



.XXXVII.

JORNADAS DE AUTOMÁTICA

FACULTAD DE INFORMÁTICA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

LIBRO DE ACTAS

7, 8 y 9
SEPTIEMBRE
2016
MADRID



JA2016



Actas de las XXXVII Jornadas de Automática
7, 8 y 9 de septiembre de 2016, Madrid
ISBN: 978-84-617-4298-1
© Comité Español de Automática (CEA-IFAC)

• XXXVII •

Table of Contents

CONTROL DE LA EXPANSIÓN ISOTÉRMICA PARA CONVERSIÓN DE CALOR A TRABAJO	1
<i>Ramon Ferreiro Garcia, Jose Luis Calvo Rolle and Francisco Javier Perez Castelo</i>	
EVALUACION DE ARTEFACTOS EN UN SISTEM BMI PARA LA MEDICION DE NIVELES DE ATENCION DURANTE MOVIMIENTO CON EXOESQUELETO DE MIEMBRO INFERIOR.....	7
<i>Álvaro Costa, Eduardo Iáñez, Marisol Rodriguez-Ugarte and Jose Maria Azorin</i>	
Entrenamiento y Rehabilitación de la Marcha en Pacientes Pediátricos a través de la Plataforma Robótica CPWalker	13
<i>Cristina Bayón Calderón, Sergio Lerma Lara, Óscar Ramírez Velázquez, José Ignacio Serrano, María Dolores Del Castillo, Juan Manuel Belda Lois, Ignacio Martínez Caballero and Eduardo Rocon de Lima</i>	
Optimización global estática de sistemas de refrigeración	19
<i>Guillermo Bejarano Pellicer, Manuel Gil Ortega Linares and Francisco Rodríguez Rubio</i>	
IDENTIFICACIÓN PARAMÉTRICA DEL CONDENSADOR DE UNA PLANTA EXPERIMENTAL DE REFRIGERACIÓN	27
<i>David Rodríguez, José A. Alfaya, Guillermo Bejarano, Manuel G. Ortega and Fernando Castaño</i>	
Modelado cinemático y dinámico del robot UHP en el modo de rehabilitación Wrist	35
<i>Aitziber Mancisidor, Asier Zubizarreta, Itziar Cabanes, Pablo Bengoa and Iñigo Sesar</i>	
Cable Driven Robot to Simulate Low Gravity and its Application in Underwater Humanoid Robots.....	43
<i>Alejandro Rodríguez Barroso, Roque Saltarén Pazmiño, Rafael Aracil Santonja, Miguel Ángel Pérez Bayas and Cecilia García Cena</i>	
GENERACIÓN DE DATA SETS SIMULANDO DIFERENTES TIPOS DE CÁMARAS EN ENTORNOS VIRTUALES	49
<i>Yerai Berenguer, Luis Payá, Luis Miguel Jiménez, Mónica Ballesta and Oscar Reinoso</i>	
IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL FUZZY EN EL LAZO DE CONTROL DE VELOCIDAD DE UN HELICÓPTERO COAXIAL NO TRIPULADO	57
<i>Bartomeu Rubí</i>	
TÉCNICAS DE SEGMENTACIÓN EN IMÁGENES SLAR PARA LA DETECCIÓN DE VERTIDOS DE HIDROCARBUROS	65
<i>Damián Mira, Beatriz Alacid, Pablo Gil and Fernando Torres</i>	
EXPERIMENTAL TECHNIQUES TO MEASURE HYPNOTIC LEVELS DURING SURGERY.....	73
<i>Gerardo Alfonso, Juan Albino Méndez Pérez, Rosa María Aguilar China, Jesús Torres Jorge, José Francisco Gómez González, José Antonio Rebozo Morales, María Martín Lorenzo and José Luis Calvo Rolle</i>	

INTELIGENCIA COMPUTACIONAL EMBEBIDA PARA LA SUPERVISIÓN DE PROCESOS DE MICROFABRICACIÓN	78
<i>Fernando Castaño Romero, Rodolfo E. Haber and Gerardo Beruvides</i>	
Control basado en Reset para seguimiento de consigna en el sistema de Control de Crucero Adaptativo	85
<i>Adriana Costas, Miguel Cerdeira Corujo, Antonio Barreiro Blas, Emma Delgado Romero and Alfonso Baños Torrico</i>	
MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA REALIZACIÓN DE EXPERIENCIAS DE CONTROL NO LINEAL.....	93
<i>Cristina Lampón, Ramón Costa-Castelló and Sebastián Dormido Bencomo</i>	
EXPLORACION DE ENTORNOS MEDIANTE ROBOTS AUTONOMOS BASADA EN MODELOS DE REACCION DIFUSION	100
<i>Alejandro Vazquez-Otero, Jan Faigl, Natividad Duro and Raquel Dormido</i>	
Selection of the Adequate Algorithm to Generate Plant Templates for Robust Control	107
<i>Jose Manuel Diaz, Sebastian Dormido, Joaquin Aranda and Rocio Muñoz</i>	
Una estrategia docente basada en el flipped classroom para mejorar la enseñanza de contenidos prácticos en asignaturas STEM	114
<i>Isiah Zaplana and Jan Rosell</i>	
LIBRERÍA JAVA PARA ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS LINEALES.....	121
<i>Jordi Blanch Costa and Ramón Costa-Castelló</i>	
CONTROL ADAPTATIVO POR MODELO DE REFERENCIA PARA UN INVERSOR BASADO EN LCL CON SÍNTESIS DE CONTROLADOR MÍNIMA.....	129
<i>Ciro Larco Barros, Ramón Costa-Castelló and Josep M. Olm</i>	
Transcranial direct current stimulatío (tDCS) and transcranial current alternating stimulation (tACS) review	137
<i>Marisol Rodriguez-Ugarte, Nadia Sciacca, Eduardo Iáñez and Jose M. Azorin</i>	
HACIA UN ASISTENTE ROBÓTICO QUIRÚRGICO COGNITIVO	144
<i>Irene Rivas Blanco, Maria Del Carmen López Casado, Enrique Bauzano Nuñez and Victor Muñoz Martinez</i>	
TRAJECTORY CLUSTERING FOR THE CLASSIFICATION OF EYE-TRACKING USERS WITH MOTOR DISORDERS	150
<i>Alejandro Clemotte, Harbil Arregui, Miguel Angel Velasco, Luis Unzueta, Jon Goenetxea, Unai Elordi, Eduardo Rocon, Ramón Ceres, Javier Bengoechea, Iosu Arizkuren and Eduardo Jauregui</i>	
Identificacion de las principales tipologias de nubes utilizando HOG	156
<i>Carmelina Ierardi and Manuel Arahal</i>	
Improving Local Symmetry Estimations In RGB-D Images by Fitting Superquadrics	162
<i>David Fornas, Pedro J. Sanz, Josep M Porta and Federico Thomas</i>	
Control MPC basado en un modelo LTV para un control de seguimiento de trayectoria ...	169
<i>Sara Mata, Asier Zubizarreta, Ione Nieva, Itziar Cabanes and Charles Pinto</i>	

ANÁLISIS DE LA FATIGA MUSCULAR EN EL BICEPS MEDIANTE UNA ARQUITECTURA DE BAJO COSTE BASADA EN ARDUINO-EHEALTH.....	177
<i>Jorge Aracil Gómez, Jose M. Azorin and Eduardo Iáñez Martínez</i>	
A NEW UPGRADING MODEL FOR DETECTING THE REACTION TO OBSTACLE APPEARANCE DURING WALKING USING EEG	184
<i>Eduardo Iáñez, Álvaro Costa, Andrés Úbeda, Marisol Rodríguez-Ugarte and Jose M. Azorin</i>	
EVALUACIÓN DE MANIPULADORES ROBÓTICOS MEDIANTE MÉTRICAS DE CALIDAD DEL AGARRE.....	190
<i>Carlos Rubert and Antonio Morales</i>	
Identificación de parámetros de colectores solares planos mediante algoritmos genéticos ...	198
<i>Manuel Garrido Satue, Manuel Gil Ortega Linares and Francisco Rodriguez Rubio</i>	
Un Nuevo Método Cooperativo Para Encontrar Personas En Un Entorno Urbano Con Robots Móviles	206
<i>Alex Goldhoorn, Anaís Garrell Zulueta, René Alquézar Mancho and Alberto Sanfeliu Cortés</i>	
Filtrado en línea de una señal basado en métodos algebraicos y su validación experimental	214
<i>Marina Pérez De La Portilla, José Andrés Somolinos Sánchez, Amable López Piñeiro and Rafael Morales</i>	
Modelado borroso mediante datos de entrada-salida obtenidos con Arduino. Aplicación a una pila de combustible	222
<i>A. Javier Barragán Piña, Miguel A. Martínez Bohórquez, Francisca Segura Manzano, José Manuel Andújar Márquez and Antonio José Calderón Godoy</i>	
GENERACIÓN DE BIOSEÑALES SINTÉTICAS MEDIANTE SERIES DE FOURIER VARIANTES EN EL TIEMPO	227
<i>Jesús Escrivá Muñoz, Alejandro Galea Cazorla, Carmen González Pijuán, Montserrat Vallverdu Ferrer, Pere Caminal Magrans and Erik Weber Jensen</i>	
Integración de Comunicaciones a Nivel de Planta empleando Sistemas Ciber-físicos de Producción de Bajo Coste.....	234
<i>Marcelo V Garcia, Edurne Irisarri, Federico Pérez, Dario Orive, Marga Marcos and Elisabet Estevez</i>	
Phase Magnitude Diagram for Linear Systems with Delay	242
<i>Santiago Garrido, Fernando Martín and Luis Moreno</i>	
Diseño, construcción y control de un convertidor de potencia de cinco niveles	248
<i>Antonio Ventosa-Cutillas, Marta Gómez-Correa, Francisco Gordillo and Federico Cuesta</i>	
Planificación Estocástica de la Producción para Aceite de Oliva Virgen	256
<i>Pablo Cano Marchal, Diego Martínez Gila, Javier Gamez and Juan Gómez Ortega</i>	
Modelado de la incertidumbre en proceso de producción utilizando emborronamiento no unitario y mapas borroso cognitivos: caso de estudio del aceite del oliva virgen.....	264
<i>Pablo Cano Marchal, Christian Wagner, Javier Gamez García and Juan Gómez Ortega</i>	

Desarrollo de una aplicación para la operación local del robot manipulador POWERBALL: Powerbsim	272
<i>Jose Angel Martínez Navarro, Jose Carlos Moreno and Jose Luis Guzman</i>	
Modeling and Identification of ABE fermentation processes	278
<i>Dominik Hose, César de Prada and Gerardo Gonzalez</i>	
Diseño y uso de una paleta háptica para prácticas de teleoperación con simulink	286
<i>Juan Manuel Gandarias Palacios, Sepehr Akbari Kalhor and Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel</i>	
Towards omnidirectional immersion for ROV teleoperation	293
<i>Josep Bosch, Pere Ridaó, Rafael Garcia and Nuno Gracias</i>	
ESQUEMA DE INTEGRACION PARA EXPERIMENTACION REAL CON SISTEMAS ROBOTICOS BI-BRAZO	300
<i>Francisco Abiud Rojas de Silva, Carlos Arturo Rodriguez Pacheco and Raúl Suárez Feijóo</i>	
PLANTA EXPERIMENTAL PARA SUPERVISIÓN Y CONTROL DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR	308
<i>Mario L. Ruz, Sergio Fragoso, Francisco Vazquez, Rafael David Rodriguez, Fernando Morilla and Juan Garrido</i>	
MPC como estrategia de gestión energética para un vehículo híbrido eléctrico	316
<i>Mauro Carignano, Diego Feroldi, Norberto M. Nigro and Ramon Costa Castelló</i>	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA ANTIVUELCO PARA VEHÍCULOS INDUSTRIALES	324
<i>Jesús Molina, Mario L. Ruz and Francisco Vazquez</i>	
PROPUESTA BASADA EN MODELOS PARA LA MONITORIZACIÓN REMOTA DE PROCESOS EN LA INDUSTRIA DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO	331
<i>Eduarne Irisarri, Marcelo V Garcia, Federico Pérez, Darío Orive, Elisabet Estevez and Marga Marcos Muñoz</i>	
Control Táctil Adaptable para la Manipulación de Objetos Deformables	338
<i>Angel Delgado, Carlos Alberto Jara and Fernando Torres</i>	
UWSim, un simulador submarino como herramienta educativa	346
<i>Javier Perez Soler, David Fornas, Raul Marin and Pedro J Sanz</i>	
MODELO CINEMÁTICO DE UN ROBOT HEXÁPODO CON "C-LEGS"	352
<i>Jesús Tordesillas Torres, Jorge De León Rivas, Antonio Barrientos Cruz and Jaime Del Cerro</i>	
Evaluación de un sistema de radio UWB para posicionamiento preciso de vehículos	360
<i>Antonio Ramón Jiménez Ruiz, Jorge Godoy and Fernando Seco</i>	
EXOESQUELETO ACTUADO POR SMA PARA MOVILIZACIÓN DE LA MUÑECA ..	368
<i>Dorin Sabin Copaci, Dolores Blanco, Iago Lopez Guerra, Susana Collado Vázquez and Marta Pérez de Heredia</i>	

ALINEAMIENTO 3D DESDE POSICIONES NO CERCANAS DE UN ROBOT PARA TRABAJOS EN INTERIORES A PARTIR DE IMÁGENES RGB-D.....	374
<i>Sergio Cebollada, Cristobal Parra, Miguel Juliá, Mathew Holloway, Luis Miguel Jiménez and Oscar Reinoso</i>	
DETECCION AUTOMATICA DE DIFERENCIAS ENTRE IMAGENES PARA ESTIMACION DE LA IRRITACION DE PRODUCTOS MEDIANTE HET-CAM.....	382
<i>Ignacio Perez Muñoz and Antonio Jose Sanchez Salmeron</i>	
PROTOTIPO DE VISIÓN ARTIFICIAL DE BAJO COSTE PARA DESARROLLO DE PRÁCTICAS DOCENTES.....	388
<i>José Félix González Rojo, Joan Carles Puchalt Rodríguez, Eugenio Ivorra Martínez and Antonio José Sánchez Salmerón</i>	
Identificación de Parámetros Borrosos para el Control de Suspensión Activa mediante Enjambre de Partículas.....	396
<i>Isabel Elena Herrera, Anthony Mandow and Alfonso García-Cerezo</i>	
Prácticas experimentales de control digital con elementos de bajo coste.....	402
<i>Adolf Izquierdo Borràs and Ramon Costa-Castelló</i>	
Una estrategia de control mediante observadores para la temperatura en edificio de oficinas.....	410
<i>Ruben Mascaró Palliser, Ramon Costa-Castelló and José Domingo Álvarez Hervás</i>	
Modelo dinámico para el despliegue automático de una barrera de contención de vertidos marinos.....	417
<i>Juan Jiménez, Jose Maria Girón-Sierra and Dictino Chaos</i>	
LA RESPONSABILIDAD JURÍDICA DE LOS PROGRAMADORES POR LOS DAÑOS CAUSADOS POR AGENTES AUTÓNOMOS.....	425
<i>Alejandro Zornoza</i>	
Modelar o programar en prácticas de robótica.....	432
<i>Antonio José Muñoz-Ramírez and Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel</i>	
ASPECTOS PRÁCTICOS DEL CONTROL DE ACTITUD DEL SATÉLITE INTA-NANOSAT-1B.....	439
<i>Segundo Esteban San Román, José María Girón-Sierra, Lorenzo Cercós Pita, Oscar Rodríguez Polo and Manuel Angulo Jerez</i>	
Optimización con incertidumbre en EcosimPro.....	446
<i>Tania Rodríguez Blanco, Daniel Sarabia Ortiz and César de Prada</i>	
Modelización simulada en tiempo real de la evolución de un incendio mediante el Método Fast Marching.....	453
<i>Adrián Barqueno, Luis Santiago Garrido and Luis Moreno</i>	
MODELO BASADO EN OPTIMIZACIÓN Y BASES DE DATOS.....	459
<i>Vicente Simón Gómez, David Muñoz de La Peña and Teodoro Alamo</i>	

GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE CÓDIGO DE APLICACIONES ROBÓTICAS MANIPULADORAS PARA EL MIDDLEWARE DE ROS	467
<i>Elisabet Estévez, Alejandro Sánchez García, Javier Gámez García and Juan Gómez Ortega</i>	
CONTROL PREDICTIVO BASADO EN DATOS	475
<i>Vicente Simón Gómez, David Muñoz de La Peña and Teodoro Alamo</i>	
INTERFAZ INTELIGENTE Y ADAPTATIVA PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD	483
<i>María Taboada, Juan Jesús Roldán and Antonio Barrientos Cruz</i>	
ENTORNO DE SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN PARA VEHÍCULOS TIPO FORMULA STUDENT	491
<i>Iosu Erauskin, Asier Zubizarreta, Alejandro López and Alberto Parra</i>	
Control PID basado en eventos periódico para sistemas de control en red	499
<i>Ernesto Aranda-Escolástico, Carlos Rodríguez, María Guinaldo, José Luis Guzmán and Sebastián Dormido Bencomo</i>	
Formulación del problema de optimización multiobjetivo del confort en edificación sostenible	505
<i>María Del Mar Castilla Nieto, Francisco Rodríguez-Díaz, José Domingo Álvarez, Manuel Berenguel and Carlos Bordons</i>	
MODELADO Y ANÁLISIS DE MISIONES MULTI-ROBOT MEDIANTE MINERÍA DE PROCESOS	513
<i>Félix Díez, Juan Jesús Roldán and Antonio Barrientos</i>	
Introducción a la robótica con actividades de construcción, programación y competición de robots	521
<i>Francisco Andrés Candelas Herías, Fernando Torres Medina and Santiago T. Puente Méndez</i>	
MONITOREO EN LÍNEA DE LA FRECUENCIA CARDÍACA POR IMAGEN FOTOPLETISMOGRAFÍA MEDIANTE FILTRADO POR KALMAN	529
<i>Juan-Carlos Cobos-Torres and Mohamed Abderrahim</i>	
DESARROLLO DE UN MÓDULO DE COMUNICACIONES PARA PROTOCOLO FINS-TCP SOBRE SERVIDOR OPC-UA	536
<i>Francisco Blanes and Andrés Benlloch Faus</i>	
Estudio inicial de un vehículo autónomo marino de superficie	544
<i>Santiago Puente, Francisco Candelas, Fernando Torres and Carlos Cano</i>	
Predicción automática de la calidad del aceite de oliva virgen empleando visión por computador sobre aceitunas a la entrada del proceso de elaboración	550
<i>Oscar Cáceres Moreno, Diego Manuel Martínez Gila, Daniel Aguilera Puerto, Javier Gamez García and Juan Gómez</i>	
SISTEMA DE CONTROL COOPERATIVO APLICADO A UNA RED DE TRÁFICO URBANO	558
<i>Antonio Artuñedo, Raúl M. Del Toro and Rodolfo Haber</i>	

UNA COMPARATIVA DE LA CIBERSEGURIDAD EN SISTEMAS DE CONTROL CRÍTICOS: SMART GRIDS E IACS	566
<i>Miguel Angel Iñigo Ulloa, Isidro Calvo and Jon Arambarri</i>	
Perfiles de Conducción mediante Procesamiento Inteligente y Árboles de Decisión.....	575
<i>Robert Perelló, Matilde Santos and Rafael Korbas</i>	
Un nuevo modelo para la conexión remota con hardware usando javascript	581
<i>Jacobo Sáenz, Francisco Esquembre, Félix J García, Luis De La Torre, José Sanchez and Sebastián Dormido Bencomo</i>	
INVESTIGACIONES EXPERIMENTALES SOBRE COOPERACIÓN DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS EN MEDIO ACUÁTICO	588
<i>Jose M Giron-Sierra, Segundo Esteban and Juan Jimenez</i>	
Desarrollo de un entorno colaborativo para aplicaciones de fusión.....	596
<i>Jesús Chacón, Ernesto Fabregas, Sebastian Dormido, Jesus Vega and José Sánchez Moreno</i>	
Caracterización conjunta cromática-textural en la identificación de nubes.....	602
<i>Eduardo Fernández-Cantalejo Padial and Manuel Arahal</i>	
SIMULACION DE KHEPERA IV EN V-REP	610
<i>Ernesto Fabregas, Emmanuel Peralta, Gonzalo Farias, Héctor Vargas and Sebastián Dormido</i>	
ENERGÍA OSMÓTICA: MODELADO Y SIMULACIÓN DE ÓSMOSIS POR PRESIÓN RETARDADA	616
<i>Jacobo Manuel Salamanca Parra and Fernando Tadeo</i>	
Control predictivo no lineal tolerante a fallos en una planta de tratamiento de aguas residuales.....	623
<i>Álvar Sánchez-Fernández, Mario Francisco, Maria Jesus Fuente and Pastora I. Vega</i>	
DOCENCIA EN INFORMÁTICA INDUSTRIAL: LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN	631
<i>Rogelio Mazaeda, Eusebio de La Fuente López, José Luis González and Eduardo J. Moya de La Torre</i>	
Arquitectura basada en ROS para el vehículo iCab (Intelligent Campus Automobile)	639
<i>Pablo Marín Plaza, Ahmed Hussein, Carlos Guindel Gómez, David Martín Gómez, Fernando García Fernández and Arturo de La Escalera Hueso</i>	
DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ESTABILIZACIÓN DE UN BUQUE DE ALTA VELOCIDAD BASADO EN TÉCNICAS QFT	645
<i>Rocío Muñoz Mansilla, José Manuel Díaz Martínez, Dictino Chaos García, David Moreno Salinas and Joaquín Aranda Almansa</i>	
MODOS DE INTEGRACIÓN DE LABORATORIOS ONLINE EN SISTEMAS DE GESTIÓN DE APRENDIZAJE.....	653
<i>Ildefonso Ruano, Javier Gámez and Juan Gómez</i>	

OBTENCIÓN DE BARRIDOS LÁSER 3D NIVELADOS CON EL ROBOT MÓVIL ANDÁBATA EN MOVIMIENTO	661
<i>Jorge L. Martínez, Jesús Morales and Manuel Zafra</i>	
Estudio comparativo de efectos tDCS y rehabilitacion combinado con rehabilitacion con dispositivo robotico	667
<i>Santiago Ezquerro García, Irene Delegido Bernabe, Arturo Bertomeu-Motos, Luis Daniel Lledó Pérez, Rafael Puerto Manchon, Jose María Sabater-Navarro and Nicolas Garcia-Aracil</i>	
Autocalibración de parámetros extrínsecos de sistemas estéreo para aplicaciones de tráfico	675
<i>Basam Musleh, Jorge Beltrán, Carlos Borja Jaraquemada, Maria José Gomez-Silva, Noélia Hernández and José María Armingol</i>	
MICRO-ROBOT PARA INSPECCIÓN DE TUBERÍAS	683
<i>Tamara Canelo, Ernesto Gambao, Alberto Brunete and Miguel Hernando</i>	
Evaluación de la arquitectura ARMv7-A para el desarrollo de HROV's eficientes.....	689
<i>Diego Centelles Beltran, Rafael Mayo Gual, Eduardo Moscoso Rubino, Raúl Marin Prades and Pedro José Sanz Valero</i>	
CONTROL DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN MEDIANTE LoopWin APLICANDO DIVERSOS MÉTODOS.....	696
<i>F. Javier García, Eduardo J. Moya, Alfonso Poncela, Alexander Curiel and Jordán Jiménez</i>	
ENTORNO AVANZADO DE CO-SIMULACIÓN PARA MANIOBRAS COOPERATIVAS ENTRE VEHÍCULOS	704
<i>Antonio Artuñedo, Jorge Godoy and Rodolfo Haber</i>	
Aprendizaje por Refuerzo con Búsqueda de Politicas: Simulacion y Aplicacion a un Sistema Electromecanico	710
<i>Jose Manuel Pastor, Henry Diaz, Leopoldo Armesto and Antonio Sala</i>	
Sistema robótico multimodal de miembro superior para interacción con entorno físicos	718
<i>Jorge Díez, Andrea Blanco, José María Catalán, Luis Daniel Lledó Pérez, Francisco Javier Badesa and Nicolas Garcia-Aracil</i>	
Aprendizaje de comportamientos de navegación en planificadores RRT*	724
<i>Noé Pérez-Higueras, Fernando Caballero Benítez and Luis Merino</i>	
El "Automatizado Box & Blocks Test". Sistema automático de evaluación de destreza manual gruesa	732
<i>Edwin Daniel Oña Simbaña, Alberto Jardón Huete, Carlos Balaguer Bernaldo de Quirós, Alicia Cuesta Gómez, María Carratalá Tejada and Esther Monge Pereira</i>	
ROBOTS NADADORES TIPO FLAGELO BACTERIANO DE PEQUEÑAS DIMENSIONES: DESARROLLO DE PROTOTIPOS Y PLATAFORMAS DE PRUEBA.	740
<i>Javier Silva García, Javier Prieto Arranz, Ines Tejado, Emiliano Pérez and Blas M. Vinagre</i>	

Control orientado a la herramienta para dispositivo asistencial en tareas que requieren capacidad de pinzado	748
<i>Edwin Daniel Oña Simbaña, Alberto Jardón Huete, Gabriel Barroso de María and Carlos Balaguer Bernaldo de Quirós</i>	
OBTENCION DEL MODELO DINAMICO SIMBOLICO DE ROBOTS RAMIFICADOS UTILIZANDO GRUPOS DE LIE Y GRAFOS.....	755
<i>Juan A. Escalera, Fares Abu-Dakka, Pablo J. Alhama Blanco and Mohamed Abderrahim</i>	
Experiencia docente de la materia Informatica Industrial en estudios de Ingenieria	762
<i>Francisco Rodríguez, José Carlos Moreno, Maria Del Mar Castilla, Manuel Berenguel, José Luis Guzmán and Jorge Antonio Sánchez-Molina</i>	
LOCALIZACIÓN DE ROBOTS MÓVILES CON 4 GDL MEDIANTE VISIÓN OMNIDIRECCIONAL.....	770
<i>Cristobal Parra Soriano, Luis Miguel Jiménez García, Mónica Ballesta Galdeano, Óscar Reinoso García and David Valiente García</i>	
Uso de un robot social de bajo coste con personas mayores dependientes en un centro residencial	777
<i>Ángeles Hoyo Sánchez, Mari Carmen Pardo, Jose Luis Guzman and Jose Carlos Moreno</i>	
Planificador de Búsqueda en Tiempo Mínimo en un Sistema de Control de RPAS.....	785
<i>Sara Perez Carabaza, Eva Besada Portas, Jose Antonio Lopez Orozco and Jesús Manuel de La Cruz</i>	
Cálculo de trayectorias para vehículos autónomos marinos (USV) utilizando el método Fast Marching Square sometido a campo vectorial.....	793
<i>Melchor Izquierdo, Santiago Garrido and Luis Moreno</i>	
PLANIFICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA DE CARGAS EN UN SISTEMA DE EVAPORADORES INDUSTRIALES	801
<i>Carlos Gómez Palacín, José Luis Pitarch and César de Prada</i>	
MODELADO Y CONTROL DE UN VEHÍCULO SUBACUÁTICO NO TRIPULADO ...	807
<i>Francisco J. Velasco González, Elías Revestido Herrero, Francisco Javier Lastra Santos and Luis Manuel Vega Antolín</i>	
PLATAFORMA DE INSPECCIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE MAPAS 2D y 3D DE UN CULTIVO	814
<i>Jose M Bengochea-Guevara, Dionisio Andújar, Jesús Conesa-Muñoz and Angela Ribeiro</i>	
Robótica móvil para el aprendizaje de conceptos de programación en tiempo real	821
<i>Carlos Rodríguez, José Luis Guzmán, Manuel Berenguel, José Carlos Moreno, Francisco Rodríguez and Sebastián Dormido</i>	
NEURO-FUZZY EN EL MODELADO DEL COMPORTAMIENTO DE USUARIOS-TURÍSTICOS EN EWOM	827
<i>Rosa M Aguilar, J.M. Torres, J.A. Mendez and E. Parra-Lopez</i>	

Algoritmo para la detección automática de sangrados quirúrgicos utilizando visión por computador	835
<i>Alvaro Garcia Martinez, Jose Maria Vicente Samper, Carlos Gabriel Juan Poveda and Jose Maria Sabater-Navarro</i>	
Framework para el modelado de Interacciones Humano-Robot basadas en aprendizaje no supervisado	840
<i>Rafael Ramón-Vigo, Luis Merino and Fernando Caballero Benítez</i>	
Coordinación UAV-UGV para tareas de Búsqueda y Rescate	848
<i>Pablo Rodríguez Palafox, Mario Garzón Oviedo and Antonio Barrientos</i>	
Planificación de Trayectorias para UAVs con Fast Marching Square Adaptadas a Requerimientos de Vuelo	856
<i>Veronica González Pérez, Concepción Alicia Monje Micharet, Luis Moreno and Carlos Balaguer</i>	
Control de acceso electrónico de cerraduras de barrera basado en WPA para dispositivos móviles	863
<i>Miguel Díaz-Cacho Medina, Alfonso Trigo Raposo, Emma Delgado and Matías García Rivera</i>	
DEEP LEARNING EN LA PREDICCIÓN DE GENERACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO	869
<i>Jesús Torres, Rosa M Aguilar, Juan A Méndez and K.V. Zúñiga-Meneses</i>	
RECONOCIMIENTO DE ACTIVIDADES EN EL DESPLAZAMIENTO POR INTERIORES MEDIANTE UN TELÉFONO INTELIGENTE Y SEÑALES DE OPORTUNIDAD	876
<i>Fernando Seco Granja and Antonio Ramón Jiménez Ruiz</i>	
MAS-RECON. MIDDLEWARE RECONFIGURABLE BASADO EN MULTIAGENTES ..	884
<i>Unai Gangoití, Aintzane Armentia, Rafael Priego, Elisabet Estévez and Marga Marcos</i>	
Diseño de un motor de tareas para terapias de neurorehabilitación asistidas por robots ...	891
<i>Luis Daniel Lledó Pérez, Santiago Ezquerro García, Arturo Bertomeu Motos, José María Catalán Orts, Ramón Neco García, José María Sabater Navarro and Nicolás García Aracil</i>	
Los primeros robots manipuladores aéreos	899
<i>Anibal Ollero, Antidio Viguria, Ivan Maza, Miguel Angel Trujillo, Guillermo Heredia, Raul Cano, Fernando Caballero, Fernando Lasagni, Jose Angel Acosta, Silvia de Los Santos and Jose Antonio Cobano</i>	
MODELO NEURONAL MULTIVARIABLE DE UN SISTEMA TWIN-ROTOR.....	907
<i>Luis Ignacio Ruiz, Eloy Irigoyen, Vicente Gomez and Fernando Artaza</i>	
Influencia de la visualización en terapias de rehabilitación virtual asistidas por robots.....	913
<i>Luis Daniel Lledó Pérez, Santiago Ezquerro García, Francisco Javier Badesa Clemente, Ramón Neco García, José María Sabater Navarro and Nicolas García Aracil</i>	

GUIADO HÁPTICO MEDIANTE APRENDIZAJE POR DEMOSTRACIÓN EN ROBÓTICA QUIRÚRGICA	921
<i>Carlos Perez-Del-Pulgar, Isabel García-Morales and Victor Muñoz Martinez</i>	
CLASIFICADOR DE FIGURAS GEOMETRICAS TRAZADAS A MANO BASADO EN LOGICA BORROSA	929
<i>David Palomeque Mangut and J. Alvaro Fernández Muñoz</i>	
ARQUITECTURA DE COMUNICACIONES DE TIEMPO REAL PARA ROBOTS MODULARES BASADOS EN ROS.....	935
<i>Eduardo Munera, Jose-Luis Poza-Luján, Juan-Luis Posadas-Yague, Jose Simo and Francisco Blanes</i>	
Predictores robustos de estructura fija.....	943
<i>David Tena Tena, Ignacio Peñarrocha Alós and Roberto Sanchis Llopis</i>	
Optimización de la Vida de Baterías en Plantas Fotovoltaicas mediante Algoritmos Genéticos	949
<i>Emilio Pérez, Hector Beltrán, Carlos Ariño and J. Carlos Alfonso-Gil</i>	
Experiencias de evaluación automatizada en identificación y ajuste de PID	957
<i>Daniel Dolz Algaba, Ignacio Peñarrocha and Roberto Sanchis Llopis</i>	
Desarrollo de una herramienta de configuración asistida de Sistemas Automatizados de Prevención de Riesgos Industriales basados en Visión Artificial	963
<i>M Dolores Moreno Rabel and J. Alvaro Fernández Muñoz</i>	
Diseño basado en prestaciones de observadores PI para el diagnóstico de fallos en sistemas lineales con perturbaciones gaussianas.....	971
<i>Ester Sales-Setién, Ignacio Peñarrocha, Daniel Dolz Algaba and Roberto Sanchis Llopis</i>	
Centro de Control Versátil para Equipos de Vehículos Heterogéneos Estado Actual y Mejoras Futuras.....	979
<i>Juan A. Bonache Seco, Jose A. Lopez Orozco, Eva Besada Portas and Jesús Manuel de La Cruz</i>	
METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE PROCESOS DE AUTOMATIZACIÓN SEGÚN LA NORMA ANSI/ISA-88	987
<i>Arantzazu Burgos, María Luz Alvarez, María Isabel Sarachaga and Marga Marcos</i>	
Un enfoque óptimo para la distribución de energía de una micro-red usando Control Predictivo basado en Modelo (MPC): una simulación de un caso de estudio.....	995
<i>César Hernández, Francisco Rodríguez, José Carlos Moreno, Paulo Renato Da Costa Mendes and Julio Elias Normey-Rico</i>	
Real time stereoscopic vision system for obstacle detection using low cost embedded systems	1003
<i>Miguel Gilabert Gisbert, Jaime Masiá Vañó and Pau Micó Tormos</i>	
Modelado y predicción a corto plazo del consumo y producción de energía eléctrica en una micro-red utilizando métodos basados en series temporales y redes neuronales artificiales.....	1010
<i>César Hernández, Francisco Rodríguez, José Carlos Moreno, Paulo Renato Da Costa Mendes and Julio Elias Normey-Rico</i>	

DESARROLLO DE UN GENERADOR DE GASES AUTOMÁTICO CONTROLADO POR PLC	1018
<i>Javier Díaz-Pajuelo, Jesus Lozano, José Ignacio Suárez, Patricia Arroyo and Antonio José Calderón</i>	
DETECCIÓN DE CONTAMINANTES MEDIANTE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES Y RECONOCIMIENTO DE PATRONES	1024
<i>Patricia Arroyo, Jesus Lozano, José Ignacio Suarez, José Luis Herrero Agustin and Pablo Carmona</i>	
SISTEMA DE MONITORIZACIÓN Y CONTROL DE UN ROBOT CARTESIANO BASADO EN PLC	1030
<i>Jesus Lozano, Antonio José Calderón, Víctor Miñambres and Alberto Tomás Pérez</i>	
CONTROL VISUAL DINÁMICO BASADO EN FPGA DE UN ROBOT MANIPULADOR DE 6 GRADOS DE LIBERTAD	1037
<i>Aiman Alabdo, Javier Pérez, Jorge Pomares, Gabriel J. Garcia and Fernando Torres</i>	
CONTROL DE FORMACIONES DE VEHÍCULOS MARINOS DE SUPERFICIE CON RESTRICCIONES DE ENTRADA	1044
<i>Jesús Manuel de La Cruz, José Antonio López Orozco, Eva Besada Portas and Joaquín Aranda Almansa</i>	
IDENTIFICACIÓN DE DIFERENTES ZUMOS MEDIANTE NARIZ ELECTRÓNICA PORTÁTIL	1052
<i>Sara González, David Palomeque Mangut, Juan Álvaro Fernández, Jose Pedro Santos and Jesus Lozano</i>	
CONTROL DE UN ROBOT MÓVIL MEDIANTE ICC: UN ENFOQUE PRÁCTICO. ...	1059
<i>Rafael López de Ahumada, Gianluca Amitrano, Fernando Gomez-Bravo, Raúl Jiménez-Naharro and Juan Antonio Gómez Galán</i>	
MODELADO DINÁMICO Y SIMULACIÓN DE UN ROBOT TREPADOR TIPO SERIE CON 4 GRADOS DE LIBERTAD	1067
<i>Adrián Peidro Vidal, Alba Hortal, Arturo Gil, José María Marín, David Úbeda and Óscar Reinoso</i>	
ROBOT NADADOR TIPO FLAGELO BACTERIANO PLANO: ESTUDIO Y SIMULACIÓN DEL MECANISMO DE PROPULSIÓN	1075
<i>José Emilio Traver, Blas M. Vinagre and Ines Tejado</i>	
Planificación multinúcleo en sistemas particionados	1083
<i>Vicent Brocal, Alfons Crespo and Patricia Balbastre</i>	
Arquitectura de control multimodal para robótica asistencial	1089
<i>José María Catalán Orts, Jorge Díez, Arturo Bertomeu-Motos, Francisco J. Badesa, Rafael Puerto Manchon, José María Sabater and Nicolas Garcia-Aracil</i>	
MEJORAS EN LA ARQUITECTURA DE CONTROL E INTERFAZ DE USUARIO PARA EL CONTROL DE UN HROV	1095
<i>Juan Carlos García Sánchez, Javier Pérez, J. Javier Fernández, Paulo Menezes and Pedro J Sanz</i>	

MANIPULACIÓN REMOTA EN INSTALACIONES CON ELEVADO GRADO DE RADIACIÓN	1101
<i>Sofía Coloma, Jose Breñosa, Luis Rubio, Manuel Ferre and Rafael Aracil</i>	
DETECCIÓN DE VEHÍCULOS BASADA EN VISIÓN POR COMPUTADOR PARA SISTEMA DE AYUDA A LA CONDUCCIÓN EN TRÁFICO URBANO. GENERACIÓN DE HIPÓTESIS.	1108
<i>Manuel Ibarra, Tardi Tjahjadi, Sandra Robla and Juan Pérez</i>	
ESTRATEGIA AUTO-ADAPTATIVA BASADA EN TÉCNICAS DE INGENIERÍA DE CONTROL PARA SISTEMAS EMPOTRADOS DISTRIBUIDOS.....	1116
<i>Raúl Mario Del Toro Matamoros, Andrei Pruteanu and Rodolfo Haber Guerra</i>	
Accuracy analysis of marker-based 3D visual localization	1124
<i>Alberto López-Cerón and Jose María Cañas</i>	
Protección Multi-robot de Infraestructuras: Un Enfoque Cooperativo para Entornos con Información Limitada	1132
<i>David Alfredo Garzon Ramos, Mario Andrei Garzon Oviedo and Antonio Barrientos</i>	
Plataforma didáctica de bajo coste para el control de actitud y orientación en UAVs multirotor.....	1140
<i>Javier Rico-Azagra, Montserrat Gil-Martinez, Ramon Rico and Paloma Maisterra</i>	
DOCTUS, UNA HERRAMIENTA DE E-LEARNING INNOVADORA PARA EDUCACIÓN EN AUTOMÁTICA Y ÁREAS AFINES	1148
<i>Fabio Gómez-Estern, David Muñoz de La Peña Sequeda and Carlos Sánchez Cazorla</i>	
Predicción del índice de fermentación de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) mediante análisis de imagen y redes neuronales.....	1156
<i>Mohamed Abderrahim, Luis Condezo-Hoyos, Noemi Leon Roque and Silvia M. Arribas</i>	
Soluciones alternativas al control predictivo basado en modelo de Volterra	1161
<i>Jorn Gruber and Ignacio Peñarrocha</i>	
PRIMERA APROXIMACIÓN DE DISEÑO DE UN ROVER MINIMALISTA BIO-INSPIRADO.....	1167
<i>Mauricio Henriquez and Matilde Santos</i>	
ESTUDIO DE UN GUANTE DE DATOS EN UN SISTEMA ROBOTIZADO COLABORATIVO PARA CIRUGIA LAPAROSCÓPICA ASISTIDA POR LA MANO...	1175
<i>Lidia Santos, José Luis González, Eusebio de La Fuente, Juan C. Fraile and Javier P. Turiel</i>	
ESTUDIO DINÁMICO DEL COMPORTAMIENTO DE UN ROBOT ÁPODO MODULAR E HIPER-REDUNDANTE.....	1182
<i>José Luis González, Javier P. Turiel, Juan C. Fraile, María A. P. Rueda and Ricardo Martín</i>	
Objects positioning in water surface from a single image.....	1190
<i>Juan Romeo, Joaquin Aranda, Gonzalo Pajares and Jesus Manuel de La Cruz</i>	

SIAR: an autonomous ground robot for sewer inspection	1198
<i>David Alejo, Carlos Marques, Fernando Caballero Benítez, Paulo Alvito and Luis Merino</i>	
ESTUDIO DE CONSUMOS DE GAS EN ENTORNOS RESIDENCIALES BASADO EN REDES NEURONALES	1205
<i>Alain Porto, Eloy Irigoyen and Xabier Basogain</i>	
A ROS REACTIVE NAVIGATION SYSTEM FOR GROUND VEHICLES BASED ON TP-SPACE TRANSFORMATIONS	1213
<i>Enrique Rodriguez, Jose Luis Blanco, Jose Luis Torres, Jose Carlos Moreno, Antonio Gimenez and Jose Luis Guzman</i>	
Detección de Lugares con Cámaras RGB-D. Aplicación a Cierre de Bucles en SLAM.....	1221
<i>David Zúñiga-Noël, José Raúl Ruiz Sarmiento and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	
Tonatiuh, un trazador de rayos basado en simulación de Monte Carlo y con licencia GPL de GNU	1229
<i>Luis G. Palacín</i>	
INDOOR POSITIONING PREDICTION SYSTEM BASED ON WIRELESS NETWORKS AND DEPTH SENSING CAMERAS	1237
<i>Jaime Duque Domingo, Carlos Cerrada and Enrique Valero</i>	
Nash Solution as a Multi-criteria Decision Making technique for control problems.....	1243
<i>Helem Sabina Sanchez, Ramon Vilanova, Antonio Visioli and Orlando Arrieta</i>	
Simplified Fuzzy Model based Predictive Control for a nonlinear system	1250
<i>Juan Manuel Escaño, Carlos Bordons, Samira Roshany-Yamchi, Kritchai Witheephanich and Jean Michel Rubillon</i>	

GENERACIÓN DE *DATA SETS* SIMULANDO DIFERENTES TIPOS DE CÁMARAS EN ENTORNOS VIRTUALES

Y. Berenguer, L. Payá, L. M. Jiménez, M. Ballesta y O. Reinoso

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática.

Universidad Miguel Hernández de Elche. Avda. de la Universidad s/n. 03202, Elche (Alicante), Spain.

{yberenguer, lpaya, luis.jimenez, m.ballesta, o.reinoso}@umh.es,

Resumen

En este artículo se presenta una plataforma para crear diferentes tipos de data sets a partir de entornos virtuales. Estos data sets contienen información sobre la apariencia visual del entorno y sobre la distancia desde algunas posiciones de referencia hasta todos los objetos. Los algoritmos diseñados para la creación de mapas y la localización de robots deben ser probados y testados con diferentes conjuntos de imágenes para validarlos. Esto puede llevarse a cabo utilizando imágenes reales, sin embargo, un cambio en los parámetros del sistema de visión supondría su sustitución y se tendrían que volver a capturar nuevos data sets. Esto supone un alto coste y frena el avance en las primeras fases del desarrollo. El objetivo de este trabajo es desarrollar una herramienta versátil que permita generar data sets para testar eficientemente estos algoritmos. Otra ventaja de esta plataforma es que pueden generarse imágenes desde cualquier posición del entorno y con cualquier rotación. Además, las imágenes generadas no tienen ruido; lo que permite llevar a cabo una prueba preliminar en condiciones ideales. El entorno virtual se puede crear y modificar fácilmente. Por último, la plataforma permite realizar otras tareas avanzadas utilizando las imágenes generadas y el entorno virtual.

Palabras clave: *data sets*, generación de mapas, entornos virtuales, sistemas de visión, descripción de imágenes, imágenes omnidireccionales, nube de puntos.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, hay muchos tipos de robots móviles que tienen que llevar a cabo diferentes tareas de forma autónoma en un entorno desconocido, por lo tanto, deben llevar a cabo dos pasos fundamentales. Por un lado, el robot debe crear una representación interna del entorno (es decir, un mapa) y por otra parte debe ser capaz de utilizar este mapa para estimar su pose actual (posición y orientación). El robot extrae información del entorno desconocido utilizando los diferentes sensores que lleve equipados. Esta información se compara con los datos de los mapas para estimar la pose

del robot. Para llevar a cabo estas tareas se pueden utilizar diferentes tipos de sensores como por ejemplo: sensores láser, táctiles o visuales.

A lo largo de los últimos años han habido infinidad de investigaciones sobre creación de mapas y localización de robots utilizando diferentes tipos de sensores. En muchas de estas investigaciones se han utilizado sensores visuales, ya que permiten muchas configuraciones posibles y le proporcionan al robot información muy completa del entorno que se puede utilizar en otras tareas de alto nivel (por ejemplo, detección de personas, identificación de semáforos, etc.) [6, 18]. Entre ellos, algunos trabajos se centran en las imágenes con información visual y métrica, como imágenes RGB-d. Dos ejemplos de esto se muestran en [16, 13] que utilizan este tipo de información en las tareas de creación de mapas y seguimiento.

Este trabajo se centra en la generación de imágenes virtuales que utilizan diferentes tipos de sensores visuales con diferentes configuraciones. Esto tiene un propósito muy útil; la generación de *data sets* de imágenes para diseñar y mejorar los algoritmos que utilizan cualquier tipo de información visual. Para llevar a cabo esta generación, se ha desarrollado una plataforma para crear *data sets* de imágenes que cambian el tipo de cámara y todos los parámetros del sistema de visión. Estos sistemas pueden ser cámaras simples, cámaras estéreo, cámaras panorámicas o sistemas de visión catadióptricos, que proporcionan al robot escenas omnidireccionales del entorno [19]. Podemos encontrar muchos trabajos previos que usan imágenes omnidireccionales en tareas de creación de mapas y localización. Por ejemplo, [17] presenta una comparación entre dos métodos diferentes de SLAM (*Simultaneous Localization And Mapping*) visual mediante el uso de imágenes omnidireccionales y en [8] se propone un sistema de navegación topológico mediante visión omnidireccional. El sistema virtual catadióptrico se compone de una cámara que apunta a un espejo hiperbólico.

También hay que tener en cuenta el hecho de que, hoy en día, vehículos aéreos no tripulados (UAVs (*Unmanned Aerial Vehicles*)) se han convertido en plataformas muy populares y versátiles que pueden realizar infinidad de tareas. Algunos investigadores se han enfrentado anteriormente el problema de la localización con

este tipo de plataforma, como [9].

Tradicionalmente, los avances en creación de mapas y localización de robots móviles utilizando sensores visuales se basan en la extracción y la descripción de algunos puntos característicos de las escenas, como por ejemplo descriptores SIFT (*Scale-Invariant Feature Transform*) [7] y SURF (*Speeded-Up Robust Features*) [3]. Más recientemente algunos autores proponen el uso de la información global de las escenas para crear descriptores. Estas técnicas han demostrado ser una buena opción para resolver los problemas de localización y de navegación. [5], [12] y [20] proponen tres ejemplos de ello.

En todos estos trabajos, es necesario contar con un conjunto completo de escenas para validar los algoritmos de creación de mapas y localización que utilizan información visual. Tradicionalmente, el robot está equipado con un sistema de visión y es controlado a lo largo del entorno para asignar posiciones a cada una de las imágenes que va capturando para hacer la creación del mapa.

Este método presenta algunas desventajas, como por ejemplo que el proceso para obtener los *data sets* es lento y caro. Además, es bastante difícil saber con precisión las coordenadas de las posiciones en las que se adquiere cada imagen. Además, para probar el efecto que pueden tener sobre el algoritmo algunos cambios en la geometría del sistema de visión, es necesario capturar nuevos conjuntos de escenas para cada nueva geometría.

En este trabajo se implementa una plataforma para crear información visual que simula diferentes sistemas visuales montados en el robot. Esta plataforma es útil para crear conjuntos de escenas sin ningún coste adicional. Estos conjuntos pueden utilizarse para validar cualquier nuevo algoritmo de creación de mapas y localización que utilice información visual. Estos mapas pueden ser creados usando diferente número de imágenes y diferentes tipologías de mapas, como los mapas de trayectoria o de cuadrícula. Por otra parte, estos mapas pueden contener tantas imágenes como sea necesario. La plataforma también permite cambiar la geometría y la configuración del sistema de visión, además de otras características de los entornos.

Además, para probar los algoritmos de localización en un mapa previamente construido, es posible generar imágenes de prueba desde cualquier posición en el mapa simulando cualquier rotación u orientación de la plataforma robótica en el entorno (6 grados de libertad). Otra ventaja de esta plataforma es que las imágenes creadas no tienen ningún tipo de ruido o imperfección porque son generadas a partir de un entorno virtual definido previamente. Permite probar los diferentes algoritmos en condiciones ideales, lo que puede ser útil en las etapas iniciales del diseño y puesta a punto

de un nuevo algoritmo. Además, el ruido y las oclusiones se pueden añadir después de probar la robustez de los algoritmos, una vez que ya se han ajustado con imágenes ideales.

De esta manera, esperamos que el uso de esta plataforma ahorre tiempo y dinero durante el desarrollo de nuevos algoritmos de creación de mapas y localización de robots. Gracias a ello, los experimentos iniciales pueden ser llevados a cabo rápidamente, en una gran variedad de entornos y con precisión.

El resto de este trabajo se estructura de la siguiente manera. En la Sección 2 se introducen los sistemas de visión que utilizamos para crear las imágenes: La cámara sencilla, la cámara estéreo, la cámara panorámica y el sistema de visión omnidireccional. La Sección 3 presenta el algoritmo que hemos diseñado para simular los sistemas de visión. La Sección 4 describe algunas opciones adicionales de la plataforma ofrece. En la Sección se presentan los experimentos y resultados. Y por último en la Sección se exponen las conclusiones.

2. SIMULACIÓN DE SISTEMAS VISUALES

Hoy en día, existen varios tipos de sensores visuales. La plataforma que se presenta en este trabajo simula algunos de ellos, en particular, cámaras simples, cámaras estéreo, cámaras panorámicas y sistemas de visión catadióptrico.

La simulación de todos estos sistemas se basa principalmente en la trayectoria del haz de luz que parte de los objetos y viaja hacia el foco de la cámara. Todos estos sistemas de visión se utilizan muy comúnmente en innumerables trabajos. El sistema catadióptrico presenta el proceso de formación de la imagen más complejo. Por esta razón, el algoritmo de simulación se explica utilizando este tipo de sistema de visión como base. El resto de los sistemas de visión se simulan utilizando los mismos conceptos.

2.1. Sistema de Visión Omnidireccional

Las imágenes omnidireccionales (Figura 1) se crean usando un sistema de visión catadióptrico que consta de una cámara montada en el robot que apunta generalmente a un espejo hiperbólico (Figura 2). El eje óptico de la cámara y el eje del espejo, están alineados. La cámara captura la imagen reflejada en el espejo hiperbólico que forma la imagen omnidireccional. La figura 3 muestra como un punto del espacio se refleja en el espejo \vec{P} y posteriormente proyectada al plano de la imagen, p . (i, j) es el sistema de referencia del plano imagen y (x_c, y_c, z_c) es el sistema de referencia del mundo. La figura muestra algunos de los parámetros más relevantes del espejo hiperbólico y de la cámara.

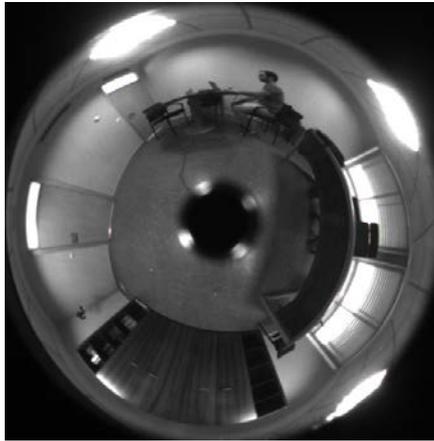


Figura 1: Imagen omnidireccional real.



Figura 2: Sistema real de adquisición de imágenes omnidireccionales.

El algoritmo está basado en la definición de la trayectoria del rayo de luz que va desde los objetos del entorno hasta el foco de la cámara (F). Primero, el rayo parte desde los objetos y llega al espejo hiperbólico. Tras ello, el rayo rebota en el espejo y parte hacia el foco de la cámara (F) pasando por algún punto del plano imagen.

La Ecuación 1 define el espejo hiperbólico. Este espejo es simétrico y sus dimensiones se definen a partir de a y b . Estas variables también definen la distancia entre el foco del espejo hiperbólico y el origen del sistema de coordenadas del mundo, c (Ecuación 2).

$$\frac{x_c^2 + y_c^2}{a^2} - \frac{z_c^2}{b^2} = -1 \quad (1)$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2)$$

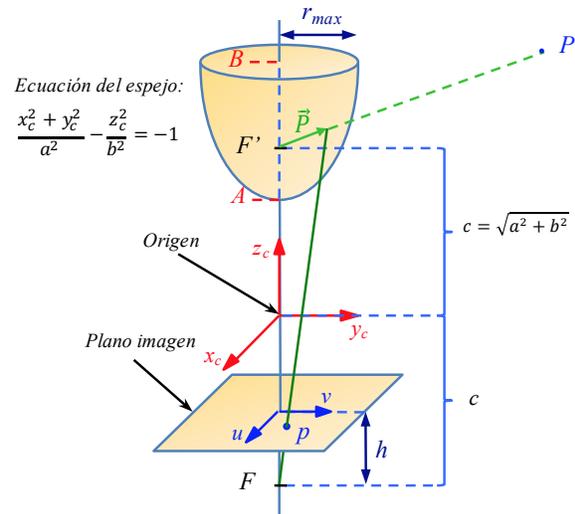


Figura 3: Sistema catadióptrico utilizado para capturar las imágenes omnidireccionales sintéticas usando un espejo hiperbólico.

Los espejos hiperbólicos son espejos muy utilizados en la creación imágenes omnidireccionales gracias a sus propiedades [21]. Sin embargo, hay muchos otros tipos de sistemas de visión que proporcionan imágenes omnidireccionales, tales como espejos parabólicos, espejos esféricos o espejos cónicos [10] e incluso matrices polares formadas por cámaras [14].

La Ecuación 3 define la ecuación de espejos parabólicos y la Ecuación 4 define la ecuación de los espejos esféricos..

$$\frac{z_c}{c} = \frac{x_c^2}{a^2} + \frac{y_c^2}{b^2} \quad (3)$$

$$(x_c - x_0)^2 + (y_c - y_0)^2 + (z_c - z_0)^2 = r^2 \quad (4)$$

donde (x_0, y_0, z_0) son el origen de coordenadas de la esfera con respecto al sistema de referencia (x_c, y_c, z_c) ; a, b, c definen la geometría del espejo parabólico y r es el radio de la esfera.

A partir de una imagen omnidireccional es posible obtener su proyección panorámica utilizando un programa sencillo para transformar las coordenadas polares de la imagen omnidireccional en coordenadas cartesianas de la imagen panorámica. La Figura 4 muestra la imagen panorámica obtenida a partir de la imagen omnidireccional mostrada en la figura 1. La plataforma también permite obtener otras proyecciones diferentes, tales como vistas ortográficas, cilíndrica y proyecciones en esfera unitaria. Algunos algoritmos de creación de mapas y localización usan este tipo de información [1].



Figura 4: Imagen panorámica obtenida de la imagen omnidireccional de la Figura 1.

3. ALGORITMO DE SIMULACIÓN

En este trabajo, los sistemas de visión se modelan mediante un algoritmo para crear imágenes en un entorno virtual. Para realizar esta tarea, el programa se basa en la trayectoria del rayo de luz y en las intersecciones entre planos y líneas rectas.

Para generar una imagen, es necesario crear un entorno virtual primero. Este entorno tiene que ser definido de tal manera que la intersección entre los rayos y los objetos dentro de este entorno se puedan simular de manera eficiente. Para ello hemos definido los objetos como grupos de caras y cada una de estas caras está contenida en un plano diferente. Por ejemplo, seis caras en seis planos diferentes definen un cubo. Desde este punto de vista, el entorno virtual está formado por un conjunto de caras en el espacio que definen objetos con diferentes formas. La figura 5 muestra los elementos que forman un paralelepípedo usando estas caras; el paralelepípedo se define por l_1, l_2, l_3 , su posición en el entorno y el color de cada cara.

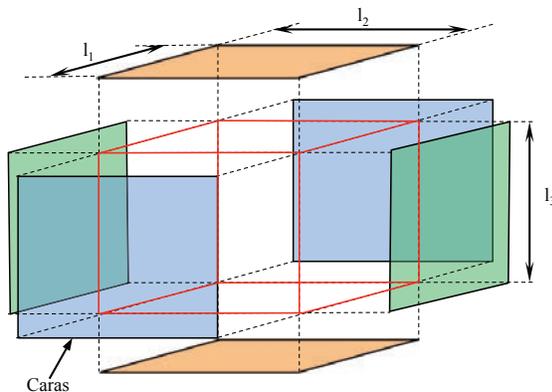


Figura 5: Caras de un objeto en un entorno virtual.

Una vez que se han generado todos los objetos, el algoritmo genera las imágenes mediante el cálculo de cada una de las trayectorias generadas por los rayos de luz en el sistema.

Teniendo en cuenta que el sistema de visión más complejo es el sistema catadióptrico, el algoritmo se explica usando la visión omnidireccional como base para la explicación. Los otros sistemas han sido simulados utilizando los mismos conceptos.

En primer lugar, el plano imagen se define escogiendo la resolución de la imagen omnidireccional ($k_x \times k_y$) y la distancia h en la figura 3 (distancia entre el plano de la imagen y el foco de la cámara).

En segundo lugar, el vector $\vec{F}p_{ij}$ se calcula desde el foco de la cámara F hasta cada píxel de la imagen (i, j) (Ecuación 5). p_{ij} es el píxel seleccionado para trazar el rayo. La figura 6 muestra el plano de la imagen y la trayectoria del rayo para cada píxel p_{ij} .

$$\vec{F}p_{ij} = \vec{p}_{ij} - \vec{F} \quad (5)$$

donde \vec{p}_{ij} y \vec{F} son los vectores cuyas componentes son las coordenadas de p_{ij} y F respectivamente, con respecto al sistema de referencia del mundo $\{x_c, y_c, z_c\}$.

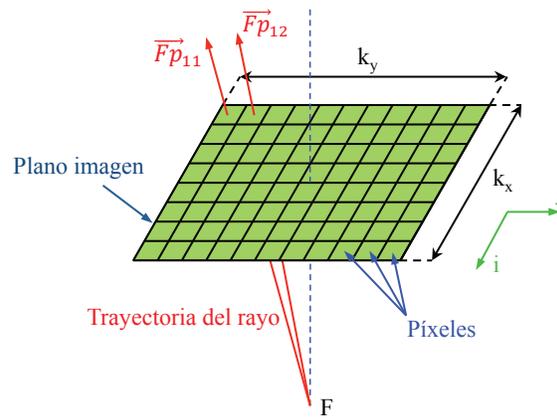


Figura 6: Trayectoria del rayo de luz para cada píxel del plano imagen.

En tercer lugar, la línea recta $r1_{ij}$ se define a partir del vector $\vec{F}p_{ij}$ y el punto F (como punto de esa línea), se utiliza para calcular el punto de intersección (Q_{ij}) entre $r1_{ij}$ y el espejo hiperbólico (Ecuación 1).

En cuarto lugar, este punto (Q_{ij}) se utiliza para calcular el vector \vec{P}_{ij} usando la siguiente ecuación:

$$\vec{P}_{ij} = \vec{Q}_{ij} - \vec{F}' \quad (6)$$

donde \vec{Q}_{ij} y \vec{F}' son los vectores cuyas componentes son las coordenadas de Q_{ij} y F' , respectivamente, con respecto al sistema de referencia $\{x_c, y_c, z_c\}$. F' es el foco del espejo hiperbólico (Figura 3).

Por último, la línea recta $r2_{ij}$ definida por el vector \vec{P}_{ij} y el punto F' se utiliza para calcular el punto de intersección (P) entre ella y cualquier objeto en el entorno. Cuando $r2_{ij}$ atraviesa una cara de un objeto, el píxel del plano imagen utilizado en la Ecuación 5 toma el valor del color de la cara de dicho objeto. $r2_{ij}$

puede atravesar varios objetos, pero sólo se considera la intersección más cercana (esto es lo que sucede en una situación real).

Por lo tanto, este proceso crea un conjunto de vectores compuesto por todos los vectores \vec{P}_{ij} , uno por cada píxel del plano imagen, y un punto (F'). Las intersecciones con los objetos del entorno se calculan utilizando las líneas definidas por estos vectores y el punto (F').

Para simular la translación del robot sólo es necesario trasladar el punto (F'). El conjunto de vectores no se modifica. El cambio en la elevación del robot se simula mediante una translación en el eje z. La siguiente ecuación muestra la translación del punto F' :

$$\vec{F}'_T = \vec{F}' + \vec{T} \quad (7)$$

donde \vec{F}'_T es el vector cuyas componentes son las coordenadas de F'_T , con respecto al sistema de referencia $\{x_c, y_c, z_c\}$. F'_T es el punto F' trasladado y T es el vector de translación.

Por último, para tener en cuenta que el robot puede tener diferentes orientaciones en el espacio, es necesario el uso de una o más matrices de rotación para transformar cada vector \vec{P} :

$$R_x(\theta_x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_x & -\text{sen} \theta_x \\ 0 & \text{sen} \theta_x & \cos \theta_x \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$R_y(\theta_y) = \begin{bmatrix} \cos \theta_y & 0 & \text{sen} \theta_y \\ 0 & 1 & 0 \\ -\text{sen} \theta_y & 0 & \cos \theta_y \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$R_z(\theta_z) = \begin{bmatrix} \cos \theta_z & -\text{sen} \theta_z & 0 \\ \text{sen} \theta_z & \cos \theta_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$R_{total} = R_x(\theta_x) \cdot R_y(\theta_y) \cdot R_z(\theta_z) \quad (11)$$

$$\vec{PR}_i = R_{total} \cdot \vec{P}_i \quad (12)$$

donde R_x , R_y y R_z son la matriz de rotación con respecto a cada eje, R_{total} es la matriz de rotación resultante y \vec{PR} es el vector \vec{P} girado.

El esquema del proceso de generación de imágenes omnidireccionales se define en el Código 1.

Código 1: Pseudocódigo de simulación

```
1 para i=1:1:px
3 para j=1:1:py
```

```
5 Elegir el punto p(i,j) del plano
   imagen
7 Cálculo de v_Fp(i,j) = p(i,j)-F
9 v_Fp y F definen r-1
11 pi(i,j) = intersección entre r1 y
   el espejo hiperbólico
13 Cálculo de v_P(i,j)=Q(i,j)-F'
15 v_P y F' definen r-2
17 P=primer punto de intersección
   entre la línea r2 y un objeto
   del entorno virtual
19 imagen(i,j)=color del objeto en el
   punto P
21 fin
23 fin
```

4. OPCIONES ADICIONALES DE CAPTURA Y DESCRIPCIÓN DE LAS IMÁGENES

El objetivo principal de este trabajo es presentar una plataforma con el fin de crear imágenes a partir de un entorno virtual como se presenta en la sección anterior. Además de esta función, la plataforma se puede llevar a cabo otras tareas avanzadas utilizando los fundamentos presentados en la Sección 3.

Ya que esta plataforma ha sido diseñada para probar algoritmos de localización y creación de mapas, se han incluido algunos de los métodos de descripción de imagen más utilizados. Entre ellos podemos encontrar descriptores basados en métodos de extracción de características y descriptores basados en la apariencia global de las imágenes.

Por un lado, la plataforma permite extraer y describir tanto características SIFT (*Scale-Invariant Feature Transform*) [7] como características SURF (*Speeded-Up Robust Features*) [3] de cada imagen omnidireccional virtual, para llevar a cabo experimentos usando este tipo de descriptores. Todos los parámetros de dichos descriptores son configurables.

Por otra parte, la plataforma también permite calcular otros descriptores basados en la apariencia global de las imágenes. Algunos ejemplos son los descriptores basados en la transformada de Radon [15, 4], la Firma de Fourier (FS, *Fourier Signature*), Análisis de Componentes Principales (ACP), Histograma de Gradientes Orientados (HGO) y descriptores *gist*. Muchos de estos descriptores se utilizan en [11]. Y también, el usuario puede configurar todos los parámetros.

La creación de cada entorno es muy fácil de reali-

zar a través de líneas de comando. Es posible crear cualquier nuevo objeto definiendo su forma, posición, orientación y tamaño. Los entornos virtuales pueden ser definidos como entornos de interior o de exterior.

Esto es muy útil para probar los algoritmos de localización en condiciones realistas. Por lo general, las imágenes de mapa son capturadas en un momento específico del día, pero la localización debe llevarse a cabo en diferentes momentos. Esto implica diferentes condiciones de iluminación y también otros cambios en la información visual, tales como oclusiones en escenas debido a la presencia de personas u otros objetos móviles alrededor del robot.

Teniendo en cuenta estos hechos, la plataforma tiene también otras opciones configurables en la generación de las imágenes, tales como la adición de puntos de luz, ruido y oclusiones (añadiendo objetos en el entorno virtual). También es posible cambiar el color de cada objeto en el entorno virtual.

Las imágenes omnidireccionales también se pueden transformar en diferentes proyecciones (como vista ortográfica, cilíndrica y proyección en esfera unitaria) utilizando la plataforma presentada. Es una característica interesante porque hay muchos trabajos que usan imágenes panorámicas y otras proyecciones en las tareas de localización [11].

Por último, cabe destacar que hoy en día, algunos investigadores hacen uso de los datos de nubes de puntos en tareas de localización, tales como [2]. Por este motivo se ha añadido a la plataforma una opción adicional para generar una nube de puntos del entorno virtual. Este proceso consiste en guardar todos los puntos P (punto de intersección entre cada línea r_2 y los objetos en el entorno virtual). Estos datos de nube de puntos almacenan las coordenadas x , y y z de cada punto P y el color del objeto en este punto y emula la información capturada por una cámara RGB-d. La figura 7 muestra un *data set* de nube de puntos de un entorno virtual usando una cámara simple virtual.

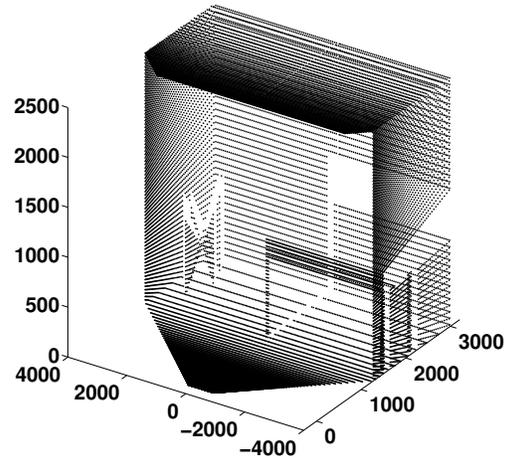


Figura 7: Ejemplo de una nube de puntos de un entorno virtual.

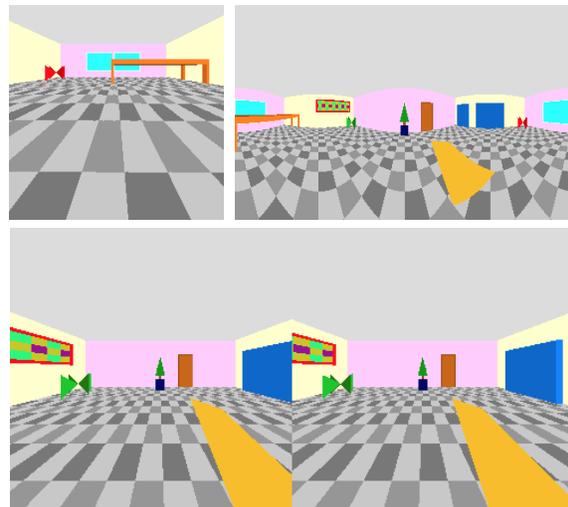


Figura 8: Diferentes tipos de sensores visuales. Arriba a la izquierda, cámara simple. Arriba a la derecha, cámara panorámica. Abajo, cámara estéreo.

5. EXPERIMENTOS

Con el fin de comprobar el rendimiento del método propuesto, hemos creado dos entornos virtuales que representan dos habitaciones diferentes. En estos entornos, es posible crear una imagen utilizando diferentes tipos de sistemas de visión desde cualquier posición y con cualquier orientación.

Se han capturado diferentes imágenes de muestra utilizando varios tipos de sistemas visuales. La figura 8 muestra tres tipos diferentes de imágenes tomadas con una cámara simple, una cámara panorámica y una cámara estéreo.

La resolución de las imágenes se puede configurar sin limitaciones. Para generar imágenes omnidirecciona-

les, hemos optado por 250x250 píxeles para llevar a cabo los experimentos. Los parámetros utilizados en la ecuación del espejo (Ecuación 1) pueden ser configurados también, en este experimento hemos elegido $a = 40$ y $b = 160$.

Se han capturado varias imágenes en cada entorno, teniendo en cuenta cambios de elevación del robot, traslación, rotación e inclinación antes de capturar cada nueva imagen. La figura 9 muestra las coordenadas del foco del espejo F' , la rotación en cada eje, y las imágenes generadas.

Como se mencionó anteriormente en la Sección 4, la plataforma también puede transformar estas imáge-

	Entorno 1	Entorno 2
$F'(0,0,0)$ $\theta_x = 0^\circ$ $\theta_y = 0^\circ$ $\theta_z = 0^\circ$		
$F'(0,0,40)$ $\theta_x = 0^\circ$ $\theta_y = 0^\circ$ $\theta_z = 0^\circ$		
$F'(150,0,40)$ $\theta_x = 0^\circ$ $\theta_y = 0^\circ$ $\theta_z = 0^\circ$		
$F'(150,0,40)$ $\theta_x = 0^\circ$ $\theta_y = 0^\circ$ $\theta_z = 60^\circ$		
$F'(150,0,40)$ $\theta_x = 0^\circ$ $\theta_y = 50^\circ$ $\theta_z = 60^\circ$		

Figura 9: Imágenes virtuales generadas con la plataforma en ambos entornos. Aplicando algunos cambios en la posición del robot y en la orientación. (dimensiones en centímetros)

nes omnidireccionales en proyecciones ortográficas, cilíndricas y esfera unidad. La Figura 10 muestra un ejemplo de la transformación de una imagen panorámica omnidireccional del entorno 1.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado una plataforma para crear diferentes tipos de imágenes utilizando entornos virtuales. El método se basa principalmente en la trayectoria de rayos y las intersecciones entre planos y rectas. Además, se pueden crear imágenes desde cualquier posición del entorno y con cualquier orientación del robot.

La plataforma también puede extraer características SIFT y SURF de cada imagen, crear descriptores glo-

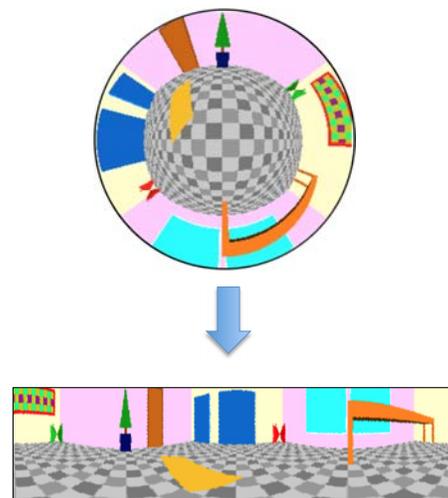


Figura 10: Ejemplo de una imagen panorámica generada a partir de una imagen omnidireccional del entorno virtual 1.

bales de apariencia (Radon, FS, ACP, HGO y *gist*), añadir cambios en el entorno (puntos de luz, ruido, oclusiones y cambio de colores). También es posible generar imágenes utilizando diferentes tipos de sensores visuales, tales como cámaras simples, cámaras panorámicas, cámaras estéreo y sistemas de visión catódicos, y, por fin, la plataforma puede generar y guardar los datos de nubes de puntos del entorno.

Los experimentos incluidos en este documento han sido generados usando nuestra propia base de datos de imágenes creada sintéticamente a partir de dos entornos diferentes. Los resultados demuestran que el método es capaz de crear conjuntos de imágenes con flexibilidad y eficiencia.

Esperamos que esta plataforma constituya una alternativa para generar fácil, rápida y con flexibilidad conjuntos de imágenes para probar y afinar cualquier nuevo algoritmo de creación de mapas y de localización. Esto puede ayudar a acelerar las etapas iniciales del diseño de algoritmos y a encontrar más rápidamente el valor óptimo para los parámetros del sistema visual, de las imágenes y de los descriptores.

Los resultados de este trabajo nos animan a continuar con esta línea de investigación. Sería interesante para mejorar esta plataforma añadir más tipos de cambios en el entorno, como por ejemplo sombras. Además, este método permitirá diseñar algunos algoritmos para localizar el robot utilizando diferentes tipos de entornos, e incorporar estos algoritmos como opciones adicionales de la plataforma.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el gobierno español a través del proyecto DPI2013-41557-P: “Navegación de Robots en Entornos Dinámicos Mediante Mapas Compactos con Información Visual de Apariencia Global”. Y por la Generalitat Valenciana (GVa) a través del proyecto GV/2015/031: “Creación de mapas topológicos a partir de la apariencia global de un conjunto de escenas.”

Referencias

- [1] F. Amorós, L. Payá, O. Reinoso, and D. Valiente. Towards relative altitude estimation in topological navigation tasks using the global appearance of visual information. In *VISAPP 2014, International Conference on Computer Vision Theory and Applications*, volume 1, pages 194–201, 2014.
- [2] H. Andreasson and A.J. Lilienthal. 6d scan registration using depth-interpolated local image features. *Robotics and Autonomous Systems*, 58(2), 2010.
- [3] H. Bay, T. Tuytelaars, and L. Gool. Surf: Speeded up robust features. *Computer Vision at ECCV*, 3951:404–417, 2006.
- [4] Y. Berenguer, L. Payá, M. Ballesta, and O. Reinoso. Position estimation and local mapping using omnidirectional images and global appearance descriptors. *Sensors*, 15(10):26368, 2015.
- [5] C.K. Chang, C. Siagian, and L. Itti. Mobile robot vision navigation and localization using gist and saliency. In *IROS 2010, International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 4147–4154, 2010.
- [6] J. Cui, H. Zha, H. Zhao, and R. Shibasaki. Multi-modal tracking of people using laser scanners and video camera. *Image and Vision Computing*, 26(2):240 – 252, 2008.
- [7] D.G. Lowe. Object recognition from local scale-invariant features. In *ICCV 1999, International Conference on Computer Vision*, volume 2, pages 1150–1157, 1999.
- [8] Li Maohai, Wang Han, Sun Lining, and Cai Zesu. Robust omnidirectional mobile robot topological navigation system using omnidirectional vision. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(8):1942 – 1952, 2013.
- [9] I.F. Mondragon, M.A. Olivares-Méndez, P. Campoy, C. Martínez, and L. Mejias. Unmanned aerial vehicles uavs attitude, height, motion estimation and control using visual systems. *Autonomous Robots*, 29:17–34, 2010.
- [10] S.A. Nene and S.K. Nayar. Stereo with mirrors. In *Proceedings of the 6th International Conference on Computer Vision, Bombay, India*, January 1998.
- [11] L. Payá, F. Amorós, L. Fernández, and O. Reinoso. Performance of global-appearance descriptors in map building and localization using omnidirectional vision. *Sensors*, 14(2):3033–3064, 2014.
- [12] L. Payá, L. Fernández, L. Gil, and O. Reinoso. Map building and monte carlo localization using global appearance of omnidirectional images. *Sensors*, 10(12):11468–11497, 2010.
- [13] B. Peasley and S. Birchfield. Rgb point cloud alignment using lucas-kanade data association and automatic error metric selection. *IEEE Transactions on Robotics*, 31(6):1548–1554, Dec 2015.
- [14] F. Perazzi, A. Sorkine-Hornung, H. Zimmer, P. Kaufmann, O. Wang, S. Watson, and M. Gross. Panoramic video from unstructured camera arrays. *Computer Graphics Forum*, 34(2):57–68, 2015.
- [15] J. Radon. Über die bestimmung von funktionen durch ihre integralwerte langs gewisser mannigfaltigkeiten. *Berichte Sachsische Akademie der Wissenschaften*, 69(1):262–277, 1917.
- [16] L. Riazuelo, Javier Civera, and J.M.M. Montiel. C2tam: A cloud framework for cooperative tracking and mapping. *Robotics and Autonomous Systems*, 62(4):401 – 413, 2014.
- [17] D. Valiente, A. Gil, L. Fernández, and O. Reinoso. A comparison of EKF and SGD applied to a view-based SLAM approach with omnidirectional images. *Robotics and Autonomous Systems*, 62(2):108 – 119, 2014.
- [18] X. Wang, J. Tang, J. Niu, and X. Zhao. Vision-based two-step brake detection method for vehicle collision avoidance. *Neurocomputing*, 173, Part 2:450 – 461, 2016.
- [19] N. Winters, J. Gaspar, G. Lacey, and J. Santos-Victor. Omni-directional vision for robot navigation. *IEEE Workshop on Omnidirectional Vision*, pages 21–28, 2000.
- [20] J. Wu, H. Zhang, and Y. Guan. An efficient visual loop closure detection method in a map of 20 million key locations. In *2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 861–866, May 2014.
- [21] Z. Zivkovic and O. Booij. How did we built our hyperbolic mirror omni-directional camera practical issues and basic geometry. *Intelligent Systems Laboratory Amsterdam, University of Amsterdam, IAS technical report IAS-UVA-05-04*, 2006.