

# 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](mailto: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
Miguel Ángel 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

Núñez, 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

---

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/> <b>Automar</b> <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/> <b>Bioingeniería</b> <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/>	
<b>Control Inteligente</b>	
<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/> <b>Educación en Automática</b> <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>	

# Micrófonos de contacto: una alternativa para sensado táctil en robots sociales

Juan José Gamboa  
University Carlos III of Madrid  
jgamboa@ing.uc3m.es  
Sara Marqués Villaroya  
University Carlos III of Madrid  
smarques@ing.uc3m.es

Fernando Alonso-Martín  
University Carlos III of Madrid  
famartin@ing.uc3m.es  
Marcos Maroto  
University Carlos III of Madrid  
marmarot@pa.uc3m.es

José Carlos Castillo  
University Carlos III of Madrid  
jocastil@ing.uc3m.es  
Miguel Ángel Salichs  
University Carlos III of Madrid  
salichs@ing.uc3m.es

## Resumen

En la interacción humano-máquina, especialmente en la robótica social, el contacto directo entre el humano y el robot, y todo lo que permite al robot reaccionar y obtener información de este contacto, tiene una gran relevancia. Entre la información que el robot obtiene se encuentra aquella relacionada con la parte del cuerpo del robot que se está tocando y qué gesto se pretende transmitir con dicho toque. A través de este artículo, se pretenden evaluar, en primer lugar, las actuales tecnologías que envuelven la interacción táctil aplicada a la robótica. Por otro lado, se busca aportar un enfoque nuevo a la interacción táctil en la robótica social, presentando aplicaciones y sistemas que emplean el sonido como fuente de información principal. Este trabajo propone un sistema de detección de gestos táctiles en un robot social empleando tecnologías de adquisición sonora.

**Keywords**— percepción acústica, interacción táctil, interacción humano-máquina, robótica social

## 1. Introducción

A través del tacto los seres humanos somos capaces de transmitir una gran cantidad de información. Desde un cálido apretón de manos a un abrazo, hemos desarrollado lenguajes complejos y expresiones emocionales a través del contacto físico [1]. Se pretende dotar, del mismo modo, a un robot social de estas habilidades, ya que multiplican el número de posibilidades por las cuales se podría interactuar con él [2], añadiendo una fuente de información que, como se ha indicado antes, posee una gran cantidad de matices. El problema que surge en la actualidad es que los sistemas que se encuentran disponibles requieren cubrir prácticamente la totalidad de la carcasa del robot con sensores [3].

Un robot social necesitaría de un modo que permita percibir los estados emocionales del usuario, o simplemente poder comprender de una mejor manera la intención comunicativa del usuario con respecto al robot. El tacto es un tipo de interacción

que permite la transmisión de esta información. El problema a la hora de implementar este tipo de sistemas es elegir el tipo de tecnología más adecuado. En este caso se propone el sonido como vehículo para esta transmisión de datos. La acción de tocar una superficie sólida genera un contacto que puede ser percibido por distintos tipos de tecnologías, pero además un sonido se genera. Éste puede ser detectado, procesado y reconocido empleando técnicas de análisis de audio y micrófonos, obteniendo además información con una gran cantidad de matices, ya que es una señal que posee características en varios dominios, como son el del tiempo el de la frecuencia y el del tiempo-frecuencia. Esta perturbación se esparce fácilmente por los sólidos, pero no tanto en el aire. Esto implica que colocando el sensor adecuado sobre una superficie se podrá obtener esta señal con una gran precisión, buscando además ignorar los ruidos que se propaguen por el aire, como la voz o cualquier sonido ambiental. Estos dispositivos se conocen como micrófonos de contacto.

A lo largo de este trabajo se exploran las principales tecnologías que en la actualidad, en el campo de la interacción humano-máquina, se han desarrollado con el objetivo de identificar distintos tipos de contacto a través de varias clases de sensores, aplicando además aprendizaje automático. También se presentan diversas aplicaciones que, en otros campos, emplean tecnología relacionada con el sonido para reconocer gestos táctiles. Este trabajo propone, a través de la revisión de sistemas que implementan interacción táctil en robótica y de interfaces táctiles basadas en el análisis de una señal de audio, un sistema que emplee micrófonos de contacto para detectar gestos táctiles en un robot. Este sistema se complementará con diversos algoritmos de aprendizaje automático, con el objetivo de caracterizar e identificar el gesto detectado.

## 2. Tecnologías actuales

En la siguiente sección se presentan las tecnologías actuales relacionadas con la interacción táctil a través de dos perspectivas. En primer lugar se introducen distintas tecnologías relacionadas con la interacción humano-máquina táctil, tecnologías

que involucran el uso de sensores de fuerza, de visión o incluso de temperatura, además de aprendizaje automático, para encontrar patrones en la información que estos sensores perciben, de forma que se pueda identificar el contacto que se está realizando.

La otra perspectiva que se plantea es la de diferentes interfaces táctiles que involucran sonido. En este caso no se enfocan en la interacción humano-máquina en sí, sino que son aplicaciones con propósitos más diversos, como la comunicación con un servicio contestador automático o el control de un dispositivo de audio.

### 2.1. Interacción humano-máquina táctil

En el trabajo de Argall [3] encontramos un estudio completo acerca de las habilidades táctiles aplicadas a la robótica social que compara distintos robots con materiales diferentes en sus carcasas. En el caso de robots con superficies duras, los sensores que se suelen emplear son los siguientes: fuerza/torque, Resistencias Sensibles a Fuerza (FSR), acelerómetros y sensores de deformación. Por otro lado, en los robots de “piel blanda”, se suelen incorporar: potenciómetros (información kinestética), FSR’s, sensores de capacitancia, sensores de temperatura (termistores), sensores de campo eléctrico, y fotorelectores. Argall no menciona el uso de micrófonos como base para habilidades de tacto. En general, los sensores que se suelen usar en HRI tienen las siguientes deficiencias: requieren prácticamente contacto directo y su alcance para detectar contacto esta limitado a unos pocos centímetros, por tanto es necesario equipar al robot con una gran cantidad de sensores para cubrir prácticamente por completo la carcasa del mismo (en la mayoría de los casos son más de 40 sensores por robot). Por ejemplo, el robot “abrazable” presentado por Stiehl integra más de 1000 sensores de fuerza, 400 sensores de temperatura, y 9 sensores de campo eléctrico [4].

En posteriores trabajos, Silvera lleva a cabo múltiples experimentos [5, 6] empleando un sistema compuesto por un brazo artificial cubierto por una piel sensitiva basada en tecnología de impedancia eléctrica tomográfica que es capaz de diferenciar entre múltiples tipos de tacto. Para ello, los autores incluyeron un algoritmo de aprendizaje automático denominado *LogicBoost* [7] con el que se logra reconocer seis tipos de contacto. Con esta configuración, Silvera afirma que obtiene el 80% de precisión, similar a la que poseen los seres humanos.

Siguiendo la misma línea, Cooney presenta un trabajo que intenta diferenciar distintos contactos afectivos sobre el robot humanoide Kirin [8]. Pa-

ra clasificar los toques, construye un clasificador *SVM* (*Support Vector Machine* en inglés) y un clasificador *k-NN* (*k* vecinos más cercanos). El trabajo descrito está basado en técnicas de visión con sensores Kinect, y 14 sensores KINOTEX<sup>1</sup> modificados [9] y distribuidos sobre la superficie del cuerpo del robot. Mezclando los resultados de los clasificadores, afirma obtener un 90.5% de precisión.

### 2.2. Interfaces táctiles basadas en el análisis de sonido

Hasta este punto, se ha analizado el estado del arte en el campo de la interacción humano-máquina asociada a la robótica. Esta sección está dedicada al análisis de las interfaces que incorporan tecnología de audio para detectar y/o clasificar toques dentro de diversas áreas tecnológicas no relacionadas con la interacción humano-máquina (HRI, por sus siglas en inglés), debido a que hasta ahora no hay abundantes aplicaciones en el campo de la interacción humano-máquina.

Paradiso [10] describe un sistema para localizar de un modo brusco la posición de golpes y toques sobre una superficie de cristal de un tamaño de un metro cuadrado. Paradiso emplea cuatro receptores piezoeléctricos (conocidos también como micrófonos de contacto) colocados en las cuatro esquinas del cristal. Específicamente usa el modelo *Panasonic EFV-RT series*. Paradiso afirma en el informe obtener grandes resultados, con una precisión de entre 2 y 4 centímetros.

Harrison [11] perfiló un sistema que permite, a través del análisis de audio, reconocer toques sobre distintos materiales, especialmente escritorios y muros. Afirma que este sistema puede diferenciar entre seis tipos de toques con una precisión alrededor del 90%. Para ello, emplea un estetoscopio modificado que es capaz de amplificar la señal recibida. En este trabajo, el autor no intenta localizar la fuente del sonido, se centra principalmente en reconocer el tipo de toque realizado.

Murray-Smith [12] introduce *Stane*, un dispositivo electrónico controlado por interacción táctil basada en micrófonos. Específicamente, *Stane* puede reconocer esos gestos: *stroke* (caricia), *scratch* (arañazo), *rub* (frote) y *tap* (toque con un dedo). Para ello, usa una combinación de sensores: ca-

<sup>1</sup>consisten en un diodo emisor de luz, un fotodetector, espuma de uretano, y cables de fibra óptica. Los cables se usan para irradiar a la espuma con un rayo de luz fino, y para recoger la luz esparcida por la espuma. El principio de funcionamiento de los sensores KINOTEX es medir a través del fotodetector cambios en la intensidad de la luz al final del cable de fibra óptica

pacitivos, inerciales, y micrófonos de contacto. La aplicación real de *Stane* es controlar un reproductor musical. Murray-Smith argumenta que el uso de micrófonos de contacto o piezo-micrófonos es perfectamente adecuado para recibir las vibraciones generadas por ese tipo de contactos sobre superficies sólidas. Para la tarea de clasificación, emplea una red neuronal entrenada con 26880 ejemplos. Sus resultados experimentales muestran una tasa de acierto en torno al 75% para los cinco tipos de contacto indicados anteriormente.

Lopes [13] muestra un sistema que intenta extender los sistemas multi-toque tradicionales. Mezcla dos tecnologías distintas, sensores capacitivos para detectar la posición del toque, y percepción acústica para reconocer diferentes gestos táctiles como: dedos, nudillos, uñas de los dedos y puños. Aunque Lopes muestra una interacción bastante precisa, la publicación no indica específicamente resultados sobre la tasa de acierto.

### 2.3. Análisis de las tecnologías y trabajos estudiados

Como se mostraba en el análisis de Argall, la introducción de sensores para realizar tareas de interacción táctil implica costosas redes sensoriales (más de mil sensores en el sistema que presenta). Silvera corrobora esto pero planteando una serie de gestos táctiles de gran interés. Por último Cooney introduce el uso de algoritmos como máquinas de soporte vectorial (SVM, por sus siglas en inglés) y los  $k$  vecinos más cercanos ( $k$ -NN).

En cuanto a la aplicación de tecnología acústica, en la mayor parte de casos es empleada para localización directa del origen, procesando la señal obtenida por los micrófonos. En el caso de *Stane*, Murray-Smith aplica clasificación (redes neuronales) para detectar gestos. Lopes presenta un trabajo similar, pero sin dar detalles de la fase de clasificación.

A partir de las ideas que se muestran en estos dos enfoques, en este trabajo se plantea un sistema que, aplicado a la interacción humano-máquina, combine conceptos de las dos tecnologías que se acaban de analizar. En cuanto a los sensores que se deciden emplear, se han seleccionado los micrófonos de contacto, siendo uno de los objetivos que el sistema evite emplear una gran cantidad de sensores. Gracias a las ideas de Murray-Smith, con conjunto con las de Silvera, se muestra un atisbo de lo que sería dirigir la robótica y los micrófonos de contacto hacia la detección de gestos táctiles. Por último, la mayor parte de los trabajos insertan un bloque de clasificación que permita sacar conclusiones de la información obtenida, destacando

clasificadores como *SVM*, *k-NN* y redes neuronales.

## 3. Sensado táctil en un robot social

La implementación de un sistema que use micrófonos de contacto para detección de toques consiste en 4 fases que se van a desglosar a lo largo de este capítulo: Instalación de los micrófonos de contacto, detección de la actividad táctil, extracción de las características de la señal obtenida durante la actividad y por último, la clasificación.

### 3.1. Instalación de los micrófonos

La selección de micrófonos de contacto está basada en la calidad de la señal captada y la sensibilidad que poseen en superficies lisas y rígidas. Otra de las características es que aísla de manera natural ruidos que se propaguen por el aire, lo que hace que los ruidos externos más corrientes, como la voz humana no sean recogidos por el sensor. La desventaja principal que se observa en un primer momento es que, precisamente esa fidelidad en la extracción de las vibraciones que se propagan por los sólidos, causa que los ruidos internos dentro del robot provocados por los servomotores puedan causar falsos positivos. En cualquier caso eso sería un problema abordable tanto desde el punto de vista del hardware, introduciendo aislamiento físico, como desde el software, a través de filtros en el extractor de características o en el clasificador.

De entre los posibles tipos de micrófonos nos decantamos por uno de precio asequible (35 euros) y de una calidad bastante contrastada por profesionales del mundo de la música. El modelo elegido ha sido el *Oyster Schaller 723* mostrado en la figura 1.



Figura 1: Micrófono de contacto Oyster Schaller 723 S/S

El robot social que ha servido como plataforma de investigación, y por lo tanto, como base para realizar los experimentos realizados, es el robot Maggie, del Robotics Lab de la Universidad Carlos III de Madrid[14].



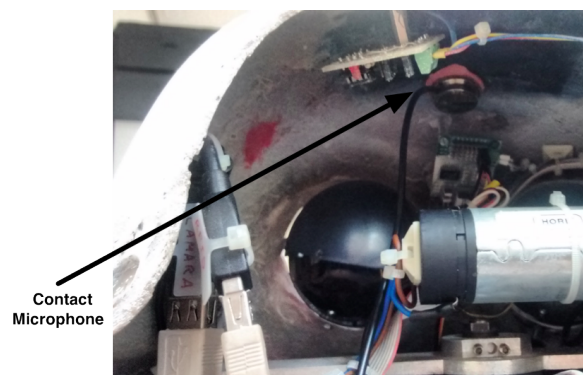


Figura 2: Micrófono instalado en el interior de la cabeza de Maggie

En la primera versión se decide instalar un total de tres micrófonos en las zonas que se consideran que se va a establecer con más probabilidad un contacto. Estas partes son la cabeza, y el pecho (izquierda y derecha). Para fijar los micrófonos en el interior de la carcasa, que es rugosa y cóncava se ha empleado arcilla para modelar y adhesivo de dos componentes. Gracias a las propiedades moldeables pero rígidas al secarse de ambos, se puede fijar la totalidad de la superficie sensible del micrófono al interior del robot, como se muestra en la Fig. 2. Los micrófonos serán conectados en Maggie de la siguiente manera. La salida Minijack es conectada a unas tarjetas de sonido USB SoundBlaster<sup>2</sup> de alta fidelidad.

### 3.2. Detección de actividad táctil

A nivel de software se ha empleado ChucK [15], un lenguaje de programación diseñado para proveer a los usuarios de una plataforma para síntesis y análisis precisa de audio.

Para la detección como la extracción de características de la señal sonora se ha empleado una versión modificada para esta tarea de GEVA (*Gender and Emotion Voice Analysis*) [16], un programa creado para detectar tanto el género como la emoción que transmite un interlocutor al hablar. GEVA es un sistema de análisis de sonido diseñado y desarrollado en ChucK que combina varios elementos pertenecientes a tres dominios diferentes: tiempo, frecuencia y tiempo-frecuencia. La principal funcionalidad del programa es que calcula las características pertenecientes a cada uno de los dominios en tiempo real, analizando directamente la señal sonora capturada.

GEVA presenta una serie de umbrales ajustables referentes a la señal que permiten diferenciar cuando parte del sonido recibido, ya que los micrófo-

nos se encuentran escuchando continuamente, no es ruido ambiental o un tipo específico de sonido que se quiera aislar, y marca el principio de un gesto. Uno de estos umbrales, y el que se emplea principalmente es el *Signal-to-Noise Ratio*, que se explicará más adelante.

### 3.3. Extracción de características

Una vez que el sistema considera que el gesto ha comenzado, GEVA mide distintas características, englobadas en tres dominios diferentes, pero relacionadas entre sí mediante transformadas.

- Las características que se encuentran en el *dominio del tiempo* se obtienen directamente del muestreo de la señal analógica que proviene del micrófono.
- En el caso de las características que están en el *dominio de la frecuencia* se aplica la transformada rápida de Fourier (FFT) sobre la señal en el dominio del tiempo.
- Por último, para obtener las características pertenecientes al *dominio del tiempo-frecuencia* se aplica la transformada discreta de Haar (*Discrete Haar Wavelet Transform*).

Las características que se obtienen de la señal son los siguientes.

1. **Pitch:** Es una propiedad de los sonidos que permite su ordenación en una escala relativa a la frecuencia [17]. Cuantitativamente, las estimaciones del pitch son medidas del periodo de oscilación y se pueden realizar en los tres dominios mencionados anteriormente. En cada dominio se encuentran implementados distintos algoritmos de detección de pitch (PDA o pitch detection algorithms):
  - a) El método para detectar el primer mínimo en la autocorrelación de la señal de entrada en el dominio del tiempo. Esto implica que el pitch se corresponde al mínimo en la relación de cruce entre la señal sonora consigo misma [18, 19].
  - b) El segundo método aplica la transformada rápida de Fourier. Este algoritmo considera la distancia entre los picos en el espectro de la señal para calcular el pitch.
  - c) El último método para obtener el pitch se desarrolla en el dominio del tiempo-frecuencia, y usa la transformada discreta de Haar para ondas. Este cálculo se basa en el trabajo de Larson [20].

<sup>2</sup>Diseñadas por Creative Labs. Modelo SB1300.

2. **Flujo**: El flujo indica si hay grandes variaciones en el dominio de la frecuencia. Cuando toma valores cercanos al cero implica que los valores de amplitud obtenidos en todos los rangos de frecuencia son muy similares.
3. **Rolloff-95**: Se corresponde con el valor de frecuencia que contiene el 95 % de la energía de la señal.
4. **Centroide**: Representa la mediana del espectro de la señal. Esto es la frecuencia a la que la perturbación se aproxima en mayor medida. Se usa frecuentemente para calcular el tono de un sonido o la voz (timbre).
5. **Zero-crossing rate (ZCR)**: Indica el número de veces que la señal cruza el cero (en el eje x). Normalmente, el sonido de fondo cruza con mucha más frecuencia el eje x que los sonidos verbales.
6. **Signal-to-noise ratio (SNR)**: Permite relacionar el sonido que genera el gesto con respecto al volumen del ruido de fondo.
7. **Root Mean Square (RMS)**: relativo a la amplitud del volumen de la señal.
8. **Duración**: hace referencia a duración del sonido.

Cuando finaliza el contacto, el programa emite los valores máximos, mínimos, valores medios y la diferencia entre máximo y mínimo de las características descritas.

### 3.4. Clasificación automática

Entre las librerías disponibles para realizar tareas relacionadas con el aprendizaje automático, se ha seleccionado *Weka* por su versatilidad. *Weka* soporta varias tareas estándar de minería de datos, especialmente, preprocesamiento de datos, *clustering*, clasificación, regresión, visualización, y selección. Todas las técnicas de *Weka* se fundamentan en la asunción de que los datos están disponibles en un fichero plano (flat file) o una relación, en la que cada registro de datos está descrito por un número fijo de atributos (normalmente numéricos o nominales, aunque también se soportan otros tipos).

*Weka* integra una amplia familia de clasificadores<sup>3</sup> pero entre ellos destacan los que han sido empleados en trabajos como el de Cooney o el de Murray-Smith y los árboles de decisión:

- **Random Forest**. Familia de algoritmos predictivos que emplean la técnica de *bagging* o empaquetado para combinar diferentes árboles de decisión, donde cada árbol es construido con observaciones y variables aleatorias [21]. El algoritmo funciona como se explica a continuación.

En primer lugar, selecciona individuos al azar (usando muestreo con reemplazo) para crear diferentes set de datos. Posteriormente crea un árbol de decisión con cada set de datos, obteniendo diferentes árboles, ya que cada set contiene diferentes individuos y diferentes variables. Al crear los árboles se eligen variables al azar en cada nodo del árbol, dejando crecer el árbol en profundidad (sin podar). Y por último, predice los nuevos datos usando el “voto mayoritario”, donde clasificará como “positivo” si la mayoría de los árboles predicen la observación como positiva.

- **k-NN**. Este es un método de clasificación no paramétrico, que estima el valor de la función de densidad de probabilidad o directamente la probabilidad a posteriori de que un elemento  $x$  pertenezca a la clase  $C_j$  a partir de la información proporcionada por el conjunto de modelos [22]. En el proceso de aprendizaje no se hace ninguna suposición acerca de la distribución de las variables a predecir. En el reconocimiento de patrones, el algoritmo es usado como método de clasificación de objetos (elementos) basado en un entrenamiento mediante ejemplos cercanos en el espacio de los elementos. *k-NN* es un tipo de *Lazy Learning*, donde la función se aproxima solo localmente y todo el conjunto de cálculos es aplaza hasta la clasificación.

- **SVM**. Weka internamente implementa la optimización secuencial mínima o SMO, un algoritmo para resolver el problema de programación cuadrática que surge durante el entrenamiento de *support vector machines* [23]. SMO es un algoritmo iterativo para resolver este problema de optimización. Divide el problema principal en una serie de subproblemas lo más pequeño posible, que son resueltos analíticamente.

- **Perceptrón Multicapa**. Un clasificador basado en una red neuronal que utiliza *backpropagation* para clasificar instancias. La red se puede construir a mano, crearse a través de un algoritmo o de ambas formas. Ésta también puede ser monitorizada y modificada durante el tiempo de entrenamiento. Los nodos de esta red son todos sigmoides (excepto cuando la clase es numérica, en cuyo caso los nodos

<sup>3</sup><http://weka.sourceforge.net/doc/stable/weka/classifiers/package-frame.html>



	Área de contacto	Intensidad	Duración	Intención	Ejemplo
<b>Caricia</b>	media-grande	baja	media-larga	empatía, compasión	
<b>Cosquillas</b>	media	media	media-larga	diversión, alegría	
<b>Toque</b>	pequeña	baja	corta	llamada, aviso	
<b>Cachete</b>	pequeña-media	alta	corta	disciplina, castigo	

Tabla 1: Caracterización de los gestos empleados para las pruebas. La última columna muestra un ejemplo de cómo realizar dicho gesto.

de salida se convierten en unidades lineales no desalineadas).

Esta parte comprende la creación de un conjunto de instancias preclasificadas que se irán creando en experimentos con usuarios. Cuando el conjunto de instancias sea lo suficiente grande se integrará en el sistema para poder entrenar a los clasificadores. De este modo, los clasificadores podrán ir clasificando de modo *online* las nuevas instancias desconocidas que vayan recibiendo.

### 3.5. Resultados preliminares

Para evaluar el funcionamiento del sistema propuesto se realizó una serie de pruebas para medir la tasa de acierto. En primer lugar se han definido una serie de gestos mostrados en la tabla 1, inspirados por los experimentos de Silvera, previamente explicados. Tras esto, se ha procedido a obtener muestras de entrenamiento. El conjunto de muestras posee las siguientes características. Se han recogido un total de 747 interacciones con el robot, realizadas por un total de 10 usuarios. De los cuales 215 son *caricias*, 48 son *cosquillas*, 260 son *toques*, y 224 son *cachetes*.

Las interacciones entre el robot y los usuarios se han realizado de la siguiente forma. El supervisor pide al usuario que toque al robot en la cabeza usando los cuatro posibles gestos a reconocer. Cada uno de estos tipos de toques los puede repetir un número indeterminado de veces. Cada uno de los sonidos producidos en cada interacción queda registrado por el sistema y es etiquetado con el nombre del gesto realizado por el usuario.

Clasificador	<i>F-score</i>
Random Forest	1
Perceptrón Multicapa	0.93
SVM	0.80
k-NN	0.78

Tabla 2: F-Score de los clasificadores empleando validación cruzada.

Clasificador	<i>F-score</i>
Random Forest	0.79
Perceptrón Multicapa	0.75
SVM	0.72
k-NN	0.66

Tabla 3: F-Score de los clasificadores empleando un conjunto de prueba.

En la fase de entrenamiento, los datos se almacenan en un fichero que posteriormente serán usados tanto para entrenamiento como para validación. En la fase de validación se han empleado dos técnicas: Validación cruzada, que se ha hecho con subgrupos de los datos de entrenamiento de 10 instancias cada uno. Adicionalmente, se recogieron nuevos datos de 15 usuarios diferentes a los 10 que realizaron las muestras previas. En las tablas 2 y 3 se muestra el *F-Score* resultante para cada algoritmo expuesto previamente. Se trata de un indicador del grado de acierto de un determinado clasificador en base a 1, que representa el acierto en todas las muestras.

## 4. Conclusiones

El sonido es un tipo de señal de la que se pueden obtener una gran cantidad de características, lo que provee a la información transmitida de muchos matices. Esto facilita que la implementación de algoritmos de clasificación aporte muy buenos resultados. Los micrófonos de contacto son un tipo de receptor de audio que demuestra baja distorsión y ruido, percibiendo las vibraciones con una gran precisión. Estos micrófonos son capaces de aislar los ruidos ambientales que se propagan por el aire, que suelen ser los más corrientes (voces, etc). Debido a las propiedades de transmisión del sonido de las superficies sólidas, los ruidos internos se propagan con facilidad y puedan ser recibidos, creando falsos positivos. Como se muestra en el montaje, los micrófonos de contacto tienen como limitación física las superficies rugosas e irregulares y las blandas.

En el trabajo se ha aplicado el aprendizaje como una herramienta capaz de aprovechar la gran riqueza que se obtiene de una señal sonora. Pero dentro de este campo hay protocolos y herramientas que permiten mejorar y profundizar en esta fase del sistema (p. ej. meta-clasificadores), lo que permitiría un margen de mejora muy amplio. Además, con una gran cantidad de información de entrenamiento se pueden aplicar técnicas más complejas pero con mayor tasa de acierto.

Actualmente la tecnología de adquisición de sonido engloba dispositivos que son capaces de obtener una gran cantidad de información de una señal que, como en este caso, se propaga por los sólidos (superficie de un robot). Esto, junto al gran impulso que en la actualidad está viviendo el aprendizaje automático y la creciente capacidad de procesamiento de las computadoras, provoca que la tecnología que se presenta en este trabajo constituya una importante vía para distintos sistemas sensoriales aplicados a la interacción humano-máquina.

### Agradecimientos

La investigación desarrollada ha recibido financiación de dos proyectos: "Development of social robots to help seniors with cognitive impairment" (ROBSEN), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad; y "RoboCity2030-III-CM", financiado por la Comunidad de Madrid y cofinanciado por los Fondos Estructurales de la Unión Europea.

### Referencias

- [1] F. H. Wilhelm, A. S. Kochar, W. T. Roth, and J. J. Gross, "Social anxiety and response to touch: incongruence between self-evaluative and physiological reactions," *Biological Psychology*, vol. 58, no. 3, pp. 181–202, 2001.
- [2] K. Altun and K. E. MacLean, "Recognizing affect in human touch of a robot," *Pattern Recognition Letters*, vol. 66, pp. 31–40, nov 2015.
- [3] B. D. Argall and A. G. Billard, "A survey of tactile human-robot interactions," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 58, pp. 1159–1176, October 2010.
- [4] W. D. Stiehl, J. Lieberman, C. Breazeal, L. Basel, L. Lalla, and M. Wolf, "Design of a therapeutic robotic companion for relational, affective touch," in *ROMAN 2005. IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, 2005.*, pp. 408–415, Aug 2005.
- [5] D. Silvera-Tawil, D. Rye, and M. Velonaki, "Interpretation of social touch on an artificial arm covered with an EIT-based sensitive skin," *International Journal of Social Robotics*, vol. 6, no. 4, pp. 489–505, 2014.
- [6] D. Silvera Tawil, D. Rye, and M. Velonaki, "Touch modality interpretation for an EIT-based sensitive skin," in *2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 3770–3776, IEEE, may 2011.
- [7] J. Friedman, T. Hastie, and R. Tibshirani, "Additive logistic regression: a statistical view of boosting," tech. rep., Stanford University, 1998.
- [8] M. D. Cooney, S. Nishio, and H. Ishiguro, "Recognizing affection for a touch-based interaction with a humanoid robot," in *2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1420–1427, IEEE, oct 2012.
- [9] Y. Ohmura, Y. Kuniyoshi, and A. Nagakubo, "Conformable and scalable tactile sensor skin for curved surfaces," in *Proceedings 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006.*, pp. 1348–1353, IEEE, 2006.
- [10] J. Paradiso and N. Checka, "Passive acoustic sensing for tracking knocks atop large interactive displays," in *Proceedings of IEEE Sensors*, vol. 1, pp. 521–527, IEEE, 2002.
- [11] C. Harrison and S. E. Hudson, "Scratch input: creating large, inexpensive, unpowered and mobile finger input surfaces," in *Proceedings of the 21st annual ACM symposium on User*

- interface software and technology - UIST '08*, (New York, New York, USA), p. 205, ACM Press, October 2008.
- [12] R. Murray-Smith, J. Williamson, S. Hughes, and T. Quaade, “Stane: synthesized surfaces for tactile input,” in *Proceeding of the twenty-sixth annual CHI conference on Human factors in computing systems - CHI '08*, (New York, New York, USA), p. 1299, ACM Press, apr 2008.
- [13] P. Lopes, R. Jota, and J. A. Jorge, “Augmenting touch interaction through acoustic sensing,” in *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces - ITS '11*, (New York, New York, USA), p. 53, ACM Press, nov 2011.
- [14] M. A. Salichs, R. Barber, A. M. Khamis, M. Malfaz, J. F. Gorostiza, R. Pacheco, R. Rivas, A. Corrales, E. Delgado, and D. Garcia, “Maggie: A robotic platform for human-robot social interaction,” in *2006 IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics*, pp. 1–7, June 2006.
- [15] G. Wang, P. R. Cook, and S. Salazar, “Chuck: A strongly-timed computer music language,” *Computer Music Journal*, vol. 39, no. 4, pp. 10–29, 2015.
- [16] F. Alonso-Martin, M. Malfaz, J. Sequeira, J. Gorostiza, and M. A. Salichs, “A Multimodal Emotion Detection System during Human-Robot Interaction,” *Sensors*, vol. 13, no. 11, pp. 15549–15581, 2013.
- [17] A. Klapuri, *Introduction to Music Transcription*, p. 8. Springer.
- [18] A. Cheveign and H. Kawahara, “Yin, a fundamental frequency estimator for speech and music,” *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 111, pp. 1917–1930, 2002.
- [19] P. McLeod and G. Wyvill, “A smarter way to find pitch,” in *Proceedings of International Computer Music Conference (ICMC)*, (Barcelona, Spain), September 2005.
- [20] E. Larson and R. Maddox, “Real-time time-domain pitch tracking using wavelets,” in *Proceedings of the University of Illinois at Urbana Champaign Research Experience for Undergraduates Program*, (Champaign, IL, USA), August 2005.
- [21] T. K. Ho, “Random decision forest,” in *Proceedings of the 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition*, pp. 278–282, August 1995.
- [22] D. Aha and D. Kibler, “Instance-based learning algorithms,” *Machine Learning*, vol. 6, pp. 37–66, 1991.
- [23] J. Platt, “Sequential minimal optimization: A fast algorithm for training support vector machines,” tech. rep., Microsoft Research, April 1998.