

**XXXIV** **JORNADAS DE AUTOMÁTICA**  
*Terrassa, 4-6 de septiembre 2013*



**Actas**



# Actas de las XXXIV Jornadas de Automática

Terrassa, 4 al 6 de Septiembre de 2013

Organizan:



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH



**CEA**  
comité  
español de  
automática

Actas de las XXXIV Jornadas de Automática

Editado por:

Ramon Sarrate Estruch

Joseba Quevedo Casín

ISBN: 978-84-616-5063-7

Depósito Legal: B. 17365-2013

# Presentación

Las XXXIV Jornadas de Automática (JA2013), a realizar del 4 al 6 de Septiembre del 2013 en el Campus de Terrassa de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), han sido organizadas por el Departamento de Ingeniería de Sistemas, Automática e Informática Industrial (ESAI) de la UPC.

Las Jornadas vienen realizándose anualmente desde el año 1977, promovidas por el Comité Español de Automática (CEA), y organizadas por distintas universidades o centros de investigación.

Al evento se han inscrito aproximadamente 200 expertos en esta área, principalmente miembros del Comité Español de Automática (CEA), que está organizado en 9 grupos temáticos: Automática Marina, Bioingeniería, Control Inteligente, Educación en Automática, Ingeniería de Control, Modelado y Simulación, Robótica, Sistemas de Tiempo Real y Visión por Computador.

La conferencia inaugural será impartida por M<sup>a</sup> Luisa Castaño Directora General de Innovación y Competitividad del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO). El programa técnico incluye dos conferencias plenarias (una a cargo de Manfred Morari sobre “The role of Theory in Control Practice” y la otra a cargo de Ramon Vilanova sobre “El PID en el Tercer Milenio”), una reseña sobre la historia de la Automática por parte de Sebastián Dormido, una presentación de las oportunidades que ofrece Universia por parte de Jaume Pagés, una mesa redonda docente sobre los Másteres en Automática, las reuniones técnicas de los diferentes grupos temáticos y sesiones de presentación de comunicaciones expuestas, como es costumbre en las Jornadas, en un espacio con pósteres. Y este año como novedad se llevará a cabo un interesante curso sobre robótica asistencial y cuatro presentaciones prácticas de empresas muy interesantes. Además se ha previsto en el día central de las Jornadas realizar un entrañable reconocimiento a los impulsores de la Automática en la UPC.

El programa técnico viene acompañado, como es habitual, con un interesante programa social y cultural, como la visita del Museo Nacional de la Ciencia y la Tecnología de Catalunya (MNATEC) y la copa de bienvenida en la sala Jazz Cava de Terrassa así como la visita románica de Sant Benet del Bages, visita al Instituto gastronómico Alicia y cena de gala en el restaurante de ese entorno.

Además, y como viene siendo habitual en las Jornadas precedentes, el programa técnico y el programa social vienen acompañados de un programa de ocio y de actividades para acompañantes.

Y sin olvidar que como en ediciones pasadas, este año también se llevarán a cabo los concursos de robots humanoides y de vehículos cuatrirrotores o “drones” con una fantástica respuesta de participación de equipos investigadores nacionales e internacionales.

Por último, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas y entidades que han prestado su colaboración a que la presente edición de las Jornadas haya sido posible. A todos los miembros del comité organizador, pieza indispensable para el buen funcionamiento del evento, y a todos los miembros del comité científico. También queremos agradecer a las empresas colaboradoras por los diferentes premios ofrecidos durante las XXXIV Jornadas de Automática.

Os damos la bienvenida a todos los participantes y quedamos a vuestra disposición para garantizar una estancia grata y fructífera durante estos días.

Más información en la Web de las Jornadas en <http://ja2013.upc.edu/>

Terrassa, 20 de Julio de 2013

Joseba Quevedo, Teresa Escobet y Vicenç Puig

Co-responsables del Comité Organizador

# Comités Organizador y Científico

## Comité organizador

Joseba Quevedo	Josep M <sup>a</sup> Fuertes
Vicenç Puig	Pere Caminal
Teresa Escobet	Enric Fossas
Fatiha Nejjari	Maria Serra
Andreu Quesada	Robert Griñó
Sebastián Tornil	Beatriz F. Giraldo
Josep Contreras	Jose María Huerta
Rosa Ginesta	Cecilio Angulo
Albert Márquez	Pere Ponsa
Albert Masip	Ramon Costa
Judit Esteve	Diego García
Ramon Sarrate	Ramon Pérez
Quim Blesa	Damiano Rotondo
Rita Planas	Juan C. Hernández
Pep Cugueró	Carlos Ocampo
Miquel Àngel Cugueró	Josep Pascual
Ramon Comasòlivas	

## Comité científico

Presidente CEA: César de Prada (UVA)

Vicepresidente CEA: Joseba Quevedo Casín (UPC)

Secretario CEA: Miguel Ángel Mañanas Villanueva (UPC)

Automar: Pere Ridaó Rodríguez (UdG)

Bioingeniería: Javier Pérez Turiel (UVA)

Control Inteligente: José Manuel Andujar Márquez (UHU)

Educación en Automática: Fabio Gómez Estern (US)

Ingeniería de Control: Francesc Xavier Blasco Ferragud (UPV)

Modelado y Simulación de sistemas dinámicos: Miguel Ángel Piera Eroles (UAB)

Robótica: Pedro J Sanz Valero (UJI)

Sistemas de Tiempo Real: Alejandro Alonso Muñoz (UPM)

Visión por Computador: Enrique Alegre Gutiérrez (UL)

# Comunicaciones

## Automar

*GRASPER: Un Proyecto Dirigido a Incrementar la Autonomía de la Manipulación Submarina*

P. J. Sanz, J. J. Fernández, J. Pérez, A. Peñalver, J. C. García, D. Fornas, J. Sales, J. Bernabé, R. Marín

*DISEÑO MECATRÓNICO DE UN ROBOT SUBMARINO DE BAJO COSTE PARA USO DOCENTE*

Manuel Godoy, Ramón González, Francisco Rodríguez

*SENSORES CIENTÍFICOS PARA UN VEHÍCULO AUTÓNOMO SUBMARINO*

Narváez, F., González, H., García, E.

*SISTEMA DE COMUNICACIONES PARA UN PLANEADOR AUTÓNOMO SUBMARINO*

González, H., Narváez, F., García, E.

*Automatización de vehículo marino no tripulado en superficie para guiado autónomo*

Carlos Cano Espinosa, Santiago T. Puente Méndez, Fernando Torres Medina

*Realtime AUV Terrain Based Navigation with Octomap*

Guillem Vallicrosa, Albert Palomer, David Ribas, Pere Ridao

## Bioingeniería

*Asistencia de Robots Colaborativos para Procedimientos de Sutura vía Cirugía Mínimamente Invasiva*

Enrique Bauzano Núñez, María Belén Estebanez Campos, Isabel García Morales, Víctor Fernando Muñoz Martínez

*INCORPORACIÓN DE UN SISTEMA DE MINI-ROBOTS A LA CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA DE INCISIÓN ÚNICA*

María Cuevas Rodríguez, Irene Rivas Blanco, Enrique Bauzano, Jesús Gómez deGabriel y Víctor Fernando Muñoz

*CONTROL FUERZA-POSICIÓN DE UNA CÁMARA ROBÓTICA PARA TÉCNICAS DE CIRUGÍA DE PUERTO ÚNICO*

I. Rivas-Blanco, E. Bauzano, M. Cuevas-Rodriguez, P. del Saz-Orozco, V.F. Muñoz

*Desarrollo de un Sistema Multimodal de Rehabilitación asistida por Robots*

R. Morales, F. Badesa, N. Garcia-Aracil, J.M. Sabater, Miguel Almonacid

*Aspectos de diseño y evaluación preliminar de la plataforma robotizada de neuro-rehabilitación PHYSIOBOT*

Juan-Carlos Fraile Marinero, Javier Pérez Turiel, Carlos Rodríguez Guerrero, Rubén Alonso Alonso, Dra. Paulina Oliva Navarrete

*Sistema Robótico Planar para Neuro-rehabilitación: Primeros Resultados con pacientes*

F. Badesa, R. Morales, A.Llinares, N. Garcia-Aracil, Maria Garcia-Manzanares, Daniel Tornero, M. Oliva

*CLASIFICACIÓN DE SEÑALES DE POTENCIAL DE ERROR A TRAVÉS DE UNA INTERFAZ GRÁFICA CON REALIMENTACIÓN DE FUERZAS*

Joaquín López, Andrés Úbeda, Eduardo Iáñez, D. Planelles, José M. Azorín, Javier Gimeno, José A. Flores, José M. Climent

*MOVIMIENTO BIDIMENSIONAL DE UN CURSOR MEDIANTE EL USO DE ARTEFACTOS EN SEÑALES ELECTROENCEFALOGRÁFICAS*

Álvaro Costa, Eduardo Iáñez, Enrique Hortal, José M. Azorín, Alberto Rodríguez, Daniel Tornero, José A. Berná, José M. Cano

*MRSeg - Herramienta interactiva para generar segmentaciones de referencia de imágenes médicas*

F. Fumero, S. García, O. Núñez, J. Sigut, S. Alayón

*ANÁLISIS ESPECTRAL NO LINEAL DEL EEG DE NIÑOS CON EPILEPSIA INTRATABLE*

O. Portolés, R. Schroeder, M. Vallverdú, A. Voss, P. Caminal

*Evaluación de métodos de segmentación de propósito general sobre imágenes de fondo de ojo*

Omar Núñez, Francisco Fumero, Jose Sigut, Silvia Alayón.

## Control Inteligente

*REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN UN REGULADOR PID PARA CONTROL AUTOMÁTICO DEL RUMBO DE UN BUQUE*

José Luis Casteleiro-Roca, José Luis Calvo-Rolle, Matilde Santos

*CONTROL HIBRIDO DIFUSO-DESLIZANTE PARA CONVERTIDOR DC/DC TIPO BOOST*

Mónica L. Vásquez F., Edwar Jacinto G., Fredy H. Martínez S.

*Social and Smart SANDS*

Raúl Feliz Alonso, Eduardo Zalama Casanova, Jaime Gómez García-Bermejo, Bruno Apolloni

*DESARROLLO DE UN CONTROLADOR BORROSO PARA EL CONTROL DE LA PROFUNDIDAD ANESTÉSICA MEDIANTE ARDUINO*

Israel Riveron, Juan A. Mendez, A. Marrero, Ana Leon, Isabel Martin

*Modelado borroso de una Pila de Combustible Nexa™ 1.2 kW Ballard Power System*

Antonio Javier Barragán Piña, Francisca Segura Manzano, José Manuel Andújar Márquez, Miguel Ángel Martínez Bohórquez

*CONTROL DE ANESTESIA MEDIANTE LÓGICA DIFUSA CON DINÁMICA INVERSA*

A. Marrero Ramos, J.A. Méndez Pérez, J.A. Rebozo Morales, A. M. León Fragoso, I. Martín Mateos, E. Morell González

*CONTROL AUTÓNOMO DEL SEGUIMIENTO DE TRAYECTORIAS DE UN VEHÍCULO CUATRIRROTOR*

Tur Ortega, José Manuel; Santos Peñas, Matilde

*MODELADO DE UN VEHICULO AEREO NO TRIPULADO MEDIANTE APLICACIÓN CONJUNTA DE TECNICAS PARAMETRICAS Y NEURONALES*

Jesús Enrique Sierra García, Matilde Santos

*Comparación de técnicas de optimización multi-objetivo clásicas y estocásticas para el ajuste de controladores PI*

Helem Sabina Sánchez, Gilberto Reynozo-Meza, Ramon Vilanova, Xavier Blasco

## Educación en Automática

*Utilización del software AnyLogic en la enseñanza del Control Automático*

José María González de Durana y Oscar Barambones

*SISTEMAS DE DOCUMENTACIÓN Y ELABORACIÓN DE TEXTOS CIENTÍFICOS: UNA ASIGNATURA PARA APRENDER A PUBLICAR EN INGENIERÍA*

Jorge L. Martínez, Anthony Mandow y Alfonso García-Cerezo

*simLab: Laboratorio de simulación de la planta Festo*

Silvia Alayón, Norena Martín, Omar Núñez, Francisco Fumero

*Simuladores 3D y evaluación automática para prácticas de Automatización Industrial*

Adolfo J. Sánchez del Pozo, David Muñoz de la Peña, Fabio Gómez-Estern

*HERRAMIENTAS DE HARDWARE Y SOFTWARE LIBRE PARA LA IDENTIFICACIÓN EXPERIMENTAL, EL DISEÑO Y LA IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADORES PID*

Roberto Sanchis Llopis, Silvia Estupiña Ariño

*Laboratorio Virtual y Remoto de robots paralelos*

Arturo Gil, Adrián Peidró, José María Marín, Óscar Reinoso, David Valiente, Luis Miguel Jiménez, Miguel Juliá

*Benchmark de Control y Supervisión de Redes de Distribución de Agua*

Gerard Sanz, Ramon Pérez

*Aprendizaje colaborativo e interinstitucional en entornos virtuales*

Antonio Javier Barragán Piña, José Manuel Andújar Márquez, Yolanda Ceada Garrido, Eloy Irigoyen Gordo, Fernando Artaza Fano, Vicente Gómez Garay

*HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN BIORREACTOR DISCONTINUO*

Adrián Casimiro Álvarez, Javier de Pedro López, Antonio Coca Riega, Diego García-Ordás

*PLATAFORMA ROBÓTICA DE BAJO COSTE Y RECURSOS LIMITADOS BASADA EN ARDUINO Y DISPOSITIVOS MÓVILES*

A. Soriano, L. Marín, R. Juan, J. Cazalilla, A. Valera, M. Vallés, P. Albertos

*Desarrollo de plantas industriales virtuales para el aprendizaje de la automatización*

Rodríguez Díaz, Francisco; Moreno Úbeda, José Carlos; Pawlowski, Andrzej; Sánchez Molina, Jorge Antonio; López, Antonio

*Herramienta basada en SCORM para la integración automática de Laboratorios Online en LMS*

Ildefonso Ruano Ruano, Juan Gómez Ortega, Javier Gámez García, Elisabet Estévez Estévez

*DESARROLLO DE UN EQUIPO DIDACTICO PARA LAS MATERIAS DE CONTROL DE PROCESOS DE LOS GRADOS DE INGENIERIA DE LA RAMA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS TIC*

Teresa Escobet Canal, Antonio Escobet Canal, Juan Martínez Domence

*APLICACIÓN DE CONTROL CON LABVIEW PARA EL SIEMENS S7-1200, EN RED LOCAL O INTERNET*

Eduardo J. Moya de la Torre, Francisco J. García Ruíz, Israel Surribas Planas

*SISTEMAS DE CONTROL POR COMPUTADOR - UNIFICACIÓN DE CRITERIOS*

José Luis Casteleiro-Roca, José Luis Calvo-Rolle, Ramón Ferreiro García

# Ingeniería de Control

*Control Multivariable QFT para la Dinámica Longitudinal de un Vehículo Aéreo*

Javier Joglar Alcubilla

Joaquín Aranda Almansa

*Control de Velocidad mediante Paso de Pala para un Aerogenerador Experimental de Pequeña Potencia*

Sergio Fragoso Herrera, Francisco Vázquez Serrano, Fernando Morilla García

*Control Multivariable Descentralizado para un Aerogenerador Experimental de Pequeña Potencia*

Sergio Fragoso Herrera, Francisco Vázquez Serrano, Fernando Morilla García

*Modelado y control de un vehículo eléctrico mediante una estrategia de control predictivo basado en modelo*

Agustín Pérez Castro, Julio Elias Normey Rico, José Luis Guzmán Sánchez, Manuel Berenguel Soria

*Estrategia para la corrección de modelos no lineales variantes en el tiempo mediante estimación de parámetros: Aplicación al control predictivo y a la diagnosis de sistemas*

Agustín Pérez Castro, José Sánchez Moreno, José Luis Guzmán Sánchez

*Sistema experto para la determinación de referencias en el proceso de elaboración de aceite de oliva virgen*

P. Cano Marchal, D. Martínez Gila, J. Gámez García, J. Gómez Ortega

**DISEÑO DE LOS CONTROLADORES DE LOS SISTEMAS DE VACÍO Y TEMPERATURA DE UN REACTOR AGITADO**

Ferran Babot Branzuela, Ramon Costa Castelló

**LA ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS APLICADA AL MANTENIMIENTO DE DISPOSITIVOS DE CAMPO**

Ramón Ferreiro García, José Luis Calvo-Rolle, José Luis Casteleiro-Roca, Manuel Romero Gómez

*Estimación Garantista de la Posición de un Quadrotor con GPS*

Ramón A. García, Manuel G. Ortega, Francisco R. Rubio y Guilherme V. Raffo

**DISEÑO DE CONTROLADORES POR ADELANTO PARA INVERSIÓN DE RETARDO NO REALIZABLE**

C. Rodríguez, J.L. Guzmán, M. Berenguel, T. Hägglund, J.E. Normey-Rico

*Restricciones en el Valor de los Enlaces de Comunicación en un Sistema de Control Coalicional*

Francisco Javier Muros Ponce, Jose María Maestre Torreblanca, Encarnación Algaba Durán, Eduardo Fernández Camacho

**ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS REFORZADA MEDIANTE SUPERVISIÓN DE ELEMENTOS FINALES DE CONTROL**

Ramón Ferreiro García, José Luis Calvo-Rolle, José Luis Casteleiro-Roca, Manuel Romero Gómez, Alberto Demiguel Catoria

*Control No Lineal Iterativo de Modelos de Maniobra de Vehículos Marinos*

Elías Revestido, M. Tomás-Rodríguez (b), Francisco J. Velasco

*A ROBUST GRID SIDE CONVERTER CONTROL FOR WIND TURBINE SYSTEM BASED ON DOUBLE FEED INDUCTION GENERATOR*

Oscar Barambones, José María González de Durana and Patxi Alkorta

*Plataforma para monitorización y control distribuidos basada en 802.15.4*

Conrado Arquer, Luis Orihuela, Francisco R. Rubio

*DETECCION DE FALLOS CON VALIDACION PROBABILISTICA*

Joaquim Blesa, Amalia Luque, Teodoro Alamo, Fabrizio Dabbene

*CONTROL DE ACTITUD DE UN COHETE DE SONDEO ATMOSFERICO*

Pau Manent, Joseba Quevedo, Bernardo Morcego

*Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos multi-criterio. Aplicación en el ajuste de controladores del tipo PID.*

Alberto Pajares Ferrando, Francesc Xavier Blasco Ferragud, Gilberto Reynoso-Meza, Juan Manuel Herrero Dura

*CONTROL DE POSICIÓN Y ORIENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA OMNIDIRECCIONAL NO-HOLONOMA*

Pablo Bengoa Ganado, Josu Larrañaga Leturia, Eloy Irigoyen

*Validación experimental de estrategias de reducción del consumo de sensores inalámbricos en sistemas de control en red.*

Ignacio Peñarrocha, Adrian Dinu, Roberto Sanchis

*SISTEMA DE DETECCIÓN DE FALLOS BASADO EN TÉCNICAS DE ERROR ACOTADO Y UMBRAL DINÁMICO*

José Manuel Bravo Caro

*Diseño Óptimo Multiobjetivo de PIDs para el Control de Temperatura en Cavidades Microondas*

S. Garcia-Nieto, G. Reynoso-Meza, F. Peñaranda-Foix, A. Borrell

*Diseño e implementación en UAVs de un sistema de control de formación de vuelo basado en SMRC*

Ignacio Ribelles, Alejandro Vignoni, Sergio García-Nieto, Jesús Picó

*OBSERVATION OF THE INTERNAL STATES OF A PEMFC ANODE GAS CHANNEL*

J. Luna, C. Batlle, C. Kunusch, J. Riera, M.L. Sarmiento-Carnevali, M. Serra

## Modelado y Simulación de Sistemas Dinámicos

*Modelo para la generación de datos de consumo energético residencial basado en un enfoque probabilístico*

J.K. Gruber, M. Prodanovic

*PROGRAMACIÓN DE CONTROLADOR PREDICTIVO EN ECOSIMPRO E IMPLEMENTACIÓN EN PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE OXÍGENO*

Juan David Tejerina, Rubén Martí, Daniel Navia, César de Prada

*PREDICTOR NO PARAMÉTRICO BASADO EN TÉCNICAS DE ERROR ACOTADO*

José Manuel Bravo Caro

*Modelo simplificado y orientado al control de sistemas de refrigeración*

Guillermo Bejarano, Manuel G. Ortega, Francisco R. Rubio, Fernando Morilla

*Estudio de la interacción del fuselaje y el movimiento de aleteo de las palas del rotor principal en un helicóptero*  
Salvador Castillo-Rivera, María Tomás-Rodríguez, G. Nicolás Marichal Plasencia, Ángela Hernández López

*TENSIONES INDUCIDAS EN CABLES DE ALTA TENSIÓN*  
Miguel Angel Calafat Torres, Matilde Santos Peñas

*SIMULACIÓN Y CONTROL DE COMPRESORES CENTRÍFUGOS USANDO ECOSIMPRO*  
Tania Rodríguez Blanco, Daniel Sarabia Ortiz, César de Prada Moraga, José Luis Morales

*CONCURRENT AND DISTRIBUTED SYSTEMS ANALYSIS USING COLORED PETRI NETS*  
Jenaro Nosedal Sánchez, Olatunde Baruwa, Miquel Àngel Piera Eroles

*DESARROLLO Y VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DE UN MODELO DINÁMICO PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO CON MOTORES EN LAS RUEDAS*  
David Marcos, Carlos Bordons, Johan Wideberg, Daniel A. Mántaras, Pablo Luque.

*MODELO NARMAX DE PH EN UN FOTOBIOREACTOR TUBULAR DE MICROALGAS*  
I. Fernández, G.A. Andrade, J.L. Guzmán, M. Berenguel, D.J. Pagano

*Identificación de un modelo pasivo para la grúa Inteco 3D Crane e implementación en EJS*  
Pablo Falcón, Antonio Barreiro, Miguel D. Cacho, Emma Delgado

*Intercambio de Modelos entre Herramientas de Simulación con Functional Mock-up Interface (FMI)*  
Javier Bonilla, José Domingo Álvarez, Lidia Roca, Alberto de la Calle, Luis José Yebra, Francisco Rodríguez

*Modelado del reactor químico del proceso BTO mediante redes neuronales artificiales*  
Gorka Sorrosal, Eloy Irigoyen, Cruz E. Borges, Ainhoa Alonso

*ANÁLISIS DEL PROBLEMA DE EXPLOSIÓN DE ESTADOS EN SISTEMAS DISCRETOS BASADO EN EL CUBO RUBIK*  
Emilio Jimenez Macias, Francisco Javier Leiva Lazaro, Juan Ignacio Latorre Biel, Mercedes Perez de la Parte

*MODELADO DE UN PROCESO DE EXTRUSIÓN EN ALIMENTACIÓN*  
Eduardo J. Moya de la Torre, F. Javier Antolín Jiménez, Alfonso Poncela Méndez, Oscar F. Calvo Martínez

*Reducción de modelos en Biología Sintética: Modelado y simulación de ruido y variabilidad en expresión genética.*  
Yadira Boada, Alejandro Vignoni, Jesús Picó

## Robótica

*Desarrollo de una clase en Matlab para la simulación realista de robots seriales*  
R. Morales, A. Sanchez, F. Badesa, N. Garcia-Aracil, C. Perez, J.M. Sabater

*GEOMETRIC HYBRID PATH PLANNING FROM THE ARTIFICIAL POTENTIAL FIELD METHOD*  
Cristian C. Rincón, Edwar Jacinto G. y Fredy H. Martínez S.

*DISEÑO Y DESARROLLO DE ROBOT MÓVIL PARA TRANSPORTE Y DISPENSACIÓN DE MEDICAMENTOS*

Roberto Pinillos, Salvador Domínguez, Eduardo Zalama, Jaime Gómez García-Bermejo, Ángel de Miguel Navares

*Manipulación de Objetos con dos Dedos Usando Información Táctil*

Andrés Montaña, Raúl Suárez

*Búsqueda de prensiones con force-closure de objetos 2D articulados con 2 eslabones*

Noé Alvarado Tovar, Raúl Suárez

*SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE SLAM EMPLEANDO SGD CON IMÁGENES OMNIDIRECCIONALES*

David Valiente, Arturo Gil, Miguel Juliá, Lorenzo Fernández, Óscar Reinoso

*CONTROL VISUAL EMBEBIDO PARA EL POSICIONAMIENTO AUTÓNOMO DE UN HEXACÓPTERO*

Javier Pérez, Jorge Pomares, Gabriel J. García, F. Torres

*LOCALIZACIÓN ASISTIDA POR GPS PARA ROBOTS MÓVILES EN CONFIGURACIÓN ACKERMANN DE RECURSOS LIMITADOS*

Leonardo Marín, Ángel Soriano, Vicent Mayans, Marina Vallés, Ángel Valera, Pedro Albertos

*IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADORES FUERZA Y POSICIÓN PARA UN MANIPULADOR PARALELO DE 3DOF*

Jose I. Casalilla, Miguel Corberán, M. Díaz-Rodríguez, Ángel Valera, Vicente Mata, Marina Vallés

*Fusión sensorial de visión, fuerza y aceleración para el control de robots manipuladores con movimientos restringidos.*

Alejandro Sánchez García, Javier Gámez García, Juan Gómez Ortega

*Mejora de las Capacidades de un Robot Mini-Humanoide en la Tarea de Subir y Bajar Escaleras*

Wilmer Cardenas Pilatuña, Félix Rodríguez Cañadillas, Alberto Jardón Huete

*Control de posición/fuerza de un robot antropomórfico basado en control predictivo*

J. de la Casa Cárdenas, J. Gámez García, J. Gómez Ortega

*Hacia una arquitectura de exploración multirobot distribuida para entornos no controlados*

Miguel Juliá, Oscar Reinoso, Luis Payá, Francisco Amorós, David Úbeda

*DISEÑO DE UN DISPOSITIVO HÁPTICO DE BAJA RESOLUCIÓN BASADO EN SMA PARA APLICACIÓN EN TELEROBÓTICA*

Francisco Javier Tormo, Jaime Masiá, Juan Ramón Rufino, José Ferri, Borja Mansilla

*Cálculo automático de secuencias de ensamblado basado en una técnica de agrupación para la construcción de estructuras mediante equipos de robots*

Álvaro Sempere, Ivan Maza y Aníbal Ollero

## Laboratorio Virtual y Remoto de robots paralelos

Arturo Gil, Adrián Peidró, José María Marín, Óscar Reinoso, David Valiente, Luis Miguel Jiménez, Miguel Juliá  
 Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática.  
 Universidad Miguel Hernández de Elche, Avda. de la Universidad s/n, Elche (Alicante).  
 arturo.gil@umh.es

### Resumen

*En este artículo presentamos una herramienta desarrollada para la docencia de robots paralelos. La aplicación se puede emplear como complemento a las clases teóricas mediante clases prácticas tanto en laboratorio como no presenciales. La aplicación se organiza como un conjunto de herramientas desarrolladas mediante EJS (Easy Java Simulations) que ayudan al estudiante en la comprensión de la cinemática de los robots paralelos. Un conjunto de estructuras paralelas clásicas han sido implementadas: la herramienta es capaz de resolver la cinemática directa e inversa de estructuras de tipo 5R, 3RRR y Delta. Una interfaz gráfica intuitiva permite al estudiante variar tanto las coordenadas articulares como las coordenadas cartesianas del extremo del robot mientras se observa el resultado con una representación gráfica del robot. Además, se plantean un conjunto de cinco sesiones prácticas basadas en la aplicación presentada. Durante estas sesiones prácticas el alumno analiza la cinemática inversa y directa de los mecanismos. Además, la herramienta permite analizar de forma sencilla las singularidades que aparecen en la solución de la cinemática directa e inversa de los robots. Estas singularidades se analizan a través de una herramienta que permite la planificación de trayectorias en el espacio cartesiano y articular de los robots, que permite analizar la posición y velocidad del extremo en función de las trayectorias y velocidades de los actuadores. La herramienta se ha utilizado durante el pasado curso 2012-2013 en la Universidad Miguel Hernández de Elche y recibió una buena acogida. Durante los últimos meses se ha añadido un módulo que permite también manejar un robot real de tipo 5R de forma remota.*

### 1. INTRODUCCIÓN

En este artículo se presenta una herramienta educativa que se centra en el campo de los robots paralelos. La aplicación proporciona una vista muy realista de tres estructuras paralelas clásicas y facilita la realización de una serie de experimentos con ellas. La *toolbox* fue desarrollada con la intención de facilitar la comprensión de los conceptos

fundamentales dentro de la robótica de mecanismos paralelos, haciendo especial hincapie en los problemas cinemáticos directo e inverso.

Es sabido que la experimentación con equipos reales, así como con laboratorios remotos o virtuales son un buen complemento a las clases magistrales de teoría [11, 15]. Así, durante estas últimas el alumno adquirirá las herramientas y los conceptos fundamentales. Pero también, la experimentación y la posibilidad de manejar los mecanismos reales motivará al estudiante a aprender los aspectos teóricos con más interés. También está ampliamente aceptado que la utilización de diferentes estrategias educativas resulta positivo en el aprendizaje de los estudiantes. Además, en el caso particular de los estudios de ingeniería, las clases de laboratorio y prácticas deben tener una importancia mayúscula. En este sentido, algunos autores aseguran que las sesiones prácticas no sólo proporcionan un estímulo adicional para el aprendizaje, sino que inducen muchos otros aspectos positivos y una comprensión profunda de los conceptos tratados [3].

Los robots paralelos tiene la característica fundamental de ser capaces de soportar grandes cargas mientras, al mismo tiempo, son capaces de posicionar el extremo del robot con gran precisión. Sin embargo, los conceptos de robótica paralela son bastante más difíciles de enseñar y aprender [12]. Aun así, la formación en este campo de la robótica de resulta interesante, por existir ya un gran número de modelos comerciales basados en estructuras paralelas. Así pues, es necesario abordar este tipo de estructuras paralelas en la docencia de carreras como Ingeniería Industrial o Grado en Ingeniería Electrónica y Automática Industrial, por ejemplo. La docencia de los conceptos fundamentales de robots paralelos no puede ser tratada como una mera continuación de la teoría de robots de tipo serie. Esto es una consecuencia de las grandes diferencias fundamentales que existen entre ambos tipos de manipuladores. Por ejemplo, el conocimiento de la teoría de la Cinemática Directa en manipuladores de tipo serie no puede ser extrapolada directamente a la Cinemática Directa de manipuladores de tipo paralelo. Siguiendo

con el concepto anterior, los estudiantes encuentran generalmente más sencillo entender el concepto de Cinemática Directa en robots de tipo serie que en robot de tipo paralelo. Así, pues, para abordar estos aspectos educativos es totalmente necesario contar con una herramienta que proporcione a los estudiantes la posibilidad de visualizar los conceptos cinemáticos aplicados al caso de los robots paralelos. La ausencia casi total de este tipo de herramientas disponibles para la docencia nos motivó al desarrollo de nuestra propia herramienta que se presenta aquí<sup>1</sup>.

La herramienta presenta claramente el estado del robot y sus características principales. La aplicación no requiere ser instalada, pues puede ser ejecutada *online*, embebida en un explorador web. Esta característica es muy importante, pues permite a los estudiantes realizar sus sesiones prácticas desde casa sin limitaciones de tiempo y sin necesidad de instalar ningún software adicional. En nuestra opinión, la herramienta aquí descrita es la primera aplicación que integra las estructuras de tipo 5R, 3RRR y Delta dentro de una misma arquitectura para facilitar el aprendizaje de estos robots paralelos. La herramienta se ha bautizado como LABEL, por *LABoratory for parallel robots*.

La herramienta ha sido utilizada en la Universidad Miguel Hernández de Elche durante el curso pasado en los estudios de Ingeniería Industrial y en el Máster Universitario en Investigación en Tecnologías Industriales y de Telecomunicación. En particular, la herramienta resuelve de forma amena los problemas cinemático directo e inverso de los robots de tipo 3RRR, 5R y Delta, todos integrados bajo una interfaz gráfica común e intuitiva. Los parámetros geométricos de cada robot pueden ser variados de forma sencilla mientras se comprueban la existencia de las soluciones de la cinemática directa e inversa. Además, la herramienta ofrece la posibilidad de visualizar las singularidades en la cinemática inversa y directa. Finalmente, se ha integrado un planificador de trayectorias que permite al estudiante evaluar los efectos de la existencia de las singularidades en el espacio de trabajo del robot. Un conjunto de sesiones prácticas se ha elaborado alrededor de la herramienta para cubrir los conceptos fundamentales de la robótica de mecanismos paralelos. Recientemente se ha añadido un módulo a la aplicación que permite conectar con un mecanismo de tipo 5R real en un laboratorio remoto. Las mismas actividades que se pueden realizar con la aplicación se pueden visualizar y realizar de forma remota y real por el estudiante.

<sup>1</sup>la herramienta puede ser descargada y ejecutada desde [arvc.umh.es/label](http://arvc.umh.es/label)

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera: primero, el apartado 2 presenta otros trabajos en el área de interés relacionados con la aplicación presentada aquí. Las instrucciones de uso de la herramienta y los robots incluidos se presentan en el apartado 3. Un conjunto de sesiones prácticas y actividades se resumen en el apartado 4. Finalmente, las conclusiones principales se exponen en el apartado 5.

## 2. TRABAJO RELACIONADO

El uso de las nuevas tecnologías en Educación ha ampliado el abanico de opciones con que cuentan los estudiantes para realizar sus sesiones prácticas. Con la aparición de los laboratorios virtuales, que emulan el comportamiento de equipos reales [2], o el uso de laboratorios remotos que permiten un acceso remoto al equipamiento real [9, 10] los estudiantes tienen la posibilidad de incrementar el tiempo que dedican a realizar actividades prácticas y de planificar este tiempo de la mejor manera posible. Por ejemplo, en [9] un laboratorio remoto permite al estudiante acceder a un servomotor real y variar sus parámetros de control mediante un entorno remoto Matlab/Simulink.

En el ámbito de los manipuladores robóticos es importante mencionar el trabajo presentado en [1] donde un manipulador de tipo serie es simulado en un entorno virtual. Además, la herramienta permite teleoperar un brazo robótico real mientras el estudiante observa los resultados a través de una cámara web. Una aplicación basada en EJS (Easy Java Simulations) se presenta en [5]. La aplicación permite simular un laboratorio virtual programado en base a las librerías EJS, así como manejar un robot real dentro de la misma infraestructura. No obstante, la herramienta está dedicada únicamente al estudio de mecanismos de tipo serie.

En el área de las estructuras paralelas es necesario mencionar el trabajo presentado en [10], donde un laboratorio remoto permite a estudiantes e investigadores experimentar y controlar un robot paralelo de 3 GDL, así como sistemas térmicos y motores de corriente continua.

Los robots paralelos también se pueden simular mediante otro tipo de herramientas de propósito general, como las descritas en [8]. Por ejemplo, [8] presenta el uso de 20-Sim y Sim Mechanics para el modelado de manipuladores paralelos. Ambas aplicaciones permiten diseñar y analizar sistemas dinámicos de una manera sencilla e intuitiva. Sin embargo, estas aplicaciones son propietarias, lo que limita el acceso de los estudiantes desde casa. Además, algunos conceptos, como, por ejemplo, el análisis del espacio de trabajo o el estudio

de las singularidades son difíciles de analizar con estos programas.

### 3. USO DE LA HERRAMIENTA Y ROBOTS INCLUIDOS

La aplicación lidia con los siguientes objetivos de tipo educativo:

- Cinemática inversa.
- Cinemática directa.
- Espacio de trabajo y singularidades.
- Laboratorio remoto.

Estos son los conceptos fundamentales que se deberían tratar en un curso de introducción a los robots paralelos. Otros conceptos importantes como la dinámica directa e inversa son de gran importancia pero no se introducen como objetivos educativos en este curso por falta de tiempo.

Todos los aspectos educacionales abordados en el apartado anterior pueden ser realizados mediante la herramienta. En este sentido, se comienza con el análisis cinemático del robot 5R, según se describe en el apartado 3.1.

#### 3.1. El robot 5R

El mecanismo de tipo 5R es más sencillo de analizar que los robots de tipo Delta o 3RRR y sirve como un punto de comienzo muy adecuado en el estudio de los robots paralelos. Durante las sesiones de teoría se analiza la solución a la cinemática inversa de este robot, ya que presenta unas ecuaciones más sencillas que la solución al problema cinemático directo. Más tarde se aborda la solución al problema cinemático directo.

El robot de tipo 5R posee 2 GDL (grados de libertad) y presenta un movimiento contenido en un plano. El mecanismo consta de 4 eslabones móviles y 5 articulaciones, dos de ellas activas y movidas por motores eléctricos. La figura 1(a) presenta las características principales del mecanismo, donde las articulaciones  $A_1$  y  $A_2$  son activas, mientras que el resto  $B_1$ ,  $B_2$  y  $P$  son pasivas. El efector final del robot se considera como el punto  $P$ , según se muestra en la figura. La cinemática de este mecanismo ha sido estudiada ya por otros autores [6], presentando una solución sencilla para la cinemática inversa: dado que se conoce  $P = (x, y)$ , existen 4 soluciones diferentes para las posiciones articulares  $\theta_1$  y  $\theta_2$ . El análisis cinemático directo considera el cálculo de  $P = (x, y)$  como una función de las variables articulares  $\theta_1$  and  $\theta_2$ . En

este caso existen 2 soluciones diferentes según se demuestra en [6].

El simulador del robot 5R se presenta en la figura 2. Ayuda a los estudiantes a simular y entender los conceptos de cinemática directa e inversa aplicados a este mecanismo en particular. Para hacer esto, LABEL presenta las coordenadas cartesianas del extremo y las coordenadas articulares en la misma ventana. El alumno puede variar fácilmente las coordenadas cartesianas del punto  $P = (x, y)$  arrastrándolo con el ratón mientras observa, al mismo tiempo, cómo varían las coordenadas articulares  $(\theta_1, \theta_2)$ . Esta faceta permite al estudiante comprender y relacionar ambos problemas cinemáticos: directo e inverso. Las soluciones existentes pueden ser seleccionadas desde el panel de la derecha (cuatro variantes para el caso inverso y dos para el directo).

#### 3.2. El robot 3RRR

El robot 3RRR consta de una plataforma móvil unida a una base fija mediante tres cadenas cinemáticas de tipo RRR, constando cada una de ellas, por tanto, de tres articulaciones rotacionales. El mecanismo se gobierna mediante tres articulaciones activas  $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$  y posee un total de 6 juntas pasivas (figura 1(b)). Según se indica en la figura 1(b), esta configuración cuenta con tres grados de libertad, pudiendo fijar la posición del punto  $A = (x_A, y_A)$  y la orientación  $\phi$  de la plataforma de forma independiente.

El mecanismo de tipo 3RRR es más complicado de analizar que el robot 5R, así pues, su análisis es abordado una vez que el alumno ha adquirido los conocimientos necesarios. Durante las lecciones de teoría se analiza la solución a la cinemática inversa del 3RRR, siendo esta bastante sencilla. Además, una solución a la cinemática directa se analiza siguiendo los principios establecidos en [4, 7].

#### 3.3. El robot Delta

El robot Delta es descrito en la figura 1(c), donde se presentan tres cadenas cinemáticas que conectan el extremo con la base del robot. Cada cadena cinemática está formada por dos eslabones que conectan la base y el efector final a través de tres articulaciones rotacionales. Las juntas restringen el movimiento del efector de manera que la orientación se mantiene constante respecto de la base. La figura 1(c) presenta tres articulaciones activas con variables articulares  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  y  $\theta_3$  que pueden ser modificadas. Estas articulaciones son movidas por tres motores independientes instalados en las juntas denotadas  $A_1$ ,  $A_2$  y  $A_3$ . La cinemática in-

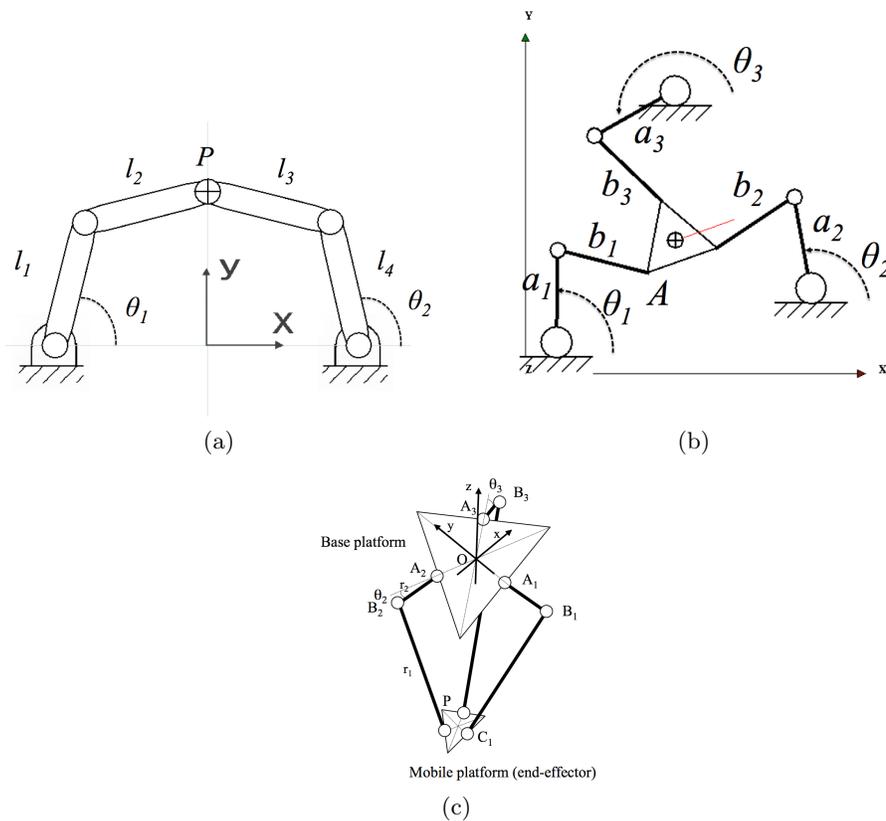


Figura 1: Los robots 5R, 3RRR y Delta.

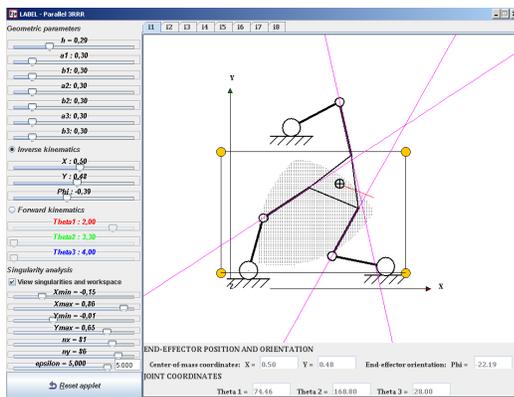


Figura 4: La figura presenta la aplicación desarrollada para el robot 3RRR robot.

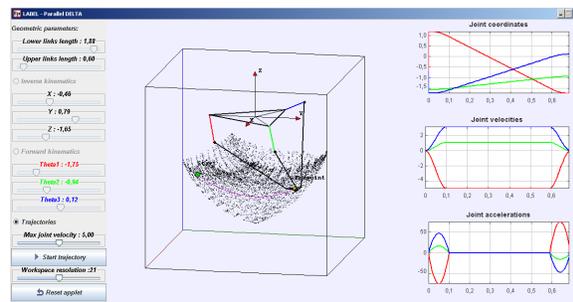


Figura 5: La figura presenta el robot Delta. Los puntos representan los límites del espacio de trabajo.

#### 4. SESIONES PRÁCTICAS Y MANEJO DE LA HERRAMIENTA

En este apartado se presentan una serie de actividades que pueden ser llevadas a cabo mediante la herramienta presentada. Las actividades se han diseñado de manera que la herramienta se presenta de forma gradual y se combina con los conceptos de teoría introducidos durante las clases magistrales. Las sesiones prácticas propuestas son:

- Sesión 1: Introducción a la aplicación LABEL

versa del robot Delta puede ser resuelta de formas diferentes, como en [14], donde se presenta una solución cerrada. La solución de la cinemática directa es más compleja, según se describe en [16].

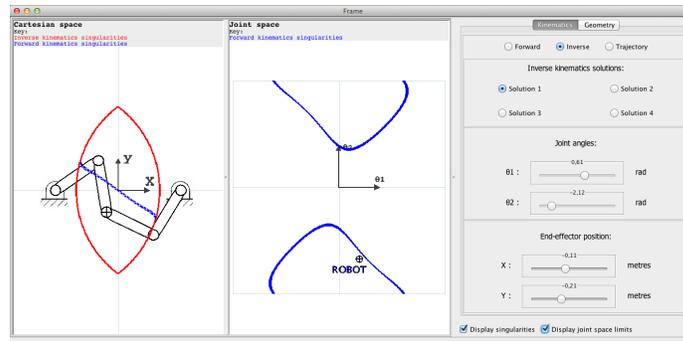


Figura 2: La figura presenta la aplicación del robot 5R. El espacio de trabajo alcanzable se presenta en línea continua. Las singularidades de la cinemática directa se presentan en línea discontinua.

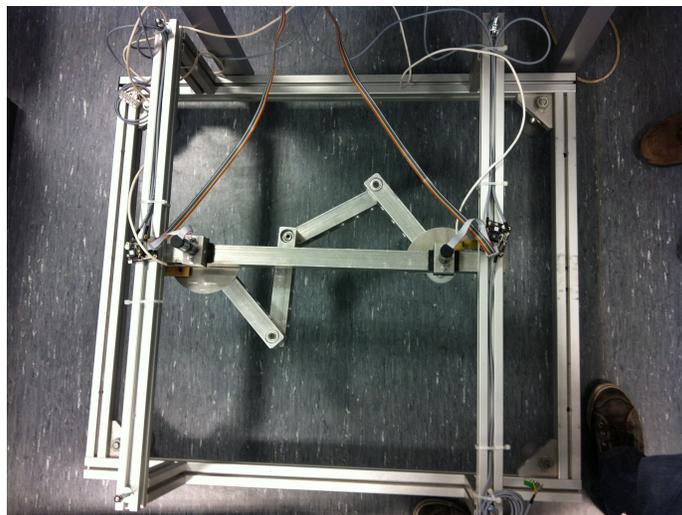


Figura 3: La figura presenta la aplicación que permite conectar con el robot real 5R en nuestro laboratorio.

y análisis del movimiento de las estructuras paralelas.

- Sesión 2: Cinemática inversa.
- Sesión 3: Cinemática directa.
- Sesión 4: Singularidades y espacio de trabajo.
- Sesión 5: Planificación de trayectorias.

#### 4.1. Introducción a la aplicación LABEL y análisis del movimiento de las estructuras paralelas

Se plantea esta sesión como una toma de contacto con los mecanismos de tipo paralelo. Esta sesión se realiza en el laboratorio. Se le indica al estudiante que analice el movimiento de una serie de mecanismos de tipo paralelo en función de las restricciones impuestas por cada eslabón y tipo de articulación. Los grados de libertad de cada mecanismo se calculan utilizando el criterio de Grübler [13]. Se le indica al alumno que calcule los grados de libertad del robot 5R, 3RRR y Delta y que después observe el movimiento mediante la representación gráfica de LABEL.

#### 4.2. Cinemática inversa

Primero, el estudiante analiza la cinemática inversa del robot 5R. Se le indica al estudiante los pasos necesarios para que él mismo derive las ecuaciones. A continuación, el estudiante comprueba y valida todas las soluciones factibles utilizando la herramienta LABEL. Los robots 3RRR (figura 3.3) y Delta (figura 3.3) se analizan de la misma manera.

Los estudiantes son capaces de observar de forma rápida las posibles configuraciones que permiten al robot alcanzar la misma posición, o bien la misma posición y orientación del efector final. En el caso del robot 5R, existen 4 soluciones diferentes para el problema cinemático inverso, según se aprecia en la figura 2.

#### 4.3. Cinemática directa

Esta sesión pretende ayudar a los alumnos en el estudio del problema cinemático directo en los robots paralelos. Esta sesión práctica se desarrolla en parte en el laboratorio y, en parte, como trabajo autónomo del estudiante. Se le indica a los estudiantes que resuelvan las restricciones geométricas de los robots 5R, 3RRR y Delta en función de las coordenadas articulares. Con esto se pretende que los estudiantes entiendan la complejidad de las ecuaciones involucradas en la solución. La solución de estas ecuaciones, o su modelado en cualquier lenguaje de programación no se abordan, debido a la cantidad de tiempo que esto requeriría.

Durante esta práctica los estudiantes son capaces de encontrar las relaciones entre los problemas cinemático e inverso. Para ello, comparan las posibles soluciones para el caso del robot 5R.

#### 4.4. Análisis de singularidades

Durante esta sesión el alumno deberá entender el concepto de punto singular, tanto en la cinemática directa como en la inversa. Esta sesión se realiza a partes iguales en el laboratorio y de forma autónoma por parte del estudiante.

Por ejemplo, la figura 2 presenta en línea continua las singularidades de la cinemática inversa del mecanismo en el espacio cartesiano  $x - y$ . En el caso del robot 5R, estas singularidades corresponden con los límites del espacio de trabajo del robot. Las singularidades en la cinemática directa son visualizadas de forma clara y comprensible mediante la aplicación LABEL.

#### 4.5. Planificación de trayectorias

En esta última sesión, los estudiantes hacen un recorrido global por el problema de la planificación de trayectorias en el robot 5R y el Delta. Primero se expone la importancia del problema de la planificación de trayectorias y se presentan algunas posibles soluciones. A continuación, se les indica a los alumnos que simulen las trayectorias que vienen integradas en la herramienta que simula el robot Delta. En este caso LABEL no integra una detección ni evasión de puntos singulares, con lo que los estudiantes encontrarán problemas en este caso y entenderán la necesidad de diseñar trayectorias libres de singularidades. A continuación, realizarán la misma actividad utilizando el simulador para la plataforma 5R, donde se ha incluido un planificador de trayectorias que evita los puntos singulares. Los estudiantes visualizan al mismo tiempo la trayectoria del extremo en el espacio cartesiano y el espacio articular  $\theta_1 - \theta_2$ , con lo que las singularidades se visualizan al mismo tiempo en ambos espacios.

#### 4.6. Laboratorio remoto

Recientemente se ha añadido a la herramienta un módulo que permite conectar con un mecanismo de tipo 5R real. Así pues, la herramienta LABEL se puede convertir también en un laboratorio remoto manteniendo la misma apariencia (figura 3). De esta manera, el estudiante puede manejar un sistema real de forma remota moviendo el mecanismo en su cinemática directa e inversa, mientras comprueba los mismos conceptos abordados por la herramienta virtual.

## 5. CONCLUSIÓN

Se ha presentado una herramienta educativa que se centra en el análisis cinemático de mecanismos paralelos. Tres mecanismos paralelos clásicos han sido implementados: los robots 5R, 3RRR y Delta. Una aplicación gráfica intuitiva permite al estudiante cambiar las variables articulares, las variables cartesianas del extremo, así como los parámetros geométricos del mecanismo. Además, se han diseñado un conjunto de sesiones prácticas que se pueden realizar con la herramienta. Las sesiones plantean el estudio de la cinemática directa e inversa de las estructuras paralelas comentadas. Además, las singularidades que aparecen en la soluciones de la cinemática directa en inversa también son analizadas. La herramienta también dispone de un módulo para el cálculo de trayectorias que permite al alumno analizar la posición y velocidad del extremo en función de la posición y velocidad de los actuadores, de manera que el alumno puede entender fácilmente la existencia de singularidades en el espacio de trabajo del robot. La herramienta se ha utilizado durante el pasado curso académico 2012-2013. Finalmente, durante los últimos meses se ha añadido a la herramienta un módulo que permite conectar con un mecanismo de tipo 5R real. De esta manera, el estudiante puede manejar un sistema real de forma remota y observar los mismos resultados que obtenía con la plataforma simulada en la aplicación. Como trabajo futuro se plantea incluir en la herramienta un análisis dinámico de los mecanismos integrados.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al proyecto DPI2010-15308 del Ministerio de Ciencia e Innovación, titulado “Exploración integrada de entornos mediante robots cooperativos para la creación de mapas 3D visuales y topológicos que puedan ser usados en navegación con 6 grados de libertad”.

### Referencias

- [1] CANDELAS, F. A., PUENTE, S. R., TORRES, F., ORTIZ, F., GIL, P., AND POMARES, J. A virtual laboratory for teaching robotics. *International Journal of Engineering Education* 19, 3 (2003), 363-370.
- [2] DORMIDO, S. Control learning: present and future. *Annual reviews in Control*, 28 (2004), 115-136.
- [3] FRY, H., KETTERIDGE, S., AND MARSHALL, S. *A Handbook for Teaching & Learning in Higher Education: Enhancing Academic Practice*. Kogan Page, London, U.K., 2003.
- [4] GOSSELIN, C. M., AND SEFRIQUI, J. Polynomial solution for the direct kinematic problem of

- planar three-degree-of-freedom parallel manipulators. In *IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation* (1991).
- [5] JARA, C. A., CANDELAS, F. A., GIL, P., TORRES, F., ESQUEMBRE, F., AND DORMIDO, S. EJS+EjsRL: An interactive tool for industrial robots simulation, computer vision and remote operation. *Robotics and Autonomous Systems* 59, 6 (2011), 389 - 401.
- [6] LIU, X.-J., WANG, J., AND PRISTCHOW, G. Performance atlases and optimum design of planar 5R symmetrical parallel mechanisms. *Mechanism and Machine Theory* 41 (2006), 119-144.
- [7] OETOMO D., HWEE CHOO LIAW, A. G., AND B., S. Direct kinematics and analytical solution to 3RRR parallel planar mechanisms. In *9th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision* (2006), pp. 1-6.
- [8] PARASURAMAN, S., AND LIANG, P. Development of RPS parallel manipulators. In *Computer and Network Technology (ICCNT), 2010 Second International Conference on* (april 2010), pp. 600-605.
- [9] PUERTO, R., JIMÉNEZ, L., AND REINOSO, O. Remote control laboratory via internet using Matlab and Simulink. *Computer Applications in Engineering Education* 18, 4 (2010).
- [10] SANTANA, I., FERRE, M., IZAGUIRRE, E., ARACIL, R., AND HERNÁNDEZ, L. Remote laboratories for education and research purposes in automatic control systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics* (To appear).
- [11] SHIRSAVAR, S. A., POTTER, B. A., AND RIDGE, I. M. L. Three-phase machines and drives. *IEEE Trans. Educ.* 49, 3 (2006), 383-388.
- [12] TAN, D.-P., JI, S.-M., AND JIN, M.-S. Intelligent computer-aided instruction modeling and a method to optimize study strategies for parallel robot instruction. *Education, IEEE Transactions on PP*, 99 (2012), 1.
- [13] TSAI, L.-W. *Robot Analysis. The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators*. John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- [14] TSAI, L. W., AND STAMPER, R. E. A parallel manipulator with only translational degrees of freedom. *System Research* 72 (1997).
- [15] WILLIAMS, J. M., CLAE, J. L., BENAVIDES, N. D., WOOLDRIDGE, J. D., KOEING, A. C., TICHENOR, J. L., AND PEKAREK, S. D. Versatile hardware and software tools for educating students in power electronics. *IEEE Trans. Educ.* 47, 4 (2004), 436-445.
- [16] ZHANG, J., SHI, L., GAO, R., AND LIAN, C. The mathematical model and direct kinematics solution analysis of delta parallel robot. In *IEEE Int. Conf. on Computer Science and Information Technology. ICCSIT 2009* (2009).