

Libro de actas de las
Jornadas Nacionales de
Robótica 2017



Jornadas Nacionales de Robótica

Spanish Robotics Conference

8-9 Junio 2017



Jornadas Nacionales de Robótica

Spanish Robotics Conference

8-9 Junio 2017

Valencia

Organizado por:

Universitat Politècnica de València

Instituto Universitario de Automática e Informática Industrial

Comité Español de Automática

Grupo Temático de Robótica



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Título: Libro de actas de las Jornadas Nacionales de Robótica 2017

Editores: Martin Mellado Arteché, Antonio Sánchez Salmerón, Enrique J Bernabeu Soler

Editorial CEA-IFAC

ISBN: 978-84-697-3742-2

Este documento está regulado por la licencia *Creative Commons*



ÍNDICE

PRÓLOGO	3
BIENVENIDA	4
PRESENTACIÓN	5
COMITÉS	6
I. Comité Organizador	6
II. Comité Científico	6
III. Comité Local	7
COLABORADORES	8
I. Sociedades Colaboradoras	8
II. Entidades Colaboradoras	9
III. Empresas Colaboradoras	10
PONENCIAS INVITADAS	11
Soft Robotics: scientific questions, technological challenges and new robotics scenarios	11
Robotic activities in ITER	13
Real-Time Navigation approaches in Large Scale Dynamic Environments	14
SESIONES TÉCNICAS	15
SESIÓN 1A. Proyectos I+D: Interfaces hombre-máquina	15
SESIÓN 1B. Proyectos I+D: Aplicaciones marinas y agrícolas	16
SESIÓN 2A. Proyectos I+D: Robótica médica y asistencial	17
SESIÓN 2B. Diseño robots y manipulación	18
SESIÓN 3A. Robots rehabilitación (I)	19
SESIÓN 3B. Robots autónomos-móviles	20
SESIÓN 4A. Robots rehabilitación (II)	21
SESIÓN 4B. Sensorización avanzada	22
SESIÓN 5A. Proyectos Europeos: Robótica social-asistencial	23
SESIÓN 5B. CDTI: Líneas de apoyo abiertas en Robótica	24
SESIÓN 6A. Proyectos Europeos: Robots móviles-autónomos	25
SESIÓN 6B. Presentaciones de empresas: ABB, INTRA, Stäubli	26
SESIÓN 7A. Proyectos Europeos: Robótica: aplicaciones	27
SESIÓN 7B. Presentaciones de empresas: OMRON, UR – CFZ Cobots	28
ACTIVIDADES ADICIONALES	29

PRÓLOGO

El Grupo Temático de Robótica (GTRob) del Comité Español de Automática (CEA) se ha reunido anualmente dentro de las Jornadas de Automática desde su constitución como grupo. En una de estas reuniones, concretamente el 17 de septiembre de 1998, durante la celebración de las XIX Jornadas de Automática que se celebraron en la ETSII de Madrid, los 28 investigadores participantes acordaron, tal como se recoge en el acta de dicha reunión, dentro del punto 2 Plan de actuaciones para el curso académico 1998/99, lo siguiente:

Organizar workshops temáticos anuales fuera de las Jornadas de Automática con invitación de algún ponente extranjero de “peso”. Para tal fin, se debería intentar pedir una ayuda a la CICYT. Se propone tentativamente el mes de Julio en Madrid.
Responsable: C. Balaguer (balaguer@ing.uc3m.es)

Pese a dicha intención, no se confinó nada estable hasta al año 2005, cuando al contar con la financiación de la Red Nacional de Robótica constituida el año anterior, se celebraron [las primeras Jornadas Nacionales de Robótica](#). Fue en Santander los días 6 y 7 de abril, siendo el organizador Juan Pérez Oria. El objetivo de esas jornadas fue agrupar esas reuniones periódicas que organizaba anteriormente el GTRob con las reuniones de seguimiento de los proyectos de robótica y temas afines que llevaba por entonces a cabo el Plan Nacional de I+D+I dentro de su programa de Diseño y Producción Industrial (DPI). Por primera vez ambos acontecimientos estaban coordinados y se celebraban en días consecutivos. En esas jornadas se contó con la presencia del Prof. A Bicchi (Universidad de Pisa, Italia) que impartió una conferencia. Tras la reunión del grupo, el segundo día se realizó la revisión de los proyectos de investigación de Plan Nacional de I+D+I en el programa DPI (2003-2005) en temas de robótica y visión. Se presentaron 15 proyectos de investigación de robótica y 10 de visión por los respectivos investigadores principales de los proyectos.

Con la misma filosofía se celebraron [las segundas Jornadas Nacionales de Robótica](#), los días 25 y 26 de abril en Arganda de Rey (Madrid). El Prof. Roland Siegwart (EPFL, Suiza), impartió una conferencia. Pero el tema fundamental de la reunión fue la presentación del borrador del “Libro Blanco de Robótica” en el que se había estado trabajando durante un año. El segundo día se realizó la revisión de 12 proyectos de robótica y 4 de visión del Plan Nacional de I+D+I en el programa DPI.

En Barcelona, los días 14 y 15 de mayo, se celebraron [las III Jornadas Nacionales de Robótica](#). La conferencia invitada corrió a cargo del Dr. Jean-Paul Laumond (LAAS-CNRS de Toulouse, Francia). Se presentaron para su evaluación un total de 17 proyectos de robótica y 8 de visión. [Las cuartas jornadas](#) se organizaron en Alicante (4-5 de junio 2008) con la presencia de Brad Nelson (ETH Zürich, Suiza) que impartió una conferencia. Del total de 31 proyectos, 18 fueron de temática de robótica.

[Las V Jornadas Nacionales de Robótica](#) tuvieron lugar el 16 y 17 de junio de 2009 en la UCIIM de Madrid, con la evaluación de 33 proyectos de robótica y visión. [Las sextas jornadas](#) se celebraron los días 17, 18 y 19 de mayo de 2010 en Málaga, conjuntamente con el Grupo Temático de Visión, la CYCIT y las Redes Nacionales de Robótica y Visión. Se presentaron un total de 29 proyectos, 17 de ellos de robótica.

Desgraciadamente, los recortes establecidos en esas épocas disminuyeron enormemente la financiación de la investigación nacional, afectando a la Red Nacional de Robótica. Por ese motivo, las séptimas jornadas se celebraron en Sevilla, en el marco del congreso ROBOT'11 y sin evaluación de proyectos. A partir de entonces dejaron de organizarse.

BIENVENIDA

En 2017 se retoman estas Jornadas Nacionales de Robótica con varios retos. Por una parte, intentar aunar esfuerzos de diferentes colectivos y asociaciones, de cara a conseguir enriquecer los contenidos de las jornadas. Se ha conseguido que asociaciones como HispaRob, RoboCity2030.org, NeuroTec, Automar, AEIM, COESI o la Red de Agentes Físicos colaboren de una u otra forma con la organización de las jornadas. Esto ha dado lugar a un completo programa científico con 40 presentaciones de proyectos de investigación, 9 de ellos europeos, que provienen de grupos de investigación de más de 20 universidades diferentes.

Como segundo reto, se pretende tener una importante presencia internacional. Se cuenta con la participación de tres reputados investigadores europeos, Cecilia Laschi (Scuola Superiore Sant'Anna in Pisa, Italia), Alberto Vale (Universidade de Lisboa, Portugal) y Darius Burschka (Technische Universität München, Alemania) que cubrirán los temas más actuales y punteros de la investigación europea.

Además, este año las jornadas se abren a la participación del mundo industrial, un reto nuevo ya que tradicionalmente son de carácter exclusivamente académico. Se ha conseguido la participación de 11 empresas colaboradoras con las jornadas: PAL-Robotics, INTRA Automation, Robotnik, Infaimon, ABB, MultiScan Technologies, SCHUNK, Stäubli, Universal Robots, CFZ Cobots y OMRON. Se contará con presentaciones de seis de ellas (ABB, INTRA Automation, Stäubli, OMRON, Universal Robots y CFZ Cobots), para conocer las tendencias y novedades más actuales. Se podrá asistir a la visita a una empresa de referencia en el sector de robótica de servicios (Robotnik) y se cuenta con exposición y demostraciones de robots colaborativos (YuMi® de ABB, Sawyer de Rethink, distribuido por INTRA Automation y UR-10 de Universal Robots de la mano de CFZ Cobots) y plataformas móviles de servicios (RB1-Base de Robotnik y OEM de OMRON).

Para completar el programa, los asistentes podrán asistir a unas charlas de técnicos del CDTI para conocer de primera mano las líneas de apoyo abiertas en robótica. Tanto los asistentes como los ausentes, podrán participar y conocer los resultados de una competición virtual de drones, orientada principalmente a estudiantes, para demostrar habilidades en la programación y control de vehículos aéreos en simulación.

El programa se completa con dos comidas de trabajo, tres pausas de café y una fiesta con degustación de productos valencianos. O en nuestro argot, LunchBots, CoffeeBots y PartyBot. Y alguna sorpresa más que iremos descubriendo. Y todo, ¡a un precio insuperable!

Como organizador de estas Jornadas Nacionales de Robótica 2017, quiero agradecer a la CEA y al GTRob, por brindarme la oportunidad de entusiasmarme con este evento. También quiero reconocer a mis compañeros del Comité Organizador por el esfuerzo que han dedicado para que el programa sea interesante, ameno y divertido. Al grupo de voluntarios, siempre voluntariosos y dispuestos a todo, con ganas de aprender y de contribuir, sin los que no se podría realizar este tipo de actividades. A las entidades y empresas patrocinadoras que han apostado por el éxito de esta aventura, comprometiéndose económicamente y con su apoyo.

Por último, a los más de 120 asistentes que esperamos, os invito a aprender con el contenido científico que se expondrá en las diferentes sesiones; a disfrutar del tiempo que suele ser habitual en esta tierra por estas fechas (esperemos que estupendo); a conocer la cultura valenciana saboreando nuestra gastronomía en las mesas que hemos preparado, pero, sobre todo, a divertirnos con vuestros colegas y compañeros durante la breve estancia que vais a pasar en, si me lo permiten mis amigos alicantinos, *'la millor terreta del món'*.

Martin Mellado Arteche

Organizador de las Jornadas Nacionales de Robótica 2017

PRESENTACIÓN

Las Jornadas Nacionales de Robótica es una actividad organizada desde el Comité Español de Automática (CEA), que tiene lugar en Valencia en junio de 2017. De esta manera, se vuelven a retomar las tradicionales Jornadas de la comunidad robótica que durante años fueron celebrándose en diferentes lugares de la geografía española.

Esta actividad pretende ser un foro de encuentro de los investigadores en el campo de la Robótica de nuestro país. CEA, a través de su Grupo Temático de Robótica (GtRob), abre estas Jornadas a toda la comunidad robótica nacional, a las asociaciones, plataformas, consorcios, empresas, grupos e investigadores. La robótica, que hoy en día se ha transformado en interdisciplinar, necesita de la aportación de todas las tecnologías sin exclusión.

Las Jornadas se centran en la exposición de proyectos nacionales e internacionales, relacionados con la Robótica, donde los ponentes explicarán los resultados finales o la marcha de sus trabajos en las fases intermedias del proyecto. Las Jornadas también cuenta con tres charlas plenarias de gran interés en campos novedosos como la navegación en tiempo real, el papel de la robótica en la fusión nuclear, o los nuevos “softrobots”. Estoy seguro de que representarán un foro de discusión en el que debatir ideas y nuevas propuestas.

En este Simposio, se contará con investigadores que están abordando desarrollos experimentales reales o proyectos de investigación, así como con representantes de empresas que desarrollan su actividad dentro de este campo y que pueden beneficiarse de las tecnologías desarrolladas para dar respuesta a sus problemas.

La organización de las Jornadas ha sido posible gracias a la colaboración del Instituto Universitario de Automática e Informática Industrial (ai2) de la Universitat Politècnica de València, que ha proporcionado al GtRob todo el apoyo logístico y organizativo necesario para la realización del Seminario.

Estamos seguros de que las jornadas van a constituir una buena oportunidad para compartir opiniones, el diálogo y el encuentro entre los investigadores en Robótica de nuestro país.

Antonio Giménez

Coordinador del Grupo Temático de Robótica (GtRob)

del Comité Español de Automática (CEA)

COMITÉS

I. COMITÉ ORGANIZADOR

Antonio Giménez (UAL)

Martín Mellado (UPV)

II. COMITÉ CIENTÍFICO

José María Azorín (NeuroTec)

Carlos Balaguer (RoboCity2030)

Antonio Barrientos (UPM)

Enrique J Bernabeu (UPV)

Dolores Blanco (UC3M)

Itziar Cabanes (EHU)

Marc Carreras (UDG)

Miguel Cazorla (redAF)

Emilio Corchado (COESI)

Manuel Ferre (CAR-UPM)

Cecilia García (CAR-UPM)

Elena García (CAR-CSIC)

Antonio Giménez (CEA-GTRob)

Fernando Gómez (UHU)

María Malfaz (UC3M)

Martin Mellado (UPV)

Concepción Monje (UC3M)

Víctor Muñoz (UMA)

Alberto Ortiz (UIB)

Oscar Reinoso (IEEE-RAS Sp Chapter)

Isabel Ribeiro (IST-Lisbon)

Verónica Sáiz (UPV)

Miguel Angel Salichs (HispaRob)

José Luis San Román (AEIM)

Antonio Sánchez (UPV)

Rafael Sanz (UVIGO)

Pedro Sanz (UJI)

José Andrés Somolinos (AutoMar)

Fernando Torres (UA)

Alberto Vale (IST-Lisbon)

Marina Vallés (UPV)

Eduardo Zalama (UVA)

III. COMITÉ LOCAL

Ana Alcalá (UPV)

Patricia Balbastre (UPV)

Ginés Benet (UPV)

Enrique J Bernabeu (UPV)

Paco Blanes (UPV)

Marta Carsí (UPV)

Vicente Mata (UPV)

Antonio Correcher (UPV)

Martín Mellado (UPV)

Manuela Molins (UPV)

Carlos Ricolfe (UPV)

Verónica Sáiz (UPV)

Antonio Sánchez (UPV)

Angel Valera (UPV)

Eduardo Vendrell (UPV)

COLABORADORES

I. SOCIEDADES COLABORADORAS



II. ENTIDADES COLABORADORAS



Ministerio de Economía, Industria y Competitividad



Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial



Conselleria d'Educació, Investigació, Cultura i Esport



Diputació de València



Ajuntament de València



Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. UPV



DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA DE SISTEMAS Y COMPUTADORES



Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales. UPV



Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática. UPV



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño



Parque Científico Tecnológico de Almería



Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario

III. EMPRESAS COLABORADORAS



PONENCIAS INVITADAS

Jueves 8 de Junio, 10:00-11:00

SOFT ROBOTICS: SCIENTIFIC QUESTIONS, TECHNOLOGICAL CHALLENGES AND NEW ROBOTICS SCENARIOS

Auditorio CPI (Moderador: Miguel A. Salichs)

Prof. Dra. Cecilia Laschi

Full Professor of Biorobotics

The BioRobotics Institute, Scuola Superiore Sant'Anna in Pisa, Italy

Abstract:

Soft Robotics is the use of soft materials or deformable structures in robotics, largely inspired by the observation of the role of soft tissues in living organisms. The wide spreading of soft robotics research worldwide has brought significant achievements in terms of principles, models, technologies and fabrication techniques for soft robots. Many fundamental problems have been faced, especially thanks to the challenges suggested by the living organs taken as models. A wide range of possibilities exists today for building soft robots, including technologies for fabrication, actuation, sensing, and control approaches. Together with the development of such technologies, it becomes possible to pursue applications of soft robots in several fields. They range from explorations to biomedical applications, where a soft interaction with human patients is required.

In addition to allowing more abilities and more applications for robots, soft robotics technologies are enabling more robot abilities that were not possible before. Abilities like squeezing, stretching, growing, morphing would not be possible with an approach to robot design based on rigid links only. The scientific challenges ahead for soft robotics are further developing these life-like abilities to deform, stiffen, grow, self-heal, develop, evolve, regenerate, combined with the cognitive abilities for using them actively and effectively: the ways robots can adapt to the environment and to tasks.

Profile:

Cecilia Laschi is Full Professor of Biorobotics at the BioRobotics Institute of the Scuola Superiore Sant'Anna in Pisa, Italy, where she serves as Rector's delegate to Research. She graduated in Computer Science at the University of Pisa in 1993 and received the Ph.D. in Robotics from the University of Genoa in 1998. In 2001-2002 she was JSPS visiting researcher at Waseda University in Tokyo.

Her research interests are in the field of biorobotics and she is currently working on soft robotics, humanoid robotics, and neurodevelopmental engineering. She worked in the first projects on neurorobotics and she is now in the NeuroRobotic Platform of the Human Brain Project Flagship. She also worked on the investigation of human-robot interaction in assistive and personal robots. She pioneered soft robotics, as the coordinator of the European ICT-FET OCTOPUS Integrating Project, leading to one of the first soft robots, and she coordinated the European ICT-FET Open Coordination Action on Soft Robotics "RoboSoft", including the first challenge for soft robots.



Jornadas Nacionales de Robótica

Spanish Robotics Conference

8-9 Junio 2017



She is Chief Editor of the Specialty Section on Soft Robotics of Frontiers in Robotics and AI and of Frontiers in Bionics and Biomimetics and she is in the Editorial Board of Bioinspiration&Biomimetics, Robotics and Automation Letters, Frontiers in Bionics and Biomimetics, Humanoid Robotics, Applied Bionics and Biomechanics, Advanced Robotics. She is member of the IEEE, of the Engineering in Medicine and Biology Society, and of the Robotics & Automation Society, where she served as elected AdCom member and currently is Co-Chair of the TC on Soft Robotics.

More information in:

- <http://www.santannapisa.it/en/personale/cecilia-laschi>

Jueves 8 de Junio, 15:30-16:30

ROBOTIC ACTIVITIES IN ITER

Auditorio CPI (Moderador: Carlos Balaguer)

Dr. Alberto Vale
Professor Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear
Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal

Abstract:

The International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) project is a worldwide research experiment that aims to explore nuclear fusion as a viable source of energy for the coming years.

During ITER lifetime all components that provide the base functions of the machine must be inspected and maintained. Because of the level of radioactivity, soon after the start of the Deuterium-Tritium pluses, these operations will heavily rely on Remote Handling (RH) procedures. The novelty and complexity of the RH requirements, and the need for timely, safe and effective remote operations in an environment like ITER constitute a major challenge of the overall project, making RH a key component in ITER's design and operation.

This presentation gives an integrated view of the ITER requirements in terms of RH and presents recent results on the development of its various components: the Cask Transfer System (mobile vehicle up to 100 tons moving in a cluttered scenario), the Divertor RH System the In-Vessel Viewing System (manipulators inside the reactor) and the Neutral Beam Injectors RH System allocated to European teams, and the Blanket Remote Handling and the Hot Cell RH, whose development are allocated to Japan and to ITER Organization, respectively.

Profile:

Alberto Vale received the Ph.D. degree in Electrical Engineering from Instituto Superior Técnico (IST), University of Lisbon, Portugal in 2005. From 1999 to 2005 he was a researcher at the Institute for Systems and Robotics (ISR) at IST, working on mobile robotics in particular in simultaneous localization and navigation algorithms (SLAM), tele-operation, sensor fusion, software and hardware architectures. From 2006 to 2008 he was Chief RD Engineer and co-founder of Albatroz Engineering S.A., a Portuguese start-up company working on the development of commercial solutions of power line inspection using laser range finders, video images and GPS data. Since 2008 he is the scientific responsible officer at the Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear (IPFN) at IST working on the area of path planning and navigation of mobile robots applied to the Remote Handling systems of ITER.

More information in:

<http://users.isr.ist.utl.pt/~vale/>

Viernes 9 de Junio, 9:00-10:00

REAL-TIME NAVIGATION APPROACHES IN LARGE SCALE DYNAMIC ENVIRONMENTS

Auditorio CPI (Moderador: Ernesto Gambao)

Prof. Dr.-Ing. Darius Burschka
Associate Professor, Department of Informatics
Telerobotics and Sensor Data Fusion, I6
Technische Universität München, Germany
Distinguished Lecturer invited by IEEE RAS Spanish Chapter

Abstract:

I will present processing techniques for a robust reconstruction of the motion properties and the 3D geometry in large scale, dynamic environments from a variety of visual systems including monocular and binocular cameras. I will present the necessary low-level processing techniques and geometric considerations necessary to capture the shape and motion properties of independently moving agents in a large environment, like road scenarios. Approaches separating the estimation of direction and magnitude of the reconstructed motion lead to more robust reconstruction of the dynamic state of the objects in situations, where conventional binocular systems fail due to a small signal from the images and where structure from motion approaches fail due to unobserved motion of other agents between the camera frames.

I will also discuss the challenges of robust information exchange between sensors and actuators in the robot that leads to novel modelling techniques that avoid unnecessary dependencies from error-prone calibration parameters.

The talk will present the mathematical framework and the sensitivity analysis for the resulting systems and their real-world applications.

Profile:

Darius Burschka received his PhD degree in Electrical and Computer Engineering in 1998 from the Technische Universität München in the field of vision-based navigation and map generation with binocular stereo systems. In 1999, he was a Postdoctoral Associate at Yale University, Connecticut, where he worked on laser-based map generation and landmark selection from video images for vision-based navigation systems. From 1999 to 2003, he was an Associate Research Scientist at the Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland. Later 2003 to 2005, he was an Assistant Research Professor in Computer Science at the Johns Hopkins University. Currently, he is an Associate Professor in Computer Science at the Technische Universität München, Germany, where he heads the Machine Vision and Perception group. He was an area coordinator in the DFG Cluster of Excellence "Cognition in Technical Systems" and is currently a co-chair of the IEEE RAS Technical Committee on Computer and Robot Vision.

His areas of research are sensor systems for mobile and medical robots and human computer interfaces. The focus of his research is on vision-based navigation and three-dimensional reconstruction from sensor data. He is a Senior Member of IEEE.

More information in:

<http://www6.in.tum.de/burschka>

SESIONES TÉCNICAS

Jueves 8 de Junio, 11:30-12:30

SESIÓN 1A. PROYECTOS I+D: INTERFACES HOMBRE-MÁQUINA

Auditorio CPI (Moderador: Juan Andrade Cetto)

#8 BertsoBot: Towards a Framework for Socially Interacting Robots

A. Astigarraga, I. Rodríguez, T. Ruiz, E. Lazkano

Computer Sciences and Artificial Intelligence, University of Basque Country (UPV/EHU)

Computer Architecture and Technology, University of Basque Country (UPV/EHU)

#21 Diseño de un dispositivo háptico multigestual para simulación quirúrgica

Carlos G. Juan, Jose M. Vicente, Natividad Bermejo, Álvaro García, Jose M. Sabater-Navarro

Grupo de Neuroingeniería Biomédica de la Universitat Miguel Hernández de Elche

#4 Sistema robótico multisensorial con manipulación dual para tareas asistenciales humano-robot

Jorge Pomares, Pablo Gil, Fernando Torres, Francisco A. Candelas, Santiago T. Puente,

Gabriel J. García, Aiman Alabdo, Brayan S. Zapata-Impatá

Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal, Universidad de Alicante

#16 Experiencias de predicción para un sistema de posicionamiento de uso en recintos de interior basado en cámaras 3D de bajo coste y redes inalámbricas

Carlos Cerrada, Jaime Duque, Enrique Valero, J.A. Cerrada

Departamento de Ingeniería de Software y Sistemas Informáticos, E.T.S.I. Informática, UNED
Heriot-Watt University, School of Energy, Geoscience, Infrastructure and Society, (Edinburgh, U.K.)

Jueves 8 de Junio, 11:30-12:30

SESIÓN 1B. PROYECTOS I+D: APLICACIONES MARINAS Y AGRÍCOLAS

Salón de Actos CPI (Moderadora: Dolores Blanco)

#10 An Underwater Robotic System for Cooperative Archaeological Intervention

Pedro J Sanz & Raúl Marín

IRS-Lab, Dep. of C. Science & Engineering, Universitat Jaume I

#12 Multifunctional Cooperative Marine Robots for Intervention Domains: Target detection, tracking and recognition issues

Emilio Garcia-Fidalgo, Joan P. Company-Corcoles, Alberto Ortiz, Miquel Massot-Campos, Pep Lluís Negre-Carrasco, Gabriel Oliver-Codina

Departament of Mathematics and Computer Science, Universitat de les Illes Balears

#13 Desarrollo de vehículos autónomos recolectores de Fresas

F. Gómez-Bravo, M. Sánchez-Raya, J. A. Gomez-Galán, R. Jiménez-Naharro, M. J. Aznar, R. López-Ahumada, J. Medina-García, J.M. Martín-Ramos, M. Pedro-Carrasco

Departamento de Ingeniería Electrónica de Sistemas Informáticos y Automática, Grupo de Sistemas Electrónicos y Mecatrónica. Universidad de Huelva

#35 3DWeed: Un robot para la inspección de cultivos

Angela Ribeiro, José M. Bengochea-Guevara, Karla Cantuña, Dionisio Andujar

Centro de Automática y Robótica. CSIC-UPM

Grupo de Ecología de Malas Hierbas. Instituto de Ciencias Agrarias (CSIC)

Departamento de Ingeniería Informática y Sistemas Computacionales, Universidad Técnica de Cotopaxi (Ecuador)

Jueves 8 de Junio, 12:30-13:30

SESIÓN 2A. PROYECTOS I+D: ROBÓTICA MÉDICA Y ASISTENCIAL

Auditorio CPI (Moderador: Antonio Giménez)

#22 Robohealth: Entornos Inteligentes para Pacientes Conviviendo con Robots
E. Gambao, A. Brunete, M. Hernando
Centro de Automática y Robótica UPM-CSIC, Universidad Politécnica de Madrid

#23 Navegación del instrumental en Robótica Quirúrgica
C.J. Pérez del Pulgar, I. García Morales, M.C. López Casado, V.F. Muñoz
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Málaga

#27 Interacción humano robot en el proyecto ROBSEN
Miguel Ángel Salichs, Fernando Alonso-Martín, María Malfaz, José Carlos Castillo, Esther Salichs, Álvaro Castro-González, Marcos Maroto Gómez, Jonatan Alcocer-Luna, Enrique Fernández Rodicio
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid

#3 ROASTE: Robots ASistenciales y TERapéuticos
Samuel Marcos, Eduardo Zalama, Jaime Gómez-García-Bermejo
Centro Tecnológico CARTIF
Instituto de las Tecnologías de la Producción, Universidad de Valladolid

Jueves 8 de Junio, 12:30-13:30

SESIÓN 2B. DISEÑO ROBOTS Y MANIPULACIÓN

Salón de Actos CPI (Moderador: Alberto Ortiz)

#19 HUMASoft: Diseño y Control de Eslabones Blandos para Robots Humanoides
Concepción A. Monje, Carlos Balaguer
RoboticsLab, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid

#41 Robots paralelos flexibles: modelado y control
I. Cabanes, A. Zubizarreta, E. Portillo, P. Bengoa, A. Mancisidor
Departamento Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad del País Vasco

#42 Garras con Acelerómetros para la Manipulación y Sensorización de Productos Agroalimentarios
Carlos Blanes, Pablo Beltrán, Carlos Catalán, Martín Mellado
Instituto de Automática e Informática Industrial, Universitat Politècnica de València

#2 Prensión y manipulación diestra, móvil y cooperativa
Raúl Suárez
Institut d'Organizació i Control de Sistemes Industrials (IOC) Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTech (UPC)

Jueves 8 de Junio, 16:30-17:30

SESIÓN 3A. ROBOTS REHABILITACIÓN (I)

Auditorio CPI (Moderador: Eduardo Zalama)

#39 Plataforma Robótica para rehabilitación múltiple E2REBOT

Pablo F. Viñas, Rubén Alonso Alonso, Alejandro Cuadrado Oza, Javier Pérez Turiel, Juan Carlos Fraile, Lipsa Laurentiu, Félix Nieto Palomo, Manuel Franco, Maria Teresa Cid Bartolome, Susana San Martín, José Miguel Toribio Guzmán, Laureano Ayuso Gómez, Paloma Sánchez

Fundación CARTIF ITAP – Universidad de Valladolid IDECAL
Fundación INTRAS Aplifisa

#30 Exoesqueleto para Diagnóstico y Asistencia en Tareas de Manipulación

Blanco, D., Copaci, D-S. y Moreno, L.

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid

#5 Decodificación y estimulación de la actividad cerebral motora y sensorial para mejorar la plasticidad a largo plazo mediante la teoría Hebbiana y la estimulación asociativa durante la rehabilitación de la marcha

M. Rodríguez-Ugarte, I.N. Angulo-Sherman, E. Iáñez, M. Ortiz, J.M. Azorín
Brain-Machine Interface Systems Lab. Universidad Miguel Hernández de Elche
Cinvestav, Monterrey's Unit (México)

#26 Desarrollo de exoesqueletos robóticos para la rehabilitación de miembro superior

Blanco, D., Copaci, D-S., Flores-Caballero, A. y Moreno, L.

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid

Jueves 8 de Junio, 16:30-17:30

SESIÓN 3B. ROBOTS AUTÓNOMOS-MÓVILES

Salón de Actos CPI (Moderador: Fernando Gómez)

#14 Arquitectura para Comportamientos de Robots Basados en la Ejecución de Servicios Distribuidos

Eduardo Munera, Jose-Luis Poza-Luján, Juan-Luis Posadas-Yagüe, José Simó, J. Francisco Blanes

Instituto de Automática e Informática Industrial (ai2), Universitat Politècnica de València

#7 Mobile Manipulators as Robot Co-workers: Autonomy and Interaction in the Human-Robot Collaboration

Jan Rosell, Emmanuel Nuño, Josep A. Claret, Isiah Zaplana, Néstor García, Aliakbar Akbaria, Muhayyuddin, Leopold Palomo, Alexander Pérez, Orestes Mas, Luis Basañez

Instituto de Organización y Control de Sistemas Industriales, Universitat Politècnica de Catalunya

Departamento de Ciencias Computacionales, Universidad de Guadalajara (México)

Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito" (Colombia)

#18 Creación de mapas topológicos a partir de la apariencia global de un conjunto de escenas

Luis Payá, Oscar Reinoso, David Valiente, David Úbeda, José M. Marín

Depto. de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Miguel Hernández de Elche

#33 Proyecto PRIC: Protección Robotizada de Infraestructuras Críticas

Juan Jesús Roldán, Mario Garzón, Jorge de León, David Garzón-Ramos, Andrés Martín-Barrio, Silvia Terrile, Pablo Garcia-Aunon, Jaime del Cerro, Claudio Rossi, Antonio Barrientos

Grupo de Robótica y Cibernética, Universidad Politécnica de Madrid

Centro de Automática y Robótica (UPM-CSIC)

Jueves 8 de Junio, 18:00-19:00

SESIÓN 4A. ROBOTS REHABILITACIÓN (II)

Auditorio CPI (Moderadora: M^a Ángeles Malfaz)

#34 ROBOHEALTH-A: Development of assistive and rehabilitation robots for the improvement of patient's well-being

Edwin D. Oña, Alberto Jardón, Carlos Balaguer
Robotics Lab, University Carlos III of Madrid

#32 ORTE-Sistema Robotizado para la rehabilitación del miembro superior.

Ricardo Espinoza, Marie André Destarac, Jorge García, Rafael Acebrón, Lisandro Puglisi y Cecilia García

Aura Innovative Robotics

Centro de Automática y Robótica, Universidad Politécnica de Madrid

#29 Metodología de Diseño de Sistemas Biomecatrónicos. Aplicación al desarrollo de un Robot Paralelo híbrido para diagnóstico y rehabilitación

Á. Page, V. Mata, A. Valera, M. Vallés, F. Valero, E.J. Bernabeu, A. Besa, A.J. Sánchez, F.J. Rubio, C. Ricolfe, F. Peydro

Instituto de Biomecánica de Valencia. Universitat Politècnica de València

Centro de Investigación en Ingeniería Mecánica (UPV). Universitat Politècnica de València

Instituto Universitario de Automática e Informática Industrial, Universitat Politècnica de València

Jueves 8 de Junio, 18:00-19:00

SESIÓN 4B. SENSORIZACIÓN AVANZADA

Salón de Actos CPI (Moderador: Antonio Barrientos)

#1 A visual-based approach with an omnidirectional camera for localization and mapping tasks in mobile robotics

D. Valiente, O. Reinoso, A. Gil, L. Payá, J.M. Marín

Departamento de Ingeniería de Sistemas, Universidad Miguel Hernández de Elche

#24 Proyecto ALCOR: retos y resultados

C. Santos, F. Domingo, D. Rodríguez, M. Martínez, F. León, A. Cubero, R. Nieto, Á. de la Llana, P. del Portillo, J. Iglesias, E. Santiso, A. Gardel, I. Bravo, J.M. Castillo, F. Estévez, J.M.

Palomares, J. Olivares, J.L. Lázaro, F. Espinosa

Departamento de Electrónica. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Alcalá

Departamento de Arquitectura de Computadores, Electrónica y Tecnología Electrónica,

Universidad de Córdoba

#17 Inspección robotizada de los trajes de protección del personal sanitario de pacientes en aislamiento de alto nivel, incluido el Ébola

David Esteveza, Juan G. Vicores, Carlos Balaguer

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid

#15 Desarrollo seguro de software para robots y sistemas autónomos

Vicente Matellán, Ángel Manuel Guerrero-Higueras, Jesús Balsa-Comerón, Camino Fernández-Llamas, Francisco J. Rodríguez-Sedano, Miguel Á. Conde, Francisco Javier Rodríguez-Lera

Grupo de Robótica. Depto. de Ingenierías Mecánica, Informática y Aero-espacial. Universidad de León

Instituto de Ciencias Aplicadas a la Ciberseguridad (RIASC), Universidad de León

AI Robolab. University of Luxembourg (Luxemburgo)

Viernes 9 de Junio, 10:00-11:00

SESIÓN 5A. PROYECTOS EUROPEOS: ROBÓTICA SOCIAL-ASISTENCIAL

Auditorio CPI (Moderador: Carlos Balaguer)

#6 HOMEREHAB: Development of Robotic Technology for Post-Stroke Home Tele-Rehabilitation

Luis D. Lledó, Arturo Bertomeu, Iñaki Díaz, Jorge Juan Gil, Xabier Justo, F.J. Badesa and Nicolás García-Aracil

Grupo de investigación en Neuroingeniería Biomédica, Universidad Miguel Hernández
CEIT, Parque tecnológico de San Sebastián

#25 Interacción humano robot en el proyecto MOnarCH

Miguel Ángel Salichs, Víctor González-Pacheco, José Carlos Castillo, Álvaro Castro-González, María Malfaz, João Sequeira

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid
Instituto Superior Técnico, Institute for Systems and Robotics, Universidade de Lisboa

#9 AIDE: Adaptive Multimodal Interfaces to Assist Disabled People in Daily Activities

José M^a Catalán, Jorge Díez, Andrea Blanco, Santiago Ezquerro, Juan Barios, Francisco J. Bades and Nicolás García-Aracil

Grupo de investigación en Neuroingeniería Biomédica, Universidad Miguel Hernández

Viernes 9 de Junio, 10:00-11:00

SESIÓN 5B. CDTI: LÍNEAS DE APOYO ABIERTAS EN ROBÓTICA

Salón de Actos CPI (Moderador: Pedro Sanz)

I+D+i en aplicaciones robóticas. Convocatorias abiertas en CDTI
Carlos Toledo
Asesoramiento en Fabricación Avanzada, CDTI

Robótica en H2020
Enrique Pelayo
Contacto ICT H2020, CDTI

Viernes 9 de Junio, 11:30-12:30

SESIÓN 6A. PROYECTOS EUROPEOS: ROBOTS MÓVILES-AUTÓNOMOS

Auditorio CPI (Moderador: José A. Somolinos)

#28 Plataformas robóticas para la inspección de los pozos de las minas de carbón en las secciones inundadas y no inundadas

Olaya A. Tuñón, Alberto Jardón, Carlos Balaguer
RoboticsLab, Universidad Carlos III de Madrid

#11 The INCASS Project Approach towards Automated Visual Inspection of Vessels
Alberto Ortiz, Francisco Bonnin-Pascual, Emilio Garcia-Fidalgo, Joan P. Company-Corcoles
Departament of Mathematics and Computer Science, Universitat de les Illes Balears

#31 Robot for autonomous underground trenchless operations, mapping and navigation (BADGER)

Santiago Martinez, Elisabeth Menendez, Carlos Balaguer
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid

Viernes 9 de Junio, 11:30-12:30

SESIÓN 6B. PRESENTACIONES DE EMPRESAS: ABB, INTRA, STÄUBLI

Salón de Actos CPI (Moderador: Martin Mellado)

YuMi® el robot colaborativo de ABB que inserta clips
Alberto Garés
ABB

Redefiniendo la automatización
José María Mora López y Juan Ramón Bea Seligrat
INTRA AUTOMATION

Niveles de programación y control en robótica
Sergio Castellón
Stäubli

Viernes 9 de Junio, 12:30-13:30

SESIÓN 7A. PROYECTOS EUROPEOS: ROBÓTICA: APLICACIONES

Auditorio CPI (Moderadora: Itziar Cabanes)

#36 Sistema robótico para la inspección y análisis estructural de túneles

E. Menendez, J.G. Victores, C. Balaguer

Robotics Lab, Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automatización, Universidad Carlos III de Madrid

#37 Chaleco háptico multimodal para aplicaciones de Realidad Virtual

David Vargas Frutos, Gonzalo García Valle, José Manuel Breñosa Martínez, Juan Bernardino Carrión y Manuel Ferre Pérez

Centro de Automática y Robótica (CAR) UPM-CSIC, Universidad Politécnica de Madrid

#20 RoboCom++: Rethinking Robotics for the Robot Companion of the Future

Concepción A. Monje, Carlos Balaguer

RoboticsLab, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid

Viernes 9 de Junio, 12:30-13:30

SESIÓN 7B. PRESENTACIONES DE EMPRESAS: OMRON, UR – CFZ COBOTS

Salón de Actos CPI (Moderador: Martin Mellado)

La robótica como parte fundamental de la innovación en la fabricación
Alejandro Móner
OMRON

Robótica colaborativa en la Industria 4.0, una aproximación desde la universidad hacia la
industria
Jordi Pelegri y Borja Coronado
UR – CFZ Cobots

ACTIVIDADES ADICIONALES

Jueves 8 y viernes 9, durante toda la jornada

Exposición de robots colaborativos y de servicio

Robot Dual Arm YuMi®

ABB

Robot colaborativo Sawyer (Rethink)

INTRA AUTOMATION

Robot colaborativo UR-10

UR – CFZ Cobots

Plataforma móvil RB-1 Base

Robotnik

Robot Móvil OEM

OMRON

Viernes 9, 10:00h. Visita empresa

Salida autobús desde Punto de Encuentro 8 de la UPV

Visita a instalaciones de la empresa Robotnik

María Ibáñez

Robotnik

Viernes 9, 11:30h. Competición Virtual de Drones

Sala Descubre

Campeonato de Programación de Robots PROGRAMA-ROBOT

José María Cañas

Universidad Rey Juan Carlos



Jornadas Nacionales de Robótica

Spanish Robotics Conference

8-9 Junio 2017



Jornadas Nacionales de Robótica

Spanish Robotics Conference

8-9 Junio 2017

Valencia

Organizado por:

Universitat Politècnica de València

Instituto Universitario de Automática e Informática Industrial

Comité Español de Automática

Grupo Temático de Robótica



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Título: Libro de actas de las Jornadas Nacionales de Robótica 2017

Editores: Martin Mellado Arteché, Antonio Sánchez Salmerón, Enrique Bernabeu Soler

Editorial CEA-IFAC

ISBN: 978-84-697-3742-2

Este documento está regulado por la licencia *Creative Commons*



Creación de mapas topológicos a partir de la apariencia global de un conjunto de escenas

Luis Payá¹, Oscar Reinoso, David Valiente, David Úbeda, José M. Marín

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Miguel Hernández de Elche, Avda. de la Universidad s/n, 03202, Elche, España.

Resumen

Este trabajo presenta las aportaciones más relevantes realizadas en el proyecto ‘Creación de mapas topológicos a partir de la apariencia global de un conjunto de escenas’ (GV/2015/031), financiado por la Generalitat Valenciana. Actualmente el campo de la robótica móvil está experimentando una rápida evolución y es posible encontrar diversos vehículos autónomos para resolver diferentes tareas. En este ámbito, la comunidad científica trata continuamente de desarrollar nuevos métodos que mejoren la autonomía de los robots móviles cuando tengan que tomar decisiones sobre sus acciones. Con este objetivo, una habilidad importante que el robot debe desarrollar consiste en construir un modelo robusto del entorno inicialmente desconocido. Una vez que este modelo esté disponible, el vehículo autónomo debe ser capaz de estimar su posición actual, usando la información suministrada por los sensores de que esté equipado. Con estos datos el robot será capaz de planificar una trayectoria para llegar a los puntos destino. Teniendo en cuenta su gran importancia en la mejora de autonomía de los robots móviles, este trabajo se centra en los problemas de creación de mapas y localización. De entre las alternativas disponibles se hace uso de la información omnidireccional capturada por sistemas de visión catadióptricos. Asimismo, la información más relevante de las escenas se extrae mediante descriptores de la apariencia global. Todos los algoritmos se testan con diversos conjuntos de imágenes, capturadas bajo condiciones de trabajo reales y teniendo en cuenta fenómenos habituales como cambios de iluminación y oclusiones. *Copyright* © 2017 CEA.

Palabras Clave:

Robots móviles, robots autónomos, visión para robots, visión por computador, navegación de robots.

Datos del Proyecto:

Denominación del proyecto: Creación de mapas topológicos a partir de la apariencia global de un conjunto de escenas

Referencia: GV/2015/031

Investigador/es responsable/es: Luis Payá Castelló

Tipo de proyecto (internacional, nacional, autonómico, transferencia): Autonómico

Entidad/es financiadora/s: Generalitat Valenciana

Fecha de inicio/fin: 01/01/2015 – 31/12/2016

1. Introducción

Cuando un robot móvil desarrolla una tarea dentro de un entorno determinado, necesita tener cierto conocimiento del mismo para poder acometer de forma efectiva dicha tarea. Generalmente los entornos por los que se desenvuelven los robots son no estructurados, complejos y cambiantes. De este modo, resulta crucial crear modelos de estos entornos a partir de la información y observaciones que capturen los robots dentro del mismo, con objeto de que la localización sea efectiva. Es en este ámbito donde se centra este trabajo.

El objetivo principal que se plantea consiste en resolver el problema de creación de mapas de un entorno desconocido, teniendo como entrada la información aportada por un sistema de visión instalado sobre el robot que explora dicho entorno. La alternativa tradicional para resolver este tipo de problemas

consiste en la extracción de características locales de las escenas y la creación de mapas métricos en los que es posible estimar la posición del robot respecto a un sistema de referencia global salvo un determinado error asociado. Frente a esta filosofía, el presente trabajo plantea hacer uso de la información de apariencia global de las escenas para crear mapas topológicos, que contienen información de las localizaciones que componen el entorno y las relaciones de conectividad entre ellas. Se trata de alternativas más recientes y computacionalmente eficientes que, sin embargo, necesitan un estudio profundo en tareas de creación de mapas robustos de entornos extensos y con características dinámicas.

Los métodos basados en la apariencia global de las escenas constituyen una alternativa robusta a la hora de abordar la creación de mapas topológicos y localización dentro de dichos mapas, comparados con los métodos basados en la extracción

¹ Autor en correspondencia.

Correos electrónicos: lpaya@umh.es (L. Payá),
o.reinoso@umh.es (O. Reinoso), dvaliente@umh.es (D. Valiente),
ubeda@umh.es (D. Úbeda), jmarin@umh.es (J.M. Marín),

de puntos o regiones características. Su fortaleza reside en su habilidad de representar el entorno mediante características de alto nivel, que pueden ser manejadas de forma sencilla. Algunos trabajos previos del grupo de investigación demuestran la viabilidad de usar este tipo de descriptores para la creación de mapas topológicos densos en entornos interiores (Payá *et al.*, 2010), (Fernández *et al.*, 2010a) así como una posterior localización en estos mapas usando un enfoque probabilístico (Fernández *et al.*, 2010). Asimismo, también se han realizado estudios de distintos descriptores que han permitido optimizar el coste computacional de los procesos implicados en creación de mapas y localización (Amorós *et al.*, 2012) y se ha estudiado, en igualdad de condiciones, el funcionamiento de los métodos basados en apariencia global y los basados en extracción de características para la implementación de una odometría visual (Valiente *et al.*, 2012) (Amorós *et al.*, 2013).

A pesar de su relativa sencillez, la aplicación de técnicas basadas en la apariencia global presenta varios desafíos pendientes de resolver cuando se utilizan en entornos reales y extensos. En este trabajo se han abordado estos aspectos para dotar a los algoritmos desarrollados de una mayor robustez y ampliar su campo de aplicación. En primer lugar, es necesario trabajar con descriptores óptimos que recojan la mayor parte de la información de las escenas en el menor tamaño posible, como (Murillo *et al.*, 2013), que usa un descriptor *gist* con este objetivo y (Milford *et al.*, 2012) que presenta un estudio de reducción de la información visual de varios órdenes de magnitud a costa de perder precisión en la localización. En segundo lugar, debemos crear mapas compactos, tratando de almacenar la mínima información necesaria que permita posteriormente una localización precisa del robot en puntos intermedios y la planificación de trayectorias (control visual) que le lleve a los puntos destino deseados dentro del mapa, tanto en el caso de mapas densos como en el de mapas compactos.

Además, se debe dotar a los mapas creados de la mayor robustez posible. Algunos investigadores han trabajado en este tema usando puntos característicos y han tratado de resolver el problema registrando la estabilidad de las diferentes características de cada nodo a lo largo del tiempo y extrayendo las más estables (Bacca *et al.*, 2011) o actualizando la información según la escena va cambiando (Dayoub *et al.*, 2011). En este trabajo se aborda el problema haciendo uso de información de apariencia global, y se realiza un estudio comparativo y optimización de diversos métodos, incluyendo cambios de iluminación, ruido y oclusiones en las escenas.

El resto del trabajo está organizado como sigue. En primer lugar, se presenta un estado del arte sobre creación de mapas y localización usando visión omnidireccional. A continuación, la sección 3 realiza un estudio del desempeño de diversos descriptores de apariencia global para creación de modelos topológicos. La sección 4 trata sobre el desarrollo de nuevos descriptores y la sección 5 propone el uso de estos descriptores en tareas de creación de mapas locales y localización. Para finalizar, se plantean las conclusiones y trabajos futuros.

2. Estado del arte sobre creación de mapas y localización de robots usando sensores de visión omnidireccional

Una de las contribuciones del proyecto ha sido el desarrollo de un estado del arte sobre creación de mapas y localización usando visión omnidireccional (Payá *et al.*, 2017). Esta revisión

comienza realizando un estudio de sensores en robótica móvil, de forma general, centrándose posteriormente en los sensores de visión omnidireccional y en aspectos actuales sobre la creación de modelos visuales.

Respecto a la visión omnidireccional, cabe destacar los diferentes sensores que permiten la captura de este tipo de imágenes. Entre ellos destacan los sistemas catadióptricos, compuestos por una cámara estándar que apunta hacia un espejo convexo, cuya forma puede ser esférica, parabólica o hiperbólica entre otras. Cada uno de los tipos de espejo presenta ciertas particularidades que deben ser tenidas en cuenta. Entre estas propiedades destaca la propiedad *single effective viewpoint* consistente en que el conjunto cámara-espejo tiene un único centro de proyección. Esto es ventajoso, dado que permite obtener imágenes perspectivas sin distorsión a partir de la escena omnidireccional capturada por la cámara. Una de las formas de conseguir un sistema catadióptico que cumpla esta propiedad es mediante un espejo hiperbólico y una lente convencional (*pin-hole*). Por otro lado, también se trata el problema de calibración de los sistemas de visión omnidireccionales, presentando diversos métodos para ello. La fig. 1 muestra un ejemplo de sistema de visión omnidireccional que cumple la propiedad *single-effective viewpoint*.

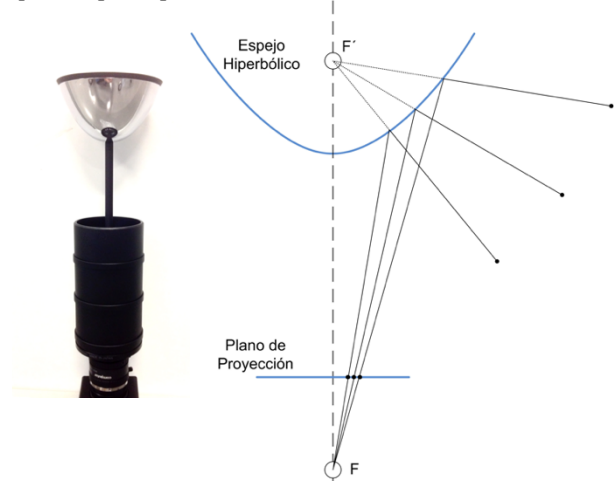


Figura 1: Modelo de proyección de un sistema catadióptico central compuesto por un espejo hiperbólico y una lente convencional.

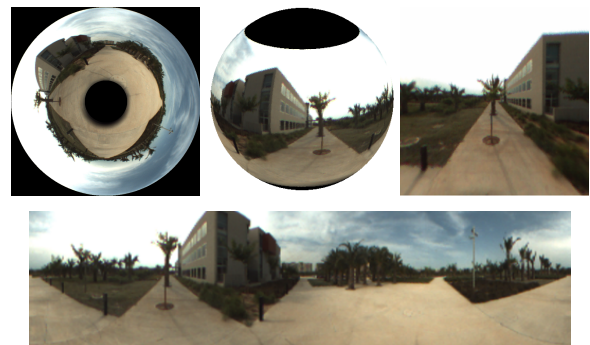


Figura 2: Ejemplos de imagen omnidireccional obtenida con un sistema catadióptico y proyecciones de la misma.

La fig. 2 muestra una imagen omnidireccional capturada por el sistema de la fig. 1, y algunas de las proyecciones que se pueden obtener a partir de ella: proyección sobre una esfera unitaria, proyección perspectiva sobre un plano vertical y

proyección cilíndrica o imagen panorámica. Para obtener las dos primeras proyecciones es necesario disponer de la calibración del sistema catadióptrico. Asimismo, cada proyección presenta unas determinadas propiedades que la hacen más útil dependiendo de la tarea que deba resolver el robot.

El trabajo finaliza haciendo una recopilación de métodos para la descripción de la información más relevante de las escenas, tanto usando características locales como globales y el uso de la información omnidireccional y estos descriptores para el mapping, localización y navegación de robots móviles. Los diversos enfoques se clasifican en 3 ámbitos: (a) construcción de mapas y posterior localización, (b) creación del mapa, actualización y localización de manera continua y (c) sistemas de localización y navegación sin mapa.

3. Análisis comparativo de descriptores de apariencia visual global para creación de modelos de un entorno

La segunda línea de actuación ha sido relativa a la creación de modelos topológicos de un entorno, haciendo uso de la apariencia global de imágenes omnidireccionales (Paya *et al.*, 2016). En este trabajo se han definido e implementado 4 métodos para la descripción de escenas panorámicas, basados en 4 enfoques distintos: la transformada discreta de Fourier (DFT), análisis de componentes principales (PCA), histogramas de orientación del gradiente (HOG) y la esencia de la escena, definida a través de información de bordes extraídos mediante filtrado de Gabor (*gist*). En todos los casos, se han implementado métodos que proporcionan, por un lado, un descriptor de posición, que permite representar la apariencia visual de una localización independientemente de la orientación del robot en el plano del suelo, y por otro lado, un descriptor de orientación, que permite calcular dicha orientación.

Haciendo uso de estos descriptores se propone un método para crear un mapa visual topológico del entorno. El punto de partida es un conjunto de imágenes omnidireccionales capturadas por el robot desde varias posiciones del entorno a modelar, cuyas coordenadas son desconocidas. Las imágenes son descritas y, a partir de la información de los descriptores se realizan varios experimentos:

- Se estudia la relación entre la distancia entre descriptores (distancia imagen) y la distancia geométrica entre los puntos de captura de las imágenes. Para ello se estudian diversas medidas de distancia imagen (*cityblock*, Euclidea, ponderada, correlación, etc.).
- Se estudia el coste computacional (tiempo y memoria necesarias para crear y almacenar el modelo creado), en función del tamaño del descriptor.
- Se propone un algoritmo basado en un sistema físico de fuerzas, en el que las imágenes se inicializan en puntos aleatorios y se unen mediante muelles (cuya longitud natural es igual a la distancia imagen entre las dos imágenes) y amortiguadores. Al dejar evolucionar el sistema como un sistema mecánico, se muestra como el conjunto de imágenes adquiere una distribución final muy similar a la distribución real de los puntos de captura de las escenas (usando únicamente para ello información visual).

Para llevar a cabo todos los estudios, se consideran distintos tamaños para los descriptores de apariencia global, lo que supone considerar distinto nivel de compresión del mapa con respecto a la información visual inicial completa. De este modo,

los experimentos permiten llegar a un compromiso entre coste computacional y bondad de los modelos creados. Todos los experimentos se realizan con diversos conjuntos de imágenes, capturados tanto por nosotros como por otros investigadores. Los modelos finales del entorno resultan de interés porque superan el concepto topológico de vecindad, y además introducen una idea de cercanía o lejanía entre localizaciones, de modo que se trata de un mapa que reproduce la disposición real de las localizaciones salvo un factor de escala.

Para finalizar, de los 4 descriptores evaluados, *gist* demuestra el mejor comportamiento en cuanto a la creación de modelos. Cuando el tamaño del descriptor se configura con unos valores intermedios, el descriptor demuestra un correcto desempeño y un buen balance entre coste computacional y utilidad del mapa creado.

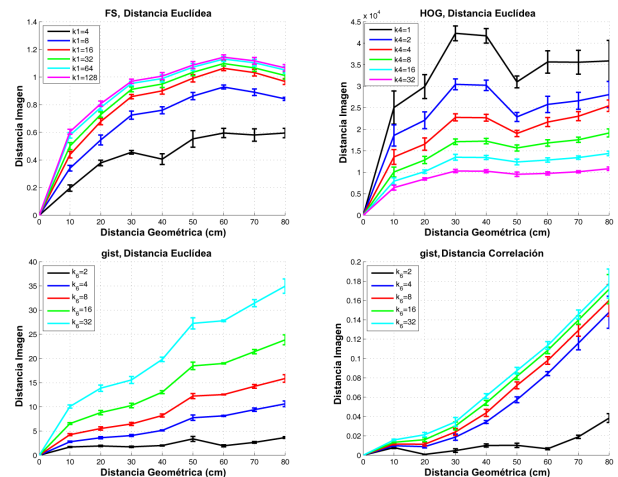


Figura 3: Distancia imagen versus distancia geométrica usando distintos métodos de descripción y medidas de distancia.

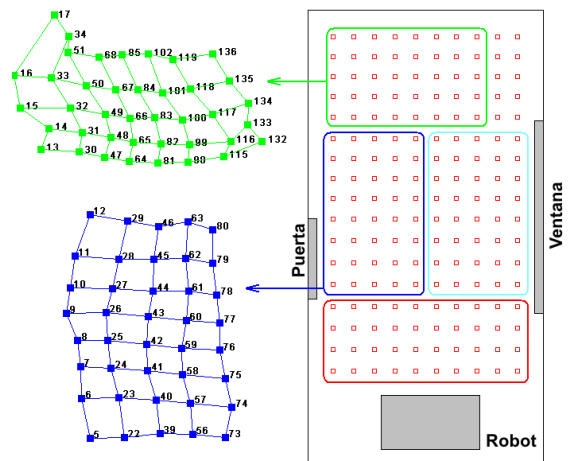


Figura 4: Ejemplo de mapas topológicos creados a partir de conjuntos de imágenes capturadas en un laboratorio sobre una rejilla 30x30 cm, usando el algoritmo propuesto.

Las figuras 3 y 4 muestran algunos de los resultados obtenidos. En primer lugar, la figura 3 muestra la relación distancia imagen (distancia entre descriptores, según diferentes medidas de distancia) versus distancia geométrica entre puntos de captura usando (a) DFT, (b) HOG y (c),(d) *gist*. Si bien tanto la DFT como HOG presentan máximos locales, *gist* tiende a presentar un comportamiento monótonamente creciente y

bastante lineal, lo cual predice un mejor desempeño en la construcción de modelos usando únicamente información visual. Este hecho se ve confirmado por el resultado presentado en la figura 4, en el que se muestran algunos mapas topológicos creados en una estancia, usando el sistema físico de fuerzas propuesto, el descriptor *gist* con un tamaño intermedio, y distancia imagen tipo correlación. Usando únicamente información visual, el algoritmo da como resultado una distribución de las imágenes similar a los puntos de captura de las mismas, salvo un factor de escala. Los resultados muestran la bondad de estos métodos de descripción global en tareas de creación de mapas topológicos, presentando asimismo un coste computacional razonable.

4. Desarrollo de nuevos descriptores de apariencia visual global

Otro de los ámbitos de actuación del proyecto de investigación ha sido el desarrollo y test de nuevos descriptores de apariencia visual global que se comportaran de forma robusta ante algunos fenómenos típicos que pueden aparecer en aplicaciones reales, como ruido en las escenas, oclusiones y cambios de iluminación.

Se propone el uso de un descriptor basado en la transformada matemática de Radon. La Transformada Radon (TR) consiste en describir una imagen en términos de sus proyecciones de línea integrales. Para ello se definen varios haces de líneas paralelas y se integra la información visual a lo largo de cada línea. Cada uno de los haces está dispuesto en una determinada orientación de forma que al considerar todos los haces se cubra la circunferencia completa. El resultado es una matriz de datos en la que el eje horizontal es la orientación de cada uno de los haces y el eje vertical es la posición de cada una de las líneas dentro de cada haz. La figura 5 muestra el proceso de construcción de la transformada Radon con una imagen ejemplo.

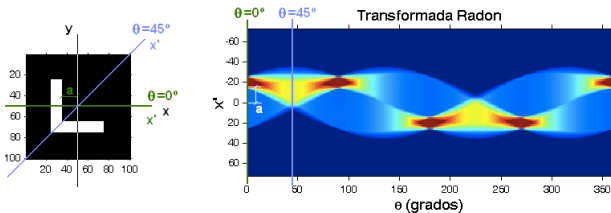


Figura 5: Proceso de construcción de la transformada Radon de una imagen ejemplo.

En los métodos propuestos, se trabaja con la TR de la imagen omnidireccional, ya que presenta diversas propiedades interesantes de cara a la construcción de modelos y localización. Cabe tener en cuenta que esta TR no es invariante ante cambios de orientación del robot en el plano del suelo. Sin embargo, cuando se compara la TR de dos imágenes omnidireccionales capturadas sobre el mismo punto pero con distintas orientaciones, se observa que ambas contienen la misma información, y que la única diferencia es un desplazamiento circular de las columnas de la TR (figura 6). Por este motivo, a partir de la TR se han propuesto una serie de operaciones matemáticas para definir diversos métodos que permitan resolver el problema de localización de forma robusta y con un coste computacional razonable. Entre ellas, destacan los dos

siguientes métodos. El método 1 consiste en calcular la Firma de Fourier de la TR. Este método proporciona un descriptor de posición, que es invariante ante cambios de orientación del robot, y un descriptor de orientación, que permite calcular la orientación relativa entre dos posiciones. Por su parte, el método 2 consiste en calcular la POC (Phase Only Correlation) de la TR de test con la TR de referencia. El resultado es una matriz en la que la posición del elemento que toma valor máximo indica la orientación relativa entre imágenes y dicho valor máximo indica el grado de similitud entre imágenes.

Partiendo de un conjunto de imágenes omnidireccionales capturadas desde varios puntos del entorno a modelar, en primer lugar se crea el mapa $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$, que estará compuesto por el descriptor de cada una de dichas imágenes. A continuación, el robot captura una nueva imagen de test en el instante t , f_t , la describe para obtener su descriptor d_t y la compara con todos los nodos del mapa. Como resultado, se estimarán la posición y orientación del robot. Con este objetivo se calcula la distancia entre d_t y los nodos del mapa $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$, obteniendo el vector de distancias $l_t = \{l_{t1}, l_{t2}, \dots, l_{tn}\}$ donde $l_{tj} = \text{dist}\{d_t, d_j\}$ de acuerdo con alguna medida de distancia. El nodo que presenta la mínima distancia $d_t^{nn}/t = \arg \min_j l_{tj}$ (vecino más cercano) es considerado como la posición correspondiente del robot. A continuación, se compara d_t^{nn} con d_t , para estimar la orientación del robot.

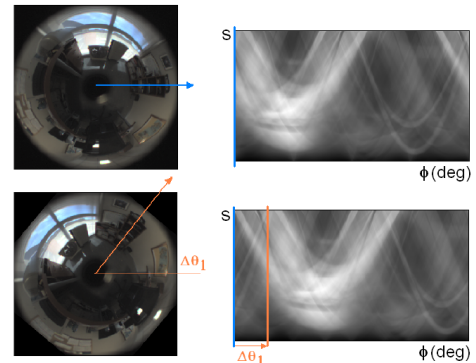


Figura 6: Transformada Radon de dos imágenes omnidireccionales capturadas por un robot sobre el mismo punto pero con un cambio de orientación $\Delta\theta_1$ entre ellas.

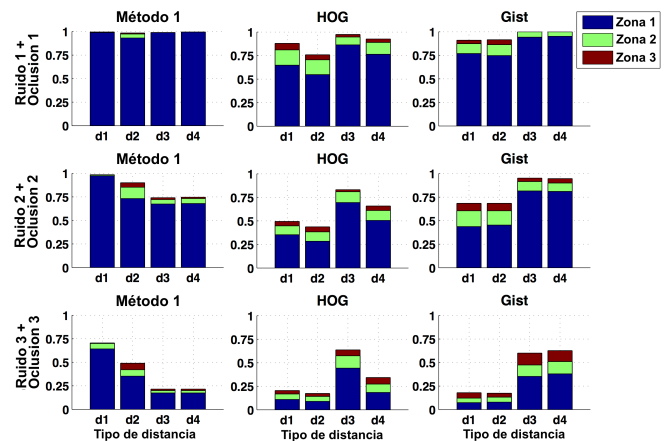


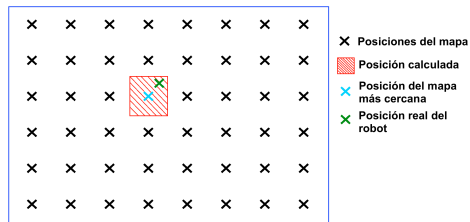
Figura 7: Resultados del algoritmo de localización con el Método 1 (TR + Firma de Fourier) con distintos tipos de distancia y niveles de ruido y oclusión. Se compara con HOG y *gist*.

Este procedimiento de localización se ha testado con varios conjuntos de imágenes. Asimismo, se ha considerado la presencia de ruido y oclusiones simultáneamente en las escenas, con distintos niveles. De los métodos propuestos, el método 1 junto con la distancia *cityblock* ha presentado los resultados más robustos. La figura 7 presenta una comparativa de los resultados suministrados por el método 1, por HOG y por *gist*. Se consideran distintas medidas de distancia (d1: *cityblock*, d2: Euclídea, d3: correlación y d4: coseno) y distintos niveles de ruido y oclusiones en las imágenes de test (1: 20% oclusión y ruido Gaussiano con $\sigma^2 = 0.025$, 2: 40%, $\sigma^2 = 0.05$ y 3: 40% y $\sigma^2 = 0.1$). En todos los casos, el método basado en TR junto con la distancia *cityblock* presenta los mejores resultados.

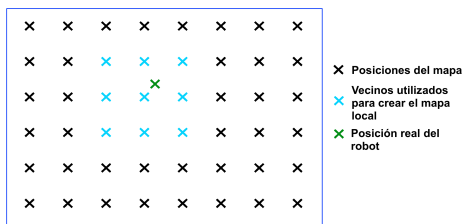
Para finalizar cabe destacar que la TR también permite resolver otros problemas, como la estimación de la posición del robot respecto a un mapa tipo trayectoria. Esto permitiría resolver el problema de control visual de un robot respecto a dicho tipo de mapas, que es la forma más habitual de capturar la información visual de un entorno desconocido para crear un modelo.

5. Estimación de la posición y creación de mapas locales mediante descriptores de apariencia global

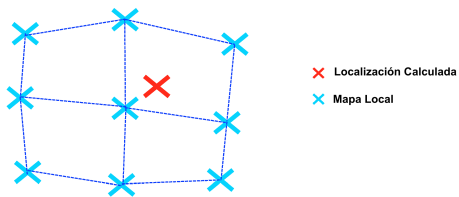
La última línea de investigación seguida dentro del proyecto ha sido la de creación de mapas locales y estimación de la posición del robot en dichos mapas (Berenguer *et al.*, 2015). En este trabajo se hace uso del descriptor de apariencia global basado en la TR en combinación con *gist*, y también se analizan y comparan otros descriptores tanto de apariencia global como de características locales.



(a)



(b)



(c)

Figura 8: Proceso de creación de un mapa local y posterior localización del robot.

El punto de partida es un conjunto de descriptores de imágenes omnidireccionales capturadas desde diversas posiciones del entorno a modelar, cuyas coordenadas son desconocidas. Posteriormente, cuando el robot captura una imagen de test desde una posición desconocida se calcula su descriptor y se obtienen los n vecinos más cercanos de entre este conjunto de descriptores. Con dichos vecinos y con la imagen de test se crea un mapa local, haciendo uso del sistema físico de fuerzas expuesto en la sección 3. El resultado es una distribución local de las imágenes del conjunto que fueron capturadas en las inmediaciones de las imágenes de test y de la imagen de test, con lo cual ya se dispone tanto de un mapa local como de la estimación de la posición del robot. La figura 8 resume estos pasos.

Tomando como base este algoritmo, se ha llevado a cabo una experimentación exhaustiva con diversos conjuntos de imágenes, tanto virtuales como reales. Se han estudiado diversos parámetros, como el tamaño de la rejilla del modelo, el tamaño del descriptor y la presencia de ruido y oclusiones. Para evaluar la bondad de los algoritmos se analizó, entre otros elementos, su capacidad para devolver los vecinos más cercanos del conjunto a la imagen de test y el coste computacional de este proceso (la figura 9 muestra estos resultados según el tamaño del descriptor), la influencia de ruido y oclusiones en este proceso, y el desempeño comparado con otros descriptores de apariencia tanto global como local (figura 10) y la forma de los mapas locales comparada con la distribución real de los puntos de captura de las imágenes.

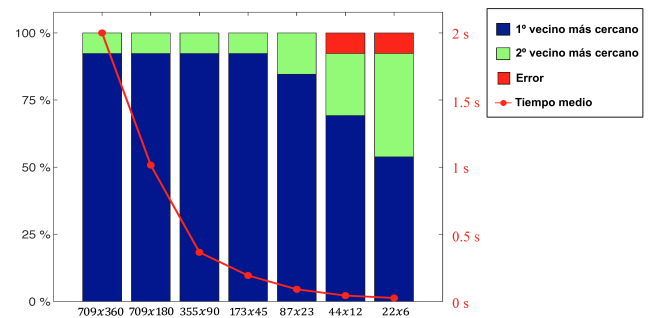


Figura 9: Precisión y tiempo de cálculo del vecino más cercano.

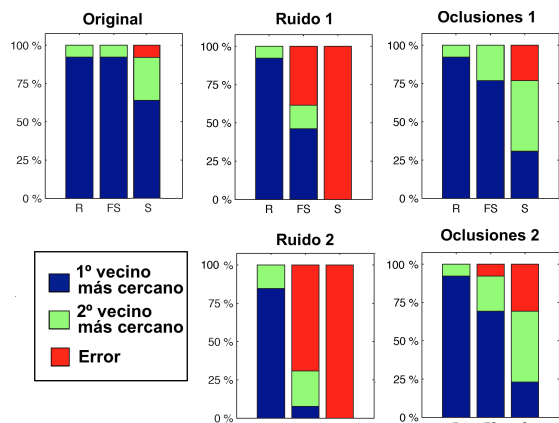


Figura 10: Precisión del proceso de cálculo del vecino más cercano del mapa según tipo de descriptor. R: TR, FS: Firma de Fourier, S: SURF.

6. Conclusión

Durante las últimas décadas, los sensores de visión se han convertido en una alternativa robusta en el campo de la robótica móvil para obtener la información necesaria del entorno por el que se mueve el robot. Entre ellos, los sistemas omnidireccionales han experimentado una gran expansión más recientemente gracias a la gran cantidad de información que proporcionan en solo una escena, lo cual los hace especialmente útiles como única fuente de información en un robot.

Tomando este tipo de sensor como base, este proyecto ha desarrollado diversos métodos que permiten crear modelos de entornos desconocidos y resolver el problema de localización en dichos entornos. Para ello se ha comenzado estudiando la geometría de los sistemas de visión catadióptricos, sus propiedades, calibración y tipos de escenas y proyecciones que se pueden obtener a partir de los mismos. A continuación, se han propuesto diferentes métodos para extraer información relevante de las escenas y que sea útil para resolver estos problemas. El proyecto se ha centrado en los métodos de apariencia global, que consisten en crear un único descriptor por escena. A partir de este tipo de descriptores, se han propuesto diversos algoritmos para la creación de modelos y para la localización del robot y se ha realizado estudios comparativos que han permitido conocer el desempeño de cada descriptor y método, así como sintonizar correctamente los parámetros más relevantes para llegar a un compromiso entre bondad de los algoritmos y coste computacional.

English Summary

Creating topological maps from the global appearance of a set of scenes

Abstract

Mobile robotics experienced a quick evolution along the last few years, and it is possible to find a variety of autonomous vehicles to solve a range of tasks. In this field, the scientific community works to improve the autonomy of mobile robots. Considering this, building a robust model of an a priori unknown environment is a crucial ability that any robot must develop. Once this model is available, the autonomous vehicle must be capable of estimating its current position, making use of the information captured by the sensors it is equipped with. With these data, the robot can plan a trajectory to arrive to the target points. Taking its great importance into account to improve the autonomy of mobile robots, this work focuses on the mapping and localization problems. Among the available choices, we make use of the omnidirectional information captured by a catadioptric vision system. Furthermore, the most relevant information from the scenes is extracted through global appearance descriptors. All the algorithms are tested with several sets of images, captured under real working conditions and considering some usual phenomena such as changing lighting conditions and occlusions.

Keywords:

Mobile robots, autonomous robots, robot vision, computer vision, robot navigation.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado parcialmente gracias al apoyo de la Generalitat Valenciana a través del proyecto GV/2015/031: Creación de mapas topológicos a partir de la apariencia global de un conjunto de escenas

Referencias

- Amorós, F., Payá, L., Reinoso, O., Fernández, L., 2012. Map building and localization using global-appearance descriptors applied to panoramic images, *Journal of Computer Information Technology* 2, 55-71.
- Amorós, F., Payá, L., Reinoso, O., Mayol, W., Calway, A., 2013. Topological map building and path estimation using global-appearance image descriptors. *Proc. of the Int. Conf. on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO)*, 385-392, Reykjavik, Islandia.
- Bacca, B., Salvi, J., Cufí X., 2011. Appearance-based mapping and localization for mobile robots using a feature stability histogram. *Robotics and Autonomous Systems* 59, 285-295.
- Berenguer, Y., Payá, L., Ballesta, M., Reinoso, O., 2015. Position estimation and local mapping using omnidirectional images and global appearance descriptors. *Sensors* 15, 26368-26395.
- Dayoub, F., Cielniak, G., Duckett, T., 2011. Long-term experiments with an adaptive spherical view representation for navigation in changing environments. *Robotics and Autonomous Systems* 59, 285-289.
- Fernández, L., Payá, L., Reinoso, O., Gil, A., 2010. Comparison of appearance based topological mapping methods. *Journal of Artificial Intelligence: Theory and Applications* 1, 38-47.
- Fernández, L., Gil, A., Payá, L., Reinoso, O., 2010. An evaluation of weighting methods for appearance-based Monte Carlo Localization using omnidirectional images. *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 13-18, Anchorage, Alaska.
- Fernández, L., Payá, L., Valiente, D., Gil, A., 2012. Monte Carlo localization using the global appearance of omnidirectional images. *Proc. of the Int. Conf. on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO)*, 439-442, Roma, Italia.
- Huhle, B., Schairer, T., Schilling, A., Strasser, W., 2010. Learning to localize with Gaussian process regression on omnidirectional image data. In: *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 5208-5213, Taipei, China.
- Lui, W.L.D., Jarvis, R., 2010. A pure vision-based approach to topological SLAM. *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems (IROS)*, 3784-3791, Taipei, China.
- Milford, M., 2012. Visual Route Recognition with a Handful of Bits. *Proc. of Robotics: Science and Systems VIII*, Sydney, Australia.
- Murillo, C., Singh, G., Kosecka, J., Guerrero, J.J., 2013. Localization in Urban Environments Using a Panoramic Gist Descriptor, *IEEE Transactions on Robotics* 29, 146-160.
- Payá, L., Fernández, L., Gil, A., Reinoso, O., 2010. Map building and Monte Carlo localization using global appearance of omnidirectional images. *Sensors* 10, 11468-11497.
- Payá, L., Reinoso, O., Berenguer, Y., Úbeda, D., 2016. Using omnidirectional vision to create a model of the environment: a comparative evaluation of global-appearance descriptors. *Journal of Sensors*. Article ID 1209507.
- Payá, L., Gil, A., Reinoso, O., 2017. A state-of-the-art review on mapping and localization of mobile robots using omnidirectional vision sensors. *Journal of Sensors*.
- Schairer, T., Huhle, B., Vorst, P., Schilling, A., Strasser, W., 2011. Visual mapping with uncertainty for correspondence-free localization using Gaussian process regression. *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems (IROS)*, 4229-4235, San Francisco, California.
- Valiente, D., Fernández, L., Gil, A., Payá, L., Reinoso, O., 2012. Visual odometry through appearance- and feature-based method with omnidirectional images, *Journal of Robotics*.