UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

CEA IFAC comité español de automática

XXXV alencia

Jornadas de AUTOMATICA

3- 5 de Septiembre 2014

- Libro de Actas -

Actas de las XXXV Jornadas de Automática

3 – 5 de Septiembre de 2014, Valencia

ISBN-13: 978-84-697-0589-6

© Comité Español de Automática (CEA-IFAC)

Tabla de Contenidos

PhotoBioLib: una librería de Modelica para el modelado y simulación de fotobiorreactores 1
Agustín Pérez-Castro, José Sánchez, Francisco Gabriel Acién, Ignacio Fernández, José Luis Guzmán

CONTROL DE UN ASCENSOR COMO CASO PRÁCTICO PARA LA DOCENCIA DE CONTROL AVANZADO 2
Adrián Peidró, Arturo Gil, José María Marín, Luís Payá, Óscar Reinoso

Planificación de misiones de vehículos aéreos no tripulados con Fast Marching en un entorno 3D 3
Verónica González Pérez, Concepción Alicia Monje Micharet, Carlos Balaguer

Estudio de la robustez de los metodos de control para exoesqueletos de miembros inferiores 4
Ranko Zotovic Stanisic, Julio Hernando Vargas Riaño

Helicopter Main Rotor Vibration Analysis with Varying Rotating Speed 5
Salvador Castillo-Rivera, Maria Tomas-Rodriguez, G. Nicolas Marichal Plasencia

CLASIFICACIÓN DE CAMBIOS DE DIRECCIÓN DURANTE LA MARCHA MEDIANTE EL USO DE SEÑALES ELECTROENCEFALOGRÁFICAS 6
Juan F. Abril, Daniel Planelles, Álvaro Costa, Eduardo Iáñez, José M. Azorín

MAXIMUM POWER POINT TRACKING CONTROLLER BASED ON SLIDING MODE APPROACH 7
Maissa Farhat, Oscar Barambones, Jose A Ramos, Jose M. Gonzalez de Durana

Comparación de estrategias de control multivariable sobre el modelo lineal de un aerogenerador de pequeña potencia 8
Sergio Fragoso, Francisco VÁzquez, Juan Garrido, Fernando Morilla

Casos de uso y mejoras de un robot humanoide de bajo coste 9
Juan Carlos García Sánchez, Javier Felip León, Carlos Veiga Almagro, Pedro J Sanz

Obtención de los estados de equilibrio de un sistema desconocido mediante su modelado borroso 10
Antonio Javier Barragán Piña, Francisca Segura Manzano, Miguel Ángel Martínez Bohórquez, José Manuel Andújar Márquez

SUPERVISIÓN, MONITORIZACIÓN Y CONTROL DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN MULTI-ETAPA 11
Mario L. Ruz, Sergio Fragoso, David Rodriguez, Francisco Vazquez, Miguel Zamora

DETERMINACIÓN MEDIANTE TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL DE MAPAS DE COBERTURA RASANT EN LA ZONA MARÍTIMA DE CANARIAS 12
J. A. Rodríguez, G. N. Marichal, C. Alonso, I. Padrón, E. Melón

CONTROL FUZZY DE LA VELOCIDAD DE LA MÁQUINA DE INDUCCIÓN DE JAULA DE ARDILLA 13
Jose A. Cortajarena, Oscar Barambones, Patxi Alkorta, Julián De Marcos

Decodificación de la Marcha Humana Mediante Señales EEG 14
Joaquín Alcázar, Andrés Úbeda, Álvaro Costa, Eduardo Iáñez, Jose M. Azorin, José L. Pons

Aplicación de ICA para la Eliminación de Artefactos Oculares y Mandibulares en Señales EEG durante la Realización de Tareas Mentales 15
Belén López, Andrés Úbeda, Daniel Planelles, Carlos Perez-Vidal, Eduardo Iáñez, Jose M. Azorin

Estimación de Altura en Aplicaciones de Navegación Topológicas mediante Apariencia Global de Información Visual 16
Francisco Amorós, Luis Paya, David Valiente, Luis Miguel Jiménez, Oscar Reinoso

SISTEMA DE CONTROL EN RED (SCR) BASADO EN PREDICTOR-OBSERVADOR. ESTUDIO COMPARATIVO CON OTRAS PROPUESTAS DE SCR 17
Angel Cuenca, Pedro García, Pedro Albertos

CONTROL DE LA TENSIÓN DEL BUS DE CONTINUA DE UN FILTRO ACTIVO DE TIPO PARALELO 18
José Carlos Alfonso Gil, Carlos Ariño, Carlos Bernad Viciano, Hector Beltrán, Emilio Pérez

Clasificación de respuestas de pulsos de un ADS por análisis discriminante 19
Fernandez Marron Jose Luis, Blazquez Martinez Juan, Barcala Riveira Jose Miguel

Estimación del par articular generado por Estimulación Eléctrica Neuromuscular mediante un modelo fisiológico simplificado 20
Elisa Piñuela Martín, Antonio J. Del-Ama Espinosa, Ángel Gil Agudo

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE SISTEMAS LINEALES ANTE FALLOS ESPORÁDICOS 21
Manuel Alejandro Hernandez Mejias, Antonio Sala, Andrés Querol, Carlos Ariño

Control predictivo no lineal del confort térmico y calidad de aire 22
María Del Mar Castilla, José Domingo Álvarez, Julio Elias Normey Rico, Francisco Rodríguez, Manuel Berenguel

Diseño de circuitos genéticos en Biología Sintética utilizando optimización multi-objetivo 23
Yadira Boada, Alejandra González, Alejandro Vignoni, Gilberto Reynoso-Meza, Jesús Picó

Estudio de la aplicacion de estimulacion electrica funcional para la mejora del funcionamiento de interfaces cerebro-computadora 24
Inmaculada Ríos, Enrique Hortal, Javier Gimeno, Jose A. Flores, Jose M. Azorin

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROLADOR PREDICTIVO PARA MOTORES BLDC 25
Diego Pérez Losada, Joaquín López Fernández, María Santos Fernández

MODELADO CINEMÁTICO DE UN MANIPULADOR BINARIO HIPER REDUNDANTE PARA APLICACIONES EN CIRUGÍA MINIMAMENTE INVASIVA (MIS) 26
José Luis González, Javier P. Turiel, Juan C. Fraile, David De La Fuente, Rubén Alonso, Fernando Gayubo

Un método para modelar sistemas no holónomos con rodaduras 27
Francisco Javier Gil-Chica, Manuel Pérez-Polo, Manuel Perez-Molina

MODELADO Y SIMULACIÓN DE UN PENDULO MOLAR. APLICACIÓN A LA ESTABILIZACIÓN DE SISTEMAS OSCILATORIOS 28
Manuel Pérez-Molina, Manuel Pérez-Polo, Francisco Javier Gil Chica

MEJORA DEL RENDIMIENTO DE UN REACTOR CONTINUO EN REGIMEN OSCILANTE GENERADO POR CONTROL PI 29
Manuel Pérez-Polo, Manuel Perez-Molina, Francisco Javier Gil Chica, José Ángel Berná Galiano

CONTROL PID DE UN SERVOMECANISMO NO LINEAL USANDO LA FUNCION DESCRIPTIVA Y LA BIFURCACION DE BOGDANOV-TAKENS 30
Manuel Pérez-Polo, Manuel Perez-Molina, Francisco Javier Gil Chica, José Ángel Berná Galiano

Control de temperatura en pilas de combustible tipo PEM de cátodo abierto. 31
Stephan Strahl, Attila Husar, Jordi Riera Colomer, Ramon Costa Castelló

APLICACIONES EN MATLAB Y SIMULINK PARA EL MODELADO Y CONTROL DEL MOVIMIENTO DE UNA ESTACIÓN ABB IRB-120 32
Miguel Mato, Alberto Herreros, Juan Carlos Fraile, José Luis Sanchez, Enrqiue Baeyens, Javier Pérez Turiel, Fernanado Gayubo

DISEÑO DE UN ASISTENTE CAMARÓGRAFO PARA TÉCNICAS DE CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA DE PUERTO ÚNICO 33
Irene Rivas Blanco, Belén Estebanez, María Cuevas Rodriguez, Isabel García Morales, Víctor Muñoz

IMPLEMENTACION DE UNA LIBRERIA EN SIMULINK PARA EL DESARROLLO DE INTERFACES CEREBRO-COMPUTADOR 34
Alberto León, Enrique Hortal, Alberto Rodríguez, José M. Climent, José M. Cano, Jose M. Azorin

ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE MERCANCÍAS EN LOGÍSTICA MEDIANTE MÚLTIPLES CÁMARAS DE RANGO 35
Pablo Artaso, Gonzalo López-Nicolás

VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DEL MODELO DINÁMICO DE UN CUERPO EN MANIOBRAS DE INMERSIÓN 36
Jose A Somolinos, Amable López, Luis Ramón Núñez, Montserrat Espín

SISTEMA MÓVIL DE INFORMACIÓN BASADO EN UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS APLICADO A LA MOVILIDAD URBANA 37
Miguel Martín-Guzmán, Juan Martín-Ávila, Jesus Fernandez-Lozano, Alfonso García-Cerezo

FLOTA DE VEHÍCULOS AÉREOS PARA FOTOGRAFIA DE ALTA RESOLUCIÓN EN APLICACIONES DE AGRICULTURA DE PRECISION. PROYECTO RHEA 38
Jaime Del Cerro, João Valente, David Sanz, Leandro Cancar, Claudio Rossi, Antonio Barrientos

Locality-Sensitive Hashing for large scale image retrieval 39
Adrian Sanchez, Enrique Alegre, Victor Gonzalez, Diego Garcia

Tool wear monitoring in milling using aZIBO shape descriptor 40
Maria Teresa Garcia-Ordas, Enrique Alegre, Joaquin Barreiro, Diego Garcia-Ordas, Victor Gonzalez-Castro

Mejorando los sistemas de predicción basados en error acotado 41
José Manuel Bravo Caro, Diego Marín, Manuel Emilio Gegúndez, Teodoro Álamo Cantarero

Tool wear classification using texture descriptors based on Local Binary Pattern 42
Oscar Garcia-Olalla, Enrique Alegre, Joaquin Barreiro, Laura Fernandez-Robles, Maria Teresa Garcia-Ordas

Mejora de la Estabilidad en Sistemas Takagi-Sugeno mediante la aplicacion del Teorema de Polya con multiíndices 43
Andrés Querol, Carlos V. Ariño, Manuel A. Hernández-Mejías, Antonio Sala

SISTEMA ROBOTICO DE TIPO EXOESQUELETO PARA REHABILITACION DE LA MANO 44
Samara Enriquez, Yalena Narvaez, Oscar Andres Vivas, Jorge Diez, Francisco J. Badesa, Jose Maria Sabater, Nicolas Garcia Aracil

Estudio de la navegación de un planeador autónomo submarino 45
Edwin Loeff, Juanma Gimenez Martinez, Emilio Garcia Moreno

SOLAR DESALINATION MANAGEMENT TO FULFILL GREENHOUSE WATER DEMAND USING PREDICTIVE CONTROL 46
Lidia Roca, Jorge A. Sanchéz, Francisco Rodríguez, Javier Bonilla

Control robusto multivariable de un ciclo de refrigeración 47
José A. Alfaya, Guillermo Bejarano, Manuel G. Ortega, Francisco R. Rubio

SSS-SLAM: An Object Oriented Matlab Framework for Unverwater SLAM using Side Scan Sonar 48
Daniel Moreno, Antoni Burguera, Gabriel Oliver

INTEGRACIÓN DE SISTEMAS MULTI-AGENTE EN SISTEMAS EMBEBIDOS CON RECURSOS LIMITADOS PARA LA REALIZACIÓN DE TAREAS DE COORDINACIÓN Y COOPERACIÓN 49
Ángel Soriano, Leonardo Marín, Ángel Valera, Marina Vallés

OPTIMIZACIÓN DINÁMICA MEDIANTE DIFERENCIACIÓN AUTOMÁTICA USANDO ECOSIMPRO Y CASADI 50
Rubén Martí, Tania Rodriguez, José Luis Pitarch, Daniel Sarabia, César de Prada

INTEGRACIÓN DE UNA PLATAFORMA ROBÓTICA DE ASISTENCIA AL CIRUJANO EN OPERACIONES LAPAROSCÓPICAS DE PUERTO ÚNICO 51
Maria Cuevas-Rodriguez, Belen Estebanez, Enrique Bauzano, Irene Rivas-Blanco, Isabel Garcia-Morales, Victor F. Muñoz, Luis D. Lledo, Jose M. Sabater

Respuesta frecuencial de los sistemas de tiempo discreto usando herramientas interactivas 52
Maria Langoyo Menasanch, Ramon Costa Castelló

Diseño de dispositivo auxiliar de rehabilitación de mano 53
Jorge Antonio Díez Pomares, Francisco J. Badesa, Ricardo Morales, Jose Maria Sabater Navarro, Nicolas Garcia Aracil, Luis Daniel Lledó

Algoritmo de Navegación Autónoma basado en una Arquitectura Distribuida 54
Ángel Soriano, Marina Vallés, Ángel Valera, Pedro Albertos

MODOS ASUMIDOS Y ELEMENTOS FINITOS: COMPARATIVA DE MODELOS PARA ROBOTS FLEXIBLES 55
Pablo Bengoa, Asier Zubizarreta, Aitziber Mancisidor, Itziar Cabanes, Eva Portillo

DISENÌƒO Y CONSTRUCCIOÌN DE UNA PLATAFORMA AEÌREA PARA LA CAPTACIOÌN DE INFORMACIOÌN TOPOGRAÌFICA 56
Juan Antonio Rodriguez-Haro, Jose Carlos Moreno, Jose Luis Guzman, Fernando Aguilar, Yolanda CantÓn

CONTROL OF OSCILLATING WATER COLUMN (OWC) WAVE ENERGY PLANTS 57
Aitor J. Garrido, Mikel Alberdi, Izaskun Garrido, Modesto Amundarain

MODELADO MULTIBODY Y VALIDACIÓN DE UN VEHÍCULO 58
Sara Mata, Asier Zubizarreta, Charles Pinto, Javier Corral, Itziar Cabanes

DISEÑO DE UN DISPOSITIVO NEUMATICO PARA REHABILITACION DE MANO MEDIANTE FUNDA TERMORETRACTIL 59
Yalena Narváez, Oscar Andrés Vivas, Samara Catalina Enriquez, Jose Maria Sabater-Navarro, Nicolas Garcia, Alvaro Martínez

Reconstrucción 3D de racimos de uva basada en estéreo-visión 60
Carlos Alberto Molina Toscano, Antonio José Sánchez Salmerón, Eugenio Ivorra Martínez

CONVERSIÓN DE UN ROBOT MÓVIL DE CADENAS EN VEHÍCULO HÍBRIDO ELÉCTRICO 61
Javier Valbuena, Jesús Morales, Anthony Mandow, Jorge L. Martínez, Alfonso García-Cerezo

CRITERIOS PARA RESOLUCIÓN DE REDUNDANCIA EN CONTROL VISUAL DIRECTO DE MANIPULADORES 62
Javier Perez, Jorge Pomares, Gabriel J. Garcia, Carlos A. Jara, Fernando Torres

EQUIPO PARA PRÁCTICAS DE FUNDAMENTOS DE AUTOMÁTICA 63
Alfonso V. Poncela Méndez, Eduardo J. Moya de La Torre, F. Javier García Ruíz

Diseño de un regulador Fuzzy para planta de laboratorio 64
José Luis Casteleiro-Roca, José Luis Calvo-Rolle, Matilde Santos

CONTROL DE RELOJ DE TORRE CON ARDUINO 65
F. Javier García Ruíz, Eduardo J. Moya de La Torre, Alfonso V. Poncela Méndez

Reconfiguración de sistemas de control basado en multiagentes 66
Rafael Priego, Unai Gangoiti, Darío Orive, Marga Marcos

Control de balanceo de carga de un grupo de servidores de red 67
Miquel Talavera-Foix, Carolina Albea

IMPLEMENTACIÓN DE UNA MAQUETA DE CONTROL BILATERAL DE 1 GDL CON ARDUINO PARA TELERROBÓTICA 68
Adrián Peidró Vidal, Juan José Rodríguez Gil, José María Azorín Poveda, Oscar Reinoso García

ARQUITECTURA ABIERTA DE CONTROL VISUAL DIRECTO SOBRE FPGA 69
Aiman Alabdo, Gabriel J. Garcia, Jorge Pomares, Fernando Torres

PROTOTIPO DE ROBOT DE SERVICIO PARA GUIADO DE PERSONAS POR VISIÓN. 70
Abel Martínez, Houcine Hassan, Carlos Domínguez, Pedro López

A segmentation approach for evaluating wear of inserts in milling machines with computer vision techniques 71
Guillermo Martínez-San-Martín, Laura Fernández-Robles, Enrique Alegre, Oscar García-Olalla

Optimización de la producción de biomasa en fotobiorreactores tubulares 72
Gustavo Andrade, Daniel Pagano, José Luis Guzmán, Manuel Berenguel

Avances recientes en manipulación subacuática en el subproyecto GRASPER 73
Antonio Peñalver, Jose J. Fernández, Javier Pérez, Jorge Sales, Juan C. García, David Fornas, Raul Marín, Pedro J. Sanz

Printbots: un gran paso hacia adelante 74
Leopoldo Armesto, Andrés Conejero, Miguel Fernández, Pedro Fuentes, David Perry, Enrique Martínez, Vicente Marhuenda, Carles Igual, Carlos De La Fuente, Oihan Elesgaray

TRANSFERENCIA DE COMPORTAMIENTOS DE NAVEGACION HUMANA A UN PLANIFICADOR LOCAL DE ROBOTS 75
Rafael Ramón-Vigo, Noé Pérez-Higueras, Luis Merino, Fernando Caballero

DESARROLLO METODOLÓGICO DE SISTEMAS DE CONTROL APLICANDO INGENIERÍA CONDUCIDA POR MODELOS 76
Maria Luz Alvarez, Arantzazu Burgos, Maria Isabel Sarachaga, Elisabet Estévez, Marga Marcos

Plataforma para la implementación y validación de algoritmos de control de tiempo real en mini-helicópteros de varios rotores 77
Luis Ródenas, Ricardo Sanz, Pablo Albiol, Alberto Castillo, Daniel Verdú, Pedro García

PLATAFORMA PARA LA FORMACIÓN PRÁCTICA INDIVIDUALIZADA EN FUNDAMENTOS DE CONTROL AUTOMÁTICO 78
Carlos Sánchez Cazorla, David Muñoz de La Peña, Fabio Gómez-Estern

Primeros resultados de un control genético predictivo sobre maqueta de helicóptero (twinrotor) 79
Asier Gutierrez, Eloy Irigoyen, Ekaitz Larzabal, Juan José Valera, Mikel Larrea

MODELADO DE MOTORES USM PARA ROBOTICA DE REHABILITACION 80
Dorin Sabin Copaci, Antonio Flores Caballero, Fernando Martin Monar, Dolores Blanco

SEMANTIC ENVIRONMENT FORMALIZATION FOR MOBILE ROBOTS NAVIGATION 81
Eduardo Munera Sánchez, Juan-Luis Posadas-Yagüe, Jose-Luis Poza-Luján, Jose E. Simó Ten, J. Francisco Blanes Noguera

Seguimiento de caminos para formaciones de vehículos marinos de superficie 82
Jesus M. de La Cruz Garcia, José A. López-Orozco, Eva Besada-Portas, David Moreno Salinas, Joaquin Aranda Almansa

SIMULACION DE LA MANO HUMANA MEDIANTE MATLAB/SIMMECHANICS 83
Dorin Sabin Copaci, Juan Carlos Garcia Pozo, Antonio Flores Caballero, Dolores Blanco

Mejora de la localizaciónn de un cuadricóptero mediante la fusión de su sistema de metrología y un GPS 84
José Luis Racero Robles, Santiago Sastre, Alejandro Vignoni, Sergio García-Nieto, Jesús Picó

Optimización en dos etapas para la gestión energética en edificios 85
Jorn K. Gruber, Francisco Huerta, Pablo Matatagui, Milan Prodanovic

SOFTWARE PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE CREACIÓN DE MAPAS Y LOCALIZACIÓN VISUAL DE UN ROBOT MÓVIL 86
Luis Paya, Francisco Amoros, Arturo Gil, Lorenzo Fernandez, Oscar Reinoso

CPWalker - Plataforma robótica para la rehabilitación y el entrenamiento de la marcha en pacientes con Parálisis Cerebral 87
Rafael Raya, Óscar Ramírez, María Dolores Del Castillo, José Ignacio Serrano, Angel Iglesias, Ramón Ceres, Eduardo Rocon, Fernando Mollá, Juan Manuel Belda, Rakel Poveda, Amparo López, Ignacio Martínez, Sergio Lerma, Teresa Martín

Control Supervisor para el Control De Sistemas de Fabricación Reconfigurables 88
Francisco Javier Lastra Santos, Jesús Ángel Trujillo Medina, Elías Revestido Herrero, José Ramón Llata García, Francisco Jesús Velasco González

Navegación local de un robot móvil con costes sociales aprendidos por demostración 89
Noé Pérez-Higueras, Rafael Ramón-Vigo, Fernando Caballero, Luis Merino

CONTROLADOR RESETEADO DE DESLIZAMIENTO DE RUEDAS PARA SISTEMAS DE FRENADO 90
Emma Delgado, Antonio Barreiro, Miguel Díaz-Cacho, Pablo Falcón

GENERACIÓN Y REPRODUCCIÓN DE SOMBRAS EN TIEMPO REAL EN EASY JAVA SIMULATIONS 91
Francisco J. García, Carlos A. Jara, Francisco A. Candelas, Fernando Torres, Francisco Esquembre

Planificación de rutas para la cobertura de un área en tiempo mínimo mediante un sistema Multi-UAV 92
Ernesto Santana, Romualdo Moreno, Miquel Piera

Diseño de control no lineal para regulación de tasa de crecimiento en cultivos multi-sustrato 93
Sebastián Nuñez, Fabricio Garelli, Hernán De Battista, Jesús Picó

Localización de objetos 3D con ambigüedad de vista en tareas de guiado robótico 94
Carlos M. Mateo, Pablo Gil, Fernando Torres

INTEGRACIÓN DE RECONOCIMIENTO DE ESCENAS Y LOCALIZACIÓN BASADA EN MONTE CARLO 95
Javier Perez, Fernando Caballero, Luis Merino

DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DE CONTROL DISTRIBUIDO EN ROBOTS MÓVILES SOBRE EL MIDDLEWARE DEL NÚCLEO DE CONTROL 96
Josep Tormo, Raúl Simarro Fernández, Eduardo Munera, José E. Simó Ten, Juan-Luis Posadas-Yagüe

ENFOQUE UNIFICADO DEL DISEÑO DE PID MEDIANTE EL LUGAR DE LAS RAÍCES Y EN FRECUENCIA 97
Roberto Sanchis Llopis, Ignacio Peñarrocha Alós, Julio Ariel Romero Pérez

HERRAMIENTA DE SIMULACION PARA EL DESARROLLO DE EXOESQUELETOS BASADA EN MATLAB-SIMULINK 98
Dorin Sabin Copaci, Antonio Flores Caballero, Dolores Blanco, Luis Moreno

Reconstrucción cinemática del brazo humano mediante matrices de transformación 99
José María Catalán Orts, Ricardo Morales Vidal, Luis Daniel Lledó, José María Sabater Navarro, Nicolás García Aracil, Jorge Antonio Díez

Diseño e implementación de una plataforma experimental para el control de vuelo, gestión y visualización de datos de UAVs 100
Santiago Sastre, José Luis Racero Robles, Alejandro Vignoni, Sergio García-Nieto, Jesús Picó

Configuración y ejecución de benchmarks de intervención robótica submarina en UWSim mediante herramientas Web 101
Javier Pérez Soler, Jorge Sales, Raul Marín, Enric Cervera, Pedro J. Sanz

SISTEMA DE CONTROL DE HELICÓPTEROS MEDIANTE FIJACIÓN POR CABLE PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO DE LAS VARIACIONES DE LA GUIÑADA EN VUELO ESTACIONARIO 102
Álvaro Caballero, Manuel Béjar, Aníbal Ollero

AJUSTE DE CONTROLADORES PID BASADOS EN EVENTOS POR CUANTIFICACIÓN Y CRUCE DE NIVELES 103
Julio Ariel Romero, Roberto Sanchis Llopis, Ignacio Peñarrocha

Diseño e Implementación de un Sistema de Control de Entorno para Usuarios con Parálisis Cerebral 104
Miguel Velasco, Alejandro Clemotte, Rafael Raya, Ramón Ceres

ESTIMACIÓN DE PARAMETROS DE UN MODELO DE MANIOBRA NO LINEAL DE UN VEHÍCULO SUBACUÁTICO 105
Elías Revestido Herrero, Francisco Javier Lastra Santos, Francisco J. Velasco González, José María Riola Rodríguez, Juan Jesús Díaz Hernández, Luis Manuel Vega Antolín

Desarrollo de un sensor subacuático ultrasónico y RF para posicionamiento en tareas de manipulación robótica 106
Diego Centelles, Jorge Sales, Raul Marín, Jose Vte. Martí, David Fornas, Pedro J Sanz

SLAM VISUAL HÍBRIDO TOPOLÓGICO-MÉTRICO MEDIANTE MÉTODOS BASADOS EN LA APARIENCIA GLOBAL 107
Lorenzo Fernandez, Luis Paya, Arturo Gil, Adrian Peidro, Oscar Reinoso

NORMA IEC-61499 PARA EL CONTROL DISTRIBUIDO. APLICACIÓN AL CNC. 108
Esteban Querol, Julio A. Romero, Antonio M. Estruch, Fernando Romero

MPC tuning in a hierarchical control structure for a wastewater treatment process 109
Ignacio Santin, Carles Pedret, Ramon Vilanova

CONTROL JERÁRQUICO DE PLANTA COMPLETA DE UN CASO DE ESTUDIO DE CRISTALIZACIÓN DE AZÚCAR 110
Rogelio Mazaeda, Smaranda Cristea, César de Prada

Analysis of controller performance in wastewater treatment 111
Jean Carlos Malca, Ramon Vilanova

Entorno de desarrollo integrado para robots mini-humanoides basado en modelado por componentes 112
Félix R. Cañadillas, Marcos Arjonilla Viñaras, Alberto Jardón Huete

Métodos bio-inspirados en el control PID de un motor 113
Jacobo Sáenz Valiente, Matilde Santos Peñas

Diseño de una plataforma híbrida aéreo-terrestre para aplicaciones de inspección visual 114
Joan Pep Company, Alberto Ortiz

Algoritmo para particionado automático de sistemas con criticidad mixta 115
Emilio Salazar, Alejandro Alonso, Salvador Trujillo

ENFOQUE ESTRATÉGICO PARA EL PROBLEMA PEG-IN-HOLE UTILIZANDO PRIMITIVAS DE MOVIMIENTOS DINÁMICOS 116
Fares Abu-Dakka, Mohamed Abderrahim

Gliif: Beyond QR Codes 117
Oscar Deniz Suarez, Jose M. Gutierrez, Jesus Salido, Gloria Bueno, Alan Bologlu

VERIFICACION Y VALIDACION DE SISTEMAS DE CONTROL DE VUELO PARA MAV-VTOL BASADAS EN MATLAB STATEFLOW 118
Pablo Rodriguez Diaz, Jesús G. Villagómez, Manuel Vargas Villanueva, Francisco R. Rubio

SENSORY PROCESSING OPTIMIZATION IN A SMART DEVICE 119
Jose-Luis Jimenez-Garcia, Jose-Luis Poza-Luján, Eduardo Munera Sanchez, Juan-Luis Posadas-YagÜe, Raul Simarro

CABEZA MECATRÓNICA CON INTELIGENCIA EMOCIONAL Y ARTIFICIAL 120
Sheila Lucero Sánchez López, Eduardo Zalama Casanova, Jaime Gómez García-Bermejo

CONSTRUCCIÓN DE MODELOS PARA LA DINÁMICA SINÁPTICA DE UN SISTEMA NEURONAL BASADOS EN REDES DE PETRI Y MÁQUINAS DE ESTADOS 121
Martin Bogdan, Karim El-Laithy, Juan Ignacio Latorre, Emilio Jimenez

ESTIMACIÓN MONOCULAR Y EFICIENTE DE LA POSE USANDO MODELOS 3D COMPLEJOS 122
Antonio Rubio Romano, Michael Villamizar, Luis Ferraz Colomina, Alberto Sanfeliu Cortés, Francesc Moreno Noguer, Adrián Peñate-Sánchez

Alternativas de biología sintética para el control de rutas metabólicas 123
Pavel Zach, Alejandro Vignoni, Daniel Georgiev, Jesús Picó

Uso de Simulink y Arduino para Prácticas de Robótica 124
Juan Gil Lozano, Antonio Muñoz Ramírez, Víctor Eugenio Torres López, Jesus Gomez

CONFIGURATION MODEL FOR CONTROL KERNEL MIDDLEWARE BASED APPLICATIONS 125
Jose L. Beltran, Lorena Calabuig, Eduardo Munera, Jose Simo, Jose-Luis Poza-Luján

NAVEGACIÓN REACTIVA EN ENTORNOS ESTRECHOS E INTRINCADOS 126
Javier Antich Tobaruela, Alberto Ortiz Rodríguez

Control de Movimientos mediante Bus EtherCAT y LinuxCNC 127
Ignacio Rosales González, Víctor Eugenio Torres López, Jesus Gomez

Survey on Progressive Image Compression, Transmission, its application in Underwater Intervention Missions 128
Eduardo Moscoso, Raul Marín, Jorge Sales, Pedro J. Sanz

MARCO PARA EL ANÁLISIS DE COLECTORES CILINDRO-PARABÓLICOS A PARTIR DE LA INFORMACIÓN 3D OBTENIDA CON ESCÁNERES LÁSER 129
Pilar Merchán, Santiago Salamanca, Antonio Adán, María José Gómez

Implementación de controladores PID y su Optimalidad en el espacio de objetivos 130
Helem Sanchez, Ramon Vilanova

MÉTODO DE LOCALIZACIÓN PRECISA DE PUPILAS EN IMÁGENES A COLOR 131
J. Enrique Sierra, Matilde Santos

Octree-Based Subsampling Criteria for Bathymetric SLAM 132
Albert Palomer, Pere Ridao Rodriguez, David Ribas Romagos, Guillem Vallicrosa

OPERACIOÌN OÌPTIMA DE LA PLANTA DE LOS 4 TANQUES 133
Mauricio Alva Howes, Alejandro García Delgado, Néstor García Hidalgo, Ramon Costa Castelló

Nonlinear Predictive Control for the Four-Tanks Plant Flow Regulation 134
Juan Acevedo, Julio Luna, Noè Rosanas

Estudio de escenarios de uso para un robot social asistencial para enfermos de Alzheimer 135
Miguel A. Salichs, Esther Salichs, Irene P. Encinar, Álvaro Castro-González, María Malfaz

Extrusor Multifilamento para Impresión 3D en Color 136
Víctor Andueza García, Jesús Manuel Gómez de Gabriel

Concurso en Ingeniería de Control 2014. Operación Óptima de la planta de 4 tanques. Control multivariable. 137
Alberto Pajares Ferrando, Francesc Xavier Blasco Ferragud

CONTROL PREDICTIVO PARA LA PLANIFICACIÓN DE PROCESOS POR LOTES EN LA INDUSTRÍA AZUCARERA 138
Alexander Rodriguez, Luis Felipe Acebes, Cesar De Prada, Rogelio Mazaeda

DETECCIÓN Y SEGUIMIENTO DE OBJETOS MÓVILES UTILIZANDO UN ESCÁNER LÁSER MEDIANTE FILTROS DE KALMAN 139
Marc Bosch Jorge, Angel Soriano, Ángel Valera, Antonio J. Sánchez Salmerón

Control of a Quadruple Tank Process using a Mixed Economic, Standard MPC 140
Adrià Soldevila, Julen Cayero, Jean Carlo Salazar, Damiano Rotondo, Vicenç Puig

PROPUESTA DE ONTOLOGÍA PARA EL CONTROL DE ENTORNOS EXTERIORES 141
Miguel Juan-Monter, Jose-Luis Jimenez-Garcia, Jose-Luis Poza-Luján, Eduardo Munera, Raúl Simarro Fernández

ESTIMACIÓN DE ALTURA EN APLICACIONES DE NAVEGACIÓN TOPOLÓGICAS MEDIANTE APARIENCIA GLOBAL DE INFORMACIÓN VISUAL

F. Amorós, L. Payá, D. Valiente, L.M. Jiménez, O. Reinoso
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática.
Universidad Miguel Hernández de Elche. Avda. de la Universidad s/n. 03202, Elche (Alicante), Spain
famoros@umh.es, lpaya@umh.es

Resumen

En este trabajo se presentan diferentes técnicas orientadas a la estimación de altura en aplicaciones de navegación visual. Todos los métodos descritos están basados en la apariencia global de las escenas. Las técnicas son analizadas usando nuestra propia base de imágenes, compuesta por un conjunto de escenas omnidireccionales capturadas en condiciones reales de iluminación, incluyendo distintas localizaciones y alturas. A partir de la información omnidireccional, usamos distintas representaciones de la escena, incluyendo las vistas panorámicas y ortográfica, y la proyección sobre la esfera unitaria. Los resultados experimentales demuestran la efectividad de los distintos métodos expuestos.

Palabras clave: Descriptor de apariencia global, navegación topológica, estimación de altura.

1. INTRODUCCIÓN

La riqueza de la información que los sistemas visuales proporcionan y las múltiples posibilidades de configuración que presentan los convierten en sensores muy utilizados en aplicaciones de robótica móvil. Entre las distintas posibilidades, nuestro trabajo se centra en visión omnidireccional. En la literatura es posible encontrar numerosos ejemplos que utilizan sistemas de visión omnidireccional en tareas de navegación, como [15].

Los trabajos clásicos de investigación en robótica móvil equipados con sensores visuales se centran en la extracción de características locales de las imágenes para obtener descriptores. Dichas marcas pueden ser naturales o artificiales. Como ejemplo, encontramos los descriptores SIFT [7] y SURF [2].

Por otro lado, también es posible encontrar técnicas que utilizan información visual en su conjunto para obtener descriptores. Estas técnicas, que utilizan la apariencia global visual, han demostrado buenos resultados en tareas de navegación 2D, tanto en localización como en estimación de la orientación. [5] y [11] incluyen algunos ejemplos.

Actualmente, los Vehículos Aéreos no Tripulados, más conocidos por sus siglas en inglés, UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*) se están convirtiendo en una plataforma de navegación muy popular en el campo de la robótica móvil. En este sentido, es posible encontrar en [10] y [14] distintos trabajos que estudian el movimiento y pose de este tipo de vehículos usando sistemas visuales.

El propósito de este artículo es extender el uso de los descriptores de apariencia global a aplicaciones donde la altitud del robot cambia. Para este propósito, suponemos que el UAV no varía su inclinación respecto del eje z, que se corresponde con la dirección perpendicular al plano del suelo. En particular, se estudia la capacidad de estimar la altura relativa entre dos escenas usando descriptores de apariencia global.

Los algoritmos presentados en este trabajo han sido probados usando nuestra propia base experimental, compuesta por distintas imágenes adquiridas con un sistema de visión catadióptrico, formado por un espejo hiperbólico y una cámara.

A partir de las escenas omnidireccionales, es posible obtener distintas proyecciones. Específicamente, en este trabajo se hace uso de la imagen panorámica, la vista ortográfica, y la proyección sobre la esfera unitaria. Los descriptores usados y las técnicas de estimación de la altura son dependientes de la proyección utilizada.

El resto del trabajo está estructurado de la siguiente forma: La sección 2 presenta los descriptores de apariencia global empleados para representar la información visual de forma compacta. La siguiente sección introduce las distintas técnicas usadas para estimar la altura relativa de dos imágenes adquiridas en un mismo punto del plano del suelo. En la sección 4 se describe la base de imágenes usada en la parte experimental. La sección 5 recoge los resultados experimentales, y por último, las principales conclusiones y trabajo futuro se presentan en la sección 6.

2. DESCRIPTORES DE APARIENCIA GLOBAL

En esta sección se describen tres técnicas para extraer la información más relevante de imágenes con el propósito de construir un descriptor. Todas ellas están

ISBN-13: 978-84-697-0589-6 © 2014 Comité Español de Automática de la IFAC (CEA-IFAC)

basadas en la apariencia global de las escenas. Los descriptores se obtienen procesando las imágenes en su conjunto, evitando la segmentación o extracción de puntos característicos de la escena.

Una propiedad común de todos estos descriptores es que, tras definir sus parámetros, se componen por un número de elementos fijo. La distancia imagen, que proporciona información de la similitud entre dos escenas distintas, queda definida en nuestro trabajo como la distancia Euclídea entre dos descriptores.

Específicamente, los tres descriptores se basan en la representación de la información visual en el dominio de la frecuencia, haciendo uso de la Transformada de Fourier.

2.1. TRANSFORMADA DE FOURIER

La Firma de Fourier se encuentra definida en [9]. En dicho trabajo se demuestra que es posible representar una imagen usando la Transformada Discreta de Fourier de cada una de las filas de la escena. Por tanto, la secuencia de valores $\{a_n\} = \{a_0, a_1, \ldots, a_{N-1}\}$ de cada fila de una imagen queda representada en el espacio de la frecuencia mediante la secuencia de números complejos $\{A_n\} = \{A_0, A_1, \ldots, A_{N-1}\}$:

$$\begin{aligned} \{A_n\} = \mathcal{F}[\{a_n\}] = \sum_{n=0}^{N-1} a_n e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}, \\ k = 0, \ldots, N-1. \end{aligned} \tag{1}$$

Aprovechando las propiedades de la Transformada de Fourier, utilizamos únicamente los primeros coeficientes de cada transformada para representar cada fila, ya que la información más relevante se concentra en los elementos asociados con las frecuencias más bajas. Además, cuando se se aplica sobre escenas panorámicas, el módulo de los coeficientes de la transformada son invariantes a cambios de la orientación del robot en el plano del suelo.

2.2. TRANSFORMADA DE FOURIER 2D

A partir de los valores discretos $f(x,y)$ de una imagen digital con N_y filas y N_x columnas, la Transformada de Fourier 2D se define como:

$$\begin{aligned} \mathcal{F}[f(x,y)] = F(u,v) = \\ = \frac{1}{N_y} \sum_{x=0}^{N_x-1} \sum_{y=0}^{N_y-1} f(x,y) e^{-2\pi j\left(\frac{ux}{N_x} + \frac{vy}{N_y}\right)}, \\ u = 0, \ldots, N_x-1, v = 0, \ldots, N_y-1. \end{aligned} \tag{2}$$

Los componentes de la transformada son números complejos, que pueden dividirse en dos matrices: una con los valores de su magnitud, y otra con los argumentos de cada valor complejo. La información más relevante se encuentra concentrada en las frecuencias más bajas. En este caso, el Teorema del Desplazamiento se define como:

$$\begin{aligned} \mathcal{F}[f(x-x_0, y-y_0)] = F(u,v) \cdot e^{-2\pi j\left(\frac{ux_0}{N_x} + \frac{vy_0}{N_y}\right)}, \\ u = 0, \ldots, N_x-1, v = 0, \ldots, N_y-1. \end{aligned} \tag{3}$$

La magnitud de los valores de la transformada de una imagen panorámica permanecen invariantes respecto de la orientación de captura de la escena. Cabe destacar que, es este caso, el argumento de los coeficientes de la transformada sufrirán variación tanto por desplazamiento de las filas, como por desplazamiento de las columnas de la imagen.

2.3. TRANSFORMADA ESFÉRICA DE FOURIER

Las información visual omnidireccional puede ser proyectada sobre una esfera de radio unidad. Consideramos $\theta \in [0, \pi]$ el ángulo de altitud, y $\phi \in [0, 2\pi)$ el ángulo acimut. La proyección de una imagen omnidireccional sobre la superficie esférica de dicha esfera puede ser expresada como función de estos dos ángulos, $f(\theta, \phi)$. En [6], sus autores demuestran que las funciones armónicas esféricas Y_{lm} forman una base ortonormal completa sobre la esfera unitaria. Cualquier función de cuadrado integrable definida sobre la esfera $f \in L^2(s^2)$ puede ser representada utilizando la expansión armónica esférica como:

$$f(\theta, \phi) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^{l} \widehat{f}_{lm} Y_{lm}(\theta, \phi), \tag{4}$$

con $l \in \mathbb{N}$ y $m \in \mathbb{Z}$, $|m| \leq l$. $\widehat{f}_{lm} \in \mathbb{C}$ denota los coeficientes armónicos esféricos, y Y_{lm} la función armónica esférica de grado l y orden m definida como:

$$Y_{lm}(\theta, \phi) = \sqrt{\frac{2l+1}{4\pi} \frac{(l-m)!}{(l+m)!}} P_l^m(\cos\theta) e^{im\theta}, \tag{5}$$

donde $P_l^m(x)$ son las funciones asociadas de Legendre.

3. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE ALTURA

En esta sección se detallan distintos métodos orientados a la obtención de estimadores de altura topológicos. Todas las técnicas incluidas proporcionan información de la dirección y magnitud del desplazamiento vertical topológico de un robot utilizando únicamente información visual. La información visual de la que se parte son escenas omnidireccionales, a partir de las cuales se extraen distintas proyecciones, que

ISBN-13: 978-84-697-0589-6 © 2014 Comité Español de Automática de la IFAC (CEA-IFAC)

varían según el método de estimación de altura. Con el propósito de calibrar el sistema visual y obtener las distintas proyecciones de las escenas, se ha usado la librería de Matlab *OCamCalib* [12].

3.1. CORRELACIÓN DE LA CELDA CENTRAL DE IMÁGENES PANORÁMICAS

En el campo de navegación visual, es posible encontrar numerosas referencias que utilizan imágenes panorámicas como información de partida, como por ejemplo [4].

En una imagen panorámica, la información más distintiva suele situarse en las filas centrales de la escena, especialmente en ambientes de exterior. Además, si se produce un cambio en la altura de la cámara, tanto hacia arriba como hacia abajo, esta área es la menos susceptible de caer fuera del ángulo de visión del sistema visual.

Tomando todo esto en cuenta, se propone una técnica que compare las filas central entre imágenes para obtener una medida de su altura relativa. Para ello, el algoritmo calcula el descriptor de una celda que incluye las filas centrales de una imagen, y repite este proceso para celdas situadas inmediatamente por encima y por debajo de la celda central. En la Figura 1 se representa un ejemplo de imagen panorámica y distintas celdas seleccionadas. La celda central está destacada con una linea de mayor grosor, y podemos apreciar las celdas adicionales.

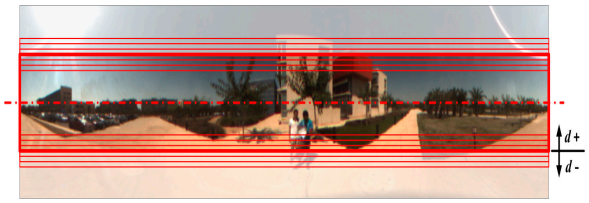


Figura 1: Celdas seleccionadas sobre la imagen panorámica.

Si llega una nueva imagen capturada en el mismo punto (x,y) del suelo, y queremos calcular su altura de forma relativa a la primera imagen, calculamos el descriptor de su celda central, y estimamos la distancia imagen entre esta celda y todas las celdas de la primera imagen.

Tras realizar todas las comparaciones, seleccionamos el caso que presenta una menor distancia imagen, ya que denota la mayor similitud entre escenas. La altura (d) asociada a la celda seleccionada de la primera imagen proporciona información del desplazamiento vertical relativo de ambas escenas. Esta distancia d, medida en píxeles, representa el estimador de altura relativa.

3.2. DESFASE VERTICAL DE LA FFT2D

Tal y como se comenta en la sección 2.2, la transformada de Fourier 2D nos permite detectar cambios en el orden de las filas y las columnas de una matriz de datos. Específicamente, como se muestra en la Ecuación 3, una rotación circular de las filas o columnas en la información original produce un cambio en la fase de los número complejo que forman la transformada de Fourier, mientras que su magnitud permanece invariante.

Cuando se trabaja con imágenes panorámicas, una rotación de la escena en el plano del suelo produce una rotación circular de sus columnas. Utilizando la información de fase de los componentes de la transformada de Fourier, es posible estimar el desfase angular entre dos imágenes capturadas en un mismo punto.

Nuestro propósito es extender esta propiedad a desplazamientos verticales. Sin embargo, no es posible hacerlo de forma directa. En una rotación en el plano del suelo, la información visual incluida en la escena no varía. Por el contrario, cuando el robot cambia su altura, no sólo se produce un desplazamiento vertical de la información visual, sino que varía el campo visual recogido por la cámara. De esta forma, se introduce nueva información al mismo tiempo que desaparecen filas de la imagen en las partes más bajas o altas de la imagen panorámica, por lo que no es exactamente una rotación circular de las filas de la imagen.

Además, si se produce un cambio en la orientación de la cámara en el plano del suelo al mismo tiempo que se varía su altura, los coeficientes de Fourier se ven afectados por ambos cambios. Este trabajo se centra en la estimación de altura, por lo que partimos de la suposición de que todas las imágenes panorámicas han sido capturadas con la misma orientación.

Para estimar el desfase vertical entre dos escenas capturadas en un mismo punto (x,y), se puede hacer uso de los coeficientes de fase de la transformada de Fourier. En concreto, usamos los valores de una submatriz con los primeros $N_F \times N_F$ elementos de fase, denotada como $ph(F_{N_F \times N_F})$.

Es posible simular el efecto de una rotación vertical en los coeficientes de Fourier. Siendo R la rotación vertical en grados, la submatriz de fases de los coeficientes rotados $ph(F_{N_F \times N_F})_R$ puede ser estimada como:

$$ph(F_{N_F \times N_F})_R = ph(F_{N_F \times N_F}) + R \cdot VRM \qquad (6)$$

siendo VRM la Matriz de Rotación Vertical (*Vertical Rotation Matrix*), que se define como:

ISBN-13: 978-84-697-0589-6 © 2014 Comité Español de Automática de la IFAC (CEA-IFAC)

$$VRM = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 2 & 2 & \cdots & 2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ N_F & N_F & \cdots & N_F \end{pmatrix}_{N_F \times N_F} \quad (7)$$

Dada una imagen de referencia, se realiza la estimación de $ph(F_{N_F \times N_F})_R$ para $R = [-180°, -180° + \Delta R, \ldots, 180°]$. En los experimentos, definimos $\Delta R = 0{,}5°$.

Cuando llega una nueva imagen capturada en el mimo punto (x,y) con altura desconocida, calculamos $ph(F_{N_F \times N_F})$ y comparamos los valores obtenidos con $ph(F_{N_F \times N_F})_R$ de la imagen de referencia.

El valor del coeficiente R para el cual se obtiene la mínima diferencia de los coeficientes de fase entre ambas imágenes denota el desplazamiento vertical entre ambas imágenes, y sirve como indicador topológico de altura.

3.3. ZOOM SOBRE LA VISTA ORTOGRÁFICA

Con esta técnica se propone usar zoom artificial sobre las escenas para medir el desplazamiento vertical del robot móvil. En [1], sus autores presentan un método para estimar la distancia topológica entre imágenes capturadas en una ruta a través del uso de zoom digital.

Sin embargo, no es posible aplicar este método usando directamente la escena omnidireccional, ya se basa en información visual perpendicular al movimiento del desplazamiento. En nuestro caso particular, como se estudia el movimiento en el eje z, haremos uso de la vista ortográfica (o vista de pájaro) de la escena. En [8] y [3] se encuentran trabajos previos que usan la proyección ortográfica de información omnidireccional en tareas de navegación robótica.

Para crear las distintas ampliaciones de la escena, se varía la distancia focal del plano donde se proyecta la vista de pájaro.

Tras obtener las diferentes proyecciones, necesitamos describir la escena. En este trabajo usaremos la Firma de Fourier y la transformada de Fourier 2D para obtener el descriptor de la imagen.

Para estimar la diferencia de alturas entre dos imágenes, utilizamos la distancia focal del plano de proyección. El proceso para llevar a cabo la estimación de la altura, es el siguiente: Primero, obtenemos la vista de pájaro a de la imagen de referencia utilizando diferentes distancias focales, y calculamos su descriptor. Cuando llega una nueva imagen capturada en el mismo punto del plano del suelo a altura desconocida, se obtiene una vista ortográfica de focal fija, y se obtiene su descriptor. Este descriptor se compara con los obtenidos usando las distintas ampliaciones de la imagen de referencia mediante la distancia Euclídea. Tras ello, se selecciona el caso que presenta la mínima distancia (es decir, la asociación que presenta más similitud). La diferencia de focales entre las proyecciones seleccionadas proporciona información de la altura relativa entre ambas escenas.

3.4. SISTEMA DE COORDENADAS DE REFERENCIA DE LA CÁMARA

Tal y como se muestra en [13], dada una imagen, es posible modificar el sistema de coordenadas de referencia de la cámara (CRS o *Camera Reference System*) usando la geometría epipolar, obteniendo de esta forma una nueva proyección de la imagen original que refleja el movimiento simulado del sistema de referencia de la cámara.

Para ello, primero se estiman las coordenadas de los píxeles de la imagen en el mundo real. Consideramos $m = [m_{x_{pix}}, m_{y_{pix}}]$ las coordenadas de los píxeles respecto el centro de la imagen omnidireccional. La calibración de la cámara nos permite obtener la dirección de incidencia de los rayos en la imagen. De esta forma, podemos obtener la proyección sobre la esfera unitaria $M \in \mathbb{R}^3$.

Obtenida esta representación tridimensional de la imagen, aplicamos el cambio del sistema de referencia:

$$M' = M + \rho \cdot T, \quad (8)$$

siendo T el vector desplazamiento unitario en el eje z, ($T = [0,0,1]^T$), y ρ un factor de escala proporcional al desplazamiento del CRS.

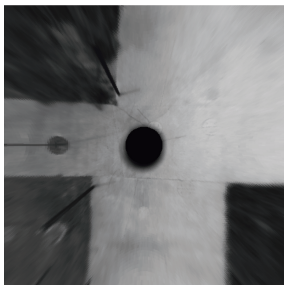
Una vez se han obtenido las nuevas coordenadas de la imagen M', es posible obtener las respectivas coordenadas de los píxeles de la imagen m'. Haciendo la asociación entre los valores de los píxeles de m con las nuevas coordenadas m', obtenemos la nueva imagen omnidireccional incluyendo el desplazamiento del CRS.

Debemos tener en cuenta que, al realizar la asociación de los valores de m y m', algunos de las coordenadas de los píxeles pueden caer fuera del marco de la imagen, y otros podrían carecer de valor de asociación. En este último caso, interpolamos los valores de los píxeles vecinos.

La diferencia de altitud utilizando esta técnica se representa por el factor de escala del desplazamiento unitario ρ.

Cabe destacar que, a partir de M', es posible obtener distintas representaciones de la escena. Específicamente, se obtienen tres representaciones distintas: la vista de pájaro, la imagen panorámica, y la proyección sobre la esfera unitaria. La Figura 2 incluye un ejemplo de cada proyección

ISBN-13: 978-84-697-0589-6 © 2014 Comité Español de Automática de la IFAC (CEA-IFAC)



(a) Vista ortográfica

(b) Proy. Esfera Unitaria

(c) Vista Panorámica

Figura 2: Distintas proyecciones de una misma imagen.

Tras obtener la nueva representación de la escena, es necesario recoger la información de la escena usando un descriptor. Usamos la Firma de Fourier y la Transformada de Fourier 2D para obtener descriptores de la vista de pájaro y la imagen panorámica, mientras que la transformada de Fourier Esférica es utilizada como técnica de descripción de la proyección sobre la esfera unitaria.

4. BASE DE IMÁGENES

Para poder comprobar el desempeño de las técnicas propuestas de estimación de altura, hemos capturado nuestra propia base de imágenes omnidireccionales en exterior. Para ello se ha hecho uso de un sistema catadióptrico compuesto por un espejo hiperbólico y una cámara con resolución 1280x960 píxeles. Dicha cámara ha sido acoplada a un trípode que permite un rango de altura de 165 cm.

Se han adquirido imágenes en 10 localizaciones distintas. En cada una de estas posiciones se han capturado 12 imágenes a diferentes alturas. La altura mínima es de 125 cm ($h = 1$), mientras que la altura máxima es de 290 cm ($h = 12$), con un paso entre alturas consecutivas de 15cm. La Figura 3 muestra dos ejemplos de imágenes de la base a distintas alturas capturadas en un mismo punto.

Por lo tanto, la base de imágenes está compuesta por 120 imágenes capturadas con condiciones reales de iluminación . No variamos la orientación de las imágenes entre distintas alturas, aunque han sido inevitables pequeñas rotaciones del sistema omnidireccional durante la captura.

La base incluye localizaciones cerca y lejos de edificios, jardines y zona de aparcamientos. También se varía la hora de captura para que las condiciones de iluminación sean distintas.

(a) Altura=125cm($h = 0$)

(b) Altura=290cm($h = 12$)

Figura 3: Ejemplo de imágenes capturadas a dos alturas distintas en la misma localización.

5. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

En esta sección se muestran los resultados experimentales de los métodos de estimación de altura relativa presentados en la sección 3. La combinación de los distintos métodos de estimación de altura y descriptores proporcionan 10 posibilidades diferentes. El cuadro 1 muestra un resumen de las distintas representaciones de la información omnidireccional, el descriptor empleado, y la técnica para estimación de la altura.

Se han planteado dos experimentos distintos. En el primero, estimamos la altura de las imágenes tomando como referencia la escena situada en la altura inferior ($h = 1$) de cada localización.

El segundo experimento es análogo al primero, pero cambia la altura de la imagen de referencia. En este caso, corresponde con $h = 5$ (185 cm), disponiendo así de imágenes de test tanto encima como debajo de la escena de referencia.

En la Figura 4 se recogen los resultados de los experimentos, mostrando la media y la desviación típica de todas las alturas para las 10 localizaciones tomando como referencia las escenas situadas a $h = 1$ y $h = 5$.

En las gráficas que recogen los resultados de ambos experimentos podemos comprobar que el valor medio de los distintos estimadores presentan una tendencia monotónica creciente conforme crece la diferencia de altura de las imágenes comparadas, con excepción del Desfase Vertical usando la FFT 2D para diferencias de altura superiores a $h = 8$ (230 cm). Esto nos permite obtener una estimación topológica de la diferencia de altura entre las escenas comparadas.

En general, la desviación estándar crece conforme aumenta la distancia de la imagen de test con la de referencia, mostrando que las técnicas son menos fiables conforme aumenta el rango de alturas. Los métodos basados en la vista ortográfica (independientemente que usen zoom o el cambio del CRS de la cámara), presentan mayor precisión en las alturas más altas al tener una menor desviación en las estimaciones. Por contra, las técnicas que usan la vista panorámica muestran los

ISBN-13: 978-84-697-0589-6 © 2014 Comité Español de Automática de la IFAC (CEA-IFAC)

Cuadro 1: Resumen de métodos de estimación de altura junto con las distintas representaciones de la información omnidireccional, el descriptor empleado y el indicador de cambio de altura.

Método Estimación Altura	Representación de la Escena	Descriptor	Param. Desc.	Indicador
Correlación Celda Central Imagen Panorámica	Imagen Panorámica	Firma Fourier	$N_{fila} = 32$	Píxeles (d)
		FFT 2D	$N = 64$	Píxeles (d)
Desfase Vertical FFT2D	Imagen Panorámica	FFT 2D Sig.	$N = 64$	$R(^{o})$
Análisis Multiescala	Vista Ortográfica	Firma Fourier	$N_{fila} = 32$	Δfc
		FFT 2D	$N = 64$	Δfc
Movimiento Sistema Referencia de Cámara	Imagen Panorámica	Firma Fourier	$N_{fila} = 32$	ρ
		FFT 2D	$N = 64$	ρ
	Vista Ortográfica	Firma Fourier	$N_{fila} = 32$	ρ
		FFT 2D	$N = 64$	ρ
	Proyección Esfera Unitaria	SFT	$L_{max} = 64$	ρ

peores resultados.

Considerando los resultados del segundo experimento (mostrados en verde), si la imagen de test está por debajo de la de referencia, todos los indicadores presentan signo negativo. Esto permite determinar la dirección del movimiento vertical. Sin embargo, la técnica que utiliza la fase vertical de la transformada FFT 2D puede presentar resultados negativos aunque la dirección de desplazamiento sea positivo (Fig. 4(c)).

Cuando simulamos el movimiento del sistema de coordenadas de referencia (CRS) de la cámara, descrito en la ecuación Ecuación 8 (sección 3.4), se aplica el mismo desplazamiento a todos los rayos, independientemente de la distancia del objeto respecto de la cámara. Sin embargo, cuando variamos la altura de la cámara en el mundo real, los objetos recogidos por el sensor varían su posición en la imagen dependiendo en su posición relativa con la cámara. Así pues, al variar la altura del sistema catadióptrico, la proyección de los objetos que están lejos de la cámara sufren menos variación en la imagen que aquellos que están más próximos.

Este hecho afecta particularmente a la imagen panorámica y a la proyección sobre la esfera unitaria, ya que tienen un visual amplio que suele recoger objetos situados a distintas distancias del sistema catadióptrico. Por el contrario, la vista de pájaro recoge la información de los ángulos inferiores, que suelen corresponder con el plano del suelo, donde los objetos están situados a una distancia similar. A pesar de ello, el funcionamiento de todos los métodos basados en el desplazamiento del CRS de la cámara es aceptable hasta desfases de altura de 45 cm ($\Delta h = 3$), aunque la vista ortográfica muestra mejores resultados que en el caso de las otras dos proyecciones.

Respecto a los descriptores utilizados, la Firma de Fourier presenta mejores resultados que Fourier 2D, siendo la diferencia especialmente notable en el método basado en la Correlación de la Celda Central (Fig. 4(a) y Fig. 4(b)).

Los resultados experimentales también muestran que la Transformada Esférica de Fourier proporciona un estimador con menor varianza en los resultados que la Firma de Fourier y la FFT 2D utilizando el desplazamiento CRS de la cámara.

La estimación del desfase vertical usando la información de fase de la Transformada de Fourier 2D presenta los peores resultados. En la base de imágenes (sección 4), las imágenes pueden presentar pequeñas rotaciones en el plano del suelo. Estas rotaciones afectan directamente a la fase de los coeficientes de la transformada (Ecuación 3), y por tanto, afecta a la estimación del desfase vertical.

6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este trabajo se ha presentado una comparación de distintas técnicas de estimación de altura relativa aplicable a tareas de navegación de UAVs usando imágenes omnidireccionales. Todas las técnicas utilizan métodos de apariencia global para describir la información visual. Los experimentos incluidos utilizan nuestra propia base de imágenes, capturada en ambientes de exterior reales bajo distintas condiciones de iluminación.

Los resultados experimentales demuestran que todos los métodos propuestos son capaces de proporcionar una estimación de la altura relativa entre dos escenas capturadas en el mismo punto del plano del suelo para pequeños desfases de altura.

Las técnicas que utilizan la vista ortográfica presentan resultados con menor varianza, especialmente los basados en el desplazamiento del CRS de la cámara.

Respecto a los descriptores usados para comprimir la

ISBN-13: 978-84-697-0589-6 © 2014 Comité Español de Automática de la IFAC (CEA-IFAC)

información visual, la Firma de Fourier presenta un mejor comportamiento que la Transformada de Fourier 2D. La Transformada de Fourier Esférica es el único descriptor que permite estimar rotaciones en los tres ejes tridimensionales, aunque combinado con el método de estimación de altura basado en el movimiento del CRS de la cámara no permite obtener buena precisión en desplazamientos verticales superiores a 185 cm.

Todos los métodos propuestos lidian con las pequeñas rotaciones en el plano del suelo, excepto el desfase vertical utilizando la FFT 2D, pues es muy sensible a los cambios de fase de los coeficientes de la transformada de Fourier.

Los resultados obtenidos nos animan a continuar esta línea de trabajo, incluyendo el estudio de movimientos de 6 grados de libertad, o la construcción de mapas topológicos que incluyan variación de la altura del robot.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido apoyado por el gobierno español a través del proyecto DPI2010-15308 *Exploración Integrada de Entornos Mediante Robots Cooperativos para la Creación de Mapas 3D Visuales y Topológicos que Puedan ser Usados en Navegación con 6 Grados de Libertad*.

Referencias

[1] Amorós, F., Payá, L., Reinoso, Ó., Mayol-Cuevas, W., Calway, A., (2013) "Topological map building and path estimation using global-appearance image descriptors". *ICINCO 2013, Proceedings of the 10th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*. pp. 385–392

[2] Bay, H., Tuytelaars, T., Gool, L., (2006) "SURF: Speeded up robust features". *Computer Vision at ECCV 2006*. 3951, pp. 404–417

[3] Bonev, B., Cazorla, M., Escolano, F., (2007) "Robot navigation behaviors based on omnidirectional vision and information theory". *Journal of physical agents*. 1, pp. 27–36

[4] Briggs, A.J., Detweiler, C., Mullen, P.C., Scharstein, D., (2004) "Scale-space features in 1D omnidirectional images". *Omnivis 2004, Workshop on Omnidirectional Vision, Camera Networks and Non-classical cameras*. pp. 115–126

[5] Chang, C.K., Siagian, C., Itti, L., (2010) "Mobile robot vision navigation and localization using GIST and saliency". *IROS 2010, Int. Conf on Intelligent Robots and Systems*. pp. 4147–4154

[6] Driscoll, J.R., Healy, D.M., (1994) "Computing Fourier transforms and convolyutions on the 2-sphere". *Advances in applied mathematics*. 15, pp. 202–250

[7] Lowe, D.G., (1999) "Object recognition from local scale-invariant features". *ICCV 1999, Int. Conf. on Computer Vision*. 2, pp. 1150–1157

[8] Maohai, L., Han, W., Lining, S., Zesu, C., (2013) "Robust omnidirectional mobile robot topological navigation system using omnidirectional vision". *Engineering applications of artificial intelligence*. 26, pp. 1942–1952

[9] Menegatti, E., Maeda, T., Ishiguro, H., (2004) "Image-based memory for robot navigation using properties of omnidirectional images". *Robotics and Autonomous Systems*. 47, pp. 251–267

[10] Mondragon, I.F., Olivares-Méndez, M.A., Campoy, P., Martínez, C., Mejias, L., (2010) "Unmanned aerial vehicles UAVs attitude, height, motion estimation and control using visual systems". *Autonomous Robots*. 29, pp. 17–34

[11] Paya, L., Fernandez, L., Gil, A., Reinoso, O., (2010) "Map building and Monte Carlo localization using global appearance of omnidirectional images". *Sensors* 10(12), 11468–11497

[12] Scaramuzza, D., Martinelli, A., Siegwart, R., (2006) "A flexible technique for accurate omnidirectional camera calibration and structure from motion". *ICVS 2006, Int. Conf. on Computer Vision Systems*. 45 pag.

[13] Valiente, D., Gil, A., Fernández, L., Reinoso, O., (2012) "View-based SLAM using omnidirectinal images". *ICINCO 2012, Proceedings of the International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*. pp. 48–57

[14] Wang, C., Wang, T., Liang, J., Chen, Y., Zhang, Y, Wang, C., (2012) "Monocular visual SLAM for smal UAVs in GPS-denied environments". *Robotics and Biomimetics (ROBIO)*. pp. 896–901

[15] Winters, N., Gaspar, J., Lacey, G., Santos-Victor, J., (2000) "Omni-directional vision for robot navigation". *IEEE Workshop on Omnidirectional Vision, 2000*. pp. 21–28

ISBN-13: 978-84-697-0589-6 © 2014 Comité Español de Automática de la IFAC (CEA-IFAC)

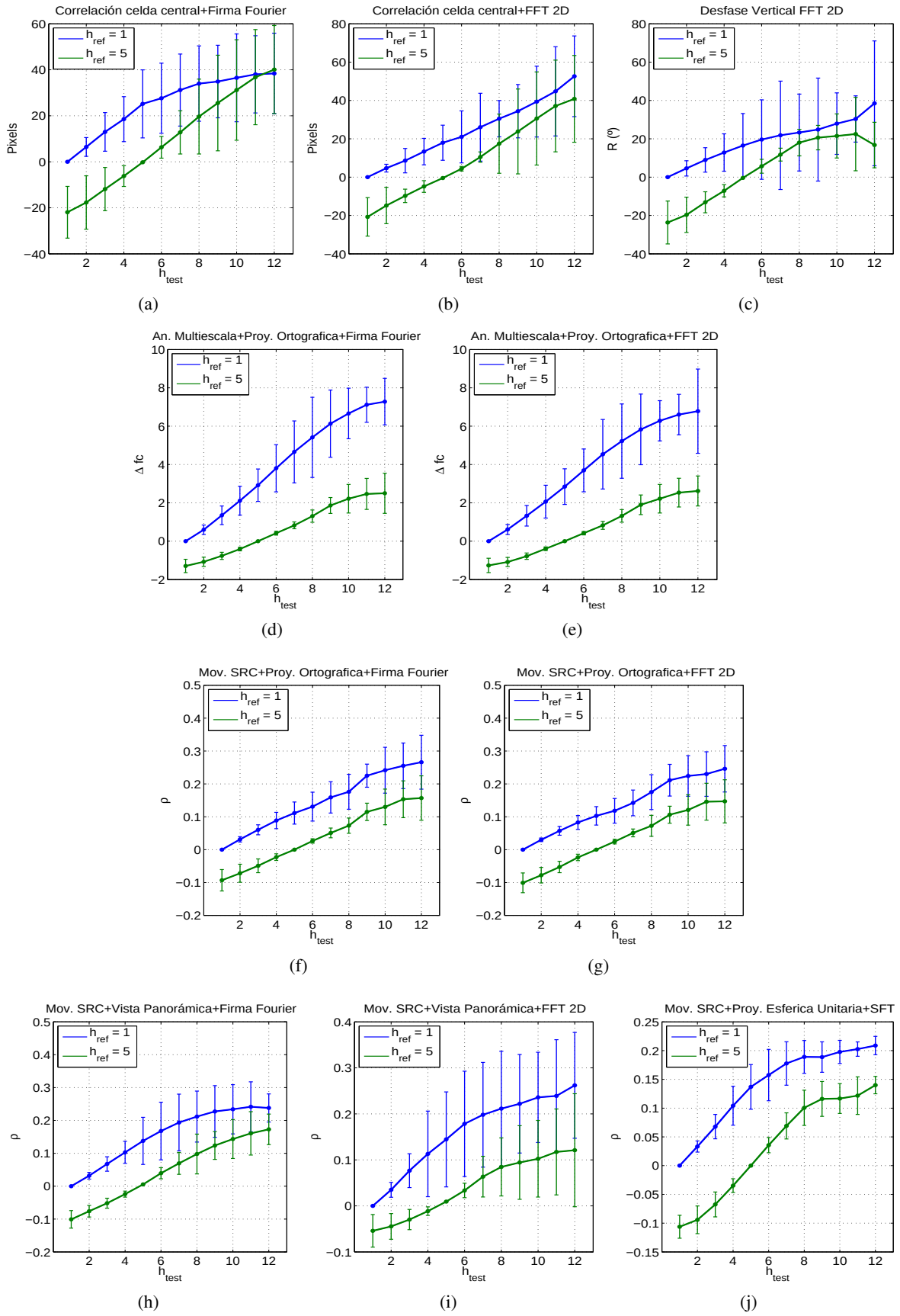


Figura 4: Resultados experimentales estimando la altura respecto a la imagen con altura $h = 1$ y $h = 5$. Media y desviación estándar de todas las localizaciones usando los distintos métodos.

ISBN-13: 978-84-697-0589-6 © 2014 Comité Español de Automática de la IFAC (CEA-IFAC)