



# **Libro de Actas de las Jornadas Nacionales de Robótica 2018**

# Jornadas Nacionales de Robótica

## Spanish Robotics Conference

14-15 de Junio 2018

Valladolid

Organizado por:

Universidad de Valladolid  
Instituto de las Tecnologías Avanzadas de la Producción (ITAP)  
Comité Español de Automática  
Grupo Temático de Robótica



Editores: Eduardo Zalama Casanova, Javier Pérez Turiel,  
Jaime Gómez García-Bermejo,

Editorial CEA-IFAC  
ISBN: 978-84-09-02877-1

Este documento está regulado por la licencia Creative Commons



## ÍNDICE

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| PRESENTACIÓN .....                                               | 3  |
| COMITÉS .....                                                    | 5  |
| COMITÉ ORGANIZADOR .....                                         | 5  |
| COMITÉ CIENTÍFICO .....                                          | 5  |
| COMITÉ LOCAL.....                                                | 6  |
| COLABORADORES.....                                               | 7  |
| SOCIEDADES COLABORADORAS .....                                   | 7  |
| ENTIDADES COLABORADORAS .....                                    | 8  |
| EMPRESAS COLABORADORAS .....                                     | 9  |
| PONENCIAS INVITADAS .....                                        | 10 |
| RoboCup@Home TUTORIAL.....                                       | 13 |
| SESIONES TÉCNICAS.....                                           | 14 |
| SESIÓN 1. ROBÓTICA MÉDICA ASISTENCIAL.....                       | 14 |
| SESIÓN 2. ROBÓTICA SOCIAL.....                                   | 15 |
| SESIÓN 3. CINEMÁTICA, DINÁMICA Y CONTROL DE ROBOTS .....         | 16 |
| SESIÓN 4. LOCALIZACIÓN, NAVEGACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE MAPAS ..... | 17 |
| SESIÓN 5. APLICACIONES E INTERACCIÓN HUMANO-ROBOT .....          | 18 |
| PROYECTOS HISPAROB .....                                         | 19 |
| MESA REDONDA .....                                               | 21 |
| EXPOSICIÓN DE ROBOTS .....                                       | 22 |
| COMUNICACIONES (RESÚMENES).....                                  | 23 |

## PRESENTACIÓN

Quisiéramos dar la bienvenida a todos los asistentes a las Jornadas Nacionales de Robótica de 2018. Los organizadores de estas jornadas hemos acometido esta tarea con la mayor ilusión y esperamos que disfrutéis de una agradable y provechosa estancia en Valladolid. Este año, como en ocasiones anteriores, las jornadas se centrarán en la presentación de resultados de proyectos nacionales e internacionales, aunque como novedad se han incluido trabajos en los que los investigadores más jóvenes presentarán los resultados, avances y evolución de sus tesis doctorales. Por ello, queremos que las jornadas sean un lugar de reunión y encuentro de investigadores jóvenes y seniors donde compartir retos y avances de investigación. Se ha preparado un programa científico en el que se presentan 22 comunicaciones (13 proyectos y 9 tesis) organizadas en 5 sesiones.

Como ponentes invitados se cuenta con la presencia de dos prestigiosos investigadores europeos. Marc Hanheide (University of Lincoln) nos dará una charla sobre la operación de los robots durante largos periodos de tiempo fuera del laboratorio, un reto sin duda hacia el que hay que avanzar para la plena integración de los robots en nuestras vidas. Luca Iocchi (Sapienza University of Rome) nos hablará sobre un tema de candente actualidad en el mundo de la robótica como es la evaluación de los robots mediante competición científica. Presentará los objetivos, resultados y lecciones aprendidas sobre su participación en una de las mayores competiciones científicas mundiales la RoboCup@Home. Posteriormente, María Teresa Lázaro (Sapienza University of Rome) con el apoyo de Sergi Molina, Francesco del Duetto y Manuel Fernández (University of Lincoln) realizará un taller práctico demostrativo sobre el robot Pepper ejecutando tareas propuestas en la RoboCup@Home (Social Standard Platform League).

Hemos querido dar también a estas jornadas un enfoque industrial complementario a la vertiente académica e investigadora. Así hemos incluido una sesión organizada por Hisparob en el que diferentes empresas presentan proyectos de éxito en robótica que han tenido una transferencia efectiva en colaboración con universidades y centros tecnológicos. También, contaremos con empresas que presentarán sus últimos desarrollos de robótica industrial (Controlar, Robotnik, Robot Plus y Sick) con demostraciones en directo. Finalizaremos las jornadas con una mesa redonda abierta a la participación de empresas sobre la robótica en la industria 4.0. En ella se

analizarán los principales retos de la robótica en el entorno industrial: integración, conectividad, seguridad, productividad así como las perspectivas de investigación y desarrollo.

El programa se complementa con 2 comidas de trabajo, tres pausas de café y una cena en la que podremos charlar y compartir experiencias. Además, hemos preparado una visita guiada por el centro de esta maravillosa ciudad que es Valladolid, una ciudad con mucha historia.

Finalmente quisiéramos agradecer a todos los que nos han ayudado a preparar estas jornadas. A nuestros compañeros de departamento y del ITAP que han participado en la organización del evento. A Martin Mellado que nos ha transmitido valiosa información y su experiencia en la organización de las jornadas precedentes. A los estudiantes voluntarios que algunos están todavía inmersos en la preparación de exámenes y otros esperando las ansiadas vacaciones, no han dudado en ayudarnos. Especialmente quisiéramos agradecer a las empresas patrocinadoras y a las organizaciones colaboradoras cuyo soporte nos ha permitido ofreceros una muestra de nuestra cultura y gastronomía. A las sociedades científicas que nos han ayudado a dar difusión a las jornadas, y al comité científico impulsor de la iniciativa, y como no a todos los que nos acompañáis pues sin vosotros nada de esto sería posible.

Eduardo Zalama

Organizador de las Jornadas Nacionales de Robótica 2018

Antonio Giménez

Coordinador del Grupo Temático de Robótica (GTRob) del Comité Español de Automática (CEA)

## COMITÉS

### COMITÉ ORGANIZADOR

- Eduardo Zalama (UVa)
- Antonio Giménez (UAL)

### COMITÉ CIENTÍFICO

- Juan Andrade (IRI, CSIC-UPC)
- Carlos Balaguer (RoboCity2030)
- Antonio Barrientos (UPM)
- Enrique Bernabeu (UPV)
- Dolores Blanco (UC3M)
- Itziar Cabanes (EHU)
- Marc Carreras (UDG)
- Miguel Cazorla (redAF)
- Manuel Ferre (CAR-CSIC)
- Cecilia García (CAR-UPM)
- Antonio Giménez (CEA-GTRob)
- Fernando Gómez (UHU)
- Martin Mellado (UPV)
- Concepción Monje (UC3M)
- Alberto Ortiz (UIB)
- Oscar Reinoso (IEEE-RAS Sp.Chap.)
- Verónica Sáiz (UPV)
- Miguel Angel Salichs (HispaRob)
- Antonio Sánchez (UPV)
- Rafael Sanz (UVIGO)
- Pedro Sanz (UJI)
- José Andrés Somolinos (AutoMar)
- Fernando Torres (UA)
- Alberto Vale (IST-Lisbon)
- Eduardo Zalama (UVa)

## COMITÉ LOCAL

- Enrique Baeyens (UVa)
- Juan Carlos Fraile (UVa)
- Eusebio de la Fuente (UVa)
- M<sup>a</sup> Jesús de la Fuente (UVa)
- Alberto Herreros (UVa)
- Jaime Gómez García-Bermejo (UVa)
- José Luis González Sánchez (UVa)
- Gloria Gutiérrez (UVa)
- Antolín Lorenzana Ibán (UVa)
- Jesús Lorenzo Saenz (UVa)
- Rogelio Mazaeda (UVa)
- Eduardo Moya (UVa)
- José Ramón Perán (Cartif)
- María Ángeles Pérez (UVa)
- Javier Pérez Turiel (UVa)
- Alfonso Poncela (UVa)
- César de Prada (UVa)
- Gregorio Sainz (UVa)
- Fernando Tadeo (UVa)
- Eduardo Zalama (UVa)

## COLABORADORES

### SOCIEDADES COLABORADORAS



Red de Excelencia del MINECO en  
 Automática y Robótica para la Industria  
 Marina



**COESI**

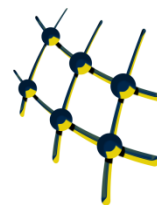
Confederación Española de Sociedades de  
 Ingeniería



Plataforma Tecnológica Española de  
 Robótica



IEEE Robotics and Automation Society.  
 Spanish Chapter



**RED DE  
 AGENTES  
 FÍSICOS**

Red de Excelencia del MINECO de Agentes  
 Físicos



Red de Excelencia del MINECO en  
 Investigación en Neurotecnologías para la  
 Asistencia y la Rehabilitación



Consorcio Robo City 2030

## ENTIDADES COLABORADORAS



Ayuntamiento de  
**Valladolid**



**Instituto de las Tecnologías  
Avanzadas de la Producción**

**EMPRESAS COLABORADORAS**



[CENTRO  
TECNOLÓGICO]

CARTIF



KUKA



robot  
plus

Robotnik



SICK

Sensor Intelligence.

STÄUBLI

## PONENCIAS INVITADAS

Jueves 14 de junio, 10:00-11:00

### **TITLE: Long-Term Autonomy and Interaction of Robots 'In the Wild'**

*Marc Hanheide, University of Lincoln, UK*

#### **ABSTRACT:**

While robots clearly are getting better, operate more autonomously, and exhibit some clever learning these days, taking them out of the labs and 'into the wild' still poses a significant challenge for robots and their creators. The dynamics, the variability, and the often unpredictable behaviour of humans lead to an environment that can even be termed "hostile" for robots. In this talk, I will take the audience from challenges stemming from a number of research projects, over to some solutions that enable robots to adapt and predict change better, all the way to results gathered from long-term deployments (>1 year of deployment time). Some lessons learned and remaining challenges will be discussed, together with main insights in relation to computational learning, software engineering, and human-robot interaction.

#### **Biography:**



Marc Hanheide is a Professor of Intelligent Robotics & Interactive Systems in the School of Computer Science at the University of Lincoln, UK. He received the Diploma in computer science from Bielefeld University, Germany, in 2001 and the Ph.D. degree (Dr.-Ing.) also in computer science also from Bielefeld University in 2006. In 2001, he joined the Applied Informatics Group at the Technical Faculty of Bielefeld University. From 2006 to 2009 he held a position as a senior researcher in the Applied Computer Science Group. From 2009

until 2011, he was a research fellow at the School of Computer Science at the University of Birmingham, UK.

Marc Hanheide is a Principle Investigator in many national and international research projects, funded by H2020, EPSRC, InnovateUK, DFG, industry partners, and others. The STRANDS, ILIAD, RASberry, and NCNR projects are among the bigger projects he is involved with. In all his work, he researches on autonomous robots, human-robot interaction, interaction-enabling technologies, and system architectures. Marc Hanheide specifically focuses on aspects of long-term robotic behaviour and human-robot interaction and adaptation. His work contributes to robotic applications in care, logistics, nuclear decommissioning, security, agriculture, and general service robotics.

He features regularly in public media, has published more than 80 peer-reviewed articles, and is actively engaged in promoting the public understanding of science through appearances in dedicated events and public lectures.

Jueves 14 de junio, 15:30-16:30

## **Title: RoboCup@Home: Benchmarking domestic and service robots through scientific competitions**

*Luca Iocchi, Sapienza University of Rome*

### **ABSTRACT:**

RoboCup@Home is the largest world-wide initiative to benchmark domestic and service robots through scientific competitions. This talk provides an overview of the goals, the methodology, the results, the lessons learned, and the future of the RoboCup@Home competitions.

RoboCup@Home has inspired other competitions (e.g., European Robotics League Service Robots) and has produced many significant scientific results, attracted companies interested in investing in service and social robots, and has created a large community world-wide. Regional diffusion is achieved through local RoboCup@Home Education challenges, lowering the barriers to enter the competition.

### **Biography:**



Luca Iocchi is Associate Professor at Department of Computer, Control, and Management Engineering, Sapienza University of Rome, Italy. His main research interests are in the integration of artificial intelligence and robotics, including cognitive robotics, knowledge representation and reasoning for mobile robots, human-robot interaction, robot learning and multi-robot cooperation. He has been involved in RoboCup@Home competition since 2006, with several roles, and he is currently member of the Board of Trustees of the RoboCup Federation.

Aula de Simulación I  
Jueves 14 de junio, 16:30-17:30  
18:00-19:00

## RoboCup@Home TUTORIAL

**Title: Practical and demo using the Softbank Pepper robot to execute tasks for RoboCup@Home Social Standard Platform League.**

- *Maria Teresa Lázaro*, Sapienza University of Rome, Italy - Navigation
- *Sergi Molina*, University of Lincoln, UK - People perception
- *Francesco del Duchetto*, University of Lincoln, UK - Speech recognition
- *Manuel Fernanded-Carmona*, University of Lincoln, UK - Object perception

Organizer:

**María Teresa Lázaro**

*Short bio:* María Teresa Lázaro is Post Doctoral researcher at Department of Computer, Control, and Management Engineering, Sapienza University of Rome, Italy. Her main research interests include multi-robot SLAM and mobile robot navigation. She is leader of the SPQReL team which participates at international competitions such as European Robotics League and RoboCup@Home SSPL with SoftBank Robotics Pepper robot.

## SESIONES TÉCNICAS

Jueves 14 de junio, 11:30-12:30

### SESIÓN 1. ROBÓTICA MÉDICA ASISTENCIAL

Moderador: Luis Moreno

[Desarrollo de un exoesqueleto de rehabilitación para miembro superior basado en SMA](#)

D. Serrano, D.-S. Copaci, L. Moreno, M. D. Blanco  
University Carlos III of Madrid

[Métodos automatizados para evaluación funcional de miembro superior en Neurorehabilitación](#)

E. D. Oña, A. Jardón Huete, C. Balaguer  
University Carlos III of Madrid

[Descripción del modelo experimental para la medida de distancia en tejidos biológicos a partir de señales RF](#)

N. Bermejo, E. Ávila, J.M. Sabater-Navarro  
Universidad Miguel Hernández

[Robot para rehabilitación de las funciones de la mano mediante terapias activas, en personas con discapacidad neuromotora](#)

J.C. Fraile, J. Pérez-Turiel, J.A. López-Belloso, R. Alonso, A. Cisnal, V. Lobo, V. Moreno  
Instituto de las Tecnologías Avanzadas de la Producción (ITAP), Universidad de Valladolid  
Centro Tecnológico CARTIF

Jueves 14 de junio, 12:30-13:30

## **SESIÓN 2. ROBÓTICA SOCIAL**

Moderador: Antonio Giménez

### [Diseño de la interacción multimodal basado en actos comunicativos modulares en robots sociales](#)

E. Fernández, Á. Castro, J.C. Castillo, E. Salichs, M.Á. Salichs  
University Carlos III of Madrid

### [Plataforma para un entorno asistencial inteligente heterogéneo](#)

A. Casals, M. Vinagre, J. Aranda, J. Amat  
Universitat Politècnica de Catalunya

### [Ayuda a personas mayores mediante robots sociales: Desarrollos preliminares](#)

E. Salichs, M. Malfaz, J.C. Castillo, E. Fernández, M.Á. Salichs  
University Carlos III of Madrid

### [Estudio y aplicación del robot Pepper para la interacción con personas mayores](#)

L. Cobo, E. Zalama, J. Gómez-García-Bermejo  
Centro Tecnológico CARTIF  
Instituto de las Tecnologías Avanzadas de la Producción (ITAP), Universidad de Valladolid

Jueves 14 de junio, 16:30-17:30

### **SESIÓN 3. CINEMÁTICA, DINÁMICA Y CONTROL DE ROBOTS**

Moderador: Alberto Ortiz

[Analysis and design of a serial-parallel redundant biped climbing robot](#)

A. Peidró, J.M. Marín, A. Gil, Y. Berenguer, Ó. Reinoso  
Universidad Miguel Hernández

[Design and performance validation of a cable-driven soft robotic neck](#)

L. Nagua, C.A. Monje, J. Muñoz, C. Balaguer  
University Carlos III of Madrid

[ExoFlex: Diseño de un nuevo exoesqueleto flexible para el tren superior para la ayuda en tareas de manipulación](#)

J.L. Samper, A.F. Contreras, J.J. Lorenzo, D. Pont, R. Paredes, M.Á. Sánchez-Urán, M. Ferre, F. Garnacho, R. Ruiz, Á. García-Beltrán  
Centro de Automática y Robótica UPM-CSIC

[Humanoid balance control based on force/torque and visual information](#)

J.M. García-Haro, S. Martínez, C. Balaguer  
University Carlos III of Madrid

Jueves 14 de junio, 18:00-19:00

#### **SESIÓN 4. LOCALIZACIÓN, NAVEGACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE MAPAS**

Moderador: Pedro J. Sanz

[New steps towards the integration of robotic and autonomous systems in the inspection of vessel holds](#)

A. Ortiz, K. Yao, F. Bonnín, E. García-Fidalgo, J.P. Company-Corcoles  
Universidad de las Islas Baleares

[Uso de descriptores basados en apariencia global para la localización y creación de mapas](#)

Y. Berenguer, L. Paya, A. Peidró, O. Reinoso  
Universidad Miguel Hernández

[Proyecto BLUE: Robot para localización en entornos no estructurados](#)

M.Á. Muñoz, I. Pino, S. Cova, M.Á. Contreras, F.A. Candelas, F. Torres  
Universidad de Alicante

[Aprendizaje automático aplicado a la ciberseguridad en robots autónomos](#)

Á.M. Guerrero-Higueras, V. Matellán, F.J. Rodríguez, M.Ángel Conde, C. Fernández  
University of Leon  
University of Luxembourg

Viernes 15 de junio, 9:00-10:30

## **SESIÓN 5. APLICACIONES E INTERACCIÓN HUMANO-ROBOT**

Moderador: Antonio Barrientos

### [Desarrollo de un vehículo eléctrico de código abierto para personas mayores](#)

L.M. Bergasa, R. Sanz, J. López, E. Paz, C. Otero, P. Sánchez, R. Barea, E. López, P. Revenga, E. Molinos, E. Romera  
University of Alcalá  
University of Vigo

### [Una propuesta para la comunicación entre robots móviles y redes WSN basada en el estándar IEEE 802.15.4](#)

J. Medina, F. Gómez-Bravo, M. Sanchez, J.-A. Gomez-Galan, R. Jiménez-Naharro, R. López de Ahumada, M.P. Carrasco, C. Rubia-Marcos  
Universidad de Huelva

### [Diseño de un exoesqueleto para tareas de mantenimiento industrial](#)

A. Blanco, J. Diez, D. López, J.V. García, J.M. Catalán, L.D. Lledo, N. Garcia-Aracil  
Universidad Miguel Hernández

### [Robotic Laser Cutting Cell for Rubber profiles Cutting Along Variable-depth Three Dimensional Paths \(PROCUT3D\)](#)

C.M. Casado, M. de Diego, E. Moya, R. Alonso, S. Saludes  
Centro Tecnológico CARTIF  
Instituto de las Tecnologías Avanzadas de la Producción (ITAP), Universidad de Valladolid

### [Localización de eventos táctiles en Interacción Humano-Robot](#)

J.J. Gamboa, F.Alonso, J.C. Castillo, M.Á. Salichs  
University Carlos III of Madrid

### [Robótica Marina de Intervención: Manipulación, Localización, Comunicaciones y HRI](#)

P.J. Sanz, R. Marín, J.V. Martí, A. Soriano, J.M. Claver  
Jaume I University  
University of Valencia

Salón de Actos  
Viernes 15 de junio, 10:30-11:30

## PROYECTOS HISPAROB

Moderador: Miguel Ángel Salichs

**Título: Descripción de los sistemas de colaboración a largo plazo entre la universidad/centros tecnológicos y Aldakin.**

*Ibai Inziarte Hidalgo - Research And Development - ALDAKIN S.L*

**Título: GMV- 35 años colaborando con universidades españolas.**

*Juan Carlos Llorente – Desarrollo de Negocio Corporativo - GMV.*

### **ABSTRACT:**

GMV es una multinacional tecnológica española fundada en 1984. Desde sus orígenes como spin-off del Departamento de Mecánica del Vuelo de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos de la Universidad Politécnica de Madrid colabora dentro de sus áreas de especialización con un buen número de universidades españolas. También en robótica, como por ejemplo el demostrador Foxiris para la petrolera Total, la robótica espacial o el proyecto CIEN PRODUCTIO (PROductivity InDUstrial EnhanceMent through enabling TechnOLOGies) relacionado con las robóticas industrial y colaborativa. Las puertas siguen completamente abiertas para analizar nuevas oportunidades de colaboración, preferiblemente con clientes interesados en posibles aplicaciones operacionales que permitan amortizar parte de las enormes inversiones realizadas en proyectos de I+D+i.

**Título: Experiencia de Cartif en el desarrollo y transferencia de soluciones robóticas de rehabilitación.**

*Pablo Viñas – Director de área de Bienestar y Salud -Fundación Cartif.*

**ABSTRACT:**

La misión de CARTIF como centro tecnológico es ofrecer soluciones innovadoras a las empresas, para mejorar sus procesos, servicios, sistemas y productos, incrementando la competitividad y creando nuevas oportunidades de negocio. Desde su creación en 1994 en el seno del Departamento de Ingeniería y Automática de la Escuela de Ingenieros de la Universidad de Valladolid, CARTIF ha trabajado para fortalecer las relaciones entre la Universidad y las empresas, lo que le ha permitido desarrollar soluciones tecnológicas innovadoras. En el ámbito de la robótica comenzó trabajando en robótica industrial, pero las necesidades del entorno le impulsaron a evolucionar hacia el desarrollo de un gran número de robots de servicios. En concreto se presenta la línea de I+D+i de Cartif en el ámbito del desarrollo de soluciones robóticas de rehabilitación, exponiendo la experiencia y la apuesta por generar un ecosistema desde el que sea posible desarrollar nuevas oportunidades de colaboración.

Salón de Actos  
Viernes 15 de junio, 12:00-13:30

## MESA REDONDA

### **Los Nuevos Retos de la Robótica en la Industria 4.0.**

En esta mesa redonda participan los principales actores de la robótica en la nueva industria 4.0, fabricantes, desarrolladores y usuarios. Se analizan los principales retos que se plantean: integración, conectividad, seguridad, regulación, productividad así como las perspectivas de investigación y desarrollo. El acto está abierto a todos los interesados en el ámbito de la robótica, en especial a empresas, desarrolladores y usuarios.

#### **Ponentes:**

- Juan Luis Redondo (Renault, Piloto Desarrollo Automatizaciones, Ingeniería Proceso Vehículo)
- Pedro Mínguez (Kuka, Sales Director Global Key Accounts )
- José Luis Mallén, (Sick, Safety Application Specialist)
- Sergio Pena (Robotplus, Desarrollo de Negocio)
- María Benítez (Robotnik, Chief Marketing Officer)
- José Ramón Perán (Fundación Cartif, Director General) (Moderador)

Hall de entrada de la EII  
Jueves 14 de junio, 8:00-20:30  
Viernes 15 de junio, 8:30-13:30

## EXPOSICIÓN DE ROBOTS

Exposición de robots colaborativos y de servicio



## COMUNICACIONES (RESÚMENES)

### [Desarrollo de un exoesqueleto de rehabilitación para miembro superior basado en SMA](#)

D. Serrano, D.-S. Copaci, L. Moreno, M. D. Blanco  
University Carlos III of Madrid

La robótica de rehabilitación ha surgido en las últimas décadas como una tecnología muy prometedora de cara a su incorporación en el sistema sanitario como ayuda a los equipos médicos. El envejecimiento de la población, está incrementando el número de personas que requieren tener acceso a este tipo de dispositivo de rehabilitación, puesto que en personas de avanzada edad es más probable la aparición de enfermedades que requieren terapias de rehabilitación. Igualmente, los altos costes de la atención sanitaria hacen que estas tecnologías de ayuda adquieran cada día mayor relevancia. Esta tesis doctoral se encuadra en el desarrollo de exoesqueletos robóticos para rehabilitación.

La tesis doctoral que aquí se presenta se desarrolla en el grupo de investigación RoboticsLab de la Universidad Carlos III de Madrid dentro del programa de Doctorado en Ing. Eléctrica, Electrónica y Automática. La propuesta de investigación que se plantea se centra en el desarrollo de exoesqueletos actuados con fibras Shape Memory Alloy (SMA) para el miembro superior, concretamente para la articulación de la muñeca y para la mano. En trabajos previos del equipo de investigación se ha demostrado la viabilidad del uso de este tipo de actuadores en robótica de rehabilitación. Esta tesis doctoral pretende dar un paso más, desarrollando dispositivos con mayor funcionalidad, que incorporen un sistema sensorial adecuado para servir a los terapeutas como herramienta de diagnóstico y seguimiento de la evolución del paciente.

### [Métodos automatizados para evaluación funcional de miembro superior en Neurorehabilitación](#)

E. D. Oña, A. Jardón Huete, C. Balaguer  
University Carlos III of Madrid

La tesis descrita en este artículo está enfocada en el estudio y desarrollo de métodos automáticos de evaluación de funcionalidad motora de la extremidad superior, basados en los tradicionales, y que generen métricas similares, pero más objetivas. Con ese fin, se ha implementado un sistema de evaluación automático de la destreza manual gruesa basado en el Box and Blocks Test (BBT). El desarrollo de la prueba es monitorizado por un sensor Kinect V2 y procesando la información capturada por el sensor se obtiene automáticamente la puntuación del test. La fiabilidad del método propuesto se ha estudiado a través de un ensayo piloto en un centro de salud, comparando las puntuaciones del método automático con las del método tradicional. Los resultados apoyan el uso de métodos automatizados de evaluación funcional, que, en combinación con sistemas de rehabilitación

### **Descripción del modelo experimental para la medida de distancia en tejidos biológicos a partir de señales RF**

N. Bermejo, E. Ávila, J.M. Sabater-Navarro  
Universidad Miguel Hernández

Este trabajo presenta una descripción del sistema experimental desarrollado para la medición de distancias en tejidos biológicos utilizando señales de radiofrecuencia. El objetivo final del trabajo de tesis es su aplicación futura a la navegación en un sistema robótico dedicado a neurocirugía. En este artículo se describen tanto el set-up para calibración de las antenas de RF como el set-up para desarrollo del algoritmo de reconstrucción 3D de la imagen médica. Además, se presenta el modelo y detalles de fabricación de los materiales utilizados como modelo de material biológico en las medidas de características dieléctricas. Se presentan los primeros resultados obtenidos en la caracterización dieléctrica de estos materiales, y se obtienen los valores de las constantes dieléctricas de los materiales sintetizados. También se muestran las primeras señales de distancia obtenidas. En futuros trabajos se utilizarán estas medidas para obtener imágenes de la cabeza que permitan detectar la posición y salud del tejido cerebral.

### **Robot para rehabilitación de las funciones de la mano mediante terapias activas, en personas con discapacidad neuromotora**

J.C. Fraile, J. Pérez-Turiel, J.A. López-Belloso, R. Alonso, A. Cisnal, V. Lobo, V. Moreno  
Instituto de las Tecnologías Avanzadas de la Producción (ITAP), Universidad de Valladolid  
Centro Tecnológico CARTIF

El objetivo técnico principal de este proyecto es la creación, desarrollo, implantación y pruebas clínicas de un nuevo prototipo de robot háptico activo para mantenimiento y rehabilitación neuromotora de la mano en pacientes con daño cerebral adquirido. A este prototipo robotizado lo denominamos "RobHand". Se trata de un robot tipo exoesqueleto, que permitirá al paciente la realización de terapias de agarre-prensión ("*grasping*"), y terapias relacionadas con rotación del antebrazo (pronación / supinación). RobHand permitirá la realización de terapias activas de neuro-rehabilitación de la mano auto-adaptadas "on-line" a las necesidades de cada paciente (paradigma "*assistance as needed*"), mediante estrategias de control basadas en *feedback* háptico y visual. El *feedback* háptico será utilizado para controlar el dispositivo robotizado y hacerlo compatible con la interacción del paciente. El *feedback* visual permitirá al paciente realizar tareas de neuro-rehabilitación motora a través de escenarios virtuales adaptados a sus necesidades.

## **Diseño de la interacción multimodal basado en actos comunicativos modulares en robots sociales**

E. Fernández, Á. Castro, J.C. Castillo, E.Salichs, M.Á. Salichs  
University Carlos III of Madrid

En el campo de la Robótica Social, uno de los factores clave es dotar a los robots de la capacidad para interactuar con usuarios de una manera que resulte natural. Para ello, el robot tiene que poder extraer información del entorno, entender la información que le comunican los usuarios, buscar una respuesta adecuada y expresar dicha respuesta. También tiene que ser capaz de llevar la iniciativa y ser quien le dé, o pida, información al usuario. El Gestor de Diálogos (DM, por sus siglas en inglés) es el sistema a cargo de controlar la interacción entre varios interlocutores. En este trabajo presentamos un DM multimodal para robots sociales. Con el sistema propuesto buscamos dividir el control de la interacción en dos niveles: El nivel de la aplicación, donde se toman las decisiones que requieren información relativa a la tarea; y el nivel del gestor, que se encarga de gestionar el intercambio de información entre las partes que participan en el diálogo, sin valorar aspectos que requieran conocimiento de la tarea. Nuestro DM está basado en unidades básicas de interacción que pueden ser combinadas para crear diálogos más complejos. Estas unidades se conocen como Actos Comunicativos (CAs, por sus siglas en inglés). Los CAs pueden ser configurados por las aplicaciones para que se adapten a cualquier tarea que el robot tenga que realizar. En este trabajo se presenta un caso de estudio en el marco de un ejercicio de estimulación cognitiva, con la intención de validar el sistema.

## **Plataforma para un entorno asistencial inteligente heterogéneo**

A. Casals, M. Vinagre, J. Aranda, J. Amat  
Universitat Politècnica de Catalunya

La creciente demanda de soporte tecnológico para la asistencia a personas con necesidades especiales obliga a avanzar tecnológicamente hacia sistemas más eficientes y con más prestaciones. En esta línea, en este artículo se describen los avances en el desarrollo de una plataforma que permite el control coordinado de diferentes agentes y otros elementos del entorno para conseguir un comportamiento autónomo en base a las necesidades o deseos del usuario. Para ello se estructura este entorno en base a la potencialidad de cada agente y elemento del entorno, así como del contexto dinámico, para generar los adecuados planes de actuación y la coordinación en su ejecución.

### **Ayuda a personas mayores mediante robots sociales: Desarrollos preliminares**

E. Salichs, M. Malfaz, J.C. Castillo, E. Fernández, M.Á. Salichs

University Carlos III of Madrid

Esta investigación doctoral se centra en estudiar y presentar las ventajas y posibilidades que tienen los robots sociales para ser utilizados como ayuda a personas de la tercera edad y a sus cuidadores. La investigación se enmarca dentro de los trabajos que se llevan a cabo en el campo de la robótica social por parte del Robotics Lab de la Universidad Carlos III de Madrid. El objetivo principal de este trabajo es evaluar las necesidades y preferencias de los usuarios, tanto en cuanto al diseño físico del robot como a sus funcionalidades, y en qué medida estas pueden ser cubiertas por un robot. Otra rama de esta tesis es la relacionada con la estimulación cognitiva. En este aspecto, se tiene como fin llegar a desarrollar un programa de estimulación cognitiva para ancianos en el que se utilice el robot como herramienta principal para llevarlo a cabo. Para poder analizar su eficacia, se han llevado a cabo una serie de pruebas preliminares cuyo resultado se expone en este paper.

### **Estudio y aplicación del robot Pepper para la interacción con personas mayores**

L. Cobo, E. Zalama, J. Gómez-García-Bermejo

Centro Tecnológico CARTIF

Instituto de las Tecnologías Avanzadas de la Producción (ITAP), Universidad de Valladolid

Este trabajo se centra en el desarrollo de estrategias de interacción social de un robot destinado a interactuar con personas mayores, de forma que las asista y contribuya a desarrollar sus capacidades físicas y cognitivas para la mejora de su calidad de vida. Se han desarrollado diferentes funcionalidades que un robot puede ofrecer al usuario, entre las que se incluyen: conversación, interacción por voz y mediante interfaz táctil, obtención de información, juegos, ejercicios y música. La investigación ha sido validada tanto en el laboratorio como el entorno operacional real de una residencia de personas mayores, demostrando que los robots sociales asistenciales son una herramienta útil y con gran potencial para interactuar con personas mayores y mantenerlas entretenidas y motivadas, en particular con la realización de juegos y ejercicios.

### **Analysis and design of a serial-parallel redundant biped climbing robot**

A. Peidro, J.M. Marín, A. Gil, Y. Berenguer, Ó. Reinoso

Universidad Miguel Hernández

This paper summarizes a PhD thesis consisting in the analysis and design of the HyReCRo robot, which is a serial-parallel redundant robot for climbing and exploring three-dimensional metallic structures. First, the HyReCRo robot is described. Then, the forward and inverse kinematic problems of this robot are solved, including a kinematic analysis of the parallel mechanisms that

make up the legs of this robot. Next, the workspace of the HyReCRo robot is analyzed, proposing two new methods for obtaining the boundaries and interior barriers of the workspace of redundant robots. Finally, a prototype of the HyReCRo robot is presented, which includes the design of novel magnetic grippers for climbing steel structures.

### **Design and performance validation of a cable-driven soft robotic neck**

L. Nagua, C.A. Monje, J. Muñoz, C. Balaguer  
University Carlos III of Madrid

The purpose of this paper is to design a soft robotic neck prototype with two Degrees of Freedom (DOF). It is mainly aimed to investigate, study and design a mechanism that allows to simulate the movements of a human neck, concretely the movements of flexion, extension and lateral bending. To achieve these movements, the design is made based on a cable-driven mechanism, validating the design of spring, through which it will be possible to obtain the sketch of the components that make up the soft neck and then its manufacture in a 3D printer. Another important aspect for the development of the project is the load weight that the softneck can support, in order to size the motors that are needed for the operation of the parallel mechanism. In addition, the analysis of its mathematical model for the control system that will be implemented in future work is carried out.

### **ExoFlex: Diseño de un nuevo exoesqueleto flexible para el tren superior para la ayuda en tareas de manipulación**

J.L. Samper, A.F. Contreras, J.J. Lorenzo, D. Pont, R. Paredes, M.Á. Sánchez-Urán, M. Ferre, F. Garnacho, R. Ruiz, Á. García-Beltrán  
Centro de Automática y Robótica UPM-CSIC

El exotraje descrito en este artículo se define como un dispositivo flexible que asiste los movimientos del brazo, concretamente codo y hombro, en la realización de distintas tareas de la vida cotidiana. Para ello, este exoesqueleto flexible combina una estructura de actuación por cable con arquitecturas sensoriales de distinta naturaleza. A partir de la información proporcionada por los sensores, un sistema predictor, formado por varias redes neuronales pre-entrenadas con un conjunto de movimientos, es capaz de estimar de forma fiable la intención de movimiento del usuario. Hasta la fecha se ha diseñado la estructura mecánica del exoesqueleto y está en desarrollo la parte de control de alto nivel y predicción de movimiento.

### **Humanoid balance control based on force/torque and visual information**

J.M. García-Haro, S. Martínez, C. Balaguer  
University Carlos III of Madrid

Different robotic systems are used into the service robot field. The most complex kind of robots dedicated for these tasks are humanoid robots. But these robots are the most versatile at the same time. This thesis presents the use of the humanoid robot TEO (Task Environment Operator) as a waiter robot. In this case, the robot will try to imitate a waiter. Therefore in this research, there are two main goals. The first one is related with the transporting task. The idea is to learn how a humanoid robot should manipulate objects without physical grasping. The most important will be maintaining the object balance with an appropriate control system to deal with this specific service application. The purpose is understood the motion's physics for the object balance through the use of sensor fusion. The second aim is related with the whole-body balance control of the robot and the effects of this control on the manipulation task. Applying different push-recovery strategies, the robot should be able to keep its stability and maintain the equilibrium of the transported object.

### **New steps towards the integration of robotic and autonomous systems in the inspection of vessel holds**

A. Ortiz, K. Yao, F. Bonnín, E. García-Fidalgo, J.P. Company-Corcoles  
Universidad de las Islas Baleares

Vessels constitute one of the most cost effective ways of transporting goods around the world. Despite the efforts, maritime accidents still occur, sometimes with catastrophic consequences. Ships involved in these activities are periodically submitted to inspections for the early detection of the defective situations that precede service disruptions, personnel injuries and, ultimately, shipwrecks. These inspections are nowadays carried out by human surveyors at a great cost from both time and economical points of view. The recently initiated EU-funded H2020 project ROBINS pursues filling the technology and regulatory gaps that today still represent a barrier to the adoption of Robotics and Autonomous Systems (RAS) in activities related to the inspection of ships, starting from understanding end user's actual needs and expectations as well as analyzing how existing or near-future technology can meet them. This paper overviews the ROBINS project, focusing on the main development activities to be carried out by the UIB, namely a re-designed Micro-Aerial Vehicle (MAV) specialized for the inspection of cargo holds and new tools for the analysis of the inspection data collected by the robotic platforms.

## **Uso de descriptores basados en apariencia global para la localización y creación de mapas**

Y. Berenguer, L. Paya, A. Peidró, O. Reinoso  
Universidad Miguel Hernández

Este trabajo presenta las aportaciones más relevantes realizadas dentro de la tesis 'Uso de descriptores holísticos para la localización y creación de mapas: una aproximación al Graph-SLAM mediante apariencia visual', la cual será defendida el día 27 de abril de 2018 en la Universidad Miguel Hernández de Elche. Hoy en día, el campo de la robótica móvil está cada vez más presente en diferentes campos y aplicaciones como puede ser la conducción autónoma. Debido a esta creciente presencia, la comunidad científica trata de desarrollar nuevos algoritmos para proveer a los robots móviles de mayor autonomía para tomar mejores decisiones en sus tareas.

Con este objetivo, el robot debe desarrollar diferentes habilidades esenciales a la hora de poder navegar por entornos desconocidos. Una de estas habilidades es la de crear un mapa del entorno a partir de información recogida con los sensores equipados en él. Otra de estas habilidades consiste en ser capaz de localizarse dentro del mapa creado anteriormente. En el caso de que ambas tareas (creación de mapas y localización) se ejecuten al mismo tiempo se conoce como SLAM (Simultaneous Localization And Mapping).

En las investigaciones de la tesis de la que trata este trabajo se presentan diferentes algoritmos de creación de mapas y localización utilizando información obtenida a través de sensores visuales omnidireccionales. Asimismo, para la descripción de las imágenes se utilizan técnicas basadas en la apariencia global de las imágenes. Todos los algoritmos se testan con diversos conjuntos de imágenes, tanto imágenes generadas virtualmente como imágenes capturadas bajo condiciones de trabajo reales y teniendo en cuenta fenómenos habituales como cambios de iluminación y oclusiones.

## **Proyecto BLUE: Robot para localización en entornos no estructurados**

M.Á. Muñoz, I. Pino, S. Cova, M.Á. Contreras, F.A. Candelas, F. Torres  
Universidad de Alicante

En este artículo describimos los trabajos, tanto desarrollados como en progreso, concernientes a un proyecto de investigación solicitado por el grupo AUROVA de la Universidad de Alicante. Este proyecto tiene por objetivo desarrollar robots autónomos capaces de navegar de forma robusta, segura y fiable en entornos con distintos grados de estructuración. En el presente trabajo describimos el diseño y adaptación de una plataforma robótica terrestre y las diferentes líneas de investigación previstas para avanzar hacia una navegación completamente autónoma: identificación de objetos estáticos y dinámicos presentes en el entorno mediante técnicas de Deep Learning, fusión multi-sensorial empleando un framework de Graph-SLAM y finalmente, la adaptación de técnicas de servo guiado visual para el posicionamiento preciso de vehículos con restricciones cinemáticas de tipo Ackermann.

### **Aprendizaje automático aplicado a la ciberseguridad en robots autónomos**

Á.M. Guerrero-Higueras, V. Matellán, F.J. Rodríguez, M. Ángel Conde, C. Fernández  
University of Leon  
University of Luxembourg

El problema que aborda el proyecto es la ciberseguridad de los robots autónomos. En primer lugar, se caracterizarán las vulnerabilidades conocidas en robots mediante un análisis sistemático de la literatura. También se instalará un honeypot que simule un robot controlado por el middleware estándar en desarrollo robótico ROS (Robot Operating System). Con los datos extraídos del honeypot se espera generar un extenso conjunto de datos (dataset) que se analizará utilizando técnicas existentes de análisis de datos y de aprendizaje automático. A partir de los resultados de ese análisis se desarrollarán nuevos algoritmos de detección y prevención de ciber-ataques específicos para robots. En paralelo, se diseñarán e implementarán componentes para ROS que permitan integrar los sistemas de ciberseguridad en diferentes tipos de robots. Se desarrollarán tres prototipos para la validación de las ideas propuestas.

Para ello, se utilizarán dos robots de los que dispone actualmente el grupo: un bi-manipulador Baxter, el robot más popular para los nuevos entornos de fabricación puesto que permite la colaboración entre robots y humanos en las líneas de producción (industria 4.0), y un manipulador móvil de servicios RB1 (fabricado por la empresa española Robotnik). Adicionalmente, se solicita financiación para disponer de un androide (Pepper, fabricado por Aldebaran) orientado a la interacción social, que complementará los robots de que dispone el grupo.

### **Desarrollo de un vehículo eléctrico de código abierto para personas mayores**

L.M. Bergasa, R. Sanz, J. López, E. Paz, C. Otero, P. Sánchez, R. Barea, E. López, P. Revenga, E. Molinos, E. Romera  
University of Alcalá  
University of Vigo

Este artículo presenta algunos de los principales resultados de un proyecto de investigación en tecnologías para el desarrollo de un coche eléctrico autónomo que asista al sector de población de personas mayores en entornos fundamentalmente urbanos. La arquitectura del software empleada se basa en el sistema operativo ROS (*Robot Operating System*). Se describe nuestra propuesta de arquitectura ROS para la percepción del entorno, la navegación y la planificación en un campus universitario. Para evaluar el sistema, se han llevado a cabo diferentes pruebas en un simulador basado en V-REP que incluyen escenarios con diferentes comportamientos, tales como: mantenimiento de carriles, intersección de carriles y parada en un cruce de peatones. La arquitectura desarrollada se está aplicando a un coche eléctrico de código abierto orientado a un sector de la población con necesidades crecientes.

### **Una propuesta para la comunicación entre robots móviles y redes WSN basada en el estándar IEEE 802.15.4**

J. Medina, F. Gómez-Bravo, M. Sanchez, J.-A. Gomez-Galan, R. Jiménez-Naharro, R. López de Ahumada, M.P. Carrasco, C. Rubia-Marcos  
Universidad de Huelva

En este trabajo se propone un procedimiento basado en el estándar IEEE 802.15.4 que permite la comunicación bidireccional entre una red estática de sensores inalámbricos y nodos sensores que pueden estar soportados por robots móviles. El mecanismo propuesto se basa en el uso de la modalidad de transmisión no balizada, lo cual permite optimizar el uso de los recursos energéticos y temporales respecto al que se hace mediante la utilización de un procedimiento clásico basado en continuas asociaciones de los nodos móviles.

### **Diseño de un exoesqueleto para tareas de mantenimiento industrial**

A. Blanco, J. Díez, D. López, J.V. García, J.M. Catalán, L.D. Lledo, N. Garcia-Aracil  
Universidad Miguel Hernández

En el presente artículo se presenta el estado actual del proyecto de transferencia de tecnología denominado ExIF Exoesqueleto Robótico Inteligente y Sistemas Avanzados de Interface Hombre Máquina para tareas de mantenimiento en las Industrias del Futuro. El proyecto está financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial, E.P.E. (CDTI-E.P.E.). El sistema propuesto en el proyecto ExIF puede dividirse en tres subsistemas: i) sistema robótico de asistencia de tipo exoesqueleto; ii) interfaz Hombre-Máquina(HMI); iii) sistema de control de alto nivel; y iv) sistema integral de mantenimiento. El presente artículo se centra en el exoesqueleto que se está desarrollando para el proyecto ExIF. Este dispositivo tiene como objetivo dar soporte al operario en tareas de instalación y mantenimiento de instalaciones industriales, evitando los trastornos músculo esqueléticos causados por el movimiento manual de cargas pesadas, las malas posturas y la repetición de movimientos asociados a dichas tareas. El exoesqueleto ExiF se compone de un exoesqueleto de brazo anclado a una estructura de tipo exoesqueleto pasivo de piernas que transmite los esfuerzos al suelo.

### **Robotic Laser Cutting Cell for Rubber profiles Cutting Along Variable-depth Three Dimensional Paths (PROCUT3D)**

C.M. Casado, M. de Diego, E. Moya, R. Alonso, S. Saludes

Centro Tecnológico CARTIF

Instituto de las Tecnologías Avanzadas de la Producción (ITAP), Universidad de Valladolid

PROCUT3D is the acronym of a laser experiment assessment (LEA) within the global European project LASHARE (Laser equipment ASsessment for High impAct innovation in the manufactuRing European industry). The main objective of the project is to share knowledge on laser-based equipment and its use addressing the whole value chain end to end. A key success factor for European manufacturing is the transfer of innovative solutions from the laboratory into industrially robust products and the dissemination of its use stands at the heart of the project. The objective of PROCUT3D is to cut automotive rubber seal profiles using a flexible and easily reconfigurable positioning system to drive the laser spot along a specified cutting path. PROCUT3D involves three partners, *Ibermaq bienes de equipos* as supplier partner, *Standar Profil* as user partner and *Fundación CARTIF* in the role of RTD partner.

### **Localización de eventos táctiles en Interacción Humano-Robot**

J.J. Gamboa, F.Alonso, J.C. Castillo, M.Á. Salichs

University Carlos III of Madrid

En la actualidad, el sentido del tacto juega un papel importante en la Interacción Humano–Robot, sobre todo si pensamos en robótica social, donde la proximidad al robot es aún mayor. Nuevos desafíos se abren para dotar a los robots de mayor capacidad de interactuar con el usuario. Hasta la fecha, la mayor parte de sistemas que permiten reconocer el contacto físico con un robot se han basado en sensores capacitivos, de fuerza o de temperatura. En este trabajo se profundiza en la aproximación, seguida en trabajos previos, de integrar en robots sociales sensores sensibles a las vibraciones, específicamente micrófonos de contacto, como alternativa a los anteriormente citados. Una de las ventajas que proporcionan estos dispositivos es que son capaces de detectar el contacto no sólo en el punto donde que se encuentran situados (como ocurre con los sensores capacitivos), sino que son capaces de cubrir zonas completas de un robot. Además de esto, los micrófonos de contacto proporcionan una gran cantidad de información relativa al contacto mismo. Pese a esto, cuando en la misma plataforma robótica se integran múltiples micrófonos, cubriendo cada uno diferentes zonas del robot, pueden surgir ambigüedades en la detección de la zona donde se ha establecido un contacto, ya que los alcances de los micrófonos se pueden solapar entre sí. Por tanto, el objetivo de este trabajo es proponer un sistema basado en aprendizaje automático capaz de resolver esta ambigüedad y permitir una detección de toques robusta.

## **Robótica Marina de Intervención: Manipulación, Localización, Comunicaciones y HRI**

P.J. Sanz, R. Marín, J.V. Martí, A. Soriano, J.M. Claver

Jaume I University

University of Valencia

El presente proyecto de investigación se circunscribe al ámbito de los sistemas de intervención subacuática, con especial énfasis en el contexto de la arqueología pero con potenciales aplicaciones a otros dominios como el oceanográfico, la industria *off-shore*, o búsqueda y rescate, entre otros. Dicha línea de investigación se financia por la Generalitat Valenciana, dentro de su actuación denominada PROMETEO para impulsar grupos de excelencia, y con una duración de cuatro años iniciales y prorrogables en el futuro. Así, el inicio fue en 2016 y su finalización está prevista para finales del 2019, con lo que nos encontramos actualmente en el tercer año de vida del proyecto. Por otra parte, las actividades de investigación giran en torno a unos ejes específicos, como son: el guiado multisensorial de las acciones de agarre y manipulación, las comunicaciones inalámbricas y la interacción humano-robot, dejando en un segundo plano cuestiones relativas al control del vehículo de intervención.

# Analysis and Design of a Serial-Parallel Redundant Biped Climbing Robot

Adrián Peidró<sup>a,\*</sup>, José M. Marín<sup>a</sup>, Arturo Gil<sup>a</sup>, Yera Berenguer<sup>a</sup>, Óscar Reinoso<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Miguel Hernández de Elche, Av. Universidad s/n, 03202 Elche, Alicante, Spain

## Abstract

This paper summarizes a PhD thesis consisting in the analysis and design of the HyReCRo robot, which is a serial-parallel redundant robot for climbing and exploring three-dimensional metallic structures. First, the HyReCRo robot is described. Then, the forward and inverse kinematic problems of this robot are solved, including a kinematic analysis of the parallel mechanisms that make up the legs of this robot. Next, the workspace of the HyReCRo robot is analyzed, proposing two new methods for obtaining the boundaries and interior barriers of the workspace of redundant robots. Finally, a prototype of the HyReCRo robot is presented, which includes the design of novel magnetic grippers for climbing steel structures. Copyright © 2018 CEA.

## Keywords:

climbing robots, parallel robots, kinematics, workspace, interior barriers, switchable magnets

## Datos de la tesis:

*Doctorando:* Adrián Peidró Vidal

*Directores:* Óscar Reinoso García y Arturo Gil Aparicio

*Fecha Inicio/Fecha estimada terminación:* septiembre 2014 / septiembre 2018

*Programa de doctorado:* Programa de Doctorado en Tecnologías Industriales y de Telecomunicación

*Universidad:* Universidad Miguel Hernández de Elche

## 1. Introduction

This paper presents a summary of the PhD thesis of the first author. The main objective of this thesis is the analysis and design of the HyReCRo robot (Hybrid Redundant Climbing Robot), which is a serial-parallel robot for climbing, inspecting, and maintaining three-dimensional metallic structures, such as bridges or electric towers.

The HyReCRo robot belongs to the broad family of climbing robots, whose purpose is to work at vertical structures, where they perform tasks which are too dangerous for human operators, due to several risks such as electrocution or fall from heights. There exist many different climbing robots for a wide variety of tasks, and these robots can be classified in terms of their locomotion methods or adhesion technologies. See, for example, the comprehensive review by Schmidt and Berns (2013).

The field of climbing robots is very wide, and their applications range from climbing walls and ceilings, to climbing stairs or even rocks and slopes in rough terrains. However, the HyReCRo robot belongs to a more narrow family of climbing robots, whose purpose is to climb three-dimensional metallic structures like those found in bridges, electric/telecommunication towers, stadiums, and other man-made structures.

Climbing robots for 3D structures usually have the same structure: they are composed of two grippers connected by a manipulator. One of these grippers adheres to the structure, whereas the manipulator moves the other gripper to the next attachment point of the structure. In this way, these robots are like mobile manipulators whose fixed base and end-effector swap their roles as the robot climbs and explores the structure.

The grippers of structure-climbing robots typically employ mechanical prehension (Tavakoli et al., 2011, 2005; Balaguer et al., 2000; Aracil et al., 2006) or magnetic adhesion (Shvalb et al., 2013). Regarding the manipulator that connects and moves the grippers, it can have serial (Tavakoli et al., 2011; Balaguer et al., 2000; Guan et al., 2011; Shvalb et al., 2013; Mampel et al., 2009; Yoon and Rus, 2007), parallel (Aracil et al., 2006), or hybrid (Tavakoli et al., 2005) architecture. Hybrid architectures seem to be especially suitable for structure-climbing robots, since they exploit both the wide workspace of serial manipulators (which is necessary for maneuvering and negotiating the obstacles found in structures) and the high payload-to-weight ratio of parallel manipulators (which is desirable for general climbing robots, since they carry their own weight as they climb).

The HyReCRo robot was proposed by Ubeda et al. (2012) as a serial-parallel climbing robot with binary actuation, able to perform the necessary movements for exploring structures, namely: advancing longitudinally along beams, switching between different faces of the same beam, and switching between different beams. In this thesis, the binary actuation assumption of the HyReCRo robot is relaxed in order to analyze its

\*Corresponding author.

emails: [apeidro@umh.es](mailto:apeidro@umh.es) (Adrián Peidró), [jmarin@umh.es](mailto:jmarin@umh.es) (José M. Marín), [arturo.gil@umh.es](mailto:arturo.gil@umh.es) (Arturo Gil), [yberenguer@umh.es](mailto:yberenguer@umh.es) (Yera Berenguer), [o.reinoso@umh.es](mailto:o.reinoso@umh.es) (Óscar Reinoso)

URL: <http://arvc.umh.es>

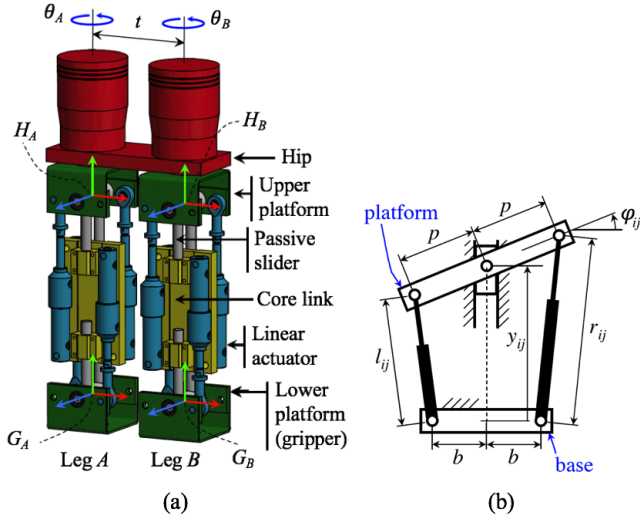


Figure 1: (a) CAD model of the HyReCRO climbing robot. (b)  $i$ -th parallel module of leg  $j$  of the HyReCRO robot.

(more complex) continuous version, in which joint coordinates can continuously vary between two limits.

This paper is organized as follows. Section 2 presents the HyReCRO robot. Next, section 3 presents the complete kinematic analysis of this robot. Section 4 presents the workspace analysis of the HyReCRO robot, proposing two new methods for obtaining the boundaries and barriers of the workspace of redundant robots. Following, section 5 presents a prototype of the HyReCRO robot, and describes the development of novel magnetic grippers that allow this robot to climb real ferromagnetic structures. Finally, section 6 summarizes the main contributions and publications related to this thesis.

## 2. The HyReCRO Climbing Robot

Figure 1a shows a CAD model of the HyReCRO robot. This robot has two identical legs A and B connected to a hip through revolute actuated joints (angles  $\theta_A$  and  $\theta_B$ ). Each leg has three links: a core link and two platforms. The lower platform is attached to the magnetic gripper that attaches the robot to the structure, whereas the upper platform is connected to the hip through the aforementioned actuated revolute joint. Each platform is connected to the core link by means of two linear actuators in parallel and a passive slider.

The mechanism composed of a core link, any platform, and two linear actuators connecting these two elements, is a 2RPR-PR parallel mechanism shown in Figure 1b. These parallel mechanisms will be referred to as “parallel modules” in this paper. Thus, each leg is the serial combination of parallel module 1, which is connected to the gripper, and parallel module 2, which is connected to the hip. The complete robot has a hybrid architecture.

The HyReCRO robot has ten controlled degrees of freedom (DOF): two rotation angles  $\theta_A$  and  $\theta_B$  in the hip, and the lengths of eight linear actuators in the legs (two in each parallel module). The lengths of linear actuators are denoted by  $l_{ij}$  and  $r_{ij}$ , as indicated in Figure 1b. Since ten degrees of freedom are used for positioning and orienting one gripper of this robot with respect to the other, and since this relative position/orientation requires

only six degrees of freedom, the HyReCRO robot is kinematically redundant. This redundancy means that its inverse kinematic problem will admit infinitely many possible solutions, as discussed in section 3.2.2.

The geometric design of the HyReCRO robot is defined by the following six parameters, which affect the shape of the workspace of the robot, as discussed in section 4.1:

- $\{b, p\}$ : which are dimensions of the parallel modules as indicated in Figure 1b
- $\{\rho_0, \Delta\rho\}$ , which are the minimum length and stroke of the linear actuators, respectively
- $t$ , which is the distance between the parallel axes of the rotations of the hip of the robot, as shown in Figure 1a
- $h$ , which is the length of the core links of the legs, as indicated in Figure 3

## 3. Kinematic Analysis

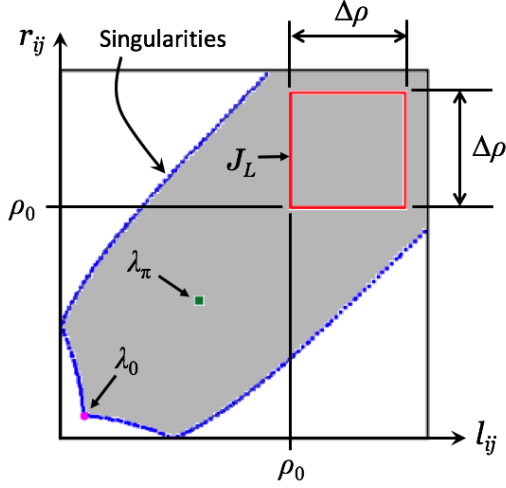
The first step toward the analysis and design of the HyReCRO robot consists in analyzing its kinematics. This section summarizes the kinematic analysis of the HyReCRO robot, beginning with the kinematic analysis of the parallel modules.

### 3.1. Kinematic Analysis of Parallel Modules

Before solving the kinematic problems of the complete HyReCRO robot, it is necessary to solve those problems for the parallel modules that make up its legs (Figure 1b). These modules have a platform which is attached to the grippers or the hip of the HyReCRO robot, and a base which is attached to the core link of the legs. These platform and base are interconnected through a passive slider and two linear actuators with lengths  $l_{ij}$  and  $r_{ij}$ . Due to the passive slider, the platform can only rotate with respect to the base (rotation  $\varphi_{ij}$ ) and translate along it (translation  $y_{ij}$ ). Variables  $y_{ij}$  and  $\varphi_{ij}$  can be controlled by varying the lengths  $l_{ij}$  and  $r_{ij}$ . The forward kinematics of these parallel modules consists in solving  $(\varphi_{ij}, y_{ij})$  for given  $(l_{ij}, r_{ij})$ , whereas the inverse kinematics is the opposite problem.

While the inverse kinematics of this parallel module is a straightforward problem which has a single solution, the forward kinematics is more complex and, after algebraic manipulation, boils down to finding the roots of a 3rd-degree polynomial in  $\cos \varphi_{ij}$ . Ridgeway et al. (1996) solved the forward problem, and Kong and Gosselin (2002) demonstrated that it has four different real solutions. In this thesis, the forward kinematic problem of these parallel modules was revisited and it was found that it is possible to perform nonsingular transitions between some of these solutions, which is useful for enlarging the range of operation of parallel modules without crossing singularities at which control is lost. This is possible by encircling a special isolated singularity  $\lambda_\pi$  in plane  $(l_{ij}, r_{ij})$ , which is indicated in Figure 2 (Peidró et al., 2015b).

Despite this, these nonsingular transitions are not possible in the HyReCRO robot due to joint limits: since  $l_{ij}, r_{ij} \in [\rho_0, \rho_0 + \Delta\rho]$ , joint coordinates of parallel modules must be in box  $J_L$  shown in Figure 2, which does not contain special singularity  $\lambda_\pi$ . Thus,  $\lambda_\pi$  cannot be encircled and nonsingular transitions are not possible in the HyReCRO robot. Note also that  $J_L$  does not

Figure 2: Special singularity  $\lambda_\pi$  in the joint space of parallel modules.

contain parallel singularities at which control is lost. Thus, the HyReCRo robot is free from these undesirable singularities.

Finally, Coste et al. (2018) later demonstrated that the special isolated singularity  $\lambda_\pi$  is but a deltoid (i.e., a closed curve with three cusps) shrunk to a point. This demonstrates that encircling  $\lambda_\pi$  actually consists in encircling three coincident cusps, and encircling cusps is a well-known method for performing nonsingular transitions.

In view of the previous results, Peidró et al. (2015b) also demonstrated that well-known analytic 3RPR parallel robots with nonsimilar flat platforms have also the ability to perform nonsingular transitions by encircling singularities like  $\lambda_\pi$ . Then, Peidró et al. (2017) demonstrated that this ability is stable under perturbations in the design of the robot, i.e., this ability is not lost when the platforms of 3RPR robots are not exactly flat. Moreover, Peidró et al. (2017b) presented a method based on quadratic Taylor expansions for studying the stability of isolated singularities (like  $\lambda_\pi$ ) in closed-chain mechanisms in terms of perturbations of their design.

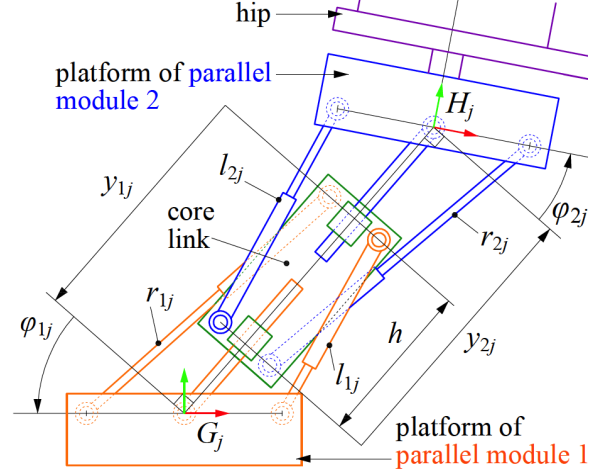
### 3.2. Kinematic Analysis of the Complete HyReCRo robot

The kinematic analysis of the HyReCRo robot consists in determining and solving the relationship existing between its ten actuated joint coordinates (angles  $\theta_j$  and lengths  $\{l_{ij}, r_{ij}\}$ , for  $i \in \{1, 2\}$  and  $j \in \{A, B\}$ ) and the relative pose (position and orientation) between its two grippers.

#### 3.2.1. Forward Kinematics of the HyReCRo robot

The forward kinematics of the HyReCRo robot consists in determining the relative pose between its grippers for given values of all ten actuated joint coordinates. This requires solving first the forward kinematics of all parallel modules (section 3.1) in order to obtain  $\{\varphi_{ij}, y_{ij}\}$  in terms of  $\{l_{ij}, r_{ij}\}$ . After that, one solves the forward kinematics of each leg  $j \in \{A, B\}$  separately, which is the 5-DOF planar mechanism shown in Figure 3.

The forward kinematics of each leg  $j$  can be easily solved using homogeneous transformation matrices, obtaining the pose

Figure 3: Leg  $j$  of the HyReCRo robot.

of the hip with respect to each gripper (Peidró et al., 2016b):

$$\mathbf{T}_{H_j/G_j} = \begin{bmatrix} c_{\theta_j} c_{\varphi_{1j}-\varphi_{2j}} & s_{\varphi_{1j}-\varphi_{2j}} & s_{\theta_j} c_{\varphi_{1j}-\varphi_{2j}} & y_j s_{\varphi_{1j}} \\ -c_{\theta_j} s_{\varphi_{1j}-\varphi_{2j}} & c_{\varphi_{1j}-\varphi_{2j}} & -s_{\theta_j} s_{\varphi_{1j}-\varphi_{2j}} & y_j c_{\varphi_{1j}} \\ -s_{\theta_j} & 0 & c_{\theta_j} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

where  $y_j = y_{1j} + y_{2j} - h$ ,  $c_x = \cos x$ , and  $s_x = \sin x$ .  $H_j$  is a frame attached to the hip at the point where it is connected to the leg,  $G_j$  is a frame attached to the gripper, and  $\mathbf{T}_{H_j/G_j}$  is the matrix encoding the pose of  $H_j$  relative to  $G_j$  (see these frames in Figures 1 and 3). Finally, the relative pose between the grippers is obtained as follows:

$$\mathbf{T}_{G_B/G_A} = \mathbf{T}_{H_A/G_A} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_3 & [t, 0, 0]^T \\ [0, 0, 0] & 1 \end{bmatrix} (\mathbf{T}_{H_B/G_B})^{-1} \quad (2)$$

where  $\mathbf{I}_3$  is the  $3 \times 3$  identity matrix and  $t$  is shown in Figure 1a. Equation (2) completes the solution of the forward kinematics of the HyReCRo robot.

#### 3.2.2. Inverse Kinematics of the HyReCRo robot

Solving the inverse kinematics is necessary for motion planning, since it consists in determining the values of all ten actuated joint coordinates that yield a desired relative pose between the grippers. The starting point of the inverse kinematics is Eq. (2), whose left-hand side (i.e., the desired pose between the grippers) is known now, and the objective is to solve all ten actuated joint coordinates, which intervene on the right-hand side of Eq. (2) either explicitly or implicitly through the kinematics of parallel modules.

Note that matrix equation (2) only provides six independent scalar equations, due to orthonormality conditions of rotation matrices (Peidró et al., 2015a). From these six independent scalar equations, ten actuated joint coordinates must be solved. Thus, the inverse kinematic problem is underconstrained and admits infinitely many different solutions. As in all redundant robots, these infinitely many solutions belong to the so-called *self-motion manifolds* (Burdick, 1989), which are 4-dimensional (or 5-dimensional, in special singular cases) for the HyReCRo robot (Peidró et al., 2015a).

Due to the high dimension of self-motion manifolds in the

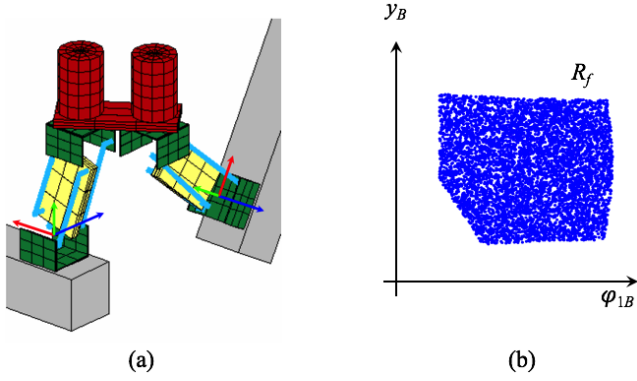


Figure 4: (a) Desired relative pose between the grippers. (b) Information-preserving projection of self-motion manifolds on a two-dimensional space.

HyReCRO robot, it is difficult to visualize the solutions of the inverse kinematics of this robot. However, Peidró et al. (2015a) demonstrated that, for the HyReCRO robot, it is possible to project these manifolds on lower-dimensional subspaces without losing relevant information about the overall posture of the robot, which is useful for checking collisions. This allows for the intuitive and compact visualization of all solutions of the inverse kinematics of the HyReCRO robot in 2D or 3D subspaces. For example, Figure 4a shows a desired relative pose between the grippers, and Figure 4b shows the projection of self-motion manifolds on a 2D subspace, which is a set  $R_f$  of possible solutions that result in the desired pose.

### 3.3. PaRoLa: a Virtual Laboratory of Parallel Robots

During this thesis, an educational virtual laboratory called PaRoLa (Parallel Robotics Laboratory) was developed in order to facilitate and support all the analyses summarized in this paper. PaRoLa (Peidró et al., 2016c; Peidró et al., 2015c) consists of a collection of graphical Java applets that allow the user to intuitively simulate and visualize several kinematic aspects of the HyReCRO robot and other parallel robots, such as five-bar, 3RRR, 3RPR, Delta, 2RPR-PR, and 2UPS-U robots.

These simulators can be used to analyze the forward and inverse kinematic problems of these robots, as well as their workspace, singularities, dynamics, and control. The simulators are freely available at: <http://arvc.umh.es/parola>. For example, Figure 5 shows the simulator developed for the HyReCRO robot, which was used in this thesis for solving and simulating its forward and inverse kinematic problems, as well as for analyzing its workspace, as explained in next section.

## 4. Workspace Analysis

After solving the forward and inverse kinematics of the HyReCRO robot, the solutions to these problems can be used for analyzing the workspace, which is useful for motion planning and for designing the robot. The workspace analysis can tell us how the design parameters of this robot ( $b$ ,  $p$ ,  $t$ ,  $h$ ,  $\rho_0$ , and  $\Delta\rho$ ) influence the shape of the workspace, and this is useful for finding suitable values of these parameters so that the workspace contains the necessary postures for exploring structures.

After exhaustively reviewing methods for computing workspaces (Peidró et al., 2018), we concluded that Monte

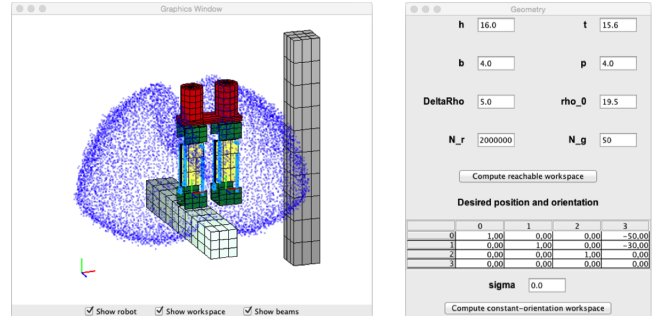


Figure 5: Developed simulator of the HyReCRO robot.

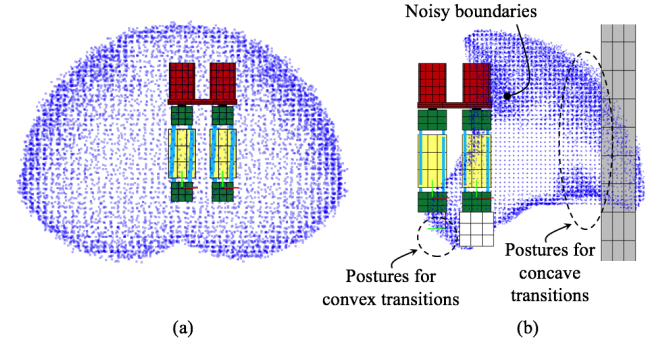


Figure 6: (a) Reachable workspace. (b) Constant-orientation workspace containing postures necessary for executing concave and convex transitions.

Carlo methods were the most appropriate ones for computing the workspace of the HyReCRO robot, due to its redundancy and hybrid architecture, as well as the complexity of the considered kinematic constraints (joint limits and collision constraints).

### 4.1. Workspace Boundaries via Monte Carlo Methods

Standard Monte Carlo methods for obtaining the workspace typically consist in sampling the actuated joint coordinates of the robot from some random distribution (usually, from uniform distributions) and solving the forward kinematics [Eq. (2)], obtaining scattered workspace points that form a point cloud that approximates the workspace. The boundaries of the workspace can then be extracted by discretizing the space into a set of boxes, keeping only those boxes that contain workspace points and have neighboring boxes without workspace points.

This “standard” Monte Carlo method was used for obtaining the reachable (Figure 6a) and constant-orientation (Figure 6b) workspaces of the HyReCRO robot, and for studying how each design parameter individually affects the shapes of these workspaces (Peidró et al., 2016a). It was found that the workspace is especially sensitive to changes in design parameters  $p$  and  $\Delta\rho$ . Also, it was found that performing concave transitions between different beams is easier than performing convex transitions between different faces of the same beam. This is measured through the volumes of the constant-orientation workspace that contain postures that allow the robot to perform these transitions: the volumes for concave transitions are larger than for convex transitions (see Figure 6b).

While performing the previous sensitivity analysis, we found that sampling joint coordinates from uniform distributions generally yields noisy workspace boundaries, which are impre-

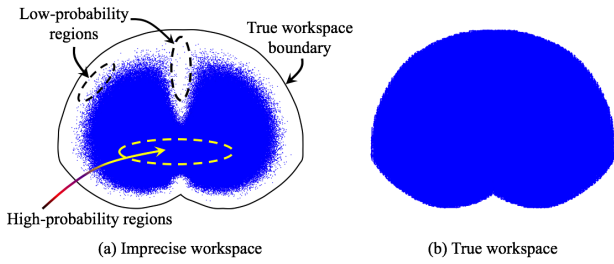


Figure 7: Comparison of workspaces obtained when (a) sampling joint coordinates from uniform distributions and (b) using the method by Peidró et al. (2017a). Obtaining both workspaces required the same CPU time.

cisely defined due to lacking enough sampled points (see Figure 6b). This problem was previously identified by Cao et al. (2011), who also suggested that increasing the number of randomly sampled points does not solve this problem since most points still fall in well-defined and populated high-probability regions of the workspace, far from the boundaries.

Cao et al. (2011) demonstrated that, by sampling from U-shaped beta distributions instead of from uniform distributions, one can improve the precision of the obtained boundaries, but this higher precision was still not enough for our purposes. Thus, we designed a new Monte Carlo algorithm (Peidró et al., 2017a) for computing workspaces, which consists in “growing” imprecise workspaces by favoring the generation of points in less-populated regions of the workspace. This growth process is based on normal distributions, which are used for generating workspace points near those already generated. As demonstrated in (Peidró et al., 2017a), this method can generate more precise workspaces than previous Monte Carlo methods, requiring the same or less CPU time (see Figure 7).

#### 4.2. Workspace Interior Barriers

After obtaining the boundaries, it is necessary to obtain the *interior barriers* of the workspace. At these barriers, motion impediments occur, which is important for path planning (Bohigas et al., 2017). These barriers depend on the considered kinematic constraints, which in our case include joint limits and collision constraints, i.e., mechanical interferences between different parts of the robot or with obstacles of the climbed structure should be forbidden. However, existing methods for obtaining interior barriers cannot easily accommodate complex collision constraints, such as collisions between arbitrarily-shaped bodies with arbitrary three-dimensional relative pose. Thus, a new method for obtaining interior barriers of the workspace under collision constraints was developed in (Peidró et al., 2018).

The method presented in (Peidró et al., 2018) works for redundant robots (like the HyReCRo robot) and identifies interior barriers with the vanishing of connected components of self-motion manifolds. This method consists of three stages. The first stage consists in densely *sampling* self-motion manifolds at two neighboring workspace points, discarding samples that do not satisfy joint limits or collision constraints. The second stage consists in *clustering* the sampled manifolds, in order to identify their connected components. The third stage consists in *matching* the connected components identified at one workspace point with the connected components identified at its neighboring workspace point, in order to detect if some

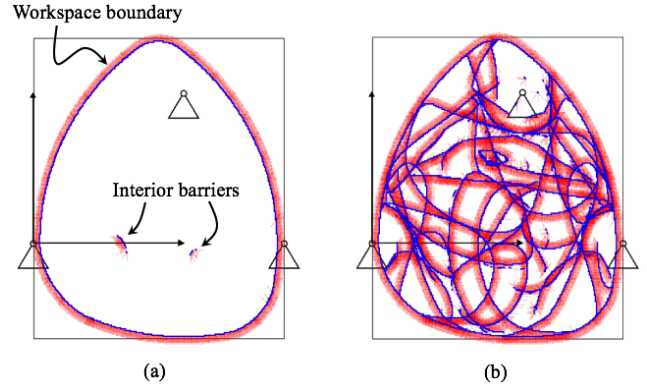


Figure 8: Interior barriers of the workspace suffer drastic changes when (a) omitting or (b) considering collision constraints.

manifold vanishes when traveling between these two workspace points. If some manifold vanishes, a barrier is detected between these two workspace points.

In (Peidró et al., 2018), the usefulness of this method was demonstrated through several redundant robots, and the important effects of collision constraints on interior barriers were demonstrated [see Figure 8, which shows an example similar to those presented in Peidró et al. (2018)].

### 5. Construction of a Prototype with Magnetic Grippers

The previous workspace analysis allowed us to determine appropriate dimensions of the HyReCRo robot for reaching the necessary postures for exploring structures. With this information, a prototype of the HyReCRo robot was built with the following design:  $b = 25$ ,  $p = 31.5$ ,  $h = 71$ ,  $t = 110$ ,  $\rho_0 = 100$ ,  $\Delta\rho = 50$  (all values in mm). This prototype (see Figure 9) is made of aluminum and 3D-printed PLA parts, weighs 1.55 kg (excluding grippers), and is driven by 12V maxon DC motors and Actuonix linear actuators. It is controlled by an Arduino Mega 2560 board and a custom-made power board, and its movements are commanded through a gamepad. These actuators were iteratively selected after simulating the dynamics of the robot in SimMechanics, determining the actuation forces and torques necessary for performing the basic movements required to explore structures.

Given this prototype, the last step was to design magnetic grippers to adhere it to steel structures. Novel magnetic grippers were designed with the collaboration of the Institute of Systems and Robotics at the University of Coimbra. Each gripper weighs 0.32 kg, offers an adhesion force of over 20 kg at 3 mm-thick steel plates, and makes use of switchable magnets (Tavakoli et al., 2015), which are safer and consume less power than electromagnets. These grippers were designed based on the theory of the Zero-Moment Point, and include high-friction vytaflex pads to avoid slippage. As Figure 9 shows, the designed grippers allow the robot to firmly adhere to real steel structures.

### 6. Conclusions

This thesis has analyzed the HyReCRo robot: a serial-parallel redundant robot for climbing steel structures. The kine-

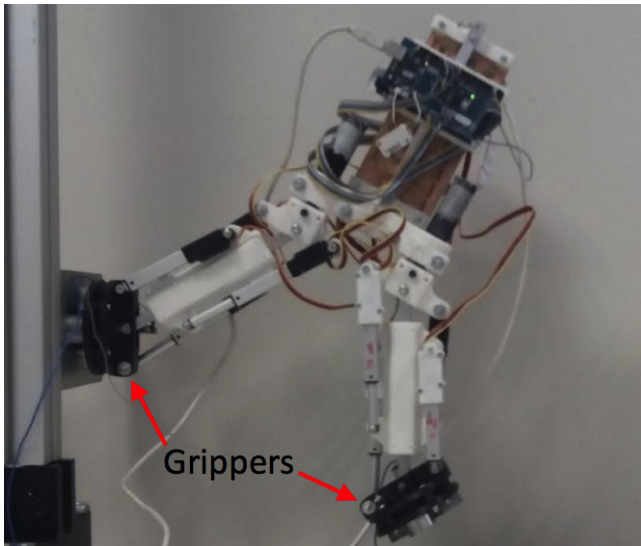


Figure 9: Prototype of the HyReCRo robot, attached to a 3 mm-thick steel plate through the developed magnetic grippers.

matics of this robot has been thoroughly analyzed, and simulation tools that facilitate these analyses have been developed. Two new algorithms for obtaining the boundaries and barriers of workspaces have been proposed. A prototype of the HyReCRo robot has been developed, which makes use of novel magnetic grippers to firmly adhere to real steel structures. The main contributions achieved under this thesis have generated six publications in JCR-indexed journals: Peidró et al. (2015b,a); Peidró et al. (2017, 2016c); Peidró et al. (2017a, 2018).

## Acknowledgments

This thesis has been supported by the Spanish Ministry of Education, Culture, and Sport, through grants with numbers FPU13/00413 and EST15/00483.

## References

- Aracil, R., Saltaren, R. J., Reinoso, O., 2006. A climbing parallel robot: a robot to climb along tubular and metallic structures. *IEEE Robotics & Automation Magazine* 13 (1), 16–22.
- Balaguer, C., Gimenez, A., Pastor, J., Padron, V., Abderrahim, M., 2000. A climbing autonomous robot for inspection applications in 3D complex environments. *Robotica* 18 (3), 287–297.
- Bohigas, O., Manubens, M., Ros, L., 2017. *Singularities of Robot Mechanisms: Numerical Computation and Avoidance Path Planning*. Springer.
- Burdick, J. W., 1989. On the inverse kinematics of redundant manipulators: characterization of the self-motion manifolds. En: *Proceedings of the 1989 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. pp. 264–270.
- Cao, Y., Lu, K., Li, X., Zang, Y., 2011. Accurate numerical methods for computing 2D and 3D robot workspace. *International Journal of Advanced Robotic Systems* 8 (6), 76.
- Coste, M., Wenger, P., Chablat, D., 2018. *Hidden Cusps*. Springer International Publishing, Cham, pp. 129–138.
- Guan, Y., Jiang, L., Zhu, H., Zhou, X., Cai, C., Wu, W., Li, Z., Zhang, H., Zhang, X., 2011. Climbot: A modular bio-inspired biped climbing robot. En: *Proceedings of the 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. pp. 1473–1478.
- Kong, X., Gosselin, C. M., 2002. Generation and forward displacement analysis of RPR-PR-RPR analytic planar parallel manipulators. *J. Mech. Design* 124 (2), 294–300.
- Mampel, J., Gerlach, K., Schilling, C., Witte, H., 2009. A modular robot climbing on pipe-like structures. En: *Proceedings of the 4th International Conference on Autonomous Robots and Agents*. pp. 87–91.
- Peidró, A., Gil, A., Marín, J. M., Berenguer, Y., Payá, L., Reinoso, O., 2016a. Monte-carlo workspace calculation of a serial-parallel biped robot. En: Reis, L. P., Moreira, A. P., Lima, P. U., Montano, L., Muñoz-Martínez, V. (Eds.), *Robot 2015: Second Iberian Robotics Conference*. Springer International Publishing, Cham, pp. 157–169.
- Peidró, A., Gil, A., Marín, J. M., Berenguer, Y., Reinoso, Ó., 2016b. Kinematics, simulation, and analysis of the planar and symmetric postures of a serial-parallel climbing robot. En: Filipe, J., Madani, K., Gusikhin, O., Sasiadek, J. (Eds.), *Informatics in Control, Automation and Robotics 12th International Conference, ICINCO 2015 Colmar, France, July 21–23, 2015 Revised Selected Papers*. Springer International Publishing, Cham, pp. 115–135.
- Peidró, A., Gil, A., Marín, J. M., Payá, L., Reinoso, Ó., 2017. On the stability of the quadruple solutions of the forward kinematic problem in analytic parallel robots. *Journal of Intelligent & Robotic Systems* 86 (3), 381–396.
- Peidró, A., Gil, A., Marín, J. M., Reinoso, O., 2015a. Inverse kinematic analysis of a redundant hybrid climbing robot. *International Journal of Advanced Robotic Systems* 12 (11), 163.
- Peidró, A., Gil, A., Marín, J. M., Reinoso, Ó., 2016c. A web-based tool to analyze the kinematics and singularities of parallel robots. *J. Intell. Robotic Syst.* 81 (1), 145–163.
- Peidró, A., Marín, J., Gil, A., Reinoso, O., 2015b. Performing nonsingular transitions between assembly modes in analytic parallel manipulators by enclosing quadruple solutions. *ASME Journal of Mechanical Design* 137 (12), 122302.
- Peidró, A., Reinoso, O., Gil, A., Marín, J., Payá, L., 2017a. An improved monte carlo method based on gaussian growth to calculate the workspace of robots. *Eng Appl Artificial Intelligence* 64, 197–207.
- Peidró, A., Reinoso, O., Gil, A., Marín, J., Payá, L., 2018. A method based on the vanishing of self-motion manifolds to determine the collision-free workspace of redundant robots. Conditionally accepted in *Mech Mach Theory*.
- Peidró, A., Reinoso, O., Gil, A., Marín, J. M., Payá, L., Berenguer, Y., 2017b. Second-order taylor stability analysis of isolated kinematic singularities of closed-chain mechanisms. En: *Proceedings of the 14th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics - Volume 2: ICINCO, INSTICC, SciTePress*, pp. 351–358.
- Peidró, A., Reinoso, O., Gil, A., Marín, J. M., Payá, L., 2015c. A virtual laboratory to simulate the control of parallel robots. *IFAC-PapersOnLine* 48 (29), 19 – 24.
- Ridgeway, S., Crane, C., Duffy, J., 1996. A forward analysis of a two degree of freedom parallel manipulator. En: Lenarcic, J., Parenti-Castelli, V. (Eds.), *Recent Advances in Robot Kinematics*. Springer-Netherlands, pp. 431–440.
- Schmidt, D., Berns, K., 2013. Climbing robots for maintenance and inspections of vertical structures - A survey of design aspects and technologies. *Robotics and Autonomous Systems* 61 (12), 1288–1305.
- Shvalb, N., Moshe, B. B., Medina, O., 2013. A real-time motion planning algorithm for a hyper-redundant set of mechanisms. *Robotica* 31 (8), 1327–1335.
- Tavakoli, M., Marques, L., De Almeida, A. T., 2011. 3DCLIMBER: Climbing and manipulation over 3D structures. *Mechatronics* 21 (1), 48–62.
- Tavakoli, M., Viegas, C., Romão, J. C., Neto, P., de Almeida, A. T., 2015. Switchable magnets for robotics applications. En: *2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. pp. 4325–4330.
- Tavakoli, M., Zakerzadeh, M., Vossoughi, G., Bagheri, S., 2005. A hybrid pole climbing and manipulating robot with minimum DOFs for construction and service applications. *Industrial Robot: An International Journal* 32 (2), 171–178.
- Ubeda, D., Marín, J. M., Gil, A., Reinoso, O., 2012. Design and postures of a serial robot composed by closed-loop kinematics chains. En: Kucuk, S. (Ed.), *Serial and Parallel Robot Manipulators - Kinematics, Dynamics, Control and Optimization*. InTech, pp. 125–142.
- Yoon, Y., Rus, D., April 2007. Shady3D: A Robot that Climbs 3D Trusses. En: *Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. pp. 4071–4076.