un sistema de automatización reconfigurable y posteriormente propone las pautas de su diseño haciendo uso de MDE y del estándar AutomationML.

2.1 SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN RECONFIGURABLE

Los módulos que forman un sistema de automatización reconfigurable son los siguientes:

- Controladores autómatas programables (PLC-Programmable Logic Controller) distribuidos.
- Componentes Mecatrónicos (MC- Mechatronic Components). Cada MC gestiona una parte del proceso (mecánica, eléctrica y electrónica) a través de instrumentación y hardware de control y una pieza de software que puede ejecutarse en diferentes PLCs.
- Plataforma de ejecución, responsable de garantizar el cumplimiento total de la calidad de servicio del sistema en tiempo de ejecución.



Agentes Dependientes de la aplicación: un CA por cada controlador (CA1..N) y un MCA por cada MC en el controlador

Fig. 1: Escenario general de un sistema de automatización reconfigurable

La Fig. 1 presenta el escenario general para los sistemas de automatización reconfigurables. Este trabajo adopta como plataforma de gestión FAM (Flexible Automation Middleware) que personaliza un MAS (Multi Agent System) genérico para monitorizar una determinada calidad de servicio (fallo de controlador, balance de carga...) lanzando una reconfiguración del sistema en caso de no estar cumpliéndose [15].

La reconfiguración implica desactivar componentes mecatrónicos en algunos controladores y activarlos en otros sin alterar la funcionalidad de la aplicación. Para poder activar y desactivar MCs, también se han de caracterizar por sus posibles modos de operación:

- **Estado no crítico:** aquellos estados donde el sistema de automatización sabe el estado actual del proceso, por lo que los MCs pueden ser activados en otro controlador con el estado inicial que sea el último estado conocido del MC desactivado.
- **Estado crítico:** aquellos estados donde el sistema de automatización no conoce exactamente el estado actual del MC. Los estados críticos inhiben la activación / desactivación de MCs para evitar comportamientos impredecibles del proceso. Por ejemplo después de fallo de controlador es necesario analizar si todos los MCs que se estaban ejecutando en él pueden ser recuperados en un estado previo conocido (*checkpoint*) o por el contrario no es posible y por lo tanto hay que parar al MC de forma segura y avisar al operario (*non-recovery*).

Finalmente es importante destacar que FAM también es responsable de asegurar que en ejecución todos los MCs de la aplicación estarán activos en un solo controlador. Para ello, incluye cuatro tipos de

agentes. Dos de ellos forman parte de la arquitectura básica para el manejo de calidad de servicio: (1) Gestor de la plataforma (MW) y (2) Supervisor que a su vez está formado por un agente de monitorización y un agente Decisión y Diagnóstico. Otros dos dependen de la aplicación de automatización: (3) Agente de Controlador (CA-Controller Agent) para registrar el controlador y sus recursos y (4) Agente de MC (MCA-Mechatronic Component Agent) para manejar la ejecución del MC. Tal y como se resalta en Fig. 1 habrá un CA por controlador y tantos MCAs como MCs tenga vinculados dicho controlador.

2.2 AML Y DISEÑO DEL SISTEMA

Los desarrolladores diseñan e implementan los sistemas de automatización como un conjunto de MCs que utilizan un conjunto de E/S, POU's y variables. Además, cada MC se caracteriza por un conjunto de intervalos críticos definidos por una condición. Dichos MCs se replican en los diferentes controladores del sistema.

Para facilitar el diseño de este tipo de sistemas, este trabajo ha hecho uso de AutomationML (AML) al que le ha añadido los mecanimos necesarios para que los desarrolladores puedan especificar las características de los MCs. De hecho, se ha definido una librería CAEX teniendo en cuenta los conceptos que aparecen en los sistemas de automatización flexibles. La Fig. 2 detalla la librería CAEX definida. La Fig. 3 presenta un ejemplo de diseño de un sistema de automatización flexible.

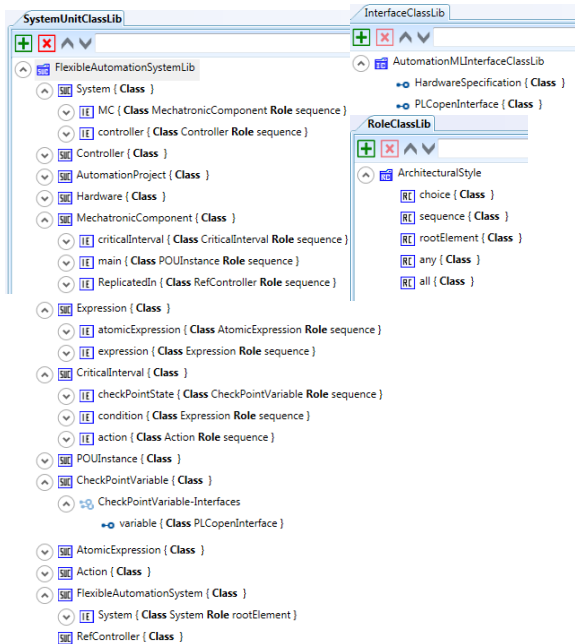


Fig. 2: Librería CAE para Sistemas de Automatización Flexibles

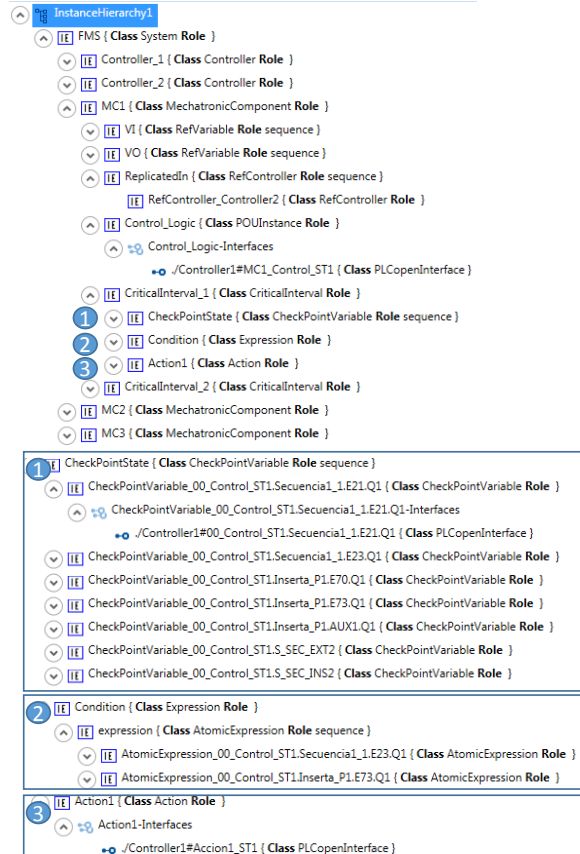


Fig. 3: Ejemplo de Diseño de un Sistema de Automatización Flexible

3 GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE UN PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN FLEXIBLE

Actualmente los entornos de ejecución estándar IEC 61131-3 no soportan despliegue dinámico de código en tiempo de ejecución por lo que impiden una reconfiguración de la aplicación. Para solventar esta limitación, los proyectos de automación flexibles (generados automáticamente) contendrán la lógica de control de todos los MCs que se puedan ejecutar en el controlador. Por eso, este trabajo cuando se hace referencia a reconfiguración implica la desactivación de un MC en un controlador y la activación en otro. Otro aspecto a tener en cuenta es la gestión de ejecución de los MCs. Dicha gestión la realiza su correspondiente MCA para lo cual necesita consultar y actualizar el estado del MC. Por tanto, un proyecto de automatización flexible contiene no solo la funcionalidad de los MCs sino todo el código que les proporciona la flexibilidad. Dicha flexibilidad implica la generación automática de tres POU's:

- MCid_Control: programa de control que maneja la ejecución de la lógica del MC.
- MCid_Serialize: programa que recoge y serializa el valor de las variables que forman el estado del MC.

- *MCid_Derialize*: programa que de-serializa y fija los valores de las variables que forman el estado del MC.

El Generador automático de los Proyectos de Automatización Flexibles recoge información del modelo AML y haciendo uso de técnicas M2M genera el proyecto final en formato PLCOpenXML.

Los siguientes sub-apartados detallan el procedimiento seguido.

3.1 PROGRAMA QUE GESTIONA LA EJECUCIÓN DEL MC (*MCid_Control*)

Este programa, que se generará de forma automática, permitirá al MCA correspondiente activar/desactivar la ejecución de la lógica así como lanzar las acciones de recuperación/parada del MC que gobierne. Como cualquier POU tiene dos partes bien diferenciadas: interfaz y cuerpo

La interfaz está compuesta por un conjunto de variables dependientes de la aplicación y tras locales estáticas que permiten al MCA gestionar la lógica de control de su MC. En concreto *isActive* y *wasActive* para gestionar la activación y desactivación del MC.

Para dar soporte a la QoS de disponibilidad de controlador, hacen falta además *recoveryAction* y *Action_CriticalIntervalID* que permiten lanzar las acciones de recuperación cuando sea necesario antes de activar el MC.

Por otro lado la estructura del código es la siguiente:

```
IF isActive=TRUE and wasActive=TRUE THEN
  MCid(); /* MC enriquecido */
  MCid_Serialize();
ELSE IF isActive=TRUE and wasActive=FALSE THEN
  CASE recoveryAction OF
  /* lista de valores en función del MC
   depende de los intervalos críticos del MC */
  END_CASE
ELSE IF isActive=FALSE and wasActive=TRUE THEN
  wasActive=FALSE;
END_IF
```

Finalmente, a través de una nueva regla de transformación se completa la lista de los posibles casos de activación del MC (*isActive=TRUE and wasActive=FALSE*). La siguiente tabla detalla las plantillas de código en ST (Structured Text) a añadir en cada caso.

Tabla 1: Plantillas de código para estados no críticos y críticos

Direct recovery	Check Point Recovery	Safe Stop
<pre>MCid_Deserialize(); MCid (); MCid_Serialize(); wasActive=TRUE;</pre>	<pre>MCid_Action_id(); IF(MCid_Action_id.end) THEN MCid_Deserialize(); MCid (); MCid_Serialize(); wasActive=TRUE; recoveryAction=0; END_IF</pre>	<pre>MCid_Action_id(); IF(MCid_Action_id.end) THEN recoveryAction=0; isActive=FALSE; END_IF</pre>

3.2 SERIALIZAR Y DE-SERIALIZAR EL ESTADO DEL MC

El programa serializar es capaz de reunir los estados de ejecución en una matriz de bytes, para que sea accesible por el MCA. Así mismo, el programa de-serializar sigue la misma estructura pero en lugar de recoger la información en un array, la extrae y re-escribe el valor de las variables de estado.

Por ello, la interfaz de estos POU será una variable local llamado *state* que será un array de bytes.

La funcionalidad ST del POU serializar es:

```
state[0]:=TypeOfGlobalVariable_TO_BYTE(GlobalVariable);
...
state[NumberOfBytes]:=TypeOfGlobalVariable_TO_BYTE(GlobalVariable);
```

Por otro lado la funcionalidad en ST del POU de-serializar:

```
GlobalVariableName=BYTE_TO_TypeOfGlobalVariable(state[0]);
...
GlobalVariableName = BYTE_TO_TypeOfGlobalVariable(state[NumberOfBytes]);
```

4 GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE AGENTES DE APLICACIÓN

Para la generación de los agentes dependientes de aplicación se ha definido una plantilla (en Java) para los MCAs y otra para los CAs. Dichas plantillas tienen una serie de propiedades dependientes de la aplicación que se rellenan automáticamente por el generador de código que extrae información pertinente del fichero AML.

Los siguientes sub-apartados detallan la generación de MCAs y CAs respectivamente.

4.1 AGENTES DE LOS COMPONENTES MECATRÓNICOS (MCA)

Como se detalla en [15], los MCAs implementan una máquina de estados finitos (FMS), concretamente con los estados: Boot, Active, Tracking, Wait Decision y End. La Fig. 4 ilustra a través de un diagrama de clases UML la estructura general de la plantilla que ha sido implementada como una FSM de JADE.

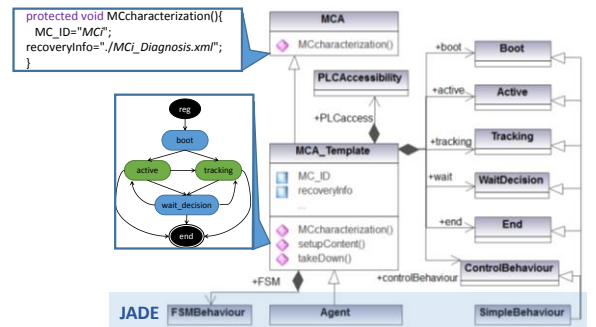


Fig. 4: Estructura general de MCA

Cada estado tiene asociada una funcionalidad implementada como dos Behaviors de JADE (SimpleBehavior). Por otro lado, PLCAccessibility proporciona acceso al código de MC en el PLC.

Tiene dos propiedades parametrizables: *MC_ID* que es el ID del MC y *recoveryInfo* que direcciona al conjunto de máscaras que definen los intervalos críticos del MC. La siguiente figura presentan la estructura de dicho fichero a través de un XML Schema.

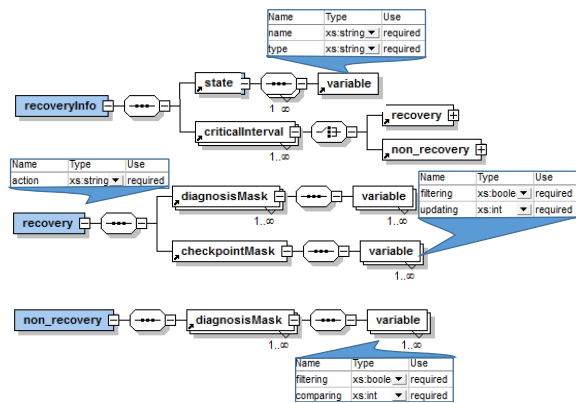


Fig. 5: Estructura general del fichero recovery.xml

Este fichero contiene información sobre las variables que forman el estado del MC, las máscaras para realizar el diagnóstico así como los checkpoint. Las máscaras de diagnóstico filtran las variables de estado relacionadas a la condición permitiendo así determinar el tipo de estado crítico (a checkpoint o irre recuperable).

4.2 AGENTES DE CONTROLADOR (CA)

Los CAs proporcionan información actualizada del estado de los recursos del controlador. Estos agentes también participan en el proceso de negociación cuando sea necesario. El criterio de negociación depende de la calidad de servicio que tenga asociada.

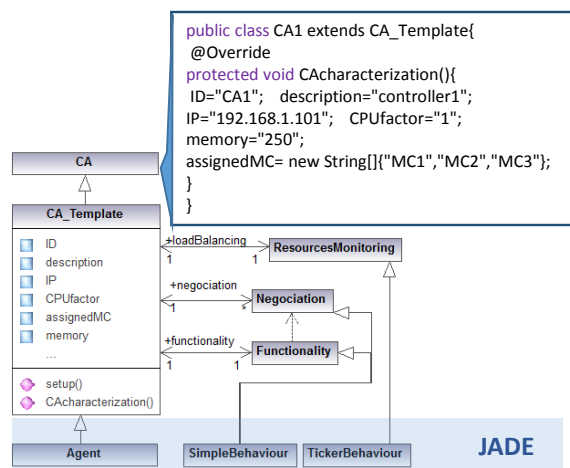


Fig. 6: Estructura general de la plantilla CA

La Fig. 6 detalla a través de un diagrama de clases UML la estructura general de la plantilla CA. La funcionalidad básica de CA se implemente en un “Behavior” cíclico que se gestiona los mensajes de los agentes de la plataforma. Por otro lado, el CA también implementa una monitorización de recursos del controlador. La plantilla definida tiene una serie de parámetros dependientes de la aplicación: ID, una descripción y un factor de CPU para tomar como referencia, recursos de memoria y la lista de MCs cuya lógica de control está vinculada al controlador (*AssignedMC*).

5 CASO DE ESTUDIO

La aproximación para el modelado y generación automática de proyectos de automatización flexibles propuesta en el presente trabajo ha sido aplicada con objeto de asegurar un balance de carga entre los controladores en un sistema de automatización como es la célula de fabricación flexible FMS-200. Esta célula consta de cuatro estaciones y un sistema de transporte que se encarga del ensamblado de 4 piezas (base, rodamiento, eje y tapa).

La primera estación se comprueba si la base está en la orientación correcta y si es así se coloca en el pallet situado en el sistema de transporte. En la segunda, se coloca el rodamiento y eje, mientras que la tapa se coloca en la tercera estación. Finalmente, la pieza montada se almacena en un almacén.

La célula está formada por 5 componentes mecánicos, uno por cada estación y otro para el sistema de transporte. Sin embargo, con objeto de simplificar la problemática únicamente se considerarán los MCs correspondientes a las tres primeras estaciones.

En lo referente al demostrador, éste está formado por dos controladores Beckhoff CX1020 donde se ejecutará la lógica de los MCs. Además estará dotado de un PC supervisor donde se ejecutarán el MW y el supervisor. La estación 1 tiene cinco intervalos críticos con sus correspondientes acciones que permiten que la estación continúe extrayendo las bases del almacén.

La Fig. 3 presenta parte de la especificación de los MCs indicados en el modelo AML, concretamente se resalta la caracterización del MC1.

Una vez aplicada las transformaciones indicadas en el trabajo se genera el proyecto de automatización flexible, los CAs y los MCAs junto con los ficheros de diagnóstico y se despliegan en los correspondientes controladores.

Por ejemplo, la siguiente figura ilustra parte del proyecto de automatización flexible generado para el controlador 1 en formato PLCopen XML. En rosa aparece remarcado los POU's procedentes de proyecto de automatización modular y en verde los POU's generados automáticamente.

id	name	pouType	interface	body
1	MC1_Control_ST1	program	interface	body
13	MC1_Action1_ST1	functionBlock	interface	body
14	MC1_Action2_ST1	functionBlock	interface	body
15	MC1_Serialize	program	interface	body
16	MC1_Deserialize	program	interface	body
17	MC1_EM	program	interface	body
18	MC2_Control_ST2	program	interface	body
31	MC2_Action1_ST2	functionBlock	interface	body
32	MC2_Action2_ST2	functionBlock	interface	body
33	MC2_Action3_ST2	functionBlock	interface	body
34	MC2_Action4_ST2	functionBlock	interface	body
35	MC2_Action5_ST2	functionBlock	interface	body
36	MC2_Action6_ST2	functionBlock	interface	body
37	MC2_Serialize	program	interface	body
38	MC2_Deserialize	program	interface	body
39	MC2_EM	program	interface	body
40	MC3_Control_ST3	program	interface	body
58	MC3_Action1_ST3	functionBlock	interface	body
59	MC3_Action2_ST3	functionBlock	interface	body
60	MC3_Action3_ST3	functionBlock	interface	body
61	MC3_Action4_ST3	functionBlock	interface	body
62	MC3_Serialize	program	interface	body
63	MC3_Deserialize	program	interface	body
64	MC3_EM	program	interface	body

Fig. 7: Proyecto de Automatización Flexible para el controlador 1

Se han realizado una serie de pruebas de reconfiguración en tiempo de ejecución. En concreto, se ha comenzado teniendo arrancado únicamente el controlador 1 como si se tratase de una aplicación centralizada. Posteriormente se ha arrancado el controlador 2. Después de registrarse, la monitorización de la carga detecta que dicho controlador está muy por debajo de la carga especificada. Así el CA2 envía un evento de balance de carga a FAM quien decide una nueva distribución basándose en los factores de CPU de los CAs, distribución actual de los MCs, así como la máxima carga de CPU que introducen los MCs. Una vez obtenida la nueva distribución empieza el proceso de recolocación. Durante este proceso, el MCA activo para la ejecución del código de control en un estado no crítico. Después del proceso de reconfiguración, MC1 y MC2 se ejecutan en el controlador 1 y MC3 en el controlador 2. La Fig.8 presenta a modo de gráfica la carga de CPU de los controladores antes y después de la reconfiguración.

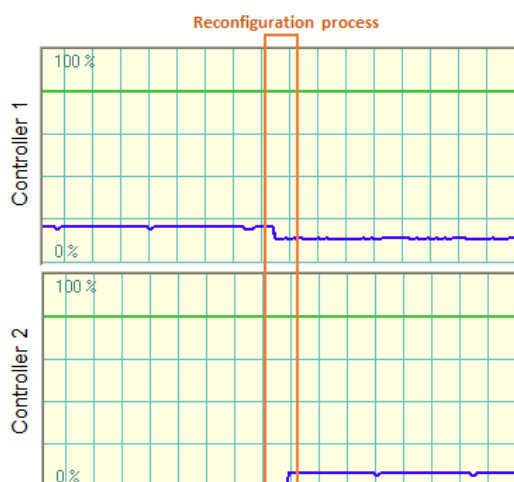


Fig. 8: carga de controlador 1 y 2 antes y después de la reconfiguración

6 CONCLUSIONES

Este trabajo ha presentado una aproximación centrada en añadir flexibilidad a los sistemas de automatización, permitiendo así soportar reconfiguración de los sistemas de control.

Se ha hecho uso de una plataforma de gestión basada en MAS que proporciona gestión de QoS en tiempo de ejecución. Los autores, proponen un diseño basado en modelos que permite capturar la información relevante sobre los procesos de producción, sistemas de automatización distribuidos, así como, cómo hacer uso de dicha información para gestionar la plataforma. Así la solución propuesta proporciona soporte al ciclo desarrollo donde el código resultante es: un proyecto de automatización flexible por cada controlador, tantos CAs como controladores hayan en el sistema y por cada controlador tantos MCAs y MCs como él maneje.

Por lo tanto, la solución propuesta permite añadir flexibilidad a los proyectos de automatización modulares originales, soportando reconfiguración dinámica del sistema de control.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto DPI2015-68602-R (MINECO/FEDER, UE), por la UPV/EHU en el marco del proyecto PPG17/56 y GV/EJ en el marco de grupos de investigación reconocidos IT914-16.

Referencias (10 ptos, negrita)

- [1] AutomationML (2017) [website] <http://www.automationml.org>
- [2] Association EF of the FR. Factories of the Future PPP FoF 2020 Roadmap: Consultation document. 2012.
- [3] Binotto APD, Wehrmeister MA, Kuijper A, Pereira CE. Sm@rtConfig: A context-aware runtime and tuning system using an aspect-oriented approach for data intensive engineering applications. Control Eng Pract 2013;21:204-17. doi:10.1016/j.conengprac.2012.10.001.
- [4] Blanchet M, Rinn T, Von Thaden G, de Thieulloy G. Industry 4.0 The new industrial revolution How Europe will succeed. 2014.
- [5] Booch G, Rumbaugh J, Jacobson I. The Unified Modeling Language User Guide (2nd Edition). Addison-Wesley Professional; 2015.
- [6] Botygin IA, Tartakovsky VA. The Development and Simulation Research of Load Balancing Algorithm in Network Infrastructures. Int. Conf. Mech. Eng. Autom. Control Syst., 2014, p. 0-4. doi:10.1109/MEACS.2014.6986904.
- [7] European Commission: Research and Innovation. Factories of the Future PPP: towards competitive EU manufacturing. 2013.

- [8] Guo L, Wang B, Wang W. Research of energy-efficiency algorithm based on on-demand load balancing for wireless sensor networks. *Proc Int Symp Test Meas* 2009;2:22-6. doi:10.1109/ICTM.2009.5413071.
- [9] Estevez E, Marcos M, Gangoit U, Orive D. A Tool Integration Framework for Industrial Distributed Control Systems. *Proc. 44th IEEE Conf. Decis. Control, IEEE*; 2005, p. 8373-8. doi:10.1109/CDC.2005.1583518.
- [10] Fay A, Vogel-Heuser B, Frank T, Eckert K, Hadlich T, Diedrich C. Enhancing a model-based engineering approach for distributed manufacturing automation systems with characteristics and design patterns. *J Syst Softw* 2015;101:221-35. doi:10.1016/j.jss.2014.12.028.
- [11] Hästbacka D, Vepsäläinen T, Kuikka S. Model-driven development of industrial process control applications. *J Syst Softw* 2011;84:1100-13.
- [12] Krupitzer C, Roth FM, VanSyckel S, Schiele G, Becker C. A survey on engineering approaches for self-adaptive systems. *Pervasive Mob Comput* 2014;17:184-206. doi:10.1016/j.pmcj.2014.09.009.
- [13] Marcos M, Estevez E, Perez F, Van der Wal E. XML exchange of control programs. *IEEE Ind Electron Mag* 2009;3:32-5. doi:10.1109/MIE.2009.934794.
- [14] Merz M, Frank T, Vogel-Heuser B. Dynamic redeployment of control software in distributed industrial automation systems during runtime. *2012 IEEE Int. Conf. Autom. Sci. Eng., IEEE*; 2012, p. 863-8. doi:10.1109/CoASE.2012.6386445.
- [15] Priego R, Iriondo N, Gangoit U, Marcos M. Agent Based Middleware Architecture for Reconfigurable Manufacturing Systems. *Int J Adv Manuf Technol* (2017). doi:10.1007/s00170-017-0154-z. In Press.
- [16] Science N, Council T. *ADVANCED MANUFACTURING: A Snapshot of Priority Technology Areas Across the Federal Government Subcommittee for Advanced Manufacturing 2016*.
- [17] Selic B. The pragmatics of model-driven development. *IEEE Softw* 2003;20:19-25. doi:10.1109/MS.2003.1231146.
- [18] Shen W, Wang L, Hao Q. Agent-based distributed manufacturing process planning and scheduling: a state-of-the-art survey. *IEEE Trans Syst Man Cybern Part C (Applications Rev)* 2006;36:563-77. doi:10.1109/TSMCC.2006.874022.
- [19] Streit A, Rösch S, Vogel-Heuser B. Redeployment of Control Software during Runtime for Modular Automation Systems Taking Real-Time and Distributed I/O into Consideration. *IEEE 19th Conf. Emerg. Technol. Fact. Autom. (ETFA)*, 2014, 2014, p. 1-4.
- [20] SysML. *The SysML Specification, v 1.0* 2007. <http://www.sysml.org>
- [21] Thramboulidis K, Perdakis D, Kantas S. Model driven development of distributed control applications. *Int J Adv Manuf Technol* 2006;33:233-42. doi:10.1007/s00170-006-0455-0.
- [22] Vogel-Heuser B, Rösch S. Integrated Modeling of Complex Production Automation Systems to Increase Dependability. *Risk - A Multidiscip. Introd.*, 2014, p. 1-476. doi:10.1007/978-3-319-04486-6.
- [23] Vyatkin V, Hanisch H-M. Closed-Loop Modeling in Future Automation System Engineering and Validation. *IEEE Trans Syst Man, Cybern Part C (Applications Rev)* 2009;Vol: 39 pp:17-28. doi:10.1109/TSMCC.2008.2005785.
- [24] ang L, Adamson G, Holm M, Moore P. A review of function blocks for process planning and control of manufacturing equipment. *J Manuf Syst* 2012;31:269-79. doi:10.1016/j.jmsy.2012.02.004.