

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 |
| 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/> 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> | |

Estructura de control en ROS y modos de marcha basados en máquinas de estados de un robot hexápodo

Raúl Cebolla Arroyo
raul.cebolla.arroyo@alumnos.upm.es

Jorge De León Rivas, Antonio Barrientos
CAR UPM-CSIC, jorge.deleon, antonio.barrientos@upm.es

Resumen

Los sistemas de control en ROS basados en el paquete `ros_control` requieren la coordinación y publicación de cantidades ingentes de información. En los siguientes apartados se describe la estructura y herramientas que simplifican el control al uso de funciones simples en C++. Estas se recogen como métodos de una clase que simboliza el actuador de un robot hexápodo de exploración. Los modos de marcha de este robot, se planifican mediante máquinas de estados que simplifican su planteamiento y aumentan la capacidad de respuesta ante un fallo.

Palabras clave: ROS, interfaz, máquinas de estado.

1. Introducción

El robot hexápodo que es tratado en este caso es una versión del RHex desarrollado por el grupo de Robotica y Cibernética de la Universidad Politécnica de Madrid [6] [8] [10], este robot fue concebido por proyectos de diversas universidades estadounidenses [6] como robot de búsqueda y rescate [7]. La particularidad de este robot reside en la forma en C de sus patas, posee tres de estas patas por cada lado articuladas a una base.

La configuración del robot le dota de una capacidad única para adoptar multitud de diferentes modos de marcha [4] [9] [5]. Esto hace que el control de cada una de las patas que lo componen sea lo más preciso posible. De igual forma se necesita que el modo de controlarlo sea de fácil accesibilidad al encargado de programar los diferentes modos de marcha.

El sistema de control del robot se ha desarrollado sobre ROS haciendo uso del paquete `ros_control`. Este tipo de sistemas de control generan multitud de diferentes mensajes y servicios sobre los que hay que actuar, causando que ejecutar una acción simple se vuelva ciertamente caótico.

Teniendo esta última idea en mente, se ha desarrollado un paquete de ROS capaz de simplificar el tráfico de información a manejar. El paquete permite que el control del robot pueda hacerse mediante llamadas a métodos de una clase que simbolice cada una de las patas en C.

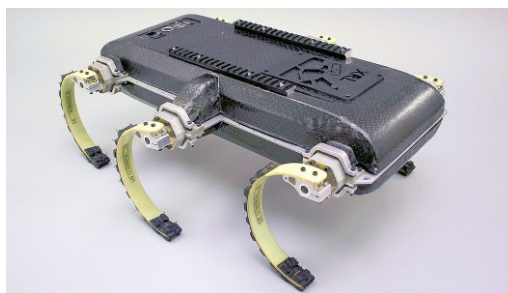


Figura 1: Robot RHex. Fuente: [3]

Esta simplificación resulta fundamental a la hora de programar los modos de marcha. Estos se implementan mediante máquinas de estado. Siguiendo este método, se mejora la legibilidad y planteamiento de las diferentes marchas, de la misma forma se mejora la flexibilidad de las mismas ya que sólo se tiene que incluir un nuevo estado y modificar las transiciones pertinentes. Con esto se obtiene que el modo de marcha pueda implementar respuestas ante fallo de distinto tipo y paradas de emergencia.

La flexibilidad que aportan las máquinas de estado hace que sea idóneo para un robot cuyos modos de marcha son muy diferentes entre sí y que cada día aparecen nuevos para el mismo robot.

En el estudio del estado del arte no se han encontrado robots cuyos modos de marchas se implementen mediante máquinas de estado. Por tanto, este trabajo supone una incursión en una nueva idea que puede llevar a nuevas percepciones sobre cómo se implementan modos de marcha.

2. Descripción del robot

El robot sobre el que vamos a desarrollar el trabajo pertenece al robciB. Robot Hexápodo desarrollado por el grupo de Robotica y Cibernética de la Universidad Politécnica de Madrid [6] [8] cuya configuración y especificaciones se orientan hacia tareas de búsqueda y rescate.

La principal característica del RHex son sus patas en C. Sus seis patas se disponen de forma simétrica respecto a la dirección de avance normal del robot. Estas patas disponen de cierta flexibilidad [8][2], de esta forma el robot puede aprovechar el efecto de ballesta que crean para avanzar a mayor velocidad o incluso realizar saltos.

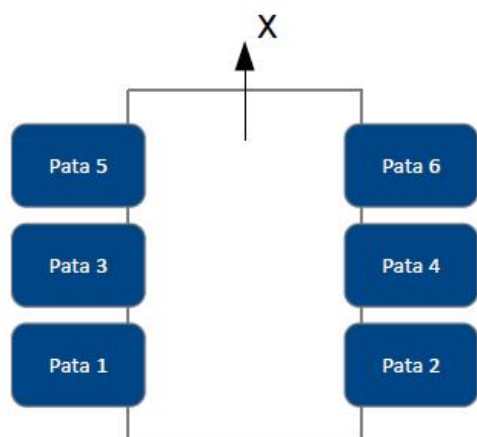


Figura 2: Numeración de las patas.

Para planteamientos futuros, se tomará la numeración de las patas que se expone en la figura 2 como convenio.

Con estas características, el hexápodo puede adaptar multitud de diferentes modos de marcha. El robot puede desempeñar desde pequeños saltos, subir y bajar escaleras [4] [1], avanzar de forma cuadrúpeda o incluso bípeda [5].

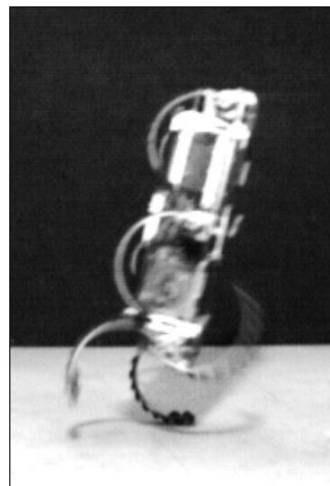


Figura 3: Marcha bípeda del RHex. Fuente: [5].

Se demuestra de forma indudable la versatilidad del robot en cuestión, los diferentes modos de marcha no es sino una prueba fehaciente de ello. Aún quedan por desarrollarse marchas que ni se han planteado, por eso es crucial que en un modelo de investigación se pueda acceder a la programación de las mismas de una manera sencilla y sobre todo, sin necesidad de poseer conocimientos sobre la arquitectura de control a bajo nivel.

La capacidad para superar terrenos accidentados del robot es difícilmente alcanzable por otros, esto lo hace idóneo para trabajos de búsqueda y rescate. Por tanto, es de esperar que el robot se encuentre con situaciones no previstas en su programación. Se necesita de un recurso que haga del robot, un sistema robusto ante este tipo de fallos. Este se encuentra en las máquinas de estado.

Una máquina de estado no es más que un planteamiento dónde el robot realiza transiciones entre estados, en cada estado el robot se comanda de una manera distinta, por ejemplo patas 1, 4, 5 a fase aérea mientras que el resto realizan la fase terrestre.

Al programar una máquina de estados se puede establecer una ruta de transiciones que per-

mitan al robot reaccionar ante imprevistos, de tal forma que nunca se encuentre bloqueado. Además, resulta sencillo reprogramar los diferentes modos de marcha, ya que esta metodología es muy flexible a la hora de incluir un nuevo estado.

3. Estructura de control

El sistema de control se ha planteado sobre el sistema operativo de robots más extendido, ROS, por tanto, para entender cómo se ha simplificado el comando de cada una de las patas, es necesario saber la estructura de control que se ha planteado sobre el robot.

El sistema de control se ha basado sobre el paquete *ros_control*. Este paquete estructura el sistema de control mediante dos elementos: las interfaces de hardware y los controladores.

Las interfaces de hardware sirven como conexión a ROS de los elementos reales, bien sean sensores o actuadores, mediante estos se conoce dónde se posiciona en memoria la información de los sensores y se puede ejercer sobre los actuadores.

Por otro lado, los controladores asumen las mismas funciones y tareas que un regulador o controlador de la teoría de control. En este caso, los controladores de *ros_control* son de tipo PID.

Teniendo en cuenta las características del robot, es de especial interés que en cualquier momento durante la ejecución de un modo de marcha se pueda cambiar de control de posición a control de velocidad en tiempo real. *Ros_control* permite cambiar de tipo de controlador mediante un agente que recibe el nombre de *controller_manager*, este permite cargar, eliminar o cambiar controladores en tiempo real, más adelante se estudiará cuáles son los servicios y mensajes a los que se debe acudir.

Es crucial saber que sobre un solo actuador, se puede tener activo un único controlador. Sin embargo, puede tener más controladores pausados que no actúen sobre él.

En base a lo establecido en estos últimos párrafos, cada una de las patas tendrá asociados dos controladores:

- Controlador de posición

- Controlador de velocidad

Que, respectivamente, recibirán el nombre de:

- *pata_position_controller*
- *pata_velocity_controller*

Los tipos de controladores que incluye *ros_control* por defecto son suficientes para las necesidades del robot por lo que no se necesita crear uno nuevo. De estos controladores se tomarán los que se basan en el esfuerzo, *effort_controller*, y dentro de estos de posición, *JointPositionController*, y de velocidad, *JointVelocityController*.

Para inicializar cada uno de los controladores es necesario una serie de parámetros, estos parámetros, tanto para el controlador de posición como el de velocidad son:

- El nombre de la unión que está controlada.
- Los valores de las constantes proporcional (P), derivativa (D) e integral (I).

Los valores de cada una de las constantes han sido ajustados mediante métodos eurísticos. Observando el comportamiento de las patas con distintos valores se ha determinado lo siguiente:

- Con acción proporcional el intervalo de establecimiento es menor de 1 segundo en el aire, suficiente para los requisitos del robot, por tanto no requiere de acción derivativa para alcanzar las especificaciones dinámicas.
- La acción derivativa, hace aumentar mucho la sobreoscilación, descartándose totalmente su uso.
- Se ha añadido una acción integral mínima para asegurar que el sistema sea robusto ante perturbaciones de bloqueo. Especialmente útil cuando la pata necesita alzar el robot desde el suelo.

Siguiendo estas conclusiones y mediante procedimientos eurísticos, los valores de cada una de las constantes en ambos casos es el siguiente:

$$\text{Parámetros PID} \begin{cases} P & = & 10 \\ I & = & 0,2 \\ D & = & 0 \end{cases} \quad (1)$$

Estos parámetros deben ser cargados en el servidor de parámetros de ROS. Para poder inicializar los controladores se puede hacer una llamada al nodo `/controller_spawner` pasando como argumento el nombre de los controladores a cargar.

Para conocer el estado¹ de los actuadores se puede incluir otro controlador, el `/jointStateController`, también estándar de `ros_control` que emite el mensaje de topic `/rob-cib_hexapod/joint_state` con el estado de las patas. Esto será necesario para la planificación de modos de marcha en ocasiones donde, por ejemplo, la condición de la transición sea el paso por una posición concreta.

Una vez que se ha desarrollado cómo se estructuran los controladores y que el robot puede ser actuado, necesitamos saber cómo realizar ese comandado.

En primera instancia hay que especificar cómo se gestionan los controladores mediante el `controller_manager`. Este agente se ejecuta dentro del nodo principal del robot, donde previamente se ha establecido las interfaces de hardware mencionadas anteriormente, con esto se ofrece una serie de servicios con los que se le puede hacer peticiones sobre la carga, descarga y cambio de controladores:

- `/rob-cib_hexapod/controller_manager/list_controllers`: Devuelve una lista de los controladores y su estado (ejecutando o parado).
- `/rob-cib_hexapod/controller_manager/load_controller`: carga un controlador.
- `/rob-cib_hexapod/controller_manager/unload_controller`: para y quita un controlador.
- `/rob-cib_hexapod/controller_manager/switch_controller`: cambia el controlador de una interfaz de hardware. Para un actuador y dos controladores cargados del mismo, cambia el activo al que se desee.

Por cada controlador instanciado en ROS, se tienen una serie de mensajes y servicios con los cuales se puede gobernar sobre el controlador, se estudiarán dos aspectos: el cambio de los parámetros PID y la orden de referencia.

¹En este caso, estado de un actuador se corresponde a la posición, velocidad y esfuerzo en unidades del sistema internacional.

Para cambiar los parámetros de control durante la ejecución, se debe recurrir a los siguientes servicios dependiendo del controlador activo en ese momento:

- `/rob-cib_hexapod/pata1_position_controller/set_parameters`
- `/rob-cib_hexapod/pata1_velocity_controller/set_parameters`

Los campos a completar se corresponden con los parámetros PID de igual manera que se ha realizado previamente.

Por otro lado, para ordenar una posición o velocidad de referencia que debe alcanzar como entrada escalón, se recurre a la publicación de los siguientes mensajes, una vez de nuevo, dependiendo del controlador activo:

- `/rob-cib_hexapod/pata1_position_controller/command`
- `/rob-cib_hexapod/pata1_velocity_controller/command`

Para que el sistema no falle, este último mensaje debe ser publicado de forma periódica.

Todos los ejemplos han sido empleando la pata 1, pero son perfectamente extrapolables a cualquier otra pata cambiando el número por su correspondiente.

Es necesario aclarar, que cada vez que se cambia o se para un controlador, este pierde la referencia de posición o velocidad y por tanto, es necesario que se esté publicando el mensaje de comandado frecuentemente.

4. Interfaz de control

En este punto el robot es capaz de ser controlado, pero la cantidad de información, mensajes y servicios es abrumadora. Para simplificar este problema se ha introducido una nueva capa sobre el control, que manejará este tráfico.

El paquete resultante fue `/rob-cib_hexapod_controller_interface` que implementa una interfaz sobre el control que lo simplifica.

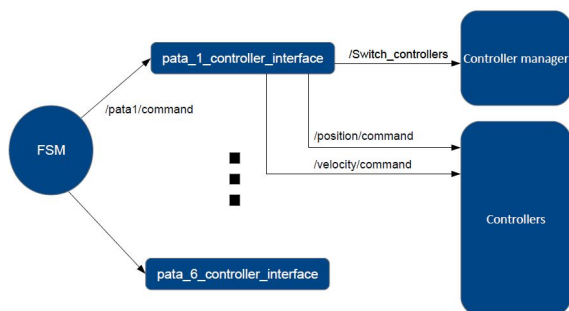


Figura 4: Diagrama de funcionamiento del `/rob-cib-hexapod-controller-interface`.

El paquete desarrollado, contiene un nodo de ROS con el mismo nombre que publica todos los mensajes necesarios y llama a los servicios pertinentes, según lo que se le haya pedido en el servicio creado de forma específica para la funcionalidad.

Los principales aspectos que se pretenden conseguir con este paquete son:

1. Simplificar el control del robot.
2. Asegurar que todos los mensajes necesarios de control queden cubiertos.
3. Prevenir fallos antes de comandar.
4. Publicar los mensajes de comando de forma periódica.
5. Simplificar el código.

Siguiendo estas metas, el nodo realiza las siguientes funciones:

- Toma en cuenta qué tipo de control está activo, cambia mediante el servicio `/switch_controller` el controlador que es necesario.
- Comprueba que el valor del comando es coherente y publica de forma periódica el mensaje `/command` del tipo que se necesite, bien sea de posición o de velocidad.

Se debe ejecutar un nodo por cada una de las patas. Esto es muy importante ya que para que se publique la información de manera correcta el nodo debe saber qué pata está controlando, esto se consigue pasando como argumento la pata correspondiente, por ejemplo, para la pata 1 se pasaría: `pata1`.

Para superar el obstáculo que pueda suponer que el mensaje de comando se tenga que emitir cada cierto tiempo, el nodo de `rob-cib-hexapod-controller-interface` se encargará de ello. El mensaje de `/command` es publicado de forma periódica, en este caso con una frecuencia de 10 Hz. Dos motivos han llevado a esta decisión:

- Frecuencias muy altas suponen mucho coste computacional.
- Frecuencias por debajo de los 2 Hz se ha comprobado que el comportamiento es errático.

Teniendo estos dos factores en cuenta se ha decidido con eurística que la frecuencia de mensaje debe ser de los 10 Hz mencionados anteriormente.

El nodo creado debe ser comandado a su vez de alguna forma, para esto se ha escogido un servicio creado ad-hoc para la aplicación. Este servicio se convierte en el único que el usuario debe tener en cuenta para el control.

Este servicio recibe el nombre de `/c_leg_command`. Este, necesita dos argumentos:

- El valor de la nueva referencia en unidades del sistema internacional, esto es [rad] para posición y [rad/s] para velocidad.
- Si es valor de posición o de velocidad.

El servidor devuelve el mensaje de servicio con un campo booleano que indica si la instrucción ha podido realizarse (valor verdadero) o no (valor falso).

La cantidad de información a manejar se ha reducido significativamente con la inclusión de la interfaz de control, sin embargo, para que resulte aún más sencillo se ha decidido incluir una librería de C++ dentro del mismo paquete.

De esta manera nació la librería `CLeg` que implementa la clase del mismo nombre cuyo objetivo es el repetido en múltiples ocasiones ya en el texto, simplificar y mejorar la accesibilidad al usuario. La librería busca implementar una clase que sea más intuitiva de manejar por el usuario y que a su vez mejore la legibilidad del código.

Para declarar una instancia de la clase pata C o *CLeg*, se necesitan de dos argumentos:

- El número de pata
- El *NodeHandle* del nodo que hace uso de la librería.

El primer argumento busca saber a qué pata hace referencia. El node handle es necesario para avisar al maestro de ROS de que es un cliente, necesario para llevar al cabo la llamada al servicio */c_leg_command*.

Los métodos públicos que permiten los objetos de la clase son los siguientes:

- ***updateState()***: recoge el último mensaje de */robcib_hexapod/joint_state* y actualiza los campos del objeto de posición, velocidad y esfuerzo.
- ***getPos()***: actualiza el estado y devuelve la posición de la pata en [rad].
- ***getVel()***: actualiza el estado y devuelve la velocidad de la pata en [rad/s].
- ***getEff()***: actualiza el estado y devuelve el esfuerzo de la pata en [Nm].
- ***getEstControl()***: devuelve TRUE si el control es de posición y FALSE en caso contrario.
- ***setPosition(float value)***: comanda el valor *value* como posición. Comprueba si el control es ya de posición, si no lo cambia y comienza a publicar de forma periódica el mensaje de comando.
- ***setVelocity(float value)***: comanda el valor *value* como velocidad. Comprueba si el control es ya de velocidad, si no lo cambia y comienza a publicar de forma periódica el mensaje de comando.

Con esto se completa la descripción de las herramientas para el desarrollo de los modos de marcha en el robot.

5. Modos de marcha basados en máquinas de estados

Para desarrollar cómo se implementan mediante máquinas de estados un modo de marcha, se ejemplificará mediante el planteamiento para la marcha de trípode alterno.

El trípode alterno es un modo de marcha característicos donde dos trípodes, constituidos por 3 patas distintas cada uno, realizan un semiciclo de avance sobre el terreno con una apertura que denominaremos como ángulo de avance, mientras que la otra gira a mayor velocidad en el aire buscando ponerse en la posición inicial en tierra y alternaran sus posiciones girando siempre los dos trípodes en el mismo sentido. Esta constituye una de las marchas más básicas y características del robot.

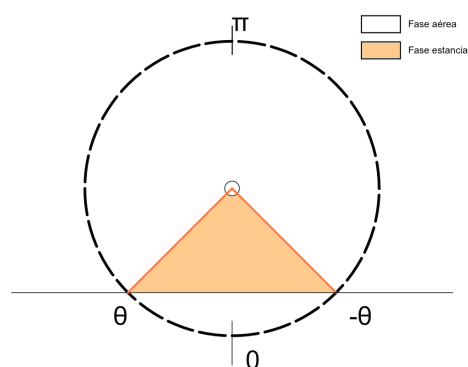


Figura 5: Fases aérea y terrestre.

En este caso, los trípodes 6 en cuestión serán:

- Trípode 1: patas 1 - 4 - 5
- Trípode 2: patas 2 - 3 - 6

Se parte de la premisa que el robot va a comenzar apoyado en tierra sobre su chasis.

Se distinguen tres estados en este modo de marcha:

- **Reposo:** Todas las patas en posición 0. El robot se queda erguido sobre sus patas.
- **Movimiento 1:** Trípode 1 en velocidad de tierra y el trípode 2 en velocidad de aire.
- **Movimiento 2:** Trípode 1 en velocidad de aire y trípode 2 en velocidad de tierra.

Una vez establecidos los estados, falta por determinar las condiciones de transición entre ellos:

- **Reposo a Mov 1:** las patas se encuentran en 0 y se da la señal de comienzo.

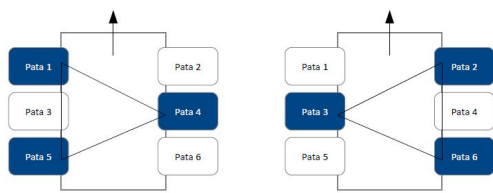


Figura 6: Trípodes.

- **Mov 1 a Mov 2:** trípode 1 en posición de despegue y trípode 2 en aterrizaje.
- **Mov 1 a Mov 2:** trípode 1 en posición de aterrizaje y trípode 2 en despegue.
- **De cualquier estado a Reposo:** señal de paro, emergencia o error no detectado.

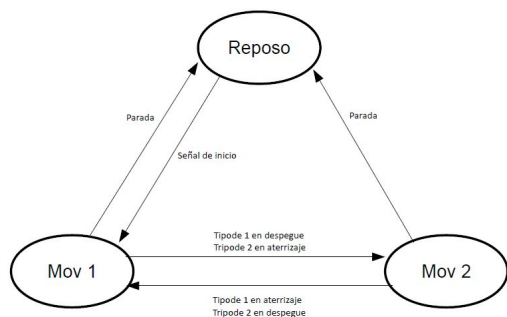


Figura 7: Máquina de estados del trípode alternativo.

Una vez que se han definido los estados, las acciones en los estados y las transiciones entre los mismos, queda definida la máquina de estados de la marcha. La traducción a código en C++ con la librería *CLeg* es directa.

Es necesario distinguir que en el estado reposo las patas se comandan por posición, mientras que en el resto se hace por velocidad.

La metodología seguida es aplicable para cualquier modo de marcha. Además, dentro de este planteamiento se podría añadir un cuarto estado intermedio de posicionamiento de las patas a la primera posición de despegue y aterrizaje. Si se deseara realizar, basta con añadir un estado y sus transiciones correspondientes, siendo mínimos los cambios en el resto de elementos ya planteados.

Esto demuestra la flexibilidad del método para incluir nuevos estados como puedan ser los de respuesta ante perturbación o error causado por el entorno.

6. Conclusiones

En base a todos los puntos desarrollados, los robots hexápodos con un grado de libertad en sus articulaciones, tienen una gran versatilidad a la hora de superar diferentes terrenos y obstáculos debido a que puede adoptar una gran cantidad de marchas diferentes.

Esto causa que el control tenga cierta sofisticación y una gran cantidad de información que manejar. Esto se ha solucionado con el paquete *rob-cib_controller_interface* que implementa la clase *CLeg* cuyos métodos permiten el dar comandos a cada una de las patas, sin tener que publicar directamente los múltiples mensajes que nos requiere *ros_control*.

Los archivos y códigos fuente no se han publicado en un repositorio aún dado que se trata de un proyecto en desarrollo.

Por otro lado, los modos de marcha pueden ser muy complejos si se plantean como flujogramas, en cambio, mediante máquinas de estado se consigue que el problema sea modular y flexible facilitando su planteamiento. Las máquinas de estado admiten modificaciones con un menor número de cambios que otras metodologías como los flujogramas. Además, se puede añadir estados a los que pasar por defecto en caso de encontrarse en una situación no esperada, esto resulta en marchas más robustas ante errores o perturbaciones.

Agradecimientos

Esta investigación ha recibido fondos del proyecto RoboCity2030-III-CM (Robótica aplicada a la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos. fase III; S2013/MIT-2748), financiado por los Programas de Actividades I+D en la Comunidad de Madrid y los Fondos Estructurales de la Unión Europea, y del proyecto DPI2014-56985-R (Protección robotizada de infraestructuras críticas), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España.

Referencias

- [1] CAMPBELL, D., AND BUEHLER, M. Stair descent in the simple hexapod 'rhex'. *Ambulatory Robotics Laboratory, Centre for Intelligent Machines, McGill University* (s.f.).
- [2] JESUS TORDESILLAS TORRES, JORGE DE LEON RIVAS, J. D. C. A. B. Modelo cinemático de un robot hexápodo con c-legs. *ETSII - UPM* (2016).
- [3] KODLAB. The rhex hexapedal robot. <http://kodlab.seas.upenn.edu/RHex/Home>. Consultado el 24 de Abril de 2017.
- [4] MOORE, E. Z. Leg design and stair climbing control for the rhex robotic hexapod. Master's thesis, Department of Mechanical Engineering McGill University, 2002.
- [5] NEVILLE, N., AND BUEHLER, M. Towards bipedal running of a six-legged robot. *Ambulatory Robotics Laboratory Centre for Intelligent Machines, McGill University* (s.f.).
- [6] RIVAS, J. D. L. Definición y análisis de los modos de marcha de un robot hexápodo para tareas de búsqueda y rescate. Master's thesis, Escuela técnica superior de ingenieros industriales - Universidad politécnica de Madrid, 2015.
- [7] SICILIANO, B., AND KHATIB, O., Eds. *Handbook of robotics*. Springer International Publishing, 2016.
- [8] TORRES, J. T. Diseño y simulación del sistema de locomoción de un robot hexápodo para tareas de búsqueda y rescate. Master's thesis, Escuela técnica superior de ingenieros industriales - Universidad politécnica de Madrid, 2016.
- [9] ULUC SARANLI, A. A. R., AND KODITSCHKEK, D. E. Model-based dynamic self-righting maneuvers for a hexapedal robot. *Robotics Institute, Carnegie Mellon University Department of Electrical Engineering and Computer Science The University of Michigan* (2004).
- [10] ULUC SARANLI, M. B., AND KODITSCHKEK, D. E. Rhex - a simple and highly mobile hexapod robot. *Department of Electrical Engineering and Computer Science The University of Michigan and Center for Intelligent Machines McGill University Montreal* (2001).