

ACTAS

DE LAS

XXXVIII Jornadas de Automática

Gijón · Palacio de Congresos · 6, 7 y 8 de Septiembre de 2017



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo



CEA
Comité Español
de Automática

Colabora

Gijón

Convention Bureau

Actas de

XXXVIII

Jornadas de Automática

© 2017 Universidad de Oviedo
© Los autores

Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo
Campus de Humanidades. Edificio de Servicios. 33011 Oviedo (Asturias)
Tel. 985 10 95 03 Fax 985 10 95 07
[http: www.uniovi.es/publicaciones](http://www.uniovi.es/publicaciones)
servipub@uniovi.es

DL AS 2749-2017

ISBN: 978-84-16664-74-0

Todos los derechos reservados. De conformidad con lo dispuesto en la legislación vigente, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes reproduzcan o plagien, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, fijada en cualquier tipo y soporte, sin la preceptiva autorización.

Prefacio

Las *Jornadas de Automática* se celebran desde hace **40 años** en una universidad nacional facilitando el encuentro entre expertos en esta área en un foro que permite la puesta en común de las nuevas ideas y proyectos en desarrollo. Al mismo tiempo, propician la siempre necesaria colaboración entre investigadores del ámbito de la Ingeniería de Control y Automática, así como de campos afines, a la hora de abordar complejos proyectos de investigación multidisciplinares.

En esta ocasión, las Jornadas estarán organizadas por la Universidad de Oviedo y se han celebrado del 6 al 8 de septiembre de 2017 en el Palacio de Congresos de Gijón, colaborando tanto la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón (EPI) como el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica de Computadores y de Sistemas del que depende el Área de Ingeniería de Sistemas y Automática.

Además de las habituales actividades científicas y culturales, esta edición es muy especial al celebrarse el **50 aniversario de la creación de CEA**, Comité Español de Automática. Igualmente este año se conmemora el 60 aniversario de la Federación Internacional del Control Automático de la que depende CEA. Así se ha llevado a cabo la presentación del libro que se ha realizado bajo la coordinación de D. Sebastián Dormido, sobre la historia de la Automática en España en una sesión en la que han participado todos los ex-presidentes de CEA conjuntamente con el actual, D. Joseba Quevedo.

Igualmente hemos contado con la presencia de conferenciantes de prestigio para las sesiones plenarias, comunicaciones y ponencias orales en las reuniones de los 9 grupos temáticos, contribuciones en formato póster. Se ha celebrado también el concurso de CEABOT, así como una nueva Competición de Drones, con el ánimo de involucrar a más estudiantes de últimos cursos de Grado/Máster.

En el marco de las actividades culturales programadas se ha podido efectuar un recorrido en el casco antiguo situado en torno al Cerro de Santa Catalina y visitar la Laboral.

Gijón, septiembre de 2017

Hilario López
Presidente del Comité Organizador

Program Committee

Antonio Agudo	Institut de Robòtica i Informàtica Industrial
Rosa M Aguilar	University of La Laguna.
Luciano Alonso	University of Cantabria
Ignacio Álvarez García	Universidad de Oviedo
Antonio Javier Artuñedo García	Centre for Automation and Robotics (CSIC-UPM)
José M. Azorín	Miguel Hernandez University of Elche
Pedro Balaguer	Universitat Jaume I
Antonio Javier Barragán Piña	Universidad de Huelva
Alfonso Baños	Universidad de Murcia
Guillermo Bejarano	University of Seville
Gerardo Beruvides	Centro de Automática y Robótica
Carlos Bordons	University of Seville
Jose Manuel Bravo	University of Huelva
Jose Luis Calvo-Rolle	University of A Coruña
Fernando Castaño Romero	Centro de Automática y Robótica (UPM -CSIC)
José Luis Casteleiro-Roca	University of Coruña
Alvaro Castro-Gonzalez	Universidad Carlos III de Madrid
Ramon Costa-Castelló	Universitat Politècnica de Catalunya
Abel A. Cuadrado	University of Oviedo
Arturo De La Escalera	Universidad Carlos III de Madrid
Emma Delgado	Universidad de Vigo
Jose-Luis Diez	Universitat Politecnica de Valencia
Manuel Domínguez	Universidad de León
Juan Manuel Escaño	Universidad de Sevilla
Mario Francisco	University of Salamanca
Maria Jesus Fuente	Universidad de Valladolid
Juan Garrido	Universtiy of Cordoba
Antonio Giménez	Universidad de Almeria
Evelio Gonzalez	Universidad de La Laguna
José-Luis Guzmán	Universidad de Almería
Rodolfo Haber	Center for Automation and Robotics (UPM-CSIC)
César Ernesto Hernández	Universidad de Almería
Eloy Irigoyen	UPV/EHU
Agustin Jimenez	Universidad PolitÁcnica de Madrid
Emilio Jiménez	University of La Rioja
Jesus Lozano	Universidad de Extremadura
Jorge Luis Madrid	Centro de Automática y Robótica
Luis Magdalena	Universidad Politécnic de Madrid
David Martin Gomez	Universidad Carlos III de Madrid
Fernando Matia	Universidad Politecnica de Madrid
Joaquim Melendez	Universitat de Girona
Juan Mendez	Universidad de La Laguna
Luis Moreno	Universidad Carlos III de Madrid
María Dolores Moreno Rabel	Universidad de Extremadura
David Muñoz	Universidad de Sevilla
Antonio José Muñoz-Ramirez	Universidad de Málaga
Jose Luis Navarro	Universidad Politecnica de Valencia
Manuel G. Ortega	University of Seville
Andrzej Pawlowski	UNED
Mercedes Perez de La Parte	University of La Rioja
Ignacio Peñarrocha	Universitat Jaume I de Castelló, Spain
José Luis Pitarch	Universidad de Valladolid

Daniel Pérez	University of Oviedo
Emilio Pérez	Universitat Jaume I
Juan Pérez Oria	Universidad de Cantabria
MiguelÁngel Ridao	Universidad de Sevilla
Gregorio Sainz-Palmero	Universidad de Valladolid
Antonio Sala	Universitat Politecnica de Valencia
Ester Sales-Setién	Universitat Jaume I
Jose Sanchez	UNED
Javier Sanchis Saez	Universitat Politecnica de Valencia (UPV)
José Pedro Santos	ITEFI-CSIC
Matilde Santos	Universidad Complutense de Madrid
Alvaro Serna	University of Valladolid
José Enrique Simó	Universidad Politécnica de Valencia
José A. Somolinos	ETS I Navales. Universidad Politecnica de Madrid
Fernando Tadeo	Univ. of Valladolid
Alejandro Tapia	Universidad de Loyola Andalucía
David Tena	Universitat Jaume I
Jesús Torres	Universidad de La Laguna
Pedro M. Vallejo	Universidad de Salamanca
Guilherme Vianna	Universidad de Sevilla
Alejandro Vignoni	AI2 - UPV
Ramón Vilanova	UAB
Francisco Vázquez	Universidad de Cordoba
Jesús M. Zamarreño	University of Valladolid

Revisores Adicionales

Al-Kaff, Abdulla

Balbastre, Patricia
Beltrán de La Cita, Jorge
Bermudez-Cameo, Jesus
Blanco-Claraco, Jose-Luis
Blanes, Francisco
Bonin-Font, Francisco

Cancela, Brais

Ferraz, Luis

Garita, Cesar
Gimenez, Antonio
Gruber, Patrick
Guindel, Carlos

Hernandez Ruiz, Alejandro
Hernandez, Daniel

Jardón Huete, Alberto

López, Amable

Marin, Raul
Marín Plaza, Pablo
Mañanas, Miguel Angel
Morales, Rafael
Moreno, Francisco-Angel

Nuñez, Luis Ramón

Ponz Vila, Aurelio
Posadas-Yague, Juan-Luis
Poza-Luján, Jose-Luis
Pumarola, Albert

Raya, Rafael
Revestido Herrero, Elías
Rocon, Eduardo
Ruiz Sarmiento, José Raúl
Ruiz, Adria

Torres, Jose Luis

Vaquero, Victor

Table of Contents

Ingeniería de Control	
<hr/>	
TÚNEL DE AGUA PARA PRUEBAS Y CARACTERIZACIÓN DE DISEÑOS EXPERIMENTALES DE TURBINAS HIDROCINÉTICAS	1
<i>Eduardo Alvarez, Manuel Rico-Secades, Antonio Javier Calleja Rodríguez, Joaquín Fernández Francos, Aitor Fernández Jiménez, Mario Alvarez Fernández and Samuel Camba Fernández</i>	
Reduction of population variability in protein expression: A control engineering approach.	8
<i>Yadira Boada, Alejandro Vignoni and Jesús Picó</i>	
CONTROL ROBUSTO DEL PH EN FOTOBIORREACTORES MEDIANTE RECHAZO ACTIVO DE PERTURBACIONES	16
<i>José Carreño, Jose Luis Guzman, José Carlos Moreno and Rodolfo Villamizar</i>	
Control reset para maniobra de cambio de carril y validación con CarSim	23
<i>Miguel Cerdeira, Pablo Falcón, Antonio Barreiro, Emma Delgado and Miguel Díaz-Cacho</i>	
Maniobra de aterrizaje automática de una Cessna 172P modelada en FlightGear y controlada desde un programa en C	31
<i>Mario de La Rosa, Antonio Javier Gallego and Eduardo Fernández</i>	
Alternativas para el control de la red eléctrica aislada en parques eólicos marinos	38
<i>Carlos Díaz-Sanahuja, Ignacio Peñarrocha, Ricardo Vidal-Albalade and Ester Sales-Setién</i>	
CONTROL PREDICTIVO DISTRIBUIDO UTILIZANDO MODELOS DIFUSOS PARA LA NEGOCIACIÓN ENTRE AGENTES	46
<i>Lucía Fargallo, Silvana Roxani Revollar Chavez, Mario Francisco, Pastora Vega and Antonio Cembellín</i>	
Control Predictivo en el espacio de estados de un captador solar tipo Fresnel	54
<i>Antonio Javier Gallego, Mario de La Rosa and Eduardo Fernández</i>	
Control predictivo para la operación eficiente de una planta formada por un sistema de desalación solar y un invernadero	62
<i>Juan Diego Gil Vergel, Lidia Roca, Manuel Berenguel, Alba Ruiz Aguirre, Guillermo Zaragoza and Antonio Giménez</i>	
Depuración de Aguas Residuales en la Industria 4.0	70
<i>Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel, Ana María Jiménez Arévalo, Laura Eiroa Mateo and Fco. Javier Fernández-De-Cañete-Rodríguez</i>	
Control robusto con QFT del pH en un fotobioreactor raceway	77
<i>Ángeles Hoyo Sánchez, Jose Luis Guzman, Jose Carlos Moreno and Manuel Berenguel</i>	
Revisión sistemática de la literatura en ingeniería de sistemas. Caso práctico: técnicas de estimación distribuida de sistemas ciberfísicos	84
<i>Carmelina Ierardi, Luis Orihuela Espina, Isabel Jurado Flores, Álvaro Rodríguez Del Nozal and Alejandro Tapia Córdoba</i>	
Desarrollo de un Controlador Predictivo para Autómatas programables basado en la normativa IEC 61131-3	92
<i>Pablo Krupa, Daniel Limon and Teodoro Alamo</i>	
Diseño de un emulador de aerogenerador de velocidad variable DFIG y control de pitch ...	100
<i>Manuel Lara Ortiz, Juan Garrido Jurado and Francisco Vázquez Serrano</i>	

Observación de la fracción de agua líquida en pilas de combustible tipo PEM de cátodo abierto.....	108
<i>Julio Luna and Ramon Costa-Castelló</i>	
Control Predictivo Basado en Datos.....	115
<i>José María Manzano, Daniel Limón, Teodoro Álamo and Jan Peter Calliess</i>	
Control MPC basado en un modelo LTV para seguimiento de trayectoria con estabilidad garantizada.....	122
<i>Sara Mata, Asier Zubizarreta, Ione Nieva, Itziar Cabanes and Charles Pinto</i>	
Implementación y evaluación de controladores basados en eventos en la norma IEC-61499.	130
<i>Oscar Miguel-Escrig, Julio-Ariel Romero-Pérez and Esteban Querol-Dolz</i>	
AUTOMATIZACIÓN Y MONITORIZACIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE ENSAYO DE MOTORES.....	138
<i>Alfonso Poncela Méndez, Miguel Ochoa Vega, Eduardo J. Moya de La Torre and F. Javier García Ruíz</i>	
OPTIMIZACIÓN Y CONTROL EN CASCADA DE TEMPERATURA DE RECINTO MEDIANTE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.....	146
<i>David Rodríguez, José Enrique Alonso Alfaya, Guillermo Bejarano Pellicer and Manuel G. Ortega</i>	
Diseño LQ e implementación distribuida para la estimación de estado.....	154
<i>Álvaro Rodríguez Del Nozal, Luis Orihuela, Pablo Millán Gata, Carmelina Ierardi and Alejandro Tapia Córdoba</i>	
Estimación de fugas en un sistema industrial real mediante modelado por señales aditivas.	160
<i>Ester Sales-Setién, Ignacio Peñarrocha and David Tena</i>	
Advanced control based on MPC ideas for offshore hydrogen production.....	167
<i>Alvaro Serna, Fernando Tadeo and Julio. E Normey-Rico</i>	
Transfer function parameters estimation by symmetric send-on-delta sampling.....	174
<i>José Sánchez, María Guinaldo, Sebastián Dormido and Antonio Visioli</i>	
An Estimation Approach for Process Control based on Asymmetric Oscillations.....	181
<i>José Sánchez, María Guinaldo Losada, Sebastian Dormido, José Luis Fernández Marrón and Antonio Visioli</i>	
Robust PI controller for disturbance attenuation and its application for voltage regulation in islanded microgrid.....	189
<i>Ramon Vilanova, Carles Pedret and Orlando Arrieta</i>	
Infraestructura para explotación de datos de un simulador azucarero.....	197
<i>Jesús M. Zamarreño, Cristian Pablos, Alejandro Merino, L. Felipe Acebes and De Prada César</i>	
<hr/> Automar <hr/>	
INFRAESTRUCTURA PARA ESTUDIAR ADAPTABILIDAD Y TRANSPARENCIA EN EL CENTRO DE CONTROL VERSÁTIL.....	203
<i>Juan Antonio Bonache Seco, José Antonio Lopez Orozco, Eva Besada Portas and Jesús Manuel de La Cruz</i>	
ARQUITECTURA DE CONTROL HÍBRIDA PARA LA NAVEGACIÓN DE VEHÍCULOS SUBMARINOS NO TRIPULADOS.....	211
<i>Francisco J. Lastra, Jesús A. Trujillo, Francisco J. Velasco and Elías Revestido</i>	

Exploración y Reconstrucción 3D de Fondos Marinos Mediante AUVs y Sensores Acústicos	218
<i>Oscar L. Manrique Garcia, Mario Andrei Garzon Oviedo and Antonio Barrientos</i>	
AUTOMATIZACIÓN DE MANIOBRAS PARA UN TEC DE 2GdL	226
<i>Marina Pérez de La Portilla, José Andrés Somolinos Sánchez, Amable López Piñeiro, Rafael Morales Herrera and Eva Segura</i>	
MERBOTS PROJECT: OVERALL DESCRIPTION, MULTISENSORY AUTONOMOUS PERCEPTION AND GRASPING FOR UNDERWATER ROBOTICS INTERVENTIONS	232
<i>Pedro J. Sanz, Raul Marin, Antonio Peñalver, David Fornas and Diego Centelles</i>	
<hr/> Bioingeniería <hr/>	
MARCADORES CUADRADOS Y DEFORMACIÓN DE OBJETOS EN NAVEGACIÓN QUIRÚRGICA CON REALIDAD AUMENTADA	238
<i>Eliana Aguilar, Oscar Andres Vivas and Jose Maria Sabater-Navarro</i>	
Entrenamiento robótico de la marcha en pacientes con Parálisis Cerebral: definición de objetivos, propuesta de tratamiento e implementación clínica preliminar	244
<i>Cristina Bayón, Teresa Martín-Lorenzo, Beatriz Moral-Saiz, Óscar Ramírez, Álvaro Pérez-Somarriba, Sergio Lerma-Lara, Ignacio Martínez and Eduardo Rocon</i>	
PREDICCIÓN DE ACTIVIDADES DE LA VIDA DIARIA EN ENTORNOS INTELIGENTES PARA PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA	251
<i>Arturo Bertomeu-Motos, Santiago Ezquerro, Juan Antonio Barios, Luis Daniel Lledó, Francisco Javier Badesa and Nicolas Garcia-Aracil</i>	
Sistema de Visión Estereoscópico para el guiado de un Robot Quirúrgico en Operaciones de Cirugía Laparoscópica HALS.....	256
<i>Carlos Castedo Hernández, Rafael Estop Remacha, Eusebio de La Fuente López and Lidia Santos Del Blanco</i>	
Head movement assessment of cerebral palsy users with severe motor disorders when they control a computer thought eye movements.....	264
<i>Alejandro Clemotte, Miguel A. Velasco and Eduardo Rocon</i>	
Diseño de un sensor óptico de fuerza para exoesqueletos de mano.....	270
<i>Jorge Diez Pomares, Andrea Blanco Ivorra, José María Catalan Orts, Francisco Javier Badesa Clemente, José María Sabater and Nicolas Garcia Aracil</i>	
POSIBILIDADES DEL USO DE TRAMAS ARTIFICIALES DE IMAGEN MOTORA PARA UN BCI BASADO EN EEG	276
<i>Josep Dinarès-Ferran, Christoph Guger and Jordi Solé-Casals</i>	
EFFECTOS SOBRE LA ERD EN TAREAS DE CONTROL DE EXOESQUELETO DE MANO EMPLEANDO BCI.....	282
<i>Santiago Ezquerro, Juan Antonio Barios, Arturo Bertomeu-Motos, Luisa Lorente, Nuria Requena, Irene Delegido, Francisco Javier Badesa and Nicolas Garcia-Aracil</i>	
Formulación Topológica Adaptada para la Simulación y Control de Exoesqueletos Accionados con Transmisiones Harmonic Drive.....	288
<i>Andres Hidalgo Romero and Eduardo Rocon</i>	

Identificación de contracciones isométricas de la extremidad superior en pacientes con lesión medular incompleta mediante características espectrales de la electromiografía de alta densidad (HD-EMG)	296
<i>Mislav Jordanic, Mónica Rojas-Martínez, Joan Francesc Alonso, Carolina Migliorelli and Miguel Ángel Mañanas</i>	
Diseño de una plataforma para analizar el efecto de la estimulación mecánica aferente en el temblor de pacientes con temblor esencial	302
<i>Julio S. Lora, Roberto López, Jesús González de La Aleja and Eduardo Rocon</i>	
DEFINICIÓN DE UN PROTOCOLO PARA LA MEDIDA PRECISA DEL RANGO CERVICAL EMPLEANDO TECNOLOGÍA INERCIAL	308
<i>Álvaro Martín, Rafael Raya, Cristina Sánchez, Rodrigo Garcia-Carmona, Oscar Ramirez and Abraham Otero</i>	
SISTEMA BRAIN-COMPUTER INTEFACE DE NAVEGACIÓN WEB ORIENTADO A PERSONAS CON GRAVE DISCAPACIDAD.....	313
<i>Víctor Martínez-Cagigal, Javier Gómez-Pilar, Daniel Álvarez, Eduardo Santamaría-Vázquez and Roberto Hornero</i>	
ESTRATEGIAS DE NEUROESTIMULACIÓN TRANSCRANEAL POR CORRIENTE DIRECTA PARA MEJORA COGNITIVA	320
<i>Silvia Moreno Serrano, Mario Ortiz and José María Azorín Poveda</i>	
COMPARATIVA DE ALGORITMOS PARA LA DETECCIÓN ONLINE DE IMAGINACIÓN MOTORA DE LA MARCHA BASADO EN SEÑALES DE EEG	328
<i>Marisol Rodriguez-Ugarte, Irma Nayeli Angulo Sherman, Eduardo Iáñez and Jose M. Azorin</i>	
DETECCIÓN, MEDIANTE UN GUANTE SENSORIZADO, DE MOVIMIENTOS SELECCIONADOS EN UN SISTEMA ROBOTIZADO COLABORATIVO PARA HALS	334
<i>Lidia Santos, José Luis González, Eusebio de La Fuente, Juan Carlos Fraile and Javier Pérez Turiel</i>	
BIOSENSORES PARA CONTROL Y SEGUIMIENTO PATOLOGÍAS REUMATOIDES	340
<i>Amparo Tirado, Raúl Marín, José V Martí, Miguel Belmonte and Pedro Sanz</i>	
Assessment of tremor severity in patients with essential tremor using smartwatches	347
<i>Miguel A. Velasco, Roberto López-Blanco, Juan P. Romero, M. Dolores Del Castillo, J. Ignacio Serrano, Julián Benito-León and Eduardo Rocon</i>	
INTERFAZ CEREBRO-ORDENADOR PARA EL CONTROL DE UNA SILLA DE RUEDAS A TRAVÉS DE DOS PARADIGMAS DE NAVEGACIÓN	353
<i>Fernández-Rodríguez Álvaro, Velasco-Álvarez Francisco and Ricardo Ron-Angevin</i>	
<hr/>	
Control Inteligente	
<hr/>	
Aprendizaje por Refuerzo para sistemas lineales discretos con dinámica desconocida: Simulación y Aplicación a un Sistema Electromecánico	360
<i>Henry Diaz, Antonio Sala and Leopoldo Armesto</i>	
Diseño de sistemas de control en cascada clásico y borroso para el seguimiento de trayectorias	368
<i>Javier G. Gonzalez, Rodolfo Haber, Fernando Matia and Marcelino Novo</i>	

ANÁLISIS FORMAL DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS NO LINEALES MEDIANTE REDES NEURONALES.....	376
<i>Eloy Irigoyen, Mikel Larrea, A. Javier Barragán, Miguel Ángel Martínez and José Manuel Andújar</i>	
Predicción de la energía renovable proveniente del oleaje en las islas de Fuerteventura y Lanzarote.	384
<i>G.Nicolás Marichal, Deivis Avila, Ángela Hernández, Isidro Padrón and José Ángel Rodríguez</i>	
Aplicación de Redes Neuronales para la Estimación de la Resistencia al Avance en Buques	393
<i>Daniel Marón Blanco and Matilde Santos</i>	
Novel Fuzzy Torque Vectoring Controller for Electric Vehicles with per-wheel Motors	401
<i>Alberto Parra, Martín Dendaluze, Asier Zubizarreta and Joshué Pérez</i>	
REPOSTAJE EN TIERRA DE UN AVIÓN MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS .	408
<i>Elías Plaza and Matilde Santos</i>	
VISUALIZACIÓN WEB INTERACTIVA PARA EL ANÁLISIS DEL CHATTER EN LAMINACIÓN EN FRÍO.....	416
<i>Daniel Pérez López, Abel Alberto Cuadrado Vega and Ignacio Díaz Blanco</i>	
BANCADA PARA ANÁLISIS INTELIGENTE DE DATOS EN MONITORIZACIÓN DE SALUD ESTRUCTURAL.....	424
<i>Daniel Pérez López, Diego García Pérez, Ignacio Díaz Blanco and Abel Alberto Cuadrado Vega</i>	
CONTROL DE UN VEHÍCULO CUATRIRROTOR BASADO EN REDES NEURONALES.....	431
<i>Jesus Enrique Sierra and Matilde Santos</i>	
CONTROL PREDICTIVO FUZZY CON APLICACIÓN A LA DEPURACIÓN BIOLÓGICA DE FANGOS ACTIVADOS.....	437
<i>Pedro M. Vallejo Llamas and Pastora Vega Cruz</i>	
<hr/> Educación en Automática <hr/>	
REFLEXIONES SOBRE EL VALOR DOCENTE DE UNA COMPETICION DE DRONES EN LA EDUCACIÓN PARA EL CONTROL.....	445
<i>Ignacio Díaz Blanco, Alvaro Escanciano Urigüen, Antonio Robles Alvarez and Hilario López García</i>	
Uso del Haptic Paddle con aprendizaje basado en proyectos	451
<i>Juan M. Gandarias, Antonio José Muñoz-Ramírez and Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel</i>	
REPRESENTACION INTEGRADA DE ACCIONAMIENTOS MECANICOS Y CONTROL DE EJES ORIENTADA A LA COMUNICACIÓN Y DOCENCIA EN MECATRONICA	457
<i>Julio Garrido Campos, David Santos Esterán, Juan Sáez López and José Ignacio Armesto Quiroga</i>	
Construcción y modelado de un prototipo fan & plate para prácticas de control automático	465
<i>Cristina Lampon, Javier Martin, Ramon Costa-Castelló and Muppaneni Lokesh Chowdary</i>	

EDUCACION EN AUTOMATICA E INDUSTRIA 4.0 MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS 3D	471
<i>Jose Ramon Llata, Esther Gonzalez-Sarabia, Carlos Torre-Ferrero and Ramon Sancibrian</i>	
Desarrollo e implementación de un sistema de control en una planta piloto hibrida.....	479
<i>Maria P. Marcos, Cesar de Prada and Jose Luis Pitarch</i>	
LA INFORMÁTICA INDUSTRIAL EN LAS INGENIERÍAS INDUSTRIALES	486
<i>Rogelio Mazaeda, Eusebio de La Fuente López, José Luis González, Eduardo J. Moya de La Torre, Miguel Angel García Blanco, Javier García Ruiz, María Jesús de La Fuente Aparicio, Gregorio Sainz Palmero and Smaranda Cristea</i>	
Ventajas docentes de un flotador magnético para la experimentación de técnicas control ..	495
<i>Eduardo Montijano, Carlos Bernal, Carlos Sagües, Antonio Bono and Jesús Sergio Artal</i>	
PROGRAMACIÓN ATRACTIVA DE PLC	502
<i>Eduardo J. Moya de La Torre, F. Javier García Ruíz, Alfonso Poncela Méndez and Victor Barrio Lángara</i>	
MODERNIZACIÓN DE EQUIPO FEEDBACK MS-150 PARA EL APRENDIZAJE ACTIVO EN INGENIERÍA DE CONTROL	510
<i>Perfecto Reguera Acevedo, Miguel Ángel Prada Medrano, Antonio Morán Álvarez, Juan José Fuertes Martínez, Manuel Domínguez González and Serafín Alonso Castro</i>	
INNOVACIÓN PEDAGÓGICA EN LA FORMACIÓN DEL PERFIL PROFESIONAL PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL A TRAVÉS DE UNA APROXIMACIÓN HOLÍSTICA.	517
<i>Juan Carlos Ríos, Zaneta Babel, Daniel Martínez, José María Paredes, Luis Alonso, Pablo Hernández, Alejandro García, David Álvarez, Jorge Miranda, Constantino Manuel Valdés and Jesús Alonso</i>	
Aprendiendo Simulación de Eventos Discretos con JaamSim	522
<i>Enrique Teruel and Rosario Aragüés</i>	
RED NEURONAL AUTORREGRESIVA NO LINEAL CON ENTRADAS EXÓGENAS PARA LA PREDICCIÓN DEL ELECTROENCEFALOGRAMA FETAL...	528
<i>Rosa M Aguilar, Jesús Torres and Carlos Martín</i>	
ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MATERIA EN REACTORES RACEWAYS.....	534
<i>Marta Barceló, Jose Luis Guzman, Francisco Gabriel Acién, Ismael Martín and Jorge Antonio Sánchez</i>	
MODELADO DINÁMICO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE FRÍO VINCULADO A UN CICLO DE REFRIGERACIÓN	539
<i>Guillermo Bejarano Pellicer, José Joaquín Suffo, Manuel Vargas and Manuel G. Ortega</i>	
Predictor Intervalar basado en hiperplano soporte	547
<i>José Manuel Bravo Caro, Manuel Vasallo Vázquez, Emilian Cojocarú and Teodoro Alamo Cantarero</i>	
Dynamic simulation applied to refinery hydrogen networks	555
<i>Anibal Galan Prado, Cesar De Prada, Gloria Gutierrez, Rafael Gonzalez and Daniel Sarabia</i>	

APROXIMACIÓN DE MODELOS ALGEBRAICOS MEDIANTE ALAMO Y ECOSIMPRO	563
<i>Carlos Gómez Palacín, José Luis Pitarch, Gloria Gutiérrez and Cesar De Prada</i>	
A Causal Model to Analyze Aircraft Collision Avoidance Deadlock Scenarios	569
<i>Miquel Àngel Piera Eroles, Julia de Homdedeu, Maria Del Mar Tous, Thimjo Koca and Marko Radanovic</i>	
ONLINE DECISION SUPPORT FOR AN EVAPORATION NETWORK	575
<i>José Luis Pitarch, Marc Kalliski, Carlos Gómez Palacín, Christian Jasch and Cesar De Prada</i>	
Predicción de la irradiancia a partir de datos de satélite mediante deep learning	582
<i>Javier Pérez, Jorge Segarra-Tamarit, Hector Beltran, Carlos Ariño, José Carlos Alfonso Gil, Aleks Attanasio and Emilio Pérez</i>	
MODELO DINÁMICO ORIENTADO AL TRATAMIENTO Y SEGUIMIENTO DE LA LEUCEMIA MIELOIDE CRÓNICA	589
<i>Gabriel Pérez Rodríguez and Fernando Morilla</i>	
Modelado y optimización de la operación de un sistema de bombeo de múltiples depósitos	596
<i>Roberto Sanchis Llopis and Ignacio Peñarrocha</i>	
DEVELOPMENT OF A GREY MODEL FOR A MEDIUM DENSITY FIBREBOARD DRYER IN ECOSIMPRO	604
<i>Pedro Santos, Jose Luis Pitarch and César de Prada</i>	
DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE FALLOS MEDIANTE MONITORIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LAS FECHAS DE LIMPIEZA PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS	611
<i>Jorge Segarra-Tamarit, Emilio Pérez, Hector Beltran, Enrique Belenguer and José Luis Gandía</i>	
Modelado de micro-central hidráulica para el diseño de controladores con aplicación en regiones aisladas de Honduras	618
<i>Alejandro Tapia Córdoba, Pablo Millán Gata, Fabio Gómez-Estern Aguilar, Carmelina Ierardi and Álvaro Rodríguez Del Nozal</i>	
FRAMEWORK PARA EL MODELADO DE UN LAGO DE DATOS	626
<i>J.M Torres, R.M. Aguilar, C.A. Martin and S. Diaz</i>	
SIMULADOR CARDIOVASCULAR PARA ENSAYO DE ROBOTS DE NAVEGACION AUTONOMA	633
<i>José Emilio Traver, Juan Francisco Ortega Morán, Ines Tejado, J. Blas Pagador, Fei Sun, Raquel Pérez-Aloe, Blas M. Vinagre and F. Miguel Sánchez Margallo</i>	
PLANIFICACION DE LA PRODUCCION BASADA EN CONTROL PREDICTIVO PARA PLANTAS TERMOSOLARES	641
<i>Manuel Jesús Vasallo Vázquez, José Manuel Bravo Caro, Emilian Cojocarú and Manuel Emilio Gegundez Arias</i>	
Evaluación multicriterio para la optimización de redes de energía	649
<i>Ascensión Zafra Cabeza, Rafael Espinosa, Miguel Àngel Ridao Carlini and Carlos Bordóns Alba</i>	
Percibiendo el entorno en los robots sociales del RoboticsLab	657
<i>Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo Montoya, Àlvaro Castro-Gonzalez, Juan José Gamboa, Marcos Maroto Gómez, Sara Marqués Villaroya, Antonio J. Pérez Vidal and Miguel Àngel Salichs</i>	

DISEÑO DE UNA PRÓTESIS DE MANO ADAPTABLE AL CRECIMIENTO	664
<i>Marta Ayats and Raul Suarez</i>	
COOPERATIVISMO BIOINSPIRADO BASADO EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS HORMIGAS	672
<i>Brayan Bermudez, Kristel Novoa and Miguel Valbuena</i>	
PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN EXOESQUELETO DE MIEMBRO SUPERIOR PARA SOPORTE DE CARGAS	680
<i>Andrea Blanco Ivorra, Jorge Diez Pomares, David Lopez Perez, Francisco Javier Badesa Clemente, Miguel Ignacio Sanchez and Nicolas Garcia Aracil</i>	
Estructura de control en ROS y modos de marcha basados en máquinas de estados de un robot hexápodo	686
<i>Raúl Cebolla Arroyo, Jorge De Leon Rivas and Antonio Barrientos</i>	
USING AN UAV TO GUIDE THE TELEOPERATION OF A MOBILE MANIPULATOR	694
<i>Josep Arnau Claret and Luis Basañez</i>	
Estudio de los patrones de marcha para un robot hexápodo en tareas de búsqueda y rescate	701
<i>Jorge De León Rivas and Antonio Barrientos</i>	
SISTEMA DE INTERACCIÓN VISUAL PARA UN ROBOT SOCIAL	709
<i>Mario Domínguez López, Eduardo Zalama Casanova, Jaime Gómez García-Bermejo and Samuel Marcos Pablos</i>	
Mejora del Comportamiento Proxémico de un Robot Autónomo mediante Motores de Inteligencia Artificial Desarrollados para Plataformas de Videojuegos	717
<i>David Fernández Chaves, Javier Monroy and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	
Micrófonos de contacto: una alternativa para sensado táctil en robots sociales	724
<i>Juan José Gamboa, Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo, Marcos Maroto Gómez and Miguel A. Salichs</i>	
Clasificación de información táctil para la detección de personas	732
<i>Juan M. Gandarias, Jesús M. Gómez-De-Gabriel and Alfonso García-Cerezo</i>	
Planificación para interceptación de objetivos: Integración del Método Fast Marching y Risk-RRT	738
<i>David Alfredo Garzon Ramos, Mario Andrei Garzon Oviedo and Antonio Barrientos</i>	
ESTABILIZACIÓN DE UNA BOLA SOBRE UN PLANO UTILIZANDO UN ROBOT PARALELO 6-RSS	746
<i>Daniel González, Lluís Ros and Federico Thomas</i>	
TELEOPERACIÓN DE INSTRUMENTOS QUIRÚRGICOS ARTICULADOS	754
<i>Ana Gómez Delgado, Carlos Perez-Del-Pulgar, Antonio Reina Terol and Victor Muñoz Martinez</i>	
CONTROL OF A ROBOTIC ARM FOR TRANSPORTING OBJECTS BASED ON NEURO-FUZZY LEARNING VISUAL INFORMATION	760
<i>Juan Hernández Vicén, Santiago Martínez de La Casa Díaz and Carlos Balaguer</i>	
PLATAFORMA BASADA EN LA INTEGRACIÓN DE MATLAB Y ROS PARA LA DOCENCIA DE ROBÓTICA DE SERVICIO	766
<i>Carlos G. Juan, Jose Maria Vicente, Alvaro Garcia and Jose Maria Sabater-Navarro</i>	

Estimadores de fuerza y movimiento para el control de un robot de rehabilitación de extremidad superior.....	772
<i>Aitziber Mancisidor, Asier Zubizarreta, Itziar Cabanes, Pablo Bengoa and Asier Brull</i>	
Definiendo los elementos que constituyen un robot social portable de bajo coste	780
<i>Marcos Maroto Gómez, José Carlos Castillo, Fernando Alonso-Martín, Juan José Gamboa, Sara Marqués Villarroya and Miguel Ángel Salichs</i>	
Interfaces táctiles para Interacción Humano-Robot	787
<i>Sara Marqués Villarroya, Jose Carlos Castillo Montoya, Fernando Alonso Martín, Marcos Maroto Gómez, Juan José Gamboa and Miguel A. Salichs</i>	
HERRAMIENTAS DE ENTRENAMIENTO Y MONITORIZACIÓN PARA EL DESMINADO HUMANITARIO	793
<i>Hector Montes, Roemi Fernandez, Pablo Gonzalez de Santos and Manuel Armada</i>	
Control a Baja Velocidad de una Rueda con Motor de Accionamiento Directo mediante Ingeniería Basada en Modelos	799
<i>Antonio José Muñoz-Ramírez, Jesús Manuel Luque-Bedmar, Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel, Anthony Mandow, Javier Serón and Alfonso Garcia-Cerezo</i>	
SIMULACIÓN DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS USANDO V-REP BAJO ROS	806
<i>Cándido Otero Moreira, Enrique Paz Domonte, Rafael Sanz Dominguez, Joaquín López Fernández, Rafael Barea, Eduardo Romera, Eduardo Molinos, Roberto Arroyo, Luís Miguel Bergasa and Elena López</i>	
Cinemática y prototipado de un manipulador paralelo con centro de rotación remoto para robótica quirúrgica.....	814
<i>Francisco Pastor, Juan M. Gandarias and Jesús M. Gómez-De-Gabriel</i>	
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE SINGULARIDADES AISLADAS EN ROBOTS PARALELOS MEDIANTE DESARROLLOS DE TAYLOR DE SEGUNDO ORDEN.....	821
<i>Adrián Peidro Vidal, Óscar Reinoso, Arturo Gil, José María Marín and Luis Payá</i>	
INTERFAZ DE CONTROL PARA UN ROBOT MANIPULADOR MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL	829
<i>Elena Peña-Tapia, Juan Jesús Roldán, Mario Garzón, Andrés Martín-Barrio and Antonio Barrientos</i>	
Evolución de la robótica social y nuevas tendencias.....	836
<i>Antonio J. Pérez Vidal, Alvaro Castro-Gonzalez, Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo Montoya and Miguel A. Salichs</i>	
DISEÑO MECÁNICO DE UN ASISTENTE ROBÓTICO CAMARÓGRAFO CON APRENDIZAJE COGNITIVO	844
<i>Irene Rivas-Blanco, M Carmen López-Casado, Carlos Pérez-Del-Pulgar, Francisco García-Vacas, Víctor Fernando Muñoz, Enrique Bauzano and Juan Carlos Fraile</i>	
CÁLCULO DE FUERZAS DE CONTACTO PARA PRENSIONES BIMANUALES.....	852
<i>Francisco Abiud Rojas-De-Silva and Raul Suarez</i>	
Modelado del Contexto Geométrico para el Reconocimiento de Objetos.....	860
<i>José Raúl Ruiz Sarmiento, Cipriano Galindo and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	
Estimación Probabilística de Áreas de Emisión de Gases con un Robot Móvil Mediante la Integración Temporal de Observaciones de Gas y Viento	868
<i>Carlos Sanchez-Garrido, Javier Monroy and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	

MANIPULADOR AÉREO CON BRAZOS ANTROPOMÓRFICOS DE ARTICULACIONES FLEXIBLES	876
<i>Alejandro Suarez, Guillermo Heredia and Anibal Ollero</i>	
EVALUACIÓN DE UN ENTORNO DE TELEOPERACIÓN CON ROS	864
<i>David Vargas Frutos, Juan Carlos Ramos Martínez, José Luis Samper Escudero, Miguel Ángel Sánchez-Urán González and Manuel Ferre Pérez</i>	

Sistemas de Tiempo Real

GENERACIÓN DE CÓDIGO IEC 61131-3 A PARTIR DE DISEÑOS EN GRAFCET....	892
<i>María Luz Alvarez Gutierrez, Isabel Sarachaga Gonzalez, Arantzazu Burgos Fernandez, Nagore Iriondo Urbistazu and Marga Marcos Muñoz</i>	
CONTROL EN TIEMPO REAL Y SUPERVISIÓN DE PROCESOS MEDIANTE SERVIDORES OPC-UA	900
<i>Francisco Blanes Noguera and Andrés Benlloch Faus</i>	
Control de la Ejecución en Sistemas de Criticidad Mixta	906
<i>Alfons Crespo, Patricia Balbastre, Jose Simo and Javier Coronel</i>	
GENERACIÓN AUTOMÁTICA DEL PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN TIA PORTAL PARA MÁQUINAS MODULARES	913
<i>Darío Orive, Aintzane Armentia, Eneko Fernandez and Marga Marcos</i>	
DDS en el desarrollo de sistemas distribuidos heterogéneos con soporte para criticidad mixta	921
<i>Hector Perez and J. Javier Gutiérrez</i>	
ARQUITECTURA DISTRIBUIDA PARA EL CONTROL AUTÓNOMO DE DRONES EN INTERIOR	929
<i>Jose-Luis Poza-Luján, Juan-Luis Posadas-Yaguë, Giovanni-Javier Tipantuña-Topanta, Francisco Abad and Ramón Mollá</i>	
Ingeniería Conducida por Modelos en Sistemas de Automatización Flexibles	935
<i>Rafael Priego, Elisabet Estévez, Darío Orive, Isabel Sarachaga and Marga Marcos</i>	
Estudio e implementación de Middleware para aplicaciones de control distribuido	942
<i>Jose Simo, Jose-Luis Poza-Lujan, Juan-Luis Posadas-Yaguë and Francisco Blanes</i>	

Visión por Computador

Real-Time Image Mosaicking for Mapping and Exploration Purposes	948
<i>Abdulla Al-Kaff, Juan Camilo Soto Triviño, Raúl Sosa San Frutos, Arturo de La Escalera and José María Armingol Moreno</i>	
ALGORITMO DE SLAM UTILIZANDO APARIENCIA GLOBAL DE IMÁGENES OMNIDIRECCIONALES	956
<i>Yerai Berenguer, Luis Payá, Mónica Ballesta, Luis Miguel Jiménez, Sergio Cebollada and Oscar Reinoso</i>	
Medición de Oximetría de Pulso mediante Imagen fotopletismográfica.....	964
<i>Juan-Carlos Cobos-Torres, Jordan Ortega Rodríguez, Pablo J. Alhama Blanco and Mohamed Abderrahim</i>	
Algoritmo de captura de movimiento basado en visión por computador para la teleoperación de robots humanoides.....	970
<i>Juan Miguel Garcia Haro and Santiago Martinez de La Casa</i>	

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DETECCIÓN DE ROSTROS EN IMÁGENES DIGITALES	976
<i>Natalia García Del Prado, Victor Gonzalez Castro, Enrique Alegre and Eduardo Fidalgo Fernández</i>	
LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE FUGA PARA SISTEMA DE DETECCIÓN DE LÍNEAS DE CARRIL	983
<i>Manuel Ibarra-Arenado, Tardi Tjahjadi, Sandra Robla-Gómez and Juan Pérez-Oria</i>	
Oculus-Crawl, a Software Tool for Building Datasets for Computer Vision Tasks	991
<i>Iván De Paz Centeno, Eduardo Fidalgo Fernández, Enrique Alegre Gutiérrez and Wesam Al Nabki</i>	
Clasificación automática de obstáculos empleando escáner láser y visión por computador ..	999
<i>Aurelio Ponz, Fernando Garcia, David Martin, Arturo de La Escalera and Jose Maria Armingol</i>	
T-SCAN: OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS CON COLOR Y TEMPERATURA EN INTERIOR DE EDIFICIOS	1007
<i>Tomás Prado, Blanca Quintana, Samuel A. Prieto and Antonio Adan</i>	
EVALUACIÓN DE MÉTODOS PARA REALIZAR RESÚMENES AUTOMÁTICOS DE VÍDEOS	1015
<i>Pablo Rubio, Eduardo Fidalgo, Enrique Alegre and Víctor González</i>	
SIMULADOR PARA LA CREACIÓN DE MUNDOS VIRTUALES PARA LA ASISTENCIA A PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA EN SILLA DE RUEDAS ..	1023
<i>Carlos Sánchez Sánchez, María Cidoncha Jiménez, Emiliano Pérez, Ines Tejado and Blas M. Vinagre</i>	
Calibración Extrínseca de un Conjunto de Cámaras RGB-D sobre un Robot Móvil	1031
<i>David Zúñiga-Nöel, Rubén Gómez Ojeda, Francisco-Ángel Moreno and Javier González Jiménez</i>	

Medición de Oximetría de Pulso mediante Imagen fotopleletismográfica.

Juan-Carlos Cobos-Torres
Universidad Carlos III de Madrid-Leganés, jcobos@ing.uc3m.es

Jordan Ortega Rodríguez
Universidad Carlos III de Madrid-Leganés, joortega@ing.uc3m.es

Pablo J. Alhama Blanco
Universidad Carlos III de Madrid-Leganés, palhama@pa.uc3m.es

Mohamed Abderrahim
Universidad Carlos III de Madrid-Leganés, mohamed@ing.uc3m.es

Resumen

El presente método permite realizar la medición de la oximetría de pulso sin contacto por la técnica de imagen fotopleletismográfica (FPGI). El filtro de Kalman se usa para reducir las frecuencias bajas de las señales FPGI. El método tiene características que lo convierten en una innovación en el campo. El paciente no tiene ningún contacto con el dispositivo de medición, y el algoritmo desarrollado tiene un requerimiento computacional bajo. Además, el método tiene una alta tolerancia a los artefactos. El enfoque analiza señales pleletismográficas recogidas a través de una cámara de color estándar para estimar la oximetría de pulso. Los promedios de cada trama par e impar crean dos señales. Cada trama está sincronizada con una iluminación multiplexada de longitud de onda específica 640 y 950 nm respectivamente. El presente estudio ha obtenido una buena estimación de la oximetría de pulso para diez sujetos. El análisis de Bland-Altman muestra una fuerte correlación entre un sistema estándar y la medición FPGI.

Palabras Clave: Imagen Fotopleletismográfica, Filtro de Kalman, Frecuencia Cardíaca, Saturación de oxígeno, Medición en línea.

1 INTRODUCCIÓN

El oxímetro de pulso consta de dos diodos emisores (el primero, emite luz roja a aproximadamente 650 nm; el segundo, emite luz infrarroja a aproximadamente 920 nm) y un detector de fotodiodos [1], [2]. Una carcasa de plástico cubre los diodos, el fotodiodo y el miembro de la persona para evitar la interferencia de fuentes de luz distintas a la luz del dispositivo. Esta carcasa también permite la sujeción y el posicionamiento correcto del oxímetro. Debido a su facilidad de uso y colocación, la

oximetría de pulso puede utilizarse fuera del contexto clínico (durante la anestesia [3], el cuidado crítico [4], el triaje [5], etc.). Por esta razón, son varios los métodos que han propuesto el uso de cámaras para medir la saturación de oxígeno (SPO₂). En primer lugar, los dispositivos que forman parte de nuestra vida cotidiana, tales como teléfonos móviles, tabletas y computadoras se pueden usar o emplear como dispositivos de medición. Además, estos dispositivos permiten la adquisición de vídeo en línea y cada trama puede procesarse, lo cual nos permite buscar y detectar cambios de color producidos por el flujo sanguíneo en los capilares de la piel.

Wieringa et al. [6], detallan la adquisición de latidos cardíacos a través de una cámara especial (frecuencia de muestreo de 100 Hz) con un sensor CMOS monocromático y tres longitudes de onda diferentes (diodos LEDs que emiten luz a 660, 810 y 940 nm). El estudio muestra la posible medición de la SPO₂ sin contacto a través de la reflexión de la luz. No se debe olvidar, una cámara monocromática es más sensible que una cámara RGB por no contar con un filtro para cada color. Además, mediante la lente apocromática se concentran las tres longitudes de onda presentes en la iluminación utilizada en el foco del plano del sensor de la cámara; por lo cual los latidos del corazón se encuentran presentes con las tres longitudes de onda.

Kong et al. [7], presentan otra metodología distinta que utiliza dos cámaras monocromáticas bajo iluminación regular para medir la SPO₂ de la sangre (cada cámara tiene un filtro de banda estrecha de 660 nm y 520 nm). El método utiliza dos longitudes de onda concretas que no siempre están presentes dentro del espectro de cada tipo de iluminación disponible, como ocurre por ejemplo en el caso de emplear LED blanco o luz fluorescente. Por lo tanto, el método sólo funcionará correctamente en entornos con luz natural.

Otros métodos [8], [9] usan cámaras normales con sensores CMOS o CCD. Cada uno tiene diferentes configuraciones para la adquisición: respectivamente, frecuencia 12 y 20 fps, resolución 5 y 2 megapíxeles, y distancia 100, 40 cm. Los métodos, calculan la SPO_2 bajo una iluminación regular. Además, los muestran que la SPO_2 se puede calcular a través de los canales rojo y azul de la cámara RGB; lo que cambia es la herramienta utilizada para la extracción de la señal fotopletismográfica. El primer método utiliza un proceso autorregresivo, es esencialmente un filtro de respuesta de impulso infinito (IIR). No es aconsejable diseñar directamente un filtro de paso bajo IIR que tenga una frecuencia de muestreo de banda de paso muy pequeña, ya que los polos deben estar agrupados muy cerca; entonces, un movimiento ligero de los polos dañará la respuesta de frecuencia deseada. El segundo método, (desarrollado por los mismos autores principales) utiliza el proceso ICA con un conjunto de modelos autorregresivos. Su principal inconveniente es un coste computacional elevado.

Sin embargo, los métodos anteriores sufren una limitación significativa que consiste en que sólo funcionan en entornos con iluminación natural o una iluminación excelente. Además, los métodos sólo funcionan en implementaciones fuera de línea porque sus algoritmos tienen un coste computacional elevado. Por otra parte, sólo el método presentado por Bal [10], utiliza un sistema automático para detectar la región de interés (ROI). La detección sufre un efecto de sacudida o agitación, ya que en la detección realizada por el método de Haar Cascade se observa este efecto claramente en el cuadro delimitador de la ROI. Este problema podría causar artefactos o ruidos en la señal pletismográfica adquirida.

Por último, el método denominado Sofía [11], es interesante, ya que utiliza una metodología diferente. Utiliza promedios de múltiples ROIs; pero los autores, no explican el método de filtrado para las señales pletismográficas, ni especifican el uso de un filtro de eliminación de tendencia. Al parecer, se utiliza un filtro no causal de paso de banda que los autores explican en otro documento [12].

El presente método sin contacto propuesto, demuestra que es factible medir la SPO_2 a través de una cámara de color estándar con un sistema elemental de iluminación. El sistema tiene su propia iluminación y por tanto funciona independientemente de la iluminación ambiental. Además, al utilizar un filtro kalman para el offset o la tendencia de la señal permite su uso para la medida de la frecuencia cardíaca y SPO_2 de manera robusta y con un coste computacional bajo; características fundamentales que le permiten trabajar en línea.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Mediante una cámara a color estándar se captura la señal pletismográfica para estimar el pulso cardíaco y la SPO_2 en la piel de un sujeto. El ROI seleccionado, es una pequeña región en la frente de una persona. Dos matrices de diodos emisores de luz se utilizan para iluminar el ROI (640 y 950 nm); las cuales se denominan Fuente de Luz Multiplexada (MLF). Los frames de la cámara se sincronizan con cada matriz de iluminación. Los componentes principales del sistema se representan en la Fig. 1. Por último, utilizamos un oxímetro de pulso médico para verificar la medición de la oximetría de pulso.

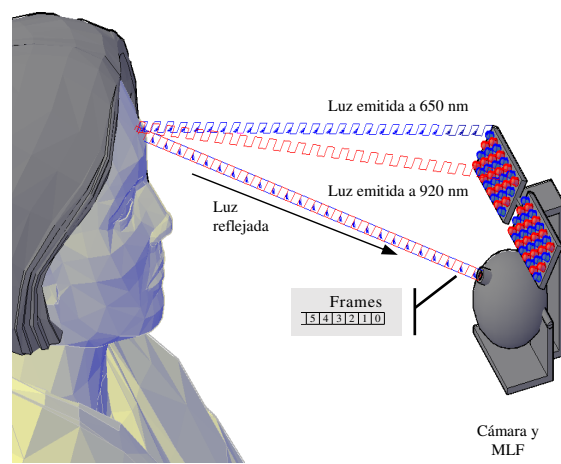


Figura 1: Configuración del experimento. Frames pares luz reflejada a 640 nm y frames impares luz reflejada a 950 nm.

2.1 HARDWARE

La cámara utilizada es una cámara Web con sensor OV9710 HD CMOS, con un tamaño de sensor de 1/4"; proporciona una resolución WXGA (1280 x 800), con una frecuencia de captura máxima de 30 frames por segundo.

La MLF diseñada y construida utilizando 24 LEDs, formando una matriz intercalada. El primer grupo tiene 12 LEDs rojos con una longitud de onda pico de 640 nm aproximadamente y el segundo grupo tiene 12 LED IR con una longitud de onda pico de 950 nm aproximadamente (ambos tipos de LED tienen un tamaño T-1 3/4). La disposición de los LEDs rojo e IR se representa en la Fig. 1.

2.2 POBLACIÓN

La investigación se realizó de acuerdo con las regulaciones, principios y aprobaciones necesarias. En este experimento, participaron voluntariamente diez sujetos de edad y sexo diferente; para estructurar una muestra heterogénea, permitiendo demostrar la

eficiencia del método propuesto. Durante las mediciones los sujetos estaban sentados frente a la cámara y a la MLF, ubicados a una distancia aproximadamente de 50 cm.

2.3 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

La luz reflejada detectada en la superficie de la piel ha viajado a través de las capas de la piel. El proceso se ilustra en la Fig. 2. Si se aplica una luz incidente a la piel, parte de esta luz es absorbida. La onda larga UV, el espectro visible y el infrarrojo cercano se dispersan hacia adelante a la dermis (la profundidad de absorción de la radiación está determinada por la longitud de onda); fibras de colágeno muy densas, agua y vasos sanguíneos componen la dermis [13]. Las fibras de colágeno dispersan la luz fuertemente. La capa de la epidermis produce retro-dispersión de una parte de la luz. La luz retro-dispersada ha pasado a través de los vasos sanguíneos, por lo que oxihemoglobina (HbO_2) y des-oxihemoglobina (Hb) han absorbido algunas longitudes de onda de luz y la luz retro-dispersada ha sido modulada por el flujo sanguíneo pulsante, para seguir siendo dispersada hacia adelante al estrato córneo. La luz resultante se transmite y viaja a la cámara con la señal pleetismográfica. Además, es importante recordar que la intensidad de la luz reflejada es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el MLF y la piel, así como entre la piel y la cámara.

La estructura general, utilizada para la obtención de la frecuencia cardíaca es detallada en la Fig. 2.

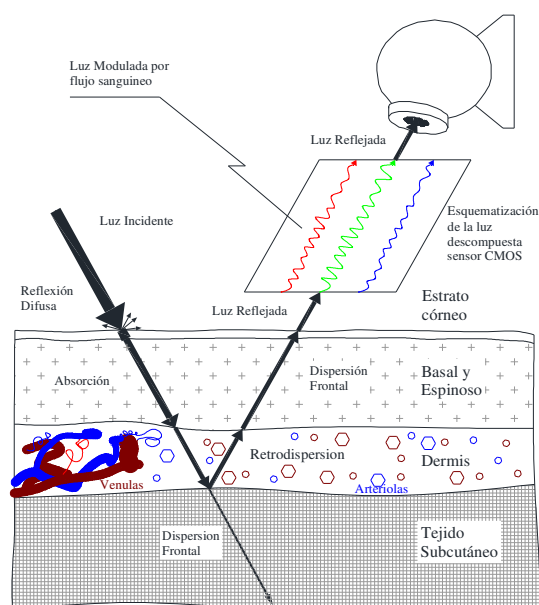


Figura 2: Interacción de la piel con una luz incidente.

La cámara captura la luz de la superficie de la piel y las imágenes se procesan en línea. El lenguaje de

programación Python fue seleccionado para procesar las imágenes, junto con varias librerías. La librería OpenCV se utiliza para comunicarse con la cámara. Además, la librería Kazemi y Sullivan [14] permite la detección facial. Este detector utiliza un conjunto de árboles de regresión para la selección de la cara. Las características utilizadas son las cejas (principio y final). Con esta información, procedemos a estimar el área de análisis, corresponde a un área promedio de 1600 píxeles cuadrados (40 x 40 píxeles); cuando el sujeto se encuentra a una distancia estimada de 50 cm de la cámara. Dado que no todos los píxeles en el ROI seleccionado contienen la variación de brillo de la señal pleetismográfica, los píxeles se combinan en un valor de brillo medio único. Los frames de la cámara se sincronizan con cada matriz de iluminación. Cada matriz ilumina diferentes frames capturados por la cámara (par e impar). Después de calcular el promedio de ROI, se generan las pilas tipo FIFO (primero en entrar, primero en salir). De este modo, se obtienen dos señales pleetismográficas a través del mismo canal del sensor de la cámara (canal rojo); este es el principal requisito para estimar la SPO_2 .

2.3 CALIBRACIÓN DE LA FUENTE DE LUZ MULTIPLEXADA

Se prestó la debida atención a la seguridad de los ojos y la piel. La potencia radiada de los LEDs y/o IR-LEDs y/o el tiempo de exposición pueden afectar la piel o los ojos de diferentes maneras. Un tiempo largo de exposición o una alta radiación podrían causar una destrucción celular por sobrecalentamiento del tejido irradiado; dando como resultado un daño permanente al tejido. Bajo estos parámetros de seguridad se diseñó y construyó el MLF, bajo la norma IEC-62471.

El MLF se compone de la matriz de 12 x IR LEDs y 12 x LEDs rojos. La primera matriz tiene una operación pulsada de impulso $IF = 100$ mA (corriente directa), longitud de onda pico 950 nm. La segunda serie tiene una operación pulsada de $IF = 10$ mA, longitud de onda pico 640 nm. Ambas matrices tienen tiempo de pulso $tp = 16,5$ ms, ciclo de servicio $D = 0,5$ para fines de irradiación, distancia mínima para el usuario $r > 0,5$ m para iluminación de cara, tamaño de matriz de $0,3 \times 0,3$ mm², tiempo de exposición $t > 1000$ s.

2.4 ALGORITMO DE PROCESAMIENTO

El esquema general adoptado para el procesamiento de las imágenes, estimación de la frecuencia cardíaca y la SPO_2 se ilustra en la Fig. 3. Las mediciones son adquiridas en línea. Como primer paso, la cámara y MLF se sincronizan. Un microcontrolador Arduino

hace parpadear la matriz de LEDs y se comunica a través de una interfaz serie, usando el código Python.

A continuación, las marcas faciales se encuentran desde el primer frame. La posición de la cabeza (tono, guiñada y alabeo) se calcula con las marcas de las cejas (comienzo y final). El principio y el final de las cejas definen el ROI en forma de rectángulo. La forma ROI se selecciona en una posición paralela a la línea imaginaria que conecta las cejas (caso de alabeo). El tamaño de la ROI depende de la distancia entre las cejas (además, también depende de la distancia de la cara a la cámara). Asimismo, el rectángulo crece horizontalmente en la dirección opuesta a la del movimiento de la cara (guiñada) y en ambas direcciones (tono). Una vez que se define la ROI, sus píxeles se combinan en un sólo valor promedio. Con cada nuevo promedio de cada trama, generamos dos pilas FIFO. Los frames pares generan la primera pila (trama iluminada a 640 nm) y los frames impares generan la segunda pila (trama iluminada a 950 nm).

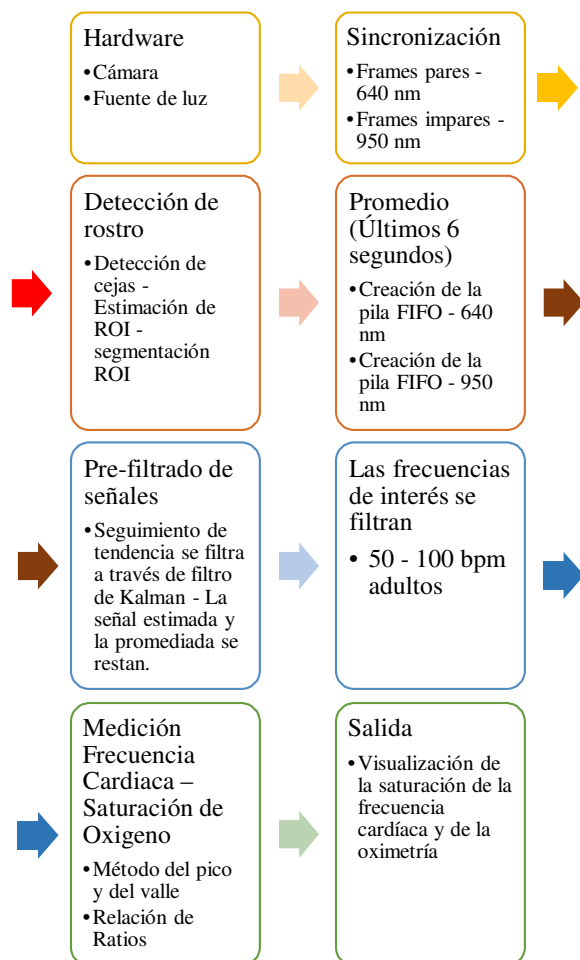


Figura 3: Secuencia utilizada para las mediciones

La dimensión de la pila es de 6 segundos. Este valor se selecciona porque es lo suficientemente largo

como para tener un mínimo de seis pulsos cardíacos. Después de llenar las pilas, el método de Kalman estima el desplazamiento de las señales (seguimiento de tendencia). Se genera un filtro de frecuencia baja cuando se restan las señales promedio y de estimación. Este filtro es muy estable y sensible a los cambios en la señal. Además, tiene un tiempo de estabilización inicial muy rápido con un coste computacional bajo.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se compararon los valores de las medidas, obtenidas mediante un oxímetro de pulso de dedo convencional y el método de medición sin contacto propuesto. Los sujetos respiraban espontáneamente cuando los valores fueron medidos. El grado de acuerdo para las mediciones se calcula usando las mediciones tomadas de diez sujetos, como se muestra en la Fig. 4. La figura muestra que los resultados con el dispositivo sin contacto son comparables con los del dispositivo de contacto como monitor de pulsimetría Fig. 4a y SPO₂. Fig. 4b.

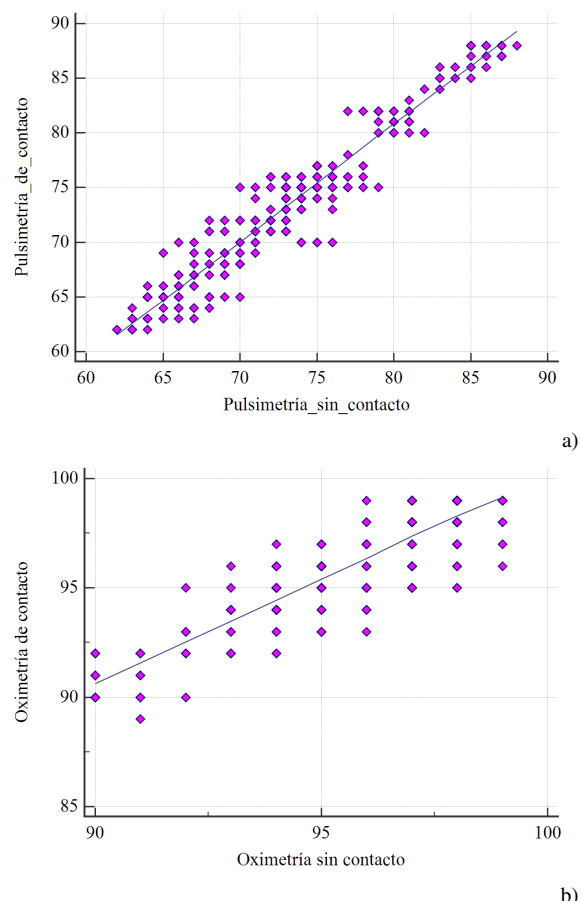


Figura 4: Diagrama de dispersión que muestra la relación entre las medidas realizadas con el método de contacto y el método propuesto sin contacto (a) Pulso cardíaco, (b) SPO₂.

Además, se analizaron los resultados mediante el método de Bland-Altman [15] con el fin de confirmar el rendimiento y la fiabilidad del sistema. Las diferencias entre las medidas por contacto y sin contacto se representan en función de los promedios de ambos sistemas para la pulsimetría y la oximetría, Fig. 5. Los promedios están representados por líneas de puntos; 95% de los límites de acuerdo ($\pm 1,96$ SD) se representan por líneas de trazos. Específicamente, el sesgo medio fue de 0,3 con límites de acuerdo del 95%, -3,3 a 3,9 bpm para el pulso cardíaco. Y para la SPO₂, el sesgo medio fue de 0,3 con límites de acuerdo del 95%, -2,1 a 2,7%. La desviación estándar de los residuos es de 1,83 para el pulso cardíaco y de 1,23 para el SPO₂.

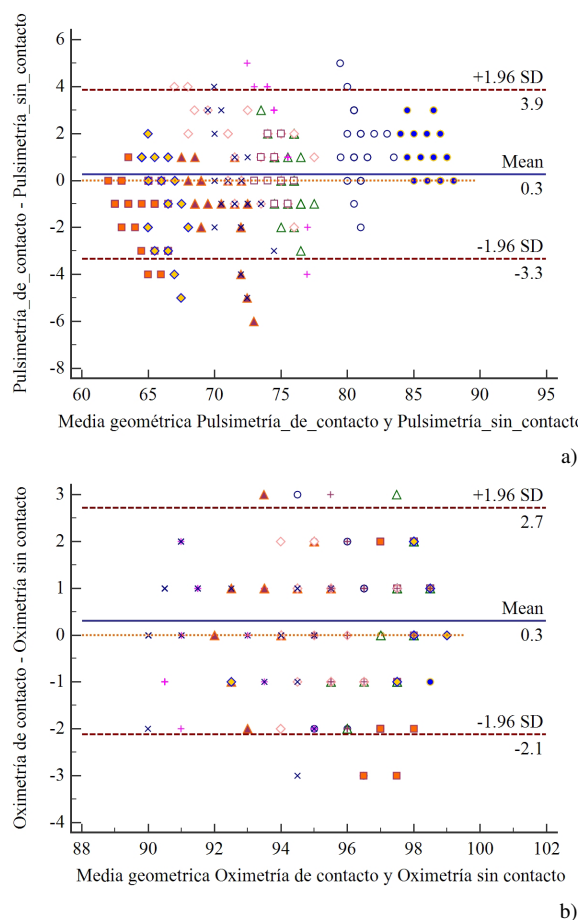


Figura 5: Gráficos de Bland-Altman que muestra el nivel de acuerdo entre las medidas realizadas con el método de contacto y el método propuesto sin contacto. (a) Pulso cardíaco, (b) SPO₂.

La medida remota de la pulsimetría y oximetría a través de una cámara de color estándar y MLF fue investigada en este trabajo. Hemos diseñado, implementado y evaluado un método para obtener la frecuencia cardíaca así como la SPO₂. El método funciona a partir de imágenes capturadas de la cara de un sujeto, adquiridas y procesadas en línea.

Finalmente, se evalúa el rendimiento del sistema; los resultados muestran un buen acuerdo entre las medidas realizadas por el método propuesto y las medidas obtenidas mediante un sensor de oxímetro de pulso comercial. El MLF utilizado, permite que el dispositivo esté libre de cualquier interferencia producida por la luz ambiente. Además, la mayoría de los métodos existentes tienen un costo computacional muy alto, y los pocos que están diseñados para trabajar en línea, también son muy susceptibles a artefactos (variación de iluminación y/o movimiento de personas). Todas estas deficiencias han sido ampliamente superadas en el método presentado aquí. Aunque, el alcance del presente trabajo se limita a la recuperación de la frecuencia cardíaca y la SPO₂, muchos otros parámetros fisiológicos importantes pueden medirse usando las mismas imágenes.

4 CONCLUSIONES

El presente método permite medir la pulsimetría y la SPO₂ sin contacto de un sujeto; el método es robusto a movimientos o artefactos. Además, los autores estiman que el método propuesto se caracteriza por un algoritmo de costo computacional muy bajo; permitirá su implementación para mediciones en línea de pulsimetría y oximetría en dispositivos móviles estándar.

Como ya se mencionó anteriormente, el presente sistema de medición de pulsimetría y oximetría puede convertirse en base para los sistemas que funcionen por imagen fotopletoygráfica, por su coste computacional bajo, su gran robustez y eficacia.

Actualmente, se trabaja en la medición de otros parámetros fisiológicos. Se espera en el futuro, seguir mejorando las mediciones mediante el análisis en paralelo de diversas regiones de la piel, un sistema de ponderación y comparación de dichas señales. Finalmente, se está evaluando al método propuesto frente a otros métodos por PPGI y en situaciones más reales, como la medición de estos dos signos vitales de un sujeto en movimiento junto con el sistema y a la vez cambiando de ambientes e iluminación.

Agradecimientos

El trabajo ha sido financiado parcialmente por la Acción Estratégica en Robótica, Visión por ordenador y Automatización; por el proyecto RoboCity2030-III-CM (Robótica aplicada a la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos. fase III; S2013/MIT-2748) financiado por Programas de Actividades I+D en la Comunidad de Madrid y cofinanciado por los Fondos Estructurales de la Unión Europea.

El primer autor agradece al Gobierno Ecuatoriano, por la beca que apoya y financia sus estudios. Su gratitud también a la ayuda directa de los laboratorios de la Universidad Carlos III de Madrid.

Referencias

- [1] W. G. Zijlstra, A. Buursma and W. P. Meeuwse-van der Roest. "Absorption spectra of human fetal and adult oxyhemoglobin, de-oxyhemoglobin, carboxyhemoglobin, and methemoglobin". *Clinical Chemistry*. Vol. 37, No. 9, pp. 1633-1638, Sep. 1991.
- [2] Y. Mendelson. "Pulse oximetry: Theory and applications for noninvasive monitoring", *Clinical Chemistry*, Vol. 38, No. 9, pp. 1601-1607, Sep. 1992.
- [3] S. Sugino, N. Kanaya, M. Mizuuchi, M. Nakayama and A. Namiki. "Forehead is as sensitive as finger pulse oximetry during general anesthesia", *Canadian Journal of Anesthesia*, Vol. 51, No. 5, pp. 432-436, May 2004.
- [4] A. Jubran. "Pulse oximetry", *Critical Care*, Vol. 3, No. 2, pp. R11, May 1999.
- [5] W. R. Mower, C. Sachs, E. L. Nicklin, P. Safa and L. J. Baraff. "Effect of routine emergency department triage pulse oximetry screening on medical management", *Chest*, Vol. 108, No. 5, pp. 1297-1302, Nov. 1995.
- [6] F. P. Wieringa, F. Mastik and van der Steen, Antonius FW. "Contactless multiple wavelength photoplethysmographic imaging: A first step toward -SpO2 camera- technology", *Annals of biomedical engineering*, Vol. 33, No. 8, pp. 1034-1041, Mar. 2005.
- [7] L. Kong, Y. Zhao, L. Dong, Y. Jian, X. Jin, B. Li, Y. Feng, M. Liu, X. Liu and H. Wu. "Non-contact detection of oxygen saturation based on visible light imaging device using ambient light", *Optics Express*, Vol. 21, No. 15, pp. 17464-17471, 2013.
- [8] L. Tarassenko, M. Villarroel, A. Guazzi, J. Jorge, D. Clifton and C. Pugh. "Non-contact video-based vital sign monitoring using ambient light and auto-regressive models", *Physiological measurement*, Vol. 35, No. 5, pp. 807, Mar. 2014.
- [9] M. Villarroel, A. Guazzi, J. Jorge, S. Davis, P. Watkinson, G. Green, A. Shenvi, K. McCormick and L. Tarassenko. "Continuous non-contact vital sign monitoring in neonatal intensive care unit", *Healthcare Technology Letters*, Vol. 1, No. 3, pp. 87-91, Sep. 2014.
- [10] U. Bal. "Non-contact estimation of heart rate and oxygen saturation using ambient light", *Biomedical Optics Express*. Vol. 6, No. 1, pp. 86-97, 2015.
- [11] A. R. Guazzi, M. Villarroel, J. Jorge, J. Daly, M. C. Frise, P. A. Robbins and L. Tarassenko. "Non-contact measurement of oxygen saturation with an RGB camera", *Biomedical Optics Express*, Vol. 6, No. 9, pp. 3320-3338, 2015.
- [12] M. Kumar, A. Veeraraghavan and A. Sabharwal. "DistancePPG: Robust non-contact vital signs monitoring using a camera", *Biomedical Optics Express*, Vol. 6, No. 5, pp. 1565-1588, 2015.
- [13] R. Henderson and K. Schulmeister. "Laser Safety", Institute of Physics Publishing, London, 2004.
- [14] V. Kazemi and J. Sullivan. "One millisecond face alignment with an ensemble of regression trees", Presented at Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2014.
- [15] J. M. Bland and D. Altman. "Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement", *The Lancet*, Vol. 327, No. 8476, pp. 307-310, 1986.