

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 entusiasarme 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



Conselleria d'Educació, Investigació, Cultura i Esport



Diputació de València



AJUNTAMENT DE VALÈNCIA
Ajuntament de València



Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. UPV



Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales. UPV



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA



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.

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
Teleroobotics 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*



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

D. Valiente ^{a,*}, O. Reinoso ^a, A. Gil ^a, L. Payá ^a, J.M. Marín ^a

^a Departamento de Ingeniería de Sistemas, Universidad Miguel Hernández de Elche,
Av. Universidad sn, 03202 Elche, Alicante, Spain

Abstract

This article aims to present the main research contributions and work conducted under the framework of an I+D+i project, funded by the Spanish Government through the CICYT. The principal focus of research concentrated on the development of a compact map model for mobile robots, which consists of a reduced set of omnidirectional images, namely views. The computation of this map allows to obtain simultaneously an estimation for the localization of the robot. This context concurs with the SLAM paradigm (Simultaneous Localization and Mapping). Traditionally, visual SLAM approaches provide a global estimation of a set of visual 3D points in the environment, denoted as visual landmarks. This fact poses a complex problem, since the re-estimation of landmarks increases dramatically as long as the robot navigates and discovers the environment. Consequently, computation and memory requirements are highly demanding so as to ensure real-time operation. In this sense, our new map proposal reveals to produce a compact model in terms of dimensions and efficiency. Particularly, each omnidirectional view in the map encodes its position and a set of 2D interest points extracted from the image frame. The information gathered by these views is used to detect matching points between the view at the current robot's pose and the views stored in the map. Afterwards, a motion transformation can be computed in order to retrieve the position of both views, and thus the localization of the robot in the map. Moreover, several contributions have been made in order to obtain a more reliable and robust approach. This article synthesizes the basic structure of the approach conducted under this project, as well as the most relevant research contributions achieved. Several diagrams and results graphics are also included to that purpose.

Copyright © 2017 CEA.

Emails: {dvaliente; o.reinoso; arturo.gil; playa; jmarin}@umh.es

Keywords:

Robot localization; mapping; visual SLAM; omnidirectional camera.

Datos del Proyecto:

Denominación del proyecto: Navegación de robots en entornos dinámicos mediante mapas compactos con información visual de apariencia global

Referencia: DPI2013-41557-P

Investigador/es responsable/es: Oscar Reinoso García y Arturo Gil Aparicio

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

Entidad/es financiadora/s: Ministerio de Economía y Competitividad

Fecha de inicio/fin: 01/01/2013-31/05/2017

1. Introduction

The problem of SLAM is of paramount importance in mobile robotics. It entails a laborious process, since the map and the localization are simultaneously estimated. This fact brings a challenge with regard to complexity, since the procedure is expected to work incrementally and to return a coherent representation of the environment.

Recently, visual sensors have reached a great emergence as the main tool for collecting information in the field of SLAM. They represent a promising option compared to classic sensors such as laser (Engel *et al*, 2014) or sonar (Choi *et al*, 2005). They allow to take the best advantage of cameras due to their low cost, light weight and low consumption. Nonetheless, their major benefit turns to be their capability to collect a large amount of visual information. Such quality is especially remarkable in omnidirectional cameras, whose field of view is

maximum. Many approaches have exploited this aspect of single cameras by means of visual descriptors to encode 3D visual landmarks (Gil *et al*, 2010; Civera *et al*, 2008; Joly *et al*, 2010). Omnidirectional cameras have also been used within different contexts successfully (Rasmussen *et al*, 2011; Payá *et al*, 2014).

Regarding the kernel solver for the map estimation, great efforts have focused on the research of EKF-based SLAM methods sustained by visual sensors (Davison *et al*, 2002; Gil *et al*, 2010; Civera *et al*, 2008; Davison *et al*, 2004; Guerra *et al*, 2010). They generally aim to provide a final map constituted by a global and iterative estimation of 3D visual landmarks along the reference system of the environment. These approaches prove to encounter difficulties to assure convergence in the solution, being especially sensitive to non-linear noise. The consequent noise effects tend to affect severely the data association problem in SLAM (Neira *et al*, 2001). Other offline algorithms (Yang *et al*, 2010; Wu *et al*, 2009) may be seen as an alternative technique to keep stability under non-linear circumstances for SLAM problems (Valiente *et al*, 2014). Within this last group, there are some other authors who take advantage of other iterative optimization techniques embedded in the core of the EKF filter (Kummerle *et al*, 2011; Einhorna *et al*, 2011).

In this context, the research conducted in this project was defined so as to come up with an improved version of an EKF-based SLAM approach which demonstrates capability to face these common shortcomings commented above (Valiente *et al*, 2017). The most relevant characteristic of the approach is the implementation of a compact visual map sustained by omnidirectional views. Here, a reduced set of views constitutes a compact, simpler and more efficient representation of the environment, contrarily to traditional 3D landmark map models.

Furthermore, the nature of our omnidirectional camera let us exploit a dual 2D-3D capability to represent the environment. That is, the map estimation provides a general 2D approach, which can be reconstructed to 3D by determining an arbitrary scale factor. Some other contributions to enhance the general approach within this project are associated with the propagation of the uncertainty to the feature matching process in order to avoid false correspondences and to reinforce the robustness. To that purpose, the epipolar constraint has been adapted to our omnidirectional frame of reference. As a result, an adaptive feature matching process is achieved. Finally, it is also worth highlighting a mechanism for the initialization of views in the map, which accounts for information gain and losses in the system. A fusion with information and regression techniques has been considered so as to keep the uncertainty of the system bounded through this initialization procedure.

The remainder of this article is structured as follows: Section 2 devises the main characteristics of the omnidirectional system. In particular, it presents the epipolar constraint adaption, the motion transformation to recover the localization, and the adaptive matching process through the uncertainty propagation. Section 3 introduces an outlook to the view-based map approach achieved in this project; Section 4 presents real data experiments and results obtained with the visual information obtained by this approach sustained by an

omnidirectional camera. These experiments test the validity and reliability of the approach, concentrating on the performance and the accuracy but also on the resemblance of the final estimation; Section 5 establishes a concludes with a brief discussion on the contributions of the research carried out in this project.

2. Omnidirectional vision system

The equipment used in this project consists of a Pioneer 3-AT indoor robot with a 1280x960 firewire camera and a hyperbolic mirror. The optical axis of the camera is installed approximately perpendicular to the ground plane, as it can be seen in Figure 1. A SICK LMS range finder is used in order to compute a ground truth representation.

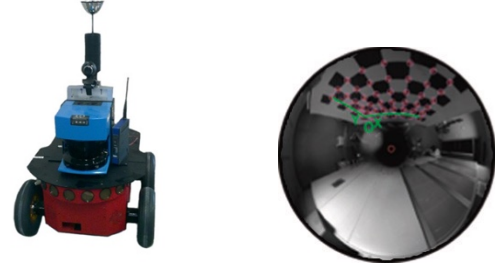


Figure 1: Experimental equipment (a). Calibration of the omnidirectional camera (b)

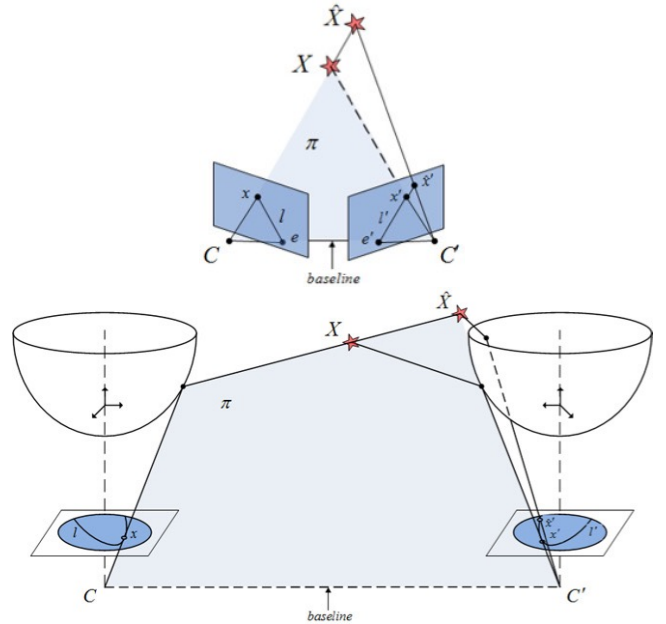


Figure 2: Epipolar constraint adaption: (a) planar reference system; (b) adaption to our omnidirectional reference system.

2.1 Epipolar adaption

The geometric nature of our omnidirectional system is shown in Figure 2. It depicts the redesign implemented in order to adapt the omnidirectional reference of the camera to fulfil epipolarity. Consequently, visual information matched between omnidirectional views, allows to retrieve a motion transformation so as to determine the localization of the robot between two poses, by means of the essential matrix where two angular relations are implied (β , ϕ) as:

$$x'^T E x = 0 \quad (1)$$

$$E = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \sin \phi \\ 0 & 0 & -\cos \phi \\ \sin \beta - \phi & \cos \beta - \phi & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

2.3 Motion transformation: recovering localization

Once the adaption of epipolarity to the omnidirectional reference is implemented, then it is straightforward to recover motion and so does localization of the robot. Under this context, the motion transformation can be defined as in Figure 3, where the same motion relation is expressed in both, the robot and the image reference systems, as a camera-to-pose equivalence. Notice that inferred connections have been derived from the epipolar constraint (1) in Figure 3. Thus assuming that a set of matching points are found between images, and that the camera rotates on the z-axis while it moves on the XY, then (1) can be relaxed to an only-XY movement, being now expressed in terms of the elements of the essential matrix, e_{ij} , and the coordinates of each corresponding point, as a coefficient matrix, D_{Nx4} , with N the total number of matches:

$$D_{Nx4} \cdot e_i = 0 \quad (3)$$

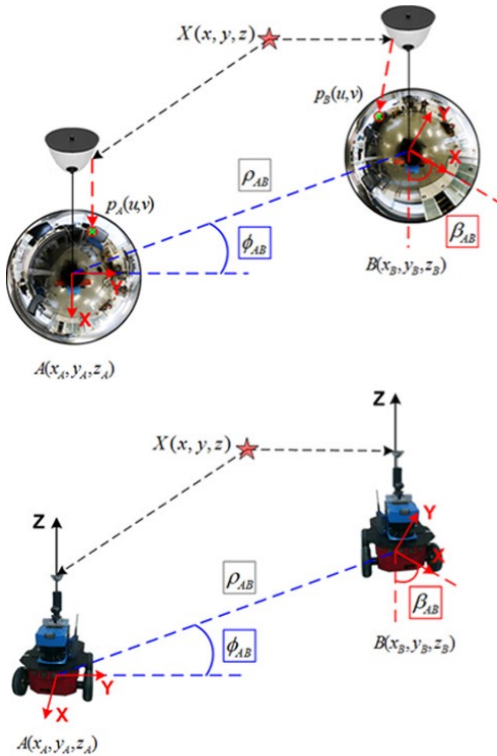


Figure 3: Motion recovery between poses A and B: (a) robot reference system; (b) analogous relation in the camera reference system.

Finally, the motion transformation is recovered as the angular movement expressed by the pair (β, ϕ) . This is crucial for the later definition of the observation model, introduced within the visual SLAM system.

2.4 Adaptive matching

Having presented the motion transformation, here we describe the design for the enhanced matching process. It

intends to reinforce the robustness and to avoid false positive inputs. To that end, this adaptive matching dynamically adapts to the non-linear noise and uncertainty characteristics of the system. Then, the epipolar constraint (1) has been redefined so as to allow a certain threshold for the search of matches on the expected epipolar lines:

$$x'^T E x = \delta(\hat{z}_t) \quad (4)$$

which are now transformed into ellipses due to the nature of the omnidirectional system. Furthermore, the current uncertainty of the system is propagated to this process. Eventually, an enhanced matching is produced, since it now accounts for dynamic changes on the uncertainty. Figure 4 depicts the entire procedure. Note that the dynamic threshold, $\delta(\hat{z}_t)$, depends on the predicted observation $(\hat{z}_t)$, which at the same time also depends on the current uncertainty. This allows to define a more realistic threshold, which now accepts deviations so as to prevent from false disparity when non-linearities are present, and also reduces the search for matches.

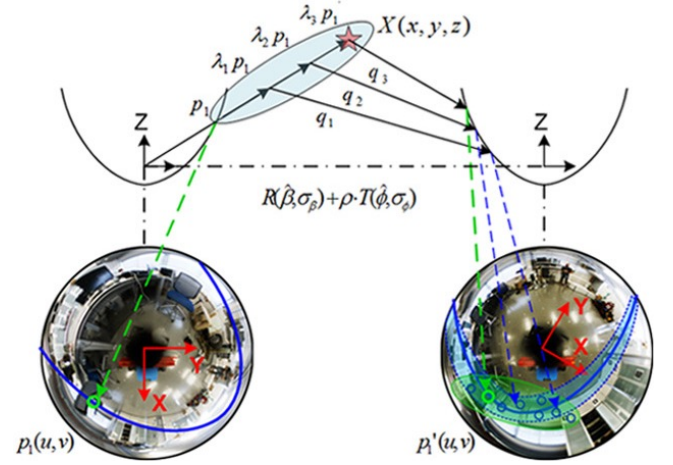


Figure 4: Adaptive matching: a multi-scaled distribution is projected onto the second image plane to define a reduced area where matches must be searched for. Epipolar curve transforms into a reshaped area due to the effect of the uncertainty propagation.

3. View-based map model

This section describes our view-based map approach within a visual SLAM system, as globally synthesized in Figure 5. More specifically, it consists of a dual 2D-3D map composed by a reduced set of omnidirectional views acquired at different poses of the robot, $\mathbf{x}_n = (\mathbf{x} \ \mathbf{y} \ \boldsymbol{\theta})_n^T$. Each n view compresses the visual information of an area of the environment by means of a set of SURF feature points (Bay *et al*, 2006). The current pose of the robot at time t is expressed as $\mathbf{x}_t = (\mathbf{x}_t \ \mathbf{y}_t \ \boldsymbol{\theta}_t)^T$. Therefore, the state vector comprises $\mathbf{x}_t$ and the set of $\mathbf{x}_n$ as follows:

$$\mathbf{x}_v(t) = [\mathbf{x}_t \ \mathbf{x}_1 \ \cdots \ \mathbf{x}_n \ \cdots \ \mathbf{x}_N] \quad (5)$$

3.1 View initialization

Here, we present the design for a balanced implementation which is responsible for the initialization of views in the map. The aim is to obtain a reduced and compact map representation

which produces scalable and feasible data for real applications. Hence, we rely on a visual similarity ratio, which is experimentally defined as:

$$A = k \frac{c}{p_1 + p_2} \quad (6)$$

with the feature points detected on each image, p_1 and p_2 , the matches found, c , and a weighting factor k . Thus, A expresses a visual appearance between the current pose of the robot and a view stored in the map. Low values of A imply low visual similarity and therefore the necessity to initiate a new view in the map. This accounts for the encoding of relevant changes on the visual appearance of the scene. Moreover, further improvements have been achieved in terms of gains and losses of information in the system. This implies that new views are prone to be initialized whenever high informative changes occur in the environment. To that aim, regression techniques have been used.

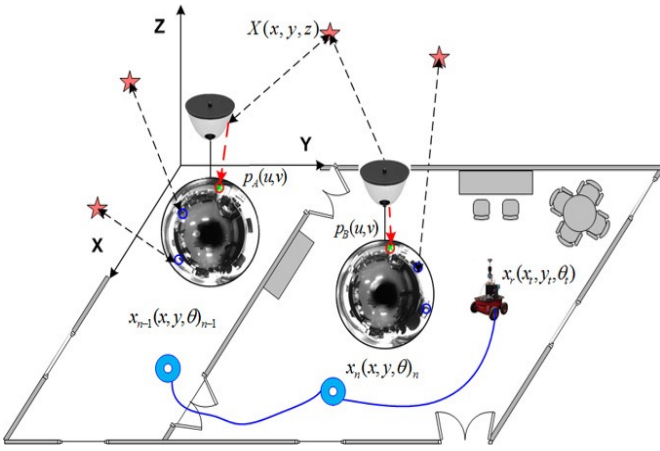


Figure 5: Dual 2D-3D map. Visual information is encoded on the 2D image plane by feature points in pixels, which are stored on each view. These views are representative for specific 3D areas of the environment with different visual appearance. The re-estimation of views implies the whole re-estimation of the map at once, contrarily to traditional approaches where larger number of 3D landmarks are re-estimated individually at each iteration.

3.2 Observation model

The basis of the observation model lies on the motion transformation defined in Section 2. Similarly, the observation measurements are computed between the current robot's image, and a certain view within range in the map. Then, these measurements input the SLAM system in order to re-estimate the state, with the following structure:

$$z_t = \begin{pmatrix} \phi \\ \beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tan^{-1}(y_n - y_v) \\ \theta_n - \theta_v \end{pmatrix} \quad (7)$$

being the same variables involved as those already introduced in (5). Besides this, the workflow for this stage is synthesized denoted in Figure 6. Finally, the complete SLAM process should be understood as presented in Figure 7.

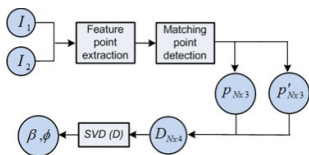


Figure 6: Observation model diagram.

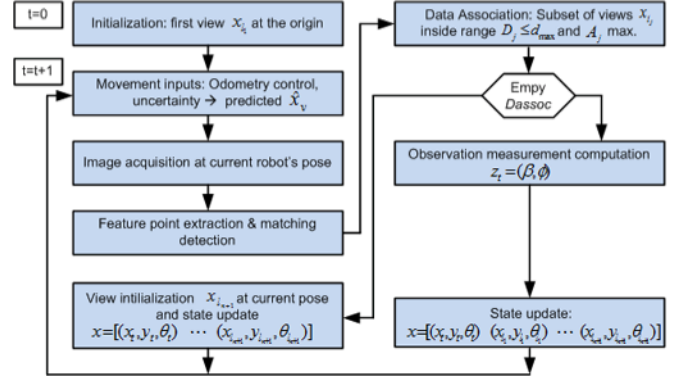


Figure 7: Complete diagram for the presented SLAM approach.

4. Results

This section intends to demonstrate the validity of the approach to work with real data scenarios, under challenging conditions such as obstructions, occlusions and external dynamic objects appearance. In particular, we present a real experiment conducted at an office buildings in the Miguel Hernández University. The characteristics of the environment are comprised in Table 1. Figure 8 presents the layout of the first floor of the building, where the final estimation of the trajectory of the robot is overlapped. Some examples of the views of the map estimation are also plotted in this figure. In a more precise and technical manner, Figure 9 presents the comparison between the results obtained (blue), the ground truth (dark), and the internal odometry of the robot (red). The position of the 41 views of this estimated map are indicated by uncertainty ellipses. This figure confirms the accuracy of the estimation (both trajectory and map), which clearly outperforms the odometry, and precisely follows the ground truth. Besides, a reduced set of 41 images reveals to be enough in order to codify all the information contained in this large scenario. Finally, Figure 10 confirms the robustness of this approach in order to ensure convergence by a bounded uncertainty. It can be observed that the evolution of the uncertainty is kept stable, without irreversible divergences, all along the duration of the experiment. This is partly due to the contributions implemented under the framework of this project, as some of them which have already been described in Section 2 and 3.

Table 1: Dataset characteristics

Dataset	Images	Distance	Figures/Layout
Dataset 1	1468	146.8 m	

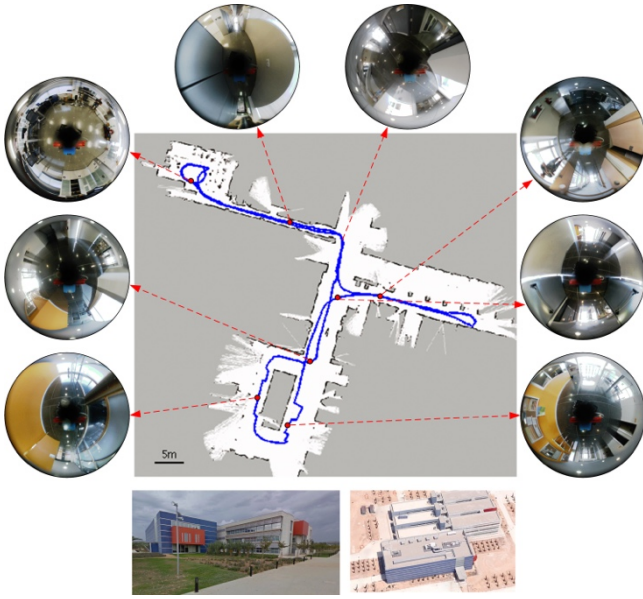


Figure 8: Main details of the large scenario where Dataset 1 was acquired. The layout of the building, real path followed by the robot and some omnidirectional views of different areas are indicated.

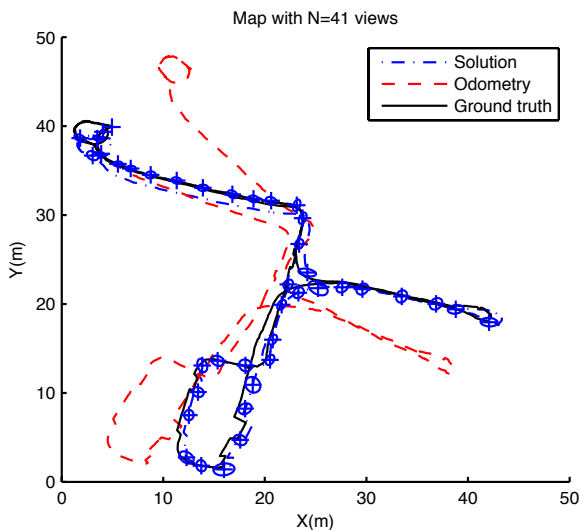


Figure 9: Real data results obtained with the presented view-based SLAM approach in a large scenario, defined as Dataset 1. The map representation of the environment is formed by 41 views. The position of the views is presented with error ellipses.

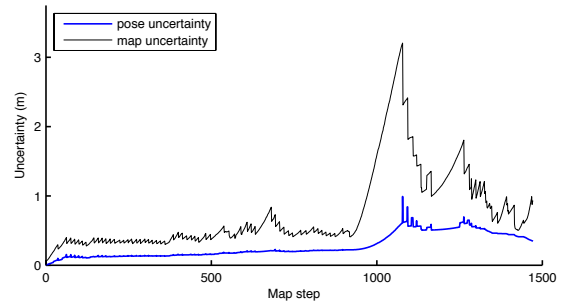


Figure 10: Evolution of pose and map uncertainty for the large scenario presented in Dataset 1.

5. Conclusions

This paper has presented the main contributions and achievements under the framework of a research project sustained by the Spanish government. In particular, the roadmap of such project planned different milestones in the context of robot mapping and localization with the use of an omnidirectional sensor. In this sense, we have presented the main contribution achieved. That is, a compact visual map estimation conformed by a reduced set of omnidirectional views. This system proves to compute a robust and reliable estimation for the pose of the robot, and a global map for the environment, as presented by real data experiments conducted in large scenarios. Furthermore, as consequence of the associated research in the project, some other improvements have been presented as well. Particularly, we have devised an adaption to epipolarity for the geometric nature of the omnidirectional camera. This allows to implement a motion recovery only consisting of a comparison between two single omnidirectional views. This means that a simpler and more efficient localization of the robot can be computed. In addition, an enhanced matching process, by means of the uncertainty propagation, has proven to be a robust tool for false correspondence avoidance. Lastly, a view initialization procedure has been presented in order to initialize new views in the map according to the visual similarity of the environment, but also accounting for information gain and losses in the system. All in all, the results confirm the validity and suitability of the approach to work with real data applications. The main contributions achieved under this project were published in different JCR-indexed journals: (Valiente *et al*, 2014a; Payá *et al*, 2014; Valiente *et al*, 2014b; Valiente *et al*, 2015; Valiente *et al*, 2017).

Acknowledgements

The research work and results presented in this paper correspond to the tasks conducted under the project DPI2013-41557-P, supported by the Spanish government through CICYT.

References

Bay, H., Tuytelaars, T., Van Gool, L., 2006. SURF: Speeded up robust features. European Conference on Computer Vision, ECCV, Graz, Austria.

- Choi, J., Ahn, S., Chung, W., 2005. Robust sonar feature detection for the slam of mobile robot. In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IROS 2005, Edmonton, Canada, 3415–3420.
- Civera, J., Davison, A.J., Martínez-Montiel, J.M., 2008. Inverse depth parametrization for monocular SLAM. *IEEE Transactions on Robotics*, 24, 932–945.
- Davison, A.J., Murray, D.M., 2002. Simultaneous localisation and map-building using active vision. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 24, 865–880.
- Davison, A.J., Gonzalez Cid, Y., Kita, N., 2004. Real-time 3D SLAM with wide-angle vision. *Proceedings of the 5th IFAC/EURON Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles*, Lisbon, Portugal, 117–124.
- Einhorna, E., Schrötera, C., Grossa, H., 2011. Attention-driven monocular scene reconstruction for obstacle detection, robot navigation and map building. *Robotics and Autonomous Systems*, 59, 296–309.
- Engel, J., Schöps, T., Cremers, D.L., 2014. Lsd-slam: Large-scale direct monocular slam. In *ECCV 2014: 13th European Conference on Computer Vision*, Zurich, Switzerland, 834–849.
- Gil, A., Reinoso, O., Ballesta, M., Juliá, M., Payá, L., 2010. Estimation of visual maps with a robot network equipped with vision sensors, *Sensors* 10, 5209–5232.
- Guerra, E., Munguia, R., Grau, A., 2010. Monocular SLAM for autonomous robots with enhanced features initialization. *Sensors* 14, 6317–6337.
- Joly, C., Rives, P., 2010. Bearing-only SAM using a minimal inverse depth parametrization. *Proceedings of the International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, ICINCO*, 2, Funchal, Madeira, Portugal, 281–288.
- Kümmerle, R., Steder, B., Dornhege, C., Kleiner, A., Grisetti, G., Burgard, W., 2011. Large scale graph-based SLAM using aerial images as prior information. *Autonomous Robots*, 30, 25–39.
- Neira, J., Tardós, J.D., 2001. Data association in stochastic mapping using the joint compatibility test. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 17, 890–897.
- Payá, L., Amorós, F., Fernández, L., Reinoso, O., 2014. Performance of global-appearance descriptors in map building and localization using omnidirectional vision. *Sensors* 14, 3033–3064.
- Rasmussen, Y., Lu, Y., Kocamaz, M., 2011. Integrating stereo structure for omnidirectional trail following. *Proceedings of the International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS*, San Francisco, USA, 4084–4090.
- Valiente, D., Gil, A., Fernández, L., Reinoso, O., 2014a. A modified stochastic gradient descent algorithm for view-based SLAM using omnidirectional images. *Information Sciences*, 279, 326–337.
- Valiente, D., Gil, A., Fernández, L., Reinoso, O., 2014b. A comparison of EKF and SGD applied to a view-based SLAM approach. *Robotics and Autonomous Systems*, 62, 108–119.
- Valiente, D., Jadidi, M.G., Gil, A., Valls, J., Reinoso, O., 2015. Information-based view initialization in visual SLAM with a single omnidirectional camera. *Robotics and Autonomous Systems*, 72, 93–104.
- Valiente, D., Gil, A., Reinoso, O., Juliá, M., Holloway, M., 2017. Improved omnidirectional odometry for a view-based mapping approach. *Sensors*, 17.
- Wu, L., Ho, D.W.C., 2009. Fuzzy filter design for Itô stochastic systems with application to sensor fault detection, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 17, 233–242.
- Yang, R., Gao, H., Shi, P., 2010. Delay-dependent robust H1 control for uncertain stochastic time-delay systems. *International Journal of. Robust Nonlinear Control*, 20, 1852–1865.