

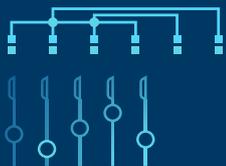
AUTOMÁTICA

XLII JORNADAS DE AUTOMÁTICA: LIBRO DE ACTAS



JORNADAS 2021
jautomatica.es/2021/

1 a 3 de septiembre, 2021
Castellón.



EDITAN:

Universitat Jaume I, Castellón 2021
Comité Español de Automática, Barcelona
Servizo de Publicacións da Universidade da Coruña, A Coruña



XLII Jornadas de
Automática
Castellón 2021



[Esta página ha sido dejada intencionadamente en blanco]

XLII JORNADAS DE AUTOMÁTICA : LIBRO DE ACTAS

CASTELLÓN, 1 A 3 DE SEPTIEMBRE DE 2021

EDITAN:

Servizo de Publicacións da Universidade da Coruña, A Coruña

Comité Español de Automática, Barcelona

Universitat Jaume I, Castellón

2021



ORGANIZAN:

Comité Español de Automática
Universitat Jaume I

EDITORES:

Alejandro Alonso Muñoz
Pedro Jesús Cabrera Santana
Dicitino Chaos García
Óscar Déniz Suárez
Elisabet Estévez Estévez
José Luis Guzmán Sánchez
Raúl Marín Prades
David Muñoz de la Peña Sequedo
Ignacio Peñarrocha Alós
José Luis Pitarch Pérez
Óscar Reinoso García
Eduardo Rocón del Lima
Ildefonso Ruano Ruano
Jesus Salido Tercero
Roberto Sanchis Llopis
Pedro J. Sanz Valero
Carlos Vilas
Eduardo Zalama Casanova

DISEÑO DE CUBIERTA:

David Tur Soler

DOI: <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497498043>

ISBN: 978-84-9749-804-3

DEPÓSITO LEGAL: C 835-2021

THEMA: TJFM, TJF

CDU: 681.05(063)



© de esta edición: UDC, CEA, UJI

© de los textos: los autores

[Esta página ha sido dejada intencionadamente en blanco]

PREFACIO

Las Jornadas de Automática constituyen, desde su primera edición en 1977, una cita ineludible en nuestro país para quienes centramos nuestra actividad profesional en la Automática, en todas sus dimensiones, tanto desde el mundo científico y académico como de la empresa. Tras las últimas Jornadas presenciales, Ferrol 2019, debido a las circunstancias sobrevenidas por la actual Pandemia, Castellón no pudo celebrar en 2020 dicho evento como estaba previsto, reduciéndose a una serie de actividades desarrolladas en modo virtual. Así, la presente edición de Castellón 2021, representa un acercamiento a la normalidad, y para ello este Comité Organizador ha planteado las primeras Jornadas híbridas de su historia, donde se compartirán, de manera presencial y virtual, todas y cada una de las actividades planificadas. Este año 2021 las Jornadas se celebran del 1 al 3 de septiembre en la Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales de la UJI. A lo largo de estos tres días contaremos con diversas actividades científicas, entre ellas, tres sesiones plenarias, una mesa redonda sobre Inteligencia Artificial y otra sobre "la mujer en el sector profesional de la automática". Además, tendrán lugar, como es habitual, las reuniones de los diferentes grupos temáticos, las presentaciones de empresas, y como siempre, las comunicaciones presentadas a través de las sesiones de pósteres, entre otras actividades. En esta edición, todas estas actividades se lanzarán online para poder habilitar la interacción con los participante virtuales, habiéndose habilitado un espacio Web para los pósteres digitales. Agradecemos a todos los participantes, virtuales y presenciales, su inestimable contribución en este evento: a los autores de los trabajos presentados, a los ponentes de las sesiones plenarias y las mesas redondas, al Comité Científico y Comité Científico Asesor, así como a las empresas y organismos colaboradores. También queremos dar las gracias a CEA, por confiar en la UJI como sede, por primera vez en su historia, de las dos ediciones consecutivas de 2020 y 2021. Por último, queremos dar la bienvenida a las personas asistentes, presenciales y virtuales, y agradecerles su interés en las Jornadas. Los miembros del Comité Organizador hemos puesto todo nuestro empeño en ofrecer un conjunto de actividades que les aporte una experiencia enriquecedora, no sólo desde una perspectiva profesional, sino también desde una dimensión humanística, esperando que descubran y disfruten nuestra ciudad y sus alrededores, mediante las actividades sociales propuestas. Las actas de las XLII Jornadas de Automática están formadas por un total de 105 comunicaciones, organizadas en torno a los nueve Grupos Temáticos del Comité Español de Automática. Los trabajos seleccionados han sido sometidos a un proceso de revisión por pares, y las actas se editan en formato electrónico a través del Servicio de Publicaciones de la Universidade da Coruña y se alojan para su consulta en acceso abierto en el RUC, el repositorio institucional de la UDC, bajo una licencia Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0. Además del ISBN y del DOI del volumen completo, a cada comunicación aceptada se le ha asignado un DOI, con el fin de facilitar su localización en línea y su citación bibliográfica.

Pedro J. Sanz
Presidente del Comité Organizador Local de las XLII Jornadas de Automática
1 de Septiembre de 2021
Castellón

COMITÉS

Comité de Honor

Eva Alcón Soler	Rectora de la Universitat Jaume I
Jesús Lancis Sáez	Vicerrector de Investigación Universitat Jaume I
Amelia Simó Vidal	Directora de la Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals
Gloria Serra Isierte	Directora de la Fundació Universitat Jaume I- Empresa

Comité de Programa

Antonio Adan	Universidad de Castilla La Mancha
Antonio Agudo	Universitat Politècnica de Catalunya
Alejandro Alonso Muñoz	Universidad Politécnica de Madrid
José Domingo Álvarez	University of Almería
Antonio Ama	
Luís T. Antelo	IIM-CSIC
Ernesto Aranda-Escolástico	UNED
Leopoldo Armesto	Universitat Politècnica de València
Deivis Avila	ULL
Josemaría Azorín	Miguel Hernandez University of Elche
Cristina Bayón Calderón	University of Twente
Alfonso Baños	University of Murcia
Manuel Berenguel	Universidad de Almería
Xavier Blasco	Universitat Politècnica de València
Pedro Cabrera	Universidad de las Palmas de gran Canaria
María Del Mar Castilla Nieto	University of Almería
Sergio Cebollada	Universidad Miguel Hernández
Dictino Chaos García	Universidad nacional de Educación a Distancia (UNED)
Deisy Chaves	Universidad de León
Ramon Costa-Castelló	Universitat Politècnica de Catalunya
Arturo De La Escalera	Universidad Carlos III de Madrid
M. Dolores Delcastillo	
Óscar Déniz Suárez	Universidad de Castilla-La Mancha
Jose A. Egea	CEBAS-CSIC
Elisabet Esteévez Esteévez	Universidad de Jaén
Eduardo Fidalgo Fernandez	University of León
Sergio Garcia-Nieto Rodriguez	Universitat Politècnica de València
Guillermo García	Universidade de Vigo
Tomás Jorge García García-Verdier	Universidad de Valladolid
Pablo Gil	University of Alicante
Juan Diego Gil Vergel	Centro Mixto CIESOL, ceiA3, Universidad de Almería
Victor Gonzalez Castro	University of Leon. Department of Electric, Systems and Automatic Engineering
Jaime González	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Josechu Guerrero	Universidad de Zaragoza
Álvaro Gutierrez	Universidad Politécnica de Madrid
José Luis Guzmán Sánchez	Universidad de Almería
Angela Hernández-López	Universidad de La Laguna
Roberto Hornero	
Ángeles Hoyo Sánchez	Universidad de Almería
Felipe Jimenez	Universidad Politécnica de Madrid
Esteban Jove	UDC
Alejandro Laguna	CIBERDEM
Elena Lazkano	University of Basque Country
Jose Manuel Lopez-Guede	Basque Country University
Maria P. Marcos	Universidad de Valladolid
Nicolás Marichal	Universidad de La Laguna

David Martin Gomez	Carlos III University of Madrid
Raúl Marín Prades	Universitat Jaume I
Juan Albino Mendez	Universidad de La Laguna
Pilar Merchán	Universidad de Extremadura
Daniel Montes	Universidad de Valladolid
Nelson Monzón	ULPGC
Jose Carlos Moreno	University of Almeria
Fernando Morilla	UNED
Ana C. Murillo	University of Zaragoza
David Muñoz de la Peña Sequedo	Universidad de Sevilla
Manuel G. Ortega	University of Seville
Irene Otero Muras	IIM-CSIC Spanish Council for Scientific Research
Pablo Otálora	University of Almería
Gonzalo Pajares	
Alberto Pajares Ferrando	Universitat Politècnica de València
Carlos Gómez Palacín	Universidad de Valladolid
Igor Pataro	Universidad de Almería
Luis Paya	Universidad Miguel Hernandez
Anibal Pedraza	UCLM
Miquel Piera	UAB
José Luis Pitarch	Universitat Politècnica de Valencia
Míriam R. García	IMM-CSIC
Jerónimo Ramos-Teodoro	Universidad de Almeria
Rafael Raya	
Óscar Reinoso García	Universidad Miguel Hernández
Irene Rivas Blanco	University of Malaga
Lidia Roca	PSA-CIEMAT
Eduardo Rocon	Centre for Automation and Robotics (CAR). CSIC
Jerónimo Rodríguez	USC
Enrique Rodríguez Miranda	University of Brescia
Francisco Rodríguez-Díaz	Universidad de Almería
Ildefonso Ruano Ruano	Universidad de Jaén
Jesus Ruiz-Santaquiteria	University of Castilla-La Mancha
Santiago Salamanca Miño	Universidad de Extremadura
Ester Sales-Setién	
Jesus Salido	Universidad de Castilla-La Mancha
Roberto Sanchis Llopis	Universitat Jaume I
Javier Sanchis Saez	Universitat Politècnica de València
Raúl Santamaría Villanueva	Universidad Cardenal Herrera (CEU)
Matilde Santos	Universidad Complutense de Madrid
Daniel Sarabia	Universidad de Burgos
Basilio Sierra	University of the Basque Country
Jesus Enrique Sierra	Universidad de Burgos
Jorge Antonio Sánchez-Molina	Universidad de Almería
Antonio-José Sánchez-Salmerón	Universitat Politècnica de València
Fernando Tadeo	Univ. of Valladolid
Gerardo Tapia	University of the Basque Country UPV/EHU
Jose Luis Torres	Universidad de Almeria
Diego Torriceli	
Javier Turiel	
Francisco Vazquez	Universidad de Cordoba
Alejandro Vignoni	Universitat Politècnica de Valencia
Ramon Vilanova	UAB
Carlos Vilas	Instituto de Investigaciones Marinas (CSIC)
Eduardo Zalama	Universidad de Valladolid

Comité Científico

Carlos Balaguer Bernaldo de Quirós (UC3M)	CEA Presidente
José Manuel Andujar Márquez (UHuelva)	CEA Vicepresidente
Ramón Costa Castelló (UPC)	CEA Secretario

Comité Asesor

Carlos Ocampo Martínez (UPC)	Vocal
Jesús Fernández Lozano (UMal)	Vocal
Matilde Santos Peñas (UCM)	Vocal
José Enrique Simó Ten (UPV)	Vocal
Montserrat Gil Martínez (URioja)	Vocal
Jose Luis Calvo Rolle (UDC)	Vocal
Raúl Marín Prades (UJI)	Automar
Eduardo Rocón del Lima (CSIC)	Bioingeniería
Elisabet Esteévez Esteévez (UJaen)	Computadores y Control
Pedro Jesús Cabrera Santana (UPGC)	Control inteligente
David Muñoz de la Peña Sequeda (US)	Educación en Automática
José Luis Guzmán Sánchez (UAL)	Ingeniería de Control
José Luis Pitarch Peérez (UPV)	Modelo, Simulación y Optimización
Oscar Reinoso García (UMH)	Robótica
Oscar Déniz Suárez (UCLM)	Visión por Computador

Comité Organizador Local

Pedro J Sanz (Presidente)
Roberto Sanchis (Vicepresidente)
Raúl Marín
José V. Martí
Amparo Tirado
Alejandro Solís
Andrea Pino
Marcos de la Cruz
Antonio Morales
Julio A. Romero
Ignacio Peñarrocha
Carlos Ariño
Pedro Balaguer
Begoña Andrés
Lledó Museros

PATROCINADORES Y COLABORADORES

Patrocinadores

CONSELLERÍA DE INNOVACIÓN, UNIVERSIDADES, CIENCIA
Y SOCIEDAD DIGITAL (Generalitat Valenciana)

Fundación CEA

Robotnik Automation S.L.L.

IQUA Robotics SL

Technaid S.L.

IEEE RAS Spanish Chapter

Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Computadores (Universitat Jaume I)

Departamento de Ingeniería de Sistemas Industriales y Diseño (Universitat Jaume I)

Colaboradores

Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales (Universitat Jaume I)

Centro de Investigación en Robótica y TEcnologías SUBacáticas - CIRTESU (Universitat Jaume I)

Fundació Universitat Jaume I-Empresa de la Comunitat Valenciana M.P (FUE-UJI)

Patrocinadores de Grupos Temáticos

Empresarios Agrupados

Idom

Infaimon

ISA Sección Española

Kemtecnica

IQUA Robotics

Mathworks

Prodel

Robotnik

Schneider

Siemens

Springer

Werium

Índice de Contenidos

Automar	1
ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE UN MODELO DE MANIOBRA NO LINEAL DE UN VEHÍCULO SUBACUÁTICO TELEOPERADO MEDIANTE ENSAYOS EN CANAL <i>Elías Revestido Herrero, José Ramón Llata García, Francisco Jesús Velasco González, José Joaquín Sainz Gutiérrez and Patricia Diaz Torrijos</i>	1
DEVELOPMENT OF A SIMULATION ENVIRONMENT FOR THE LEARNING OF AN AUTONOMOUS NAVIGATION ALGORITHM FOR A 2- METER LENGTH SAILBOAT <i>Esteban Chacón Mosquera, Josep Eudald Mesequé Basallo, Rosa Maria Fernández-Cantí and José Antonio Lázaro Villa</i>	6
DEVELOPMENT AND INSTRUMENTATION OF A 2 METERS LENGTH AUTONOMOUS SAILBOAT FOR THE COLLECTION OF OCEANOGRAPHIC DATA <i>Esteban Chacón Mosquera, Carles Manich Vallès, Joan Antoni Sastre Caballol, Josep Eudald Mesequé Basallo and Rosa M Fernández-Cantí</i>	13
ARQUITECTURA DE SERVICIO DE IMPRESIÓN 3D PARA APOYAR ESTRATEGIAS DE ECONOMÍA CIRCULAR ALREDEDOR DEL RECICLAJE DE PLÁSTICO EN EL ENTORNO MARÍTIMO-PORTUARIO <i>Julio Garrido Campos, Diego Silva Muñiz, Blanca Lekube Gazagaetxeberria, Enrique Riveiro Fernández and Bruno Portela López</i>	21
ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE INMERSIÓN PARA PLATAFORMAS DE SENSORES SUBMARINAS <i>Isabel Pilar Morales-Aragon, Fulgencio Soto-Valles, Juan Domingo González-Teruel and Roque Torres-Sanchez</i>	29
NUEVA ESTRATEGIA DE CONTROL PARA LA REDUCCIÓN DE OSCILACIONES EN TURBINAS EÓLICAS FLOTANTES <i>Payam Aboutalebi, Fares M'Zoughi, Izaskun Garrido and Aitor J. Garrido</i>	37
UNA PROPUESTA PARA EL CONTROL DE ORIENTACIÓN DE UNA TURBINA WIND-FLOAT <i>Leticia del Horno, José Andrés Somolinos, Eva Segura and Rafael Morales</i>	45
ESTABILIZACIÓN DE EÓLICA MARINA FLOTANTE MEDIANTE CONTROL DE FLUJO DE AIRE EN COLUMNAS DE AGUA OSCILANTE <i>Fares M'Zoughi, Payam Aboutalebi, Izaskun Garrido, Aitor J. Garrido and Manuel De La Sen</i>	54
DATA ANALYSIS FOR THE DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC VESSEL CONTROL SYSTEM IN A PORT AREA <i>Ezequiel Bernal García, Rosa Maria Fernández-Cantí and Antonio Isalgué Buxeda</i>	60

HACIA SIMULACIONES REALISTAS DE AGARRE ROBÓTICO SUBMARINO EN EL CONTEXTO DEL PROYECTO TWINBOT <i>Mario Avila, Raul Marin, Alejandro Solis, Pedro J. Sanz and Jose V. Marti</i>	66
Bioingeniería	75
DISPOSITIVO DE MONITORIZACIÓN POSTURAL PARA PERSONAS DE LA TERCERA EDAD CON ALTO GRADO DE SEDENTARISMO <i>Patrick Vermander, Nerea Perez, Aitziber Mancisidor and Itziar Cabanes</i>	75
APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PARA LA CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES MEDIANTE UNA MULETA INTELIGENTE PARA ESCLE- ROSIS MÚLTIPLE <i>Sergio Lucas, Asier Brull, Eva Portillo, Asier Zubizarreta and Itziar Cabanes</i>	83
ESTRATEGIAS PARA LA ASISTENCIA A LA MARCHA DE SUJETOS CON HEMIPARE- SIA A TRAVÉS DE UNA ÓRTESIS ACTIVA DE RODILLA <i>Julio S. Lora-Millan, Juan C. Moreno and Eduardo Rocon</i>	91
DESARROLLO DE BENCHBALANCE: UN SISTEMA PARA LA EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE EQUILIBRIO EN EXOESQUELETOS ROBÓTICOS <i>Cristina Bayón, Gabriel Delgado-Oleas, Nevio L. Tagliamonte, Edwin H.F. van Asseldonk and Eduardo Rocon</i>	99
SISTEMA AMBULATORIO DE MONITORIZACIÓN DE CRISIS EPILÉPTICAS <i>David Zambrana and Jose Maria Sabater-Navarro</i>	104
APLICACIÓN DE REDES NEURONALES PARA EVALUAR EL ESTADO FUNCIONAL DE PACIENTES CON ESCLEROSIS MÚLTIPLE <i>Janire Otamendi, Asier Zubizarreta, Itziar Cabanes and Eva Portillo</i>	111
HERRAMIENTA GRÁFICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE CULTIVOS DE MICRO- ALGAS BASADA EN REDES NEURONALES ARTIFICIALES <i>Pablo Otálora, Jose Luis Guzman, Francisco Gabriel Acién and Manuel Berenguel</i>	119
EVALUACIÓN DEL USO DE CORRIENTE ALTERNA EN LA MEDIDA DE LA RESPUES- TA GALVÁNICA DE LA PIEL (GSR) <i>Francisco Javier Verdú-García, José María Catalán, David Martínez-Pascual, Andrea Blan- co, Jesús Álvarez-Pastor and Nicolás García-Aracil</i>	126
ANÁLISIS DE INTERFACES CEREBRO-MÁQUINA BASADAS EN IMAGINACIÓN MO- TORA DE LA MARCHA <i>Laura Ferrero, Vicente Quiles, Mario Ortiz, Eduardo Iáñez, Jose A. Flores and Jose M. Azorin</i>	133
ANÁLISIS DE LA CONFIGURACIÓN ÓPTIMA DE ELECTRODOS PARA LA DETECCIÓN DE ATENCIÓN EN TAREA DE IMAGINACIÓN MOTORA <i>Luis De la Ossa, Javier V. Juan, Mario Ortiz, Eduardo Iáñez and José M. Azorín</i>	140
ESTADO DEL ARTE EN ROBOTS DE ASISTENCIA EN HOSPITALES, EN ENTORNOS INFECCIOSOS (COVID-19) <i>Amparo Tirado-Bou, Raul Marin, Pedro J Sanz and Jose Vicente Marti</i>	147

SOLUCIÓN INTEGRADA DE CONTROL BASADO EN EMG PARA LA REHABILITACIÓN DE TERAPIAS BILATERALES EN EL EXOESQUELETO DE REHABILITACIÓN DE MANO ROBHAND <i>Ana Císnal, Sierra David, Javier Pérez Turiel and Juan Carlos Fraile Marinero</i>	152
MICRORROBOT MANUFACTURING: MEMSLAB AT UNIVERSITY OF EXTREMADURA <i>Paloma Rodríguez, Enrique Mancha, Almudena Bravo, Cristina Nuevo, Inés Tejado and Blas Vinagre</i>	160
INSTRUMENTACIÓN DE MULETAS DE ANTEBRAZO PARA USO EN LAMONITORIZACIÓN DE MARCHA Y MOVIMIENTO <i>Marién Narvaez and Joan Aranda</i>	168
Control Inteligente	175
COMPRESIÓN DE DATOS DE TIPO REAL BASADA EN UN NOVEDOSO ALGORITMO DE CODIFICACIÓN PARA REDES NEURONALES DE IMPULSOS <i>Sergio Lucas, Ander Arriandiaga, Eva Portillo, Asier Zubizarreta and Itziar Cabanes</i>	175
MONITORING INTERFACES FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS AND DC MICROGRIDS: BRIEF SURVEY AND APPLICATION CASE <i>Isaías González, Antonio José Calderón, José María Portalo and Manuel Calderón</i>	183
ETHERNET-BASED MONITORING SYSTEMS FOR RENEWABLE ENERGY-HYDROGEN MICROGRIDS <i>Antonio José Calderón, Isaías González, José María Portalo and Manuel Calderón</i>	190
CONTROLADOR DE PITCH HÍBRIDO OPTIMIZADO CON ALGORITMO GENÉTICO PARA AEROGENERADORES FLOTANTES <i>Carlos Luis Serrano Barreto, Matilde Santos and Jesús Enrique Sierra-García</i>	197
A3C FOR DRONE AUTONOMOUS DRIVING USING AIRSIM <i>David Villota, Montserrat Gil and Javier Rico</i>	203
Educación en Automática	210
ADAPTACIÓN DE LA DOCENCIA POR COVID-19: EXPERIENCIA EN LA INGENIERÍA AUTOMÁTICA <i>Oscar Miguel-Escrig, Carlos Díaz-Sanahuja, Ignacio Peñarrocha-Alós and Roberto Sanchis-Llopis</i>	210
USO DEL PARADIGMA TAKE-HOME LABS PARA LA ENSEÑANZA DEL CONTROL AUTOMÁTICO EN ESTUDIOS DE INGENIERÍA <i>Ángeles Hoyo, Francisco García-Mañas, Jerónimo Ramos-Teodoro, Jorge Antonio Sánchez-Molina, José Luis Guzmán and Francisco Rodríguez</i>	218
PARALLELISM TECHNIQUES APPLIED TO MULTIMEDIA <i>Valentina Romero, Matias García Rivera, Miguel Díaz-Cacho Medina and René Lastra</i>	226
LABORATORIO REMOTO PARA EL ROBOT EDUCATIVO DOBOT MAGICIAN <i>Daniela Alejandra Goncalves López de Medrano, Jesús Chacón, Eva Besada-Portas and Jose Antonio López-Orozco</i>	232

MEIA. 4.0 PARA ABORDAR LOS RETOS ACTUALES DE FORMACIÓN EN AUTOMATIZACIÓN <i>Arantzazu Burgos, Nagore Iriondo, María Luz Alvarez and Isabel Sarachaga</i>	240
APRENDE FUNDAMENTOS DE CONTROL CONSTRUYENDO UN PROPIO SIGUELINEAS <i>Ignacio Alvarado Aldea, José Antonio Borja Conde, Francisco Salas Gómez and David Muñoz de la Peña Sequeda</i>	248
CONTROL DE VELOCIDAD DE UN VENTILADOR DE UNA CPU <i>Ignacio Alvarado Aldea, José Antonio Borja Conde, Richard Haes Ellis and David Muñoz de la Peña Sequeda</i>	254
IMPLEMENTACIÓN VIRTUAL DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURAS DE CONTROL COMO ALTERNATIVA A LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO PRESENCIALES <i>Francisco Zayas-Gato, Álvaro Michelena, Esteban Jove, José-Luis Casteleiro-Roca, Héctor Quintián and José Luis Calvo-Rolle</i>	259
EVALUACIÓN AUTÓMATICA DE CÓDIGO PARA PRÁCTICAS DE MODELADO Y CONTROL UTILIZANDO MATLAB GRADER <i>Yadira Boada, Lissette Boada Acosta and Alejandro Vignoni</i>	269
REDISEÑO DE UNA PLATAFORMA DE CONTROL DE TEMPERATURA DE BAJO COSTE PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA DE CONTROL <i>Javier Rico-Azagra and Montserrat Gil-Martinez</i>	275
UNA INTEGRACIÓN A SISTEMAS DE GESTIÓN DE APRENDIZAJE BASADA EN ESTÁNDARES DE UN SISTEMA BARRA-BOLA <i>Elisabet Estévez Estévez, Ildfonso Ruano Ruano, Alicia Montoro Lendínez, Juan Gómez Ortega and Javier Gámez García</i>	282
SOPORTE PARA LA GENERACIÓN DE MAQUETAS VIRTUALES DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL <i>Alejandro Sánchez García, Elisabet Estévez Estévez and Ildfonso Ruano Ruano</i>	288
Ingeniería de Control	294
DESARROLLO DE UN CONTROLADOR PREDICTIVO CON COMPENSACIÓN POR ADELANTO Y GARANTÍA DE ESTABILIDAD: RESULTADOS PRELIMINARES <i>Igor M. L. Pataro, Juan D. Gil, Marcus V. Americano-Dacosta, José L. Guzmán and Manuel Berenguel</i>	294
OPTIMIZACIÓN DE TEMPERATURA EN REACTORES RACEWAY PARA LA PRODUCCIÓN DE MICROALGAS MEDIANTE REGULACIÓN DE NIVEL <i>José González Hernández, Enrique Rodríguez Miranda, José Luis Guzmán Sánchez, Manuel Berenguel Soria and Francisco Gabriel Ación Fernández</i>	301
FUSIÓN DE SENSORES PARA LOCALIZACIÓN ROBUSTA DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS EN ÁREAS URBANAS <i>Kerman Viana, Mikel Díez and Asier Zubizarreta</i>	309
APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE BUCLES Y AJUSTE DE CONTROLADORES MEDIANTE OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO <i>Victor Huilcapi, Xavier Blasco, Juan Manuel Herrero and Alberto Pajares</i>	317

PRELIMINARY STUDY OF THE EVALUATION METHODS FOR SHARED CONTROL <i>Joseba Sarabia, Mauricio Marcano, Joshué Perez, Sergio Diaz and Asier Zubizarreta . . .</i>	325
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CÁMARA CLIMÁTICA CONTROLADA PARA REPRODUCIR EPISODIOS DE TRANSPORTE DE MERCANCÍAS PERECEDERAS <i>María Aranzazu Segado-Fernández, Julio Jose Ibarrola-Lacalle, Jaime Giménez-Gallego and Roque Torres-Sanchez</i>	333
EVENT-BASED CONTROL WITH RELATIVE THRESHOLD APPLIED TO CRAZYFLIE 2.1 QUADROTOR ALTITUDE CONTROL <i>Francisco José Mañas-Álvarez, María Guinaldo, Raquel Dormido, Rafael Socas and Sebastián Dormido</i>	341
DIMENSIONADO DE SISTEMA DE ALMACENAMIENTO PARA HIBRIDACIÓN CON FV A PARTIR DE PREDICCIONES PROBABILÍSTICAS DE IRRADIANCIA <i>Emilio Pérez, Javier González Barreda, Jorge Segarra Tamarit and Hector Beltran</i>	349
ESTIMACIÓN DEL ESTADO DE CARGA Y COEFICIENTES DE DIFUSIÓN EN BATERÍAS DE FLUJO REDOX <i>Alejandro Clemente, Andreu Cecilia and Ramon Costa-Castelló</i>	357
CONTROL NO LINEAL ADAPTATIVO CON IDENTIFICACIÓN DISPERSA <i>Roger Domingo-Enrich, Andreu Cecilia and Ramon Costa-Castelló</i>	365
PLANTA EXPERIMENTAL PARA SISTEMAS DE CALEFACCIÓN DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO <i>María Luisa Delgado Guerrero, Manuel Lara Ortiz and Francisco Vázquez Serrano</i>	373
MODELOS DE GRAFCET Y APLICACIONES DISTRIBUIDAS EN LA NORMA IEC 61499. UN CASO DE ESTUDIO. <i>Oscar Miguel-Escrig and Julio-Ariel Romero-Pérez</i>	380
MODELADO, CONTROL Y OPTIMIZACIÓN DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FRÍO CON ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA <i>Luis Fernando Acedo Bueno, Manuel Garrido Satue, Manuel Ruiz Arahal, Carlos Vivas Venegas and Manuel Gil Ortega Linares</i>	388
Modelado, Simulación y Optimización	395
RENTABILIDAD DE BATERÍAS EN APLICACIONES FV PARA EL SECTOR COMERCIAL BAJO OPERACIÓN BASADA EN MPC <i>Pablo Ayuso Olmeda, Emilio Pérez Soler, Javier Cardo Miota and Héctor Beltrán San Segundo</i>	395
IMPLEMENTACIÓN DE CAPAS SUPERIORES DE LA PIRÁMIDE DE AUTOMATIZACIÓN EN UNA PLANTA PILOTO HÍBRIDA <i>Daniel Montes, Jesús María Zamarreño Cosme, José Luis Pitarch, Erika Oliveira-Silva and Cesar de Prada</i>	403
MODELO DE PREDICCIÓN DE RESPUESTAS CARDIOVASCULARES DURANTE LA INMERSIÓN EN UN ENTORNO ACUÁTICO <i>David Martínez-Pascual, Manuel Arnau-Papí, José María Catalán, Luís Daniel Lledó, Santiago Ezquerro, Francisco Javier Verdú-García and Nicolás García-Aracil</i>	411

<p>ÁNÁLISIS DE PLANIFICACIÓN DE TRAYECTORIAS LIBRES DE COLISIONES CON EL OPERADOR HUMANO EN SISTEMAS DE TIPO SUPERNUMERARIO <i>David Martínez-Pascual, Jesús Álvarez-Pastor, Francisco Javier Verdú-García, Manuel Arnau-Papí, Luís Daniel Lledó, Francisco López-Labrador, Miguel Ángel Bernal and Nicolás García-Aracil</i></p>	<p>419</p>
<p>BIOMASS ESTIMATION MODEL IN ANOXIC-AEROBIC ALGAL-BACTERIAL PHOTO-BIOREACTOR CONFIGURATION FOR WASTEWATER TREATMENT <i>Irina Bausa Ortiz, Raúl Muñoz Torre, Smaranda Podar Cristea and César de Prada Moraga</i></p>	<p>427</p>
<p>ENTORNO DE SIMULACIÓN PARA VEHÍCULOS AUTOMATIZADOS CON CARLA <i>Asier Arizala, Daniel Campelo, Asier Zubizarreta and Joshué Pérez</i></p>	<p>435</p>
<p>COMPARATIVA ENTRE MODELOS ESTOCÁSTICOS DE CRECIMIENTO BACTERIANO A DISTINTAS ESCALAS <i>Nerea Martínez-López, Carlos Vilas and Miriam Garcia</i></p>	<p>442</p>
<p>CRUDE OIL OPERATIONS SCHEDULING IN A MARINE-ACCESS REFINERY <i>Tomás Jorge García García-Verdier, Gloria Gutiérrez, Carlos Gómez Palacín, Carlos Méndez and César de Prada</i></p>	<p>450</p>
<p>PROPULSIÓN Y DIRECCIÓN DE UN MICRORROBOT TIPO FLAGELO FLEXIBLE UTILIZANDO LA ANALOGÍA DEL COHETE. SIMULACIÓN EN COMSOL MULTIPHYSICS <i>Enrique Mancha-Sánchez, Paloma Rodríguez, Almudena Bravo, Inés Tejado and Blas M. Vinagre</i></p>	<p>461</p>
<p>MODELADO Y SIMULACIÓN DE UN AEROGENERADOR DE 5 MW ESCALADO A PARTIR DE UNO DE 7 KW <i>Laura Olaya Rúa, Jesús Enrique Sierra García and Matilde Santos Peñas</i></p>	<p>469</p>
<p>ESTIMATION OF THE WATER STRESS LEVEL IN FRUIT TREES USING MACHINE LEARNING FOR APPLICATION IN INTELLIGENT IRRIGATION SYSTEMS <i>Juan D. González-Teruel, Víctor Blanco, Pedro José Blaya-Ros, Rafael Domingo, Fulgencio Soto-Valles and Roque Torres-Sánchez</i></p>	<p>477</p>
<p>GENE VARIANT DESIGN SPACE FOR BIOSENSOR-BASED PATHWAY DYNAMIC REGULATION <i>María Camarena, Yadira Boada, Jesús Picó and Pablo Carbonell</i></p>	<p>485</p>
<p>COMPARACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA LA ESTIMACIÓN DE ACTITUD EN CONTROLADORA DE VUELO PARA UAV PROFESIONAL <i>David Gallarta-Sáenz, Javier Rico-Azagra, Montserrat Gil-Martínez and Ramón Rico-Azagra</i></p>	<p>492</p>
<p>Robótica</p>	<p>499</p>
<p>ROBUST CONTROL STRATEGY FOR IMPROVING THE PERFORMANCE OF A SOFT ROBOTIC LINK <i>Luis Nagua, Jorge Muñoz, Lisbeth Mena, Concepción A. Monje and Carlos Balaguer</i></p>	<p>499</p>
<p>EVALUACIÓN DE DESCRIPTORES LOCALES EN LOCALIZACIÓN VISUAL CON IMÁGENES OJO DE PEZ <i>María Flores, David Valiente, Arturo Gil, Adrián Peidró, Oscar Reinoso and Luis Payá</i></p>	<p>507</p>

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMOS DE CONTROL DE FUERZA PARA UN ROBOT DE REHABILITACIÓN DE MIEMBRO SUPERIOR <i>José Vicente García Pérez, Andrea Blanco, José María Catalán, Santiago Ezquerro, Jesús Álvarez Pastor, Manuel Arnau Papí and Nicolás García Aracil</i>	515
DESARROLLO DE UN EXOESQUELETO PARA EL ANTEBRAZO Y LA MUÑECA UTILIZANDO UN SOLO ACTUADOR <i>Jesús Álvarez-Pastor, Luis Daniel Lledó, Santiago Ezquerro, Alicia Garrote, Teresa Costa, Andrea Blanco, José Vicente García-Pérez and Nicolás García-Aracil</i>	521
ELECTRONICS IMPROVEMENTS FOR LOW-LEVEL CONTROL IN THE HUMANOID ROBOT TEO <i>Juan Miguel Garcia Haro, Edwin Daniel Oña Simbaña, Raul de Santos Rico, Santiago Martínez and Carlos Balaguer</i>	528
DETECCIÓN DE AGARRE DE OBJETOS DESCONOCIDOS CON SENSOR VISUAL-TÁCTIL <i>Julio Castaño-Amoros, Pablo Gil, Ines Fernández and Santiago Puente</i>	535
UN EXOESQUELETO FLEXIBLE Y TEXTIL PARA ASISTIR LA FLEXIÓN DEL CODO <i>José Luis Samper Escudero, David Cantalejo Escobar, David Pont Esteban, Aldo Francisco Contreras González, Ricardo Ruiz, Fernando Blaya, Santiago Tapia, Miguel Ángel Sánchez-Urán González and Manuel Ferre</i>	542
SOCIAL ROBOT AS COOKING ASSISTANT <i>Jaime Gómez Jiménez, Sara Carrasco Martínez, Miguel A. Quispe Flores, Javier Sevilla Salcedo, Fernando Alonso Martín and Miguel A. Salichs</i>	550
DYNAMIC SEMANTIC ONTOLOGY GENERATION: A PROPOSAL FOR SOCIAL ROBOTS <i>Javier Sevilla Salcedo, Miguel A. Quispe Flores, Sara Carrasco Martínez, Jaime Gómez Jiménez, José. C Castillo, Álvaro Castro González, María Malfaz and Miguel A. Salichs</i>	557
REMOTE COMMUNICATION BETWEEN FAMILY MEMBERS THROUGH SOCIAL ROBOTICS <i>Sara Carrasco Martínez, Miguel A. Quispe Flores, Javier Sevilla Salcedo, Jaime Gómez Jiménez, Fernando Alonso Martín and Miguel A. Salichs</i>	565
ACCESSIBLE MUSIC STREAMING APPLICATION FOR SOCIAL ROBOT <i>Miguel A. Quispe Flores, Sara Carrasco Martínez, Javier Sevilla Salcedo, Jaime Gómez Jiménez, Fernando Alonso Martín and Miguel A. Salichs</i>	573
SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE RESPALDO MEDIANTE TECNOLOGÍA LORA CON HARDWARE Y SOFTWARE ABIERTO PARA APLICACIONES DE ROBÓTICA DE EMERGENCIAS <i>R.F. Manrique Balmaceda, R. Vázquez Martín, J. Bravo Arrabal, J. Fernandez-Lozano and A. García Cerezo</i>	581
INTEGRATION AND EVALUATION OF A MULTI-GNSS SYSTEM IN AN UNMANNED GROUND VEHICLE <i>Edison Patricio Velasco Sánchez, Miguel Ángel Muñoz-bañón, Francisco A. Candelas and Santiago T. Puente</i>	588
DESIGN OF A DYNAMIC MOCK-UP BENCH FOR TESTING ROBOTIC INTERVENTIONS <i>Luana Barbosa Pina Pereira, Carlos Veiga Almagro, Luca Rosario Buonocore, Raul Marín Prades, Mario Di Castro and Alessandro Masi</i>	593

EXOESQUELETO HÍBRIDO PARA REHABILITACIÓN DE LAS EXTREMIDADES SUPERIORES
Aldo Francisco Contreras González, David Pont Esteban, José Luis Samper Escudero, David Cantalejo-Escobar, Miguel Ángel Sánchez-Urán González and Manuel Ferre 599

ROBÓTICA COLABORATIVA EN APLICACIONES DE ASISTENCIA EN MÁQUINAS DE ELECTROEROSIÓN
Roman Abad, Asier Muñoz, Jose Mari Ramos, Aitziber Mancisidor and Itziar Cabanes . . 606

APLICACIÓN DE UN ROBOT COLABORATIVO DE DOS BRAZOS PARA RESOLVER EL CUBO DE RUBIK
Garazi Fernández, Asier Herrán, Aitziber Mancisidor, César Pérez and Itziar Cabanes . . 611

LOCALIZANDO ELEMENTOS DE INTERÉS MEDIANTE VEHÍCULOS OPERADOS REMOTAMENTE PARA LA EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE DE GRANJAS ACUÍCOLAS.
Fernando Gómez-Bravo, Alejandro Garrocho-Cruz, Juan Carlos Gutiérrez-Estrada, Inmaculada Pulido-Calvo, Jairo Castro-Gutiérrez, Antonio Peregrín-Rubio and Samuel López-Domínguez 617

APLICACIÓN DE MATLAB Y SIMULINK PARA ESTACIONES ROBÓTICAS
Alberto Herreros López 625

HETEROGENEOUS SYSTEM FOR DAILY ACTIVITY MONITORING AT HOME AND WELL-BEING OF ELDERLY PEOPLE ABSTRACT
Francisco Miguel Calatrava Nicolás, Francisco José Ortiz Zaragoza, José Alfonso Vera Repullo, Joaquín Roca González, Manuel Jiménez Buendía and Óscar Martínez Mozos . . 632

Visión por Computador **640**

ENTRENAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA CNN PARA LOCALIZACIÓN JERÁRQUICA MEDIANTE IMÁGENES OMNIDIRECCIONALES.
Juan José Cabrera Mora, Sergio Cebollada, Mónica Ballesta, Luis Miguel Jimenez, Luis Payá Castelló and Oscar Reinoso 640

A VIDEO SUMMARIZATION APPROACH TO SPEED-UP THE ANALYSIS OF CHILD SEXUAL EXPLOITATION MATERIAL
Rubel Biswas, Deisy Chaves, Laura Fernández-Robles, Eduardo Fidalgo and Enrique Alegre 648

ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE SEGMENTACIÓN SEMÁNTICA DE NUBES DE PUNTOS CON REDES NEURONALES
Alejandro Espacio Regalado, Santiago Salamanca Miño, María Pilar Merchán García, Emiliano Pérez Hernández and Samuel Punzón Agudo 655

PROTOTYPE ROBOTIC CATHETER WITH VISION-BASED HAPTIC SENSOR
Almudena Bravo, Blas Manuel Vinagre, Inés Tejado, Enrique Mancha, Paloma Rodriguez and José Emilio Traver 663

FUSIÓN DE SERIES TEMPORALES DE NUBES DE PUNTOS PARA SU EXPLORACIÓN EN REALIDAD VIRTUAL
Samuel Punzón, Emiliano Pérez, María Pilar Merchán, Santiago Salamanca and Alejandro Espacio 671

MICROHIKARI3D: TRANSFORMANDO UNA IMPRESORA 3D EN UN MICROSCOPIO ROBOTIZADO MODERNO
Pablo T. Toledano, Gloria Bueno, Noelia Vállez, Oscar Deniz and Jesús Salido 678

ANÁLISIS DE TÉCNICAS DE AUMENTO DE DATOS Y ENTRENAMIENTO EN YOLOV3 PARA DETECCIÓN DE OBJETOS EN IMÁGENES RGB Y TIR DEL UMA-SAR DATASET
Álvaro Galán-Cuenca, Ricardo Vázquez-Martín, Anthony Mandow, Jesús Morales and Alfonso García-Cerezo 686

CLASIFICACIÓN Y MANIPULACIÓN DE BASURA DOMÉSTICA UTILIZANDO DEEP-LEARNING
Santiago Puente, Pablo Gil and Victor De Gea 695

Computadores y Control **701**

MODEL-BASED DESIGN OF FOG APPLICATIONS AS MICROSERVICE WORKFLOWS
Ekaitz Hurtado, Alejandro López, Isabel Sarachaga, Aintzane Armentia, Elisabet Estévez and Marga Marcos 701

DEVELOPMENT OF DIGITAL TWINS TO SIMULATE AND INTEGRATE MANUFACTURING ASSETS IN THE INDUSTRY 4.0
Darío Orive, Alejandro López, Elisabet Estévez, Adrián Orive and Marga Marcos 709

MANUFACTURING TRACEABILITY BASED ON INDUSTRIAL AGENTS
Alejandro López, Elisabet Estévez and Marga Marcos 717

SOFTWARE Y COMPUTADOR EMBARCADO BASADO EN COTS PARA EL EXPERIMENTO TASEC-LAB
Ángel Grover Pérez Muñoz, Juan Zamorano Flores, David González Bárcena and Juan Antonio De la Puente 724

ARQUITECTURA MODULAR PARA LA GESTIÓN AUTOMÁTICA DEL TRÁFICO EN ROTONDAS
Adrián Lara Domínguez, Pedro Uribe Chavert, Jose Luis Poza Lujan and Juan Luis Posadas Yagüe 731

OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO EN SISTEMAS DE CONTROL MEDIANTE ENTROPÍA
Antonio Ruiz Alba, Khen Sharman and Sergio Sáez 739

REVISIÓN DE TECNOLOGÍAS HABILITADORAS PARA EL CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS EN EL SECTOR HORTOFRUTÍCOLA
Cristian Martín, Luis Llopis, Bartolomé Rubio and Manuel Díaz 744

ML MODELS FOR REAL-TIME HYBRID SYSTEMS
Manuel I. Capel 752

Índice de Autores **760**

EVALUACIÓN DE DESCRIPTORES LOCALES EN LOCALIZACIÓN VISUAL CON IMÁGENES OJO DE PEZ

María Flores, David Valiente, Arturo Gil, Adrián Peidro, Oscar Reinoso, Luis Payá
 Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
 Universidad Miguel Hernández, Avenida de la Universidad s/n 03202 Elche (Alicante), España
 {m.flores, dvaliente, arturo.gil, apeidro, o.reinoso, lpaya}@umh.es

Resumen

Un robot móvil debe ser capaz de localizarse en el entorno en el que se encuentra para navegar de forma autónoma. Para tal fin, en este trabajo se utiliza un método denominado Adaptive Probability-Oriented Feature Matching (APOFM). Este algoritmo consiste en obtener la pose relativa a partir de información visual de un par de imágenes, como un algoritmo de odometría visual. La principal característica de este método es que realiza un filtrado de los puntos característicos detectados utilizando información proporcionada por un modelo 3D del entorno. En dicho modelo, cada punto tiene asignada una probabilidad de existencia de correspondencia. Con esto se consigue un menor número de falsos positivos. Los objetivos principales de este trabajo son evaluar este método con distintos tipos de características locales y comparar su efectividad con un método de odometría visual estándar, además de analizar los resultados empleando imágenes tomadas con una cámara con lente de ojo de pez. Tras los distintos experimentos, la solución más precisa al estimar la pose relativa se ha obtenido con el método APOFM extrayendo la información visual con ORB.

Palabras clave: Adaptive Probability-Oriented Feature Matching, odometría visual, localización, características locales.

1. INTRODUCCIÓN

Con el fin de conseguir una navegación autónoma eficaz, un robot móvil debe ser capaz de resolver el problema de localización. En la literatura, se han empleado varios tipos de sensores y técnicas [1] para obtener la posición y orientación de un robot móvil de forma precisa. De entre todos los tipos de sensores que pueden ir a bordo del robot móvil, los sistemas de visión han recibido un gran interés. Este hecho se debe a que la información que proporciona al robot móvil puede aplicarse tanto para resolver el problema de localización como para realizar otras tareas de navegación autónoma.

En cuanto a las técnicas de localización que utilizan la información que ofrece este tipo de sen-

sor, se encuentra la odometría visual [12]. En este método, la pose se estima de forma incremental a partir de los cambios que el movimiento causa en las imágenes [4]. Las ventajas que presenta este enfoque son varias, por ejemplo, que no se ve afectado por el posible deslizamiento de las ruedas y que puede utilizarse para resolver el problema de localización en diferentes tipos de robots, no solo en los robots móviles con ruedas. Un ejemplo de ello se puede ver en [17] donde utilizan un proceso de odometría visual estéreo a partir de imágenes que han sido tomadas a bordo de un vehículo submarino autónomo.

Cabe señalar que el empleo de las cámaras con gran campo de visión tiene muchas ventajas en una gran cantidad de aplicaciones robóticas. Las cámaras omnidireccionales pueden capturar imágenes con un campo de visión de 360° alrededor del robot. Hay diferentes configuraciones posibles para obtener imágenes omnidireccionales [11] aunque los sistemas más utilizados son los catadióptricos y de ojo de pez. Un sistema catadióptrico está compuesto por una cámara de perspectiva convencional con un espejo convexo. De esta manera, se genera una vista completa de 360 grados (una esfera completa). Por ejemplo, Román et al. [8] muestran el desarrollo y evaluación de un enfoque de agrupamiento incremental para obtener modelos jerárquicos compactos del entorno utilizando un sistema de visión catadióptrico como fuente de información. Otra forma de aumentar el campo de visión es mediante la combinación de una lente ojo de pez y una cámara de perspectiva convencional. Por ejemplo, Matsuki et al. [7] proponen un método que extiende la odometría dispersa directa para utilizar la imagen completa incluso con una fuerte distorsión. Por ello, evalúan el enfoque utilizado con imágenes de ojo de pez.

La principal diferencia entre los sistemas de visión comentados en el párrafo anterior es que un sistema formado por una única lente de ojo de pez presenta un menor campo de visión en comparación con un sistema catadióptrico. A pesar de tal hecho, resulta interesante evaluar un algoritmo de odometría visual utilizando imágenes de este tipo de cámara ya que dispone de algunas característi-

cas relevantes comparado con el catadióptrico, como su reducido tamaño y ligereza. Además, el sistema de visión catadióptrico es estructuralmente más complejo.

Para resolver el problema de odometría visual, es necesario extraer y relacionar la información más relevante de las imágenes. En este trabajo, se emplea un algoritmo de odometría visual propuesto en trabajos de investigación previos [15], llamado Adaptive Probability-Oriented Feature Matching (APOFM). La finalidad de esta propuesta es resolver el problema de localización basado en el método estándar de odometría visual (en adelante, se mencionará como SVOM, Standard Visual Odometry Method) pero utilizando información de probabilidad asociada a la existencia de puntos característicos dentro del entorno. Dicha información es proporcionada por un modelo de escena que establece relaciones entre puntos 3D con alta probabilidad de existencia y sus proyecciones sobre un par de imágenes. De esta manera, estas proyecciones definen áreas de las imágenes donde es más probable que aparezcan puntos con correspondencias. El APOFM mejora el procesamiento de imágenes (detección y descripción de características y búsqueda de correspondencias) en SVOM, obteniendo una búsqueda de coincidencias más robusta y un rechazo de valores atípicos. De esta manera, la solución de localización obtenida es más precisa.

En el trabajo anterior [15] se evaluó este método utilizando las imágenes capturadas por un sistema catadióptrico y utilizando solo puntos característicos SURF para extraer la información visual. Teniendo en cuenta esto, el presente estudio emplea diferentes tipos de detectores y descriptores de puntos característicos (SURF, ORB, FAST y KAZE) y evalúa la influencia del tipo de característica sobre el rendimiento de la odometría visual utilizando APOFM con imágenes tomadas con una cámara de lente de ojo de pez. En la sección dedicada a los experimentos (Sección 4), se analizan tanto los resultados del proceso de búsqueda de correspondencias como la precisión de la odometría visual en la estimación de la posición y orientación del robot, y estos resultados se comparan con los obtenidos con un método de odometría visual estándar. Como ya se ha comentado, otro objetivo de los experimentos es analizar el comportamiento de este método con imágenes de lente de ojo de pez. Para lograr tal fin, hemos utilizado un conjunto de imágenes de este tipo disponible públicamente [19].

Este trabajo se encuentra estructurado de la siguiente forma: los diferentes tipos de características locales utilizados en este trabajo se presentan

en la Sección 2; en la Sección 3 se describe el método empleado; los resultados obtenidos durante los experimentos se muestran en la Sección 4; y, finalmente, las conclusiones se exponen en la Sección 5.

2. CARACTERÍSTICAS LOCALES

Para extraer y describir la información relevante de una imagen, se pueden emplear principalmente dos tipos de métodos: características globales o locales. En cuanto a los descriptores de apariencia global, cada imagen se describe con un único vector. Se espera que este descriptor sea invariable frente a cambios globales. Por ejemplo, Amorós et al. [3] presentan una comparación de técnicas de descripción de apariencia global (incluyendo el uso de la información de color) para creación de mapas y localización utilizando solo la información proporcionada por imágenes omnidireccionales.

Por el contrario, las características locales son patrones o estructuras (por ejemplo, puntos, bordes o pequeñas áreas) presentes en una imagen. Difieren de su vecindario inmediato en términos de intensidad, color y/o textura [13]. En este sentido, Valiente et al. [14] comparan los resultados de un método de odometría visual con imágenes omnidireccionales extrayendo la información visual con estas dos técnicas.

Las citadas características locales se pueden considerar como la combinación de un detector de características y un descriptor. Los detectores se utilizan para encontrar las características esenciales de la imagen, mientras que los descriptores describen las características extraídas y generan un vector descriptivo. Hay varios tipos de características locales propuestas en la literatura. Joshi y Patel [6] exponen una evaluación de distintos métodos de detección y descripción.

En este trabajo, hemos usado los siguientes tipos de características locales: SURF [5] (basado en blobs y con el vector descriptor real), FAST [9] (esquinas y con vector descriptor binario), ORB [10] (esquinas y con vector descriptor binario) y KAZE [2] (blobs y con vector descriptor real).

3. MÉTODO APOFM

APOFM consiste en resolver el problema de localización basado en un algoritmo de odometría visual estándar, pero incorporando información de probabilidad proporcionada por un modelo de la escena. Este modelo consiste en una distribución de probabilidad que caracteriza dinámicamente la aparición de correspondencias encontradas en ite-

raciones anteriores. La técnica empleada para este propósito es el Proceso Gaussiano (GP) [16]. En la Figura 1 se muestra el digrama de APOFM con los distintos pasos que lo componen. En la primera iteración ($t = 1$) del algoritmo, dado que todas las proyecciones de los puntos 3D de la escena tienen la misma probabilidad de ser una correspondencia, la pose relativa se estima resolviendo el SVOM. De este modo, primero se detectan los puntos característicos en cada imagen (I_0 e I_1), después se extraen los vectores descriptores de todos los puntos detectados y, posteriormente, se buscan correspondencias en función de la similitud entre descriptores. La medida de similitud utilizada para los descriptores de características binarias es la distancia Hamming y, por el contrario, para otros formatos de descriptores es la distancia euclídea al cuadrado. Por lo tanto, de estos tres pasos se ha obtenido un conjunto de correspondencias 2D a 2D. El último paso es estimar el movimiento relativo usando la geometría epipolar y el conjunto de puntos obtenido en el paso anterior. Dado que para emplear la matriz esencial es necesario conocer los parámetros intrínsecos de la cámara, se ha realizado el proceso de calibración previamente. De esta forma, al ejecutar el algoritmo, los valores de estos parámetros son conocidos.

En este trabajo, la pose relativa se expresa mediante cinco parámetros angulares ($\theta, \gamma, \alpha, \phi, \beta$) y un factor de escala (ρ). Los tres primeros parámetros angulares están asociados con la orientación (θ, γ, α). Los otros dos (ϕ, β), junto con el factor de escala (ρ), están asociados a la traslación expresada en coordenadas esféricas, donde ρ es la distancia relativa entre los centros de ambas cámaras (excepto por un factor de escala), ϕ es el ángulo en el plano x-y y β el ángulo de elevación desde dicho plano. Los valores de los cinco parámetros angulares son los que se estiman en este trabajo y se muestran en la sección correspondiente a los experimentos. Después de esta primera iteración, ya se ha obtenido información sobre correspondencia de características. De esta forma, es posible obtener el modelo y emplear esta información en el algoritmo.

3.1. MODELO 3D DE PROBABILIDAD

Para poder crear el modelo, cuyos pasos se pueden ver en la Figura 2, en primer lugar, se deben recuperar las coordenadas 3D de cada par del conjunto de correspondencias 2D a 2D con los que se ha estimado la pose anterior. A este ejercicio se le conoce como problema de triangulación. En este sentido, dado un par de imágenes, si los puntos característicos coincidentes son en realidad la proyección del mismo punto 3D, sus rayos deben intersectar en este punto 3D. Sin embargo, este hecho no siempre ocurre debido a la presencia de varios tipos de ruido (por ejemplo, error debido a que los parámetros de calibración no son precisos o ruido durante la detección de características). Por lo tanto, el problema de triangulación se reduce a encontrar la mejor solución, por ejemplo, utilizando el método del punto medio donde se supone que el punto 3D es el punto medio de la perpendicular común a ambas líneas 3D. No obstante, las dos líneas 3D no se cruzan en algunos casos porque la coincidencia de este par de puntos característicos es un falso positivo, lo que significa que no son la proyección del mismo punto 3D, aunque sus descriptores sean similares y por ello han sido asociados incorrectamente durante el paso de búsqueda coincidente.

Para poder evaluar la efectividad del APOFM y SVOM con respecto a los falsos positivos, hemos agregado un bloque, denominado contador de falsos positivos. En este bloque, dado un punto 3D, se vuelve a proyectar sobre la segunda imagen, empleando el modelo de la cámara. Si está cerca del punto característico con el que se han obtenido (junto con su correspondencia en la primera imagen) sus coordenadas 3D, significa que el punto característico es la proyección de este punto 3D y, por lo tanto, el par de puntos coincidentes es un verdadero positivo. En caso contrario, estamos ante un falso positivo. De este modo, se calcula la distancia entre estos dos puntos, como se puede ver en la Figura 2, y si es mayor a un determinado valor (a) se trata de un falso positivo.

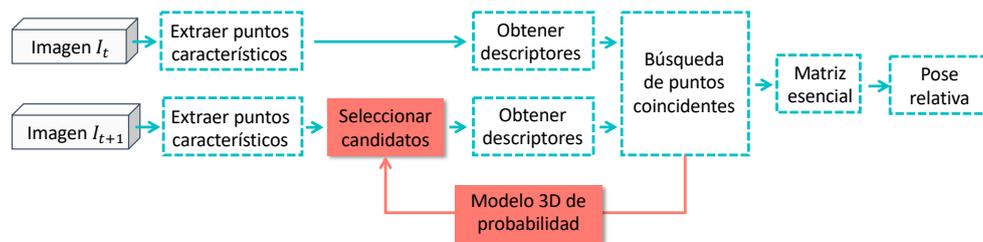


Figura 1: Diagrama del algoritmo del APOFM. Los bloques de APOFM añadidos al SVOM se han resaltado con otro color (rojo).

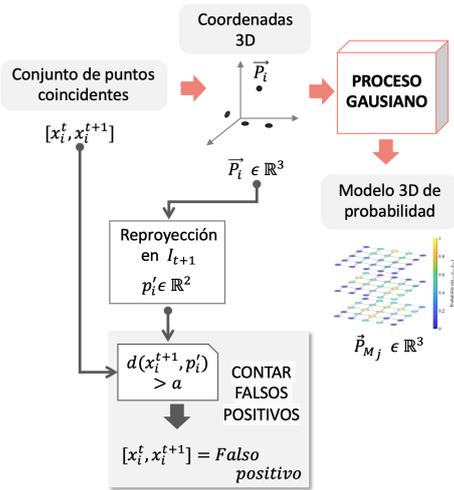


Figura 2: Crear del modelo 3D y contar falsos positivos.

Después de resolver el problema de triangulación, el siguiente paso es crear el modelo de la escena. Para realizar esta tarea se ha recurrido al GP. El bloque GP recibe datos de entrada de entrenamiento que corresponden al conjunto de coordenadas 3D y datos de salida de entrenamiento que son un vector de unos que indican que la proyección de estos puntos 3D en el par de imágenes ha sido considerado correspondientes. Además, hay un conjunto de puntos de test que son los puntos 3D que definen el modelo. La salida del GP es la media y la covarianza de la distribución condicional predicha para los puntos de prueba. Como el objetivo es crear un modelo de probabilidad de la escena, la predicción debe tomar valores entre cero y uno. Para este fin, se emplea una función logística (sigmoidea). Finalmente, el mapa global se actualiza usando Bayesian Committee Machine (BCM).

3.2. SELECCIÓN DE PUNTOS CANDIDATOS

Una vez el modelo de escena 3D con probabilidad es creado ($t = 1$) o actualizado ($t > 1$), el robot móvil se mueve a una nueva posición, y se toma una imagen I_{t+1} , de la cual se extraen los puntos característicos. Después, se proyecta la información de probabilidad 3D en esta nueva imagen.

Para proyectar de 3D a 2D y viceversa, se deben conocer tanto los parámetros intrínsecos como extrínsecos. Los primeros se han obtenido previamente con el proceso de calibración. Por contra, los segundos se estiman empleando el modelo de vehículo y aplicando la transformación de la estructura del robot móvil al sistema de referencia

de la cámara (se conoce porque la cámara está en todo momento instalada en la misma posición a bordo del robot móvil). Estos datos de odometría solo se utilizan para el mapeo de puntos 2D a 3D y de 3D a 2D.

En esta etapa del algoritmo, se tienen dos conjuntos de puntos en coordenadas de píxel: uno con información de imagen (puntos característicos) y otro con probabilidad basada en correspondencias (proyección del modelo 3D de la escena). El paso de selección de puntos candidatos viene dado por una búsqueda del punto más cercano en el segundo conjunto a cada punto del primero. Esta búsqueda se basa en una medida métrica, concretamente la distancia City-block, y la técnica para encontrar al vecino más cercano es el algoritmo del árbol kd. Un punto característico se considerará candidato si la distancia calculada es menor que un umbral específico (χ) cuyo valor está dado por la inversa de la función de distribución acumulativa de chi-cuadrado. Si el punto característico se clasifica como candidato para encontrar una coincidencia en la imagen I_t , a dicho punto se le asocia la probabilidad del punto proyectado más cercano. De esta forma, los puntos candidatos se pueden filtrar de acuerdo con el valor de probabilidad asociado, obteniendo un conjunto de puntos característicos candidatos cuya probabilidad de encontrar una coincidencia es mayor que una probabilidad mínima (ρ_{min}). En la Figura 3, se muestra el esquema de selección de puntos candidatos.

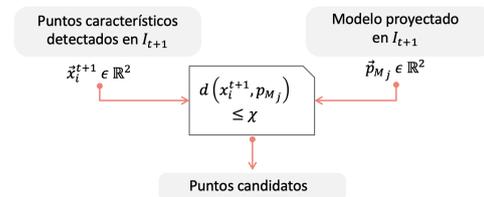


Figura 3: Clasificación de los puntos característicos como candidatos.

Los siguientes pasos son buscar correspondencias, obtener la matriz esencial y extraer la pose relativa, que corresponden al algoritmo de odometría visual estándar. Sin embargo, la diferencia radica en que de la segunda imagen únicamente se extraen los descriptores de los puntos clasificados como candidatos, ya que solo estos puntos buscarán sus puntos coincidentes en la primera imagen.

4. EXPERIMENTOS

Como se indica en la Sección 3, APOFM estima la pose relativa a partir de puntos de características locales. Teniendo en cuenta esto, los experimen-

tos realizados en este trabajo tienen dos objetivos principales: (a) evaluar el comportamiento del APOFM con varios tipos de características locales para determinar cuál de ellos proporciona una estimación más precisa de la pose relativa; y (b) realizar una comparación entre APOFM y SVOM con el fin de evaluar la mejora lograda con el método APOFM. Por tanto, se han realizado un total de ocho pruebas como resultado de la combinación de los dos métodos y las cuatro características locales.

Para evaluar la influencia del tipo de características, hemos realizado un estudio sobre los siguientes aspectos: el número de características detectadas con cada tipo de puntos característicos, cuántos de ellos han encontrado coincidencia en la otra imagen y los falsos positivos (Sección 4.1); el error al resolver el problema de localización (Sección 4.2); y el tiempo de cálculo (Sección 4.3). En cada figura, el resultado que se muestra es el promedio de los valores obtenidos con cada par de imágenes. Todos los experimentos se han realizado con un PC con CPU Intel Core i7-10700 R a 2.90GHz y Matlab 2019 como software.

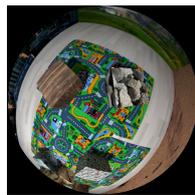


Figura 4: Ejemplo de una de las imágenes disponibles en la base de datos.

Con respecto a las imágenes, hemos utilizado un conjunto de datos público [19], que proporciona, a su vez, un conjunto de imágenes tomadas con una cámara de lente de ojo de pez (ver Figura 4) y un archivo de salida con las posiciones de la cámara en las que ha capturado cada imagen (ground truth). Se compone de un total de 200 imágenes con una resolución de 640x480 píxeles.

4.1. NÚMERO DE PUNTOS Y CORRESPONDENCIAS

Como se ha mencionado, el algoritmo de APOFM, así como el de SVOM, a partir de un par de imágenes, detectan puntos característicos locales en cada una y obtienen un conjunto de correspondencias entre ellos que se emplean para resolver el problema de localización. Por lo tanto, esta parte del algoritmo será lo que estudiaremos en esta subsección.

En el eje X de la Figura 5, se muestra la cantidad de puntos característicos detectados en función del método empleado para su detección y descripción

(es independiente al método escogido para resolver el problema de odometría). El eje Y de esta misma figura representa el número de estos puntos que finalmente han encontrado correspondencia en la otra imagen. El número de coincidencias sí depende del método de odometría empleado, por lo que el número obtenido con cada uno está representado con un color distinto. Tras analizar la Figura 5, podemos concluir que ORB y KAZE ofrecen el mayor número de correspondencias. Por el contrario, SURF proporciona el menor número de coincidencias con ambos métodos. En el caso de KAZE, se obtienen más correspondencias de puntos, aunque la cantidad de puntos característicos detectados no sea tan elevada como al emplear ORB o FAST. Por lo que respecta a los métodos de odometría, podemos observar que el algoritmo SVOM encuentra más coincidencias que APOFM. Esto último era predecible, ya que el segundo método no utiliza todos los puntos característicos detectados en este paso, sino solo aquellos que se han considerado candidatos a encontrar sus coincidentes debido a su probabilidad de existencia.

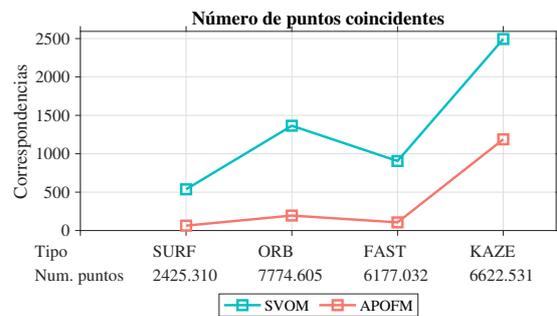


Figura 5: El número medio de puntos detectados se muestra en la parte inferior del eje X y en el eje Y se representa el número medio de ellos que han encontrado correspondencia.

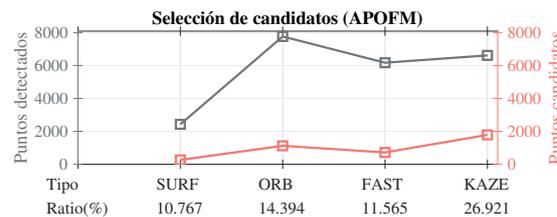


Figura 6: Número medio de puntos clasificados como candidatos.

En la Figura 6, se muestra el número de puntos característicos detectados y cuántos de ellos se han considerado como candidatos, así como el ratio entre dichos valores, únicamente para el algoritmo APOFM. De esta forma, podemos extraer que el número de puntos característicos que se consideran durante la búsqueda de correspondencia es menor que el conjunto de características inicial ya

que se ha filtrado por probabilidad de existencia.

Además de lo mencionado, es importante analizar cuántos de estos pares de correspondencias son verdaderos positivos y cuántos son falsos positivos. En este sentido, la Figura 7 muestra el valor medio y la desviación estándar del número de falsos positivos en cada caso. Con APOFM, el valor medio y la desviación estándar es menor en todos los casos excepto con KAZE. De esta forma, podemos decir que con este método se consigue un menor número de valores atípicos en la búsqueda de correspondencias en ambas imágenes.

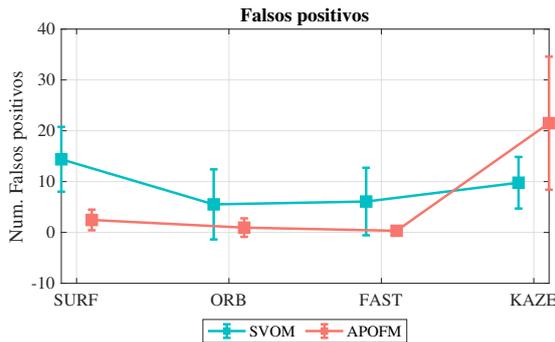


Figura 7: Falsos positivos.

4.2. ESTIMACIÓN DE LA POSE RELATIVA

No se puede obviar que el objetivo es estimar la pose relativa con la mayor precisión posible. Por lo tanto, se debe estudiar el error obtenido con cada combinación y así ver cómo funciona el método de localización dependiendo del tipo de puntos característicos utilizados como entrada. Para calcular el error, se ha utilizado el ground truth proporcionado por la base de datos. Como se ha comentado con anterioridad, el movimiento relativo se descompone en una traslación definida por dos parámetros angulares ϕ y β (Figura 8(a) y Figura 8(b), respectivamente) y una rotación que viene dada por θ , γ y α (Figura 9(a), Figura 9(b) y Figura 9(c)).

Analizando las figuras correspondientes a la traslación, podemos observar que el error es mayor con SURF, como cabía esperar considerando los resultados obtenidos en la anterior subsección, es decir, menor precisión y menor número de puntos detectados y coincidencias. En cuanto a la Figura 8(a), el método APOFM presenta un error menor con respecto a SVOM en todos los casos, excepto cuando se utiliza KAZE, aunque la diferencia de error entre ambos métodos es pequeña. No obstante, en relación con la desviación estándar, APOFM presenta mejores resultados. De esto se puede concluir que la mejor solución de localiza-

ción se ha obtenido con la combinación del método APOFM y ORB, estando el error en ϕ en torno a 4° . En cambio, APOFM proporciona el menor error, con independencia del tipo de característica, estimando el parámetro β . En cuanto a la rotación, APOFM estima la orientación con más precisión que SVOM. Del mismo modo que en la traslación, la mejor solución de localización, esto es, el menor error, se obtiene con ORB.

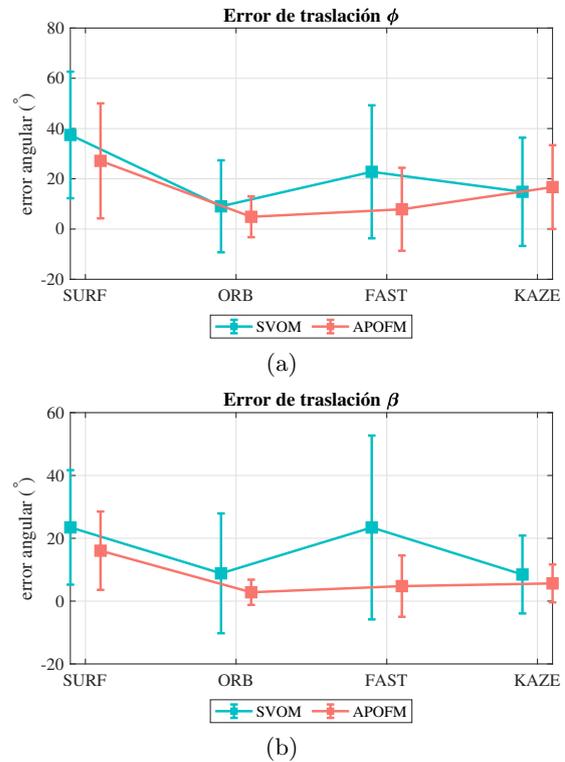


Figura 8: Error calculando (a) ϕ y (b) β .

4.3. TIEMPO DE CÁLCULO

Finalmente, también es necesario analizar el tiempo de cálculo computacional requerido en cada una de las combinaciones estudiadas en las subsecciones anteriores. En el Cuadro 1 se muestra la media de del tiempo de estimación de la pose relativa a partir de cada par de imágenes.

Cuadro 1: Tiempo medio de cálculo en segundos.

	SURF	ORB	FAST	KAZE
SVOM	2,34s	14,66s	13,64s	2,04s
APOFM	1,26s	3,51s	2,68s	12,05s

El tiempo transcurrido durante la estimación de la pose relativa es menor para APOFM cuando las características locales son SURF, ORB y FAST. Esto se debe a que, en el caso de APOFM, el número de puntos característicos correspondientes

a I_{t+1} que tiene que encontrar una coincidencia es menor que en el caso de SVOM, pues los puntos característicos han sido filtrados (candidatos). De esta manera, el tiempo asociado con este paso y las características SURF, ORB y FAST también es más reducido, salvo cuando se usa KAZE.

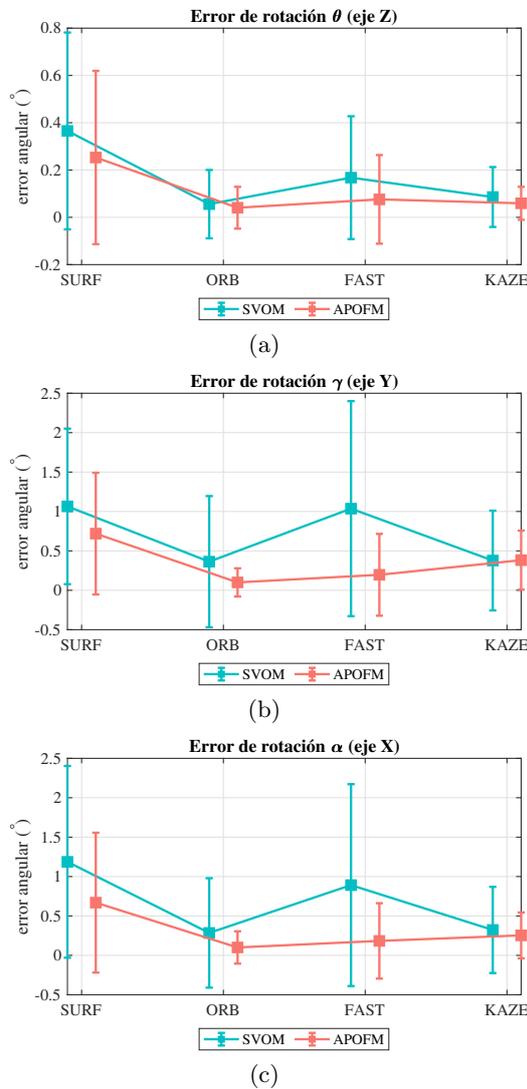


Figura 9: Error calculando (a) θ , (b) γ y (c) α .

5. CONCLUSIONES

En este trabajo, el problema de localización se resuelve utilizando una base de datos con imágenes ojo de pez disponibles públicamente. Hemos estudiado el comportamiento del método APOFM al utilizar distintos detectores y descriptores de características locales. APOFM modela el entorno de forma dinámica con puntos 3D que presentan cierta probabilidad de existencia de puntos característicos. En este sentido, las correspondencias de características se pueden encontrar en áreas determinadas de las imágenes. Dicho modelo dinámico

se obtiene empleando una técnica de aprendizaje automático, el GP.

En [15], los autores evalúan este método utilizando imágenes tomadas por un sistema de visión catadióptrico y características SURF únicamente. Por el contrario, en el presente análisis se ha examinado el comportamiento de la técnica de localización mediante un total de ocho pruebas como resultado de combinar un algoritmo (el SVOM o el APOFM) y un tipo de característica local (SURF, ORB, FAST o KAZE). Para cada caso, hemos estudiado varios aspectos.

Tras analizar los resultados, podemos concluir que el método APOFM ha superado considerablemente al SVOM con respecto a la solución de localización y el tiempo de cálculo cuando las características locales son SURF, ORB y FAST. La diferencia entre ambos métodos cuando usan KAZE es insignificante, y el error al usar el método APOFM es un poco mayor. La combinación del método APOFM y ORB proporciona una localización más precisa (el error se encuentra alrededor de los 4° para el parámetro de traslación ϕ), así como un tiempo de cálculo más reducido en comparación con SVOM.

En resumen, el problema de localización que se resuelve usando el método APOFM se ha mejorado empleando otros tipos de puntos característicos, concretamente ORB. Como trabajo futuro, sería interesante evaluar este método con otras características locales, como ASIFT [18], que es invariante a transformaciones afines. Además, otra investigación futura podría consistir en ampliar estos resultados comparativos a otros modelos de imágenes no lineales. Dado que este método se basa en un modelo de la escena, sería interesante también evaluar este método en exteriores, ya que podría presentar algunas limitaciones en cuanto a la creación del modelo 3D (el entorno no está tan acotado como en interiores).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido apoyado por la Generalitat Valenciana mediante la beca con referencia ACIF/2020/141.

English summary

EVALUATION OF LOCAL DESCRIPTORS IN VISUAL LOCALIZATION WITH FISHEYE IMAGES

Abstract

To navigate autonomously, a mobile robot must be able to localize itself in the environment.

To that end, in this work, a method called Adaptive Probability-Oriented Feature Matching (APOFM) is used. This algorithm obtains the relative pose from visual information (a pair of images), as a visual odometry algorithm. The main feature of this method is that it performs a filtering of the feature points using the information provided by a 3D model of the environment, in which each point is assigned a probability of existence of correspondence. This results in fewer false positives. The main objectives of this work are to evaluate this method with different types of local features and compare its effectiveness with the standard visual odometry method, and also to analyze the results using images taken by a fisheye lens camera. After the different experiments, the most precise solution estimating the relative pose was obtained with the APOFM method, extracting the visual information with ORB.

Keywords: Adaptive Probability-Oriented Feature Matching, visual odometry, localization, local features.

Referencias

- [1] ALATISE, M. B., AND HANCKE, G. P. A review on challenges of autonomous mobile robot and sensor fusion methods. *IEEE Access* 8 (2020), 39830–39846.
- [2] ALCANTARILLA, P. F., BARTOLI, A., AND DAVISON, A. J. KAZE features. In *Computer Vision – ECCV 2012* (Berlin, Heidelberg, 2012), A. Fitzgibbon, S. Lazebnik, P. Perona, Y. Sato, and C. Schmid, Eds., Springer Berlin Heidelberg, pp. 214–227.
- [3] AMORÓS, F., PAYÁ, L., MAYOL-CUEVAS, W., JIMÉNEZ, L. M., AND REINOSO, O. Holistic descriptors of omnidirectional color images and their performance in estimation of position and orientation. *IEEE Access* 8 (2020), 81822–81848.
- [4] AQEL, M. O. A., MARHABAN, M. H., SARIPAN, M. I., AND ISMAIL, N. B. Review of visual odometry: types, approaches, challenges, and applications. *SpringerPlus* 5, 1 (2016), 1897.
- [5] BAY, H., ESS, A., TUYTELAARS, T., AND VAN GOOL, L. Speeded-Up Robust Features (SURF). *Computer Vision and Image Understanding* 110, 3 (2008), 346–359. Similarity Matching in Computer Vision and Multimedia.
- [6] JOSHI, K., AND PATEL, M. I. Recent advances in local feature detector and descriptor: a literature survey. *International Journal of Multimedia Information Retrieval* 9, 4 (2020), 231–247.
- [7] MATSUKI, H., VON STUMBERG, L., USENKO, V., STÜCKLER, J., AND CREMERS, D. Omnidirectional DSO: Direct Sparse Odometry With Fisheye Cameras. *IEEE Robotics and Automation Letters* 3, 4 (2018), 3693–3700.
- [8] ROMÁN, V., PAYÁ, L., CEBOLLADA, S., AND REINOSO, Ó. Creating incremental models of indoor environments through omnidirectional imaging. *Applied Sciences* 10, 18 (2020).
- [9] ROSTEN, E., AND DRUMMOND, T. Machine learning for high-speed corner detection. In *Computer Vision – ECCV 2006* (Berlin, Heidelberg, 2006), A. Leonardis, H. Bischof, and A. Pinz, Eds., Springer Berlin Heidelberg, pp. 430–443.
- [10] RUBLEE, E., RABAUD, V., KONOLIGE, K., AND BRADSKI, G. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF. In *2011 International Conference on Computer Vision* (2011), pp. 2564–2571.
- [11] SCARAMUZZA, D. *Omnidirectional Camera*. Springer US, Boston, MA, 2014, pp. 552–560.
- [12] SCARAMUZZA, D., AND FRAUNDORFER, F. Visual odometry [tutorial]. *IEEE Robotics Automation Magazine* 18, 4 (2011), 80–92.
- [13] TUYTELAARS, T., AND MIKOLAJCZYK, K. Local invariant feature detectors: A survey. *Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision* 3, 3 (2008), 177–280.
- [14] VALIENTE, D., FERNÁNDEZ, L., GIL, A., PAYÁ, L., AND REINOSO, O. Visual odometry through appearance-and feature-based method with omnidirectional images. *Journal of Robotics* 2012 (2012).
- [15] VALIENTE, D., PAYÁ, L., JIMÉNEZ, L. M., SEBASTIÁN, J. M., AND REINOSO, Ó. Visual information fusion through bayesian inference for adaptive probability-oriented feature matching. *Sensors* 18, 7 (2018).
- [16] WILLIAMS, C. K., AND RASMUSSEN, C. E. *Gaussian processes for machine learning*, vol. 2. MIT press Cambridge, MA, 2006.
- [17] WIRTH, S., CARRASCO, P. L. N., AND CODINA, G. O. Visual odometry for autonomous underwater vehicles. In *2013 MTS/IEEE OCEANS-Bergen* (2013), IEEE, pp. 1–6.
- [18] YU, G., AND MOREL, J.-M. ASIFT: An Algorithm for Fully Affine Invariant Comparison. *Image Processing On Line* 1 (2011), 11–38.
- [19] ZHANG, Z., REBECQ, H., FORSTER, C., AND SCARAMUZZA, D. Benefit of large field-of-view cameras for visual odometry. In *2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (2016), pp. 801–808.



© 2021 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>).