

Una Perspectiva de la Inteligencia Artificial en su 50 Aniversario

UCLM

El 31 de Agosto de 1955, J. McCarthy (Dartmouth College, New Hampshire), M. L. Minsky (Harvard University), N. Rochester (IBM Corporation) y C. E. Shannon (Bell Telephone Laboratories) propusieron una reunión en el verano de 1956 a un grupo de investigadores para que aportaran sus ideas sobre la conjetura de que cada aspecto del aprendizaje y cada característica de la inteligencia podían ser tan precisamente descritos que se podían crear máquinas que las simularan. El encuentro, ahora conocido como la Conferencia de Dartmouth, se llevó a cabo con tal éxito que el evento acuñó el término Inteligencia Artificial y con él una nueva área científica de conocimiento. En el año 2006 se cumplen cincuenta años de la Conferencia de Dartmouth.

Este libro contiene los artículos presentados al Congreso Multidisciplinar en Percepción e Inteligencia CMPI-2006 dentro del evento de conmemoración más trascendente en lengua española de los 50 Años de la Inteligencia Artificial, el Campus Multidisciplinar en Percepción e Inteligencia celebrado en el Campus de la Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete del 10 al 14 de Julio de 2006.



Una Perspectiva de la Inteligencia Artificial en su 50 Aniversario



Una Perspectiva de la Inteligencia Artificial en su 50 Aniversario

UCLM

»Factos del Campus Multidisciplinar en Percepción e Inteligencia, CMPI-2006, UCLM

»Antonio Fernández-Caballero, María Gracia Manzano, Enrique Alonso, Sergio Miguel Torne (Eds.)

Antonio Fernández-Caballero
María Gracia Manzano Arjona
Enrique Alonso González
Sergio Miguel Tomé (Eds.)

Una Perspectiva de la Inteligencia Artificial en su 50 Aniversario

Campus Multidisciplinar en Percepción e Inteligencia, CMPI-2006
Albacete, España, 10-14 de Julio del 2006
Actas, Volumen I

Universidad de Castilla-La Mancha
Departamento de Sistemas Informáticos

© Universidad de Castilla-La Mancha 2006

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del copyright.

Impreso en España. Printed in Spain.

ISBN 84-XXXXX-XX-X

Presentación

El 31 de Agosto 1955, *J. McCarthy* (Dartmouth College, New Hampshire), *M.L. Minsky* (Harvard University), *N. Rochester* (I.B.M. Corporation) y C.E. Shannon (Bell Telephone Laboratories) lanzaron una propuesta para reunir en el verano de 1956 a un grupo de investigadores que quisieran trabajar sobre la conjetura de que cada aspecto del aprendizaje y cada característica de la inteligencia podían ser tan precisamente descritos que se podían crear máquinas que las simularan. El encuentro, celebrado en 1956 y ahora conocido como la conferencia de Dartmouth, se llevó a cabo con tal éxito que el evento acuñó el término *Inteligencia Artificial* y con él una nueva área científica de conocimiento. En el año 2006 se cumplen cincuenta años de la Conferencia de Dartmouth. Pero a pesar del tiempo transcurrido, el problema de encontrar las minuciosas descripciones de las características del cerebro y de la mente que fue mencionado en la propuesta de 1955 sigue tan vigente hoy, como ayer, a pesar del variado abanico de ciencias que lo abordan y estudian.

Albacete (España) ha sido en la semana del 10 al 14 de Julio la sede del evento internacional más importante en lengua castellana con el *Campus Multidisciplinar en Percepción e Inteligencia, CMPI-2006*. El Campus Multidisciplinar en Percepción e Inteligencia 2006 es un evento internacional en el que investigadores de diversas áreas relacionadas con la Percepción y la Inteligencia se encontrarán del 10 al 14 de Julio en el Campus Universitario de Albacete con el ánimo de recuperar el espíritu entusiasta de aquellos primeros días de la Inteligencia Artificial. En nuestra intención está el objetivo de crear un ambiente heterogéneo formado por especialistas de diversas áreas, cómo la Inteligencia Artificial, la Neurobiología, la Psicología, la Filosofía, la Lingüística, la Lógica, la Computación,, con el fin de intercambiar los conocimientos básicos de las diferentes áreas y de poner en contacto investigadores de los diferentes campos. El facilitar la creación de colaboraciones e investigaciones multidisciplinares es un objetivo prioritario de la propuesta.

El *Congreso Multidisciplinar en Percepción e Inteligencia*, que ha dado lugar a esta publicación, se engloba como parte fundamental en el Campus Multidisciplinar sobre Percepción e Inteligencia. Este Congreso Multidisciplinar en Percepción e Inteligencia va dirigida a todas aquellas personas que tengan interés por conocer qué es la Percepción y qué es la Inteligencia, vistas ambas desde una perspectiva claramente multidisciplinar. El Congreso Multidisciplinar contará con la presencia de destacados especialistas del campo de la investigación. Todos ellos, así, y desde su propia experiencia, podrán proporcionar a los asistentes una visión muy clara del estado actual de las distintas ciencias que se ocupan de la Percepción y la Inteligencia. Estas charlas invitadas o tutoriales complementan a la perfección las ponencias que se impartirán por las mañanas durante la Escuela de Verano sobre Percepción e Inteligencia.

El Campus Multidisciplinar en Percepción e Inteligencia ha contado también con la *Escuela de Verano en Percepción e Inteligencia: 50 Aniversario de la Inteligencia Artificial*, que se ha ofertado en el seno de la XIX Edición de Cursos de Verano de la Universidad de Castilla-La Mancha, y que se ha correspondido con la XVI Escuela de Verano del Departamento de Sistemas Informáticos. Pensada fundamentalmente para los alumnos de la Universidad de Castilla-La Mancha del Campus de Albacete, la Escuela de Verano sobre Percepción e Inteligencia ha cubierto aspectos de gran interés para las carreras de Informática, Medicina, Humanidades y Magisterio. Las clases magistrales de la Escuela de Verano han estado a cargo de importantes y reconocidos investigadores a nivel internacional. Todos ellos, así, y desde su propia experiencia, han proporcionado a los asistentes una visión muy clara del estado actual de las distintas ciencias que se ocupan de la Percepción y la Inteligencia.

Fruto de las contribuciones más importantes del evento han nacido dos libros¹. El primero de ellos, formado por dos volúmenes, denominado *Una Perspectiva de la Inteligencia Artificial en su 50 Aniversario. Actas del Campus Multidisciplinar en Percepción e Inteligencia, CMPI-2006*, es el que tiene en sus manos. Contiene las contribuciones de los congresistas expuestas oralmente o presentadas como pósters en el Congreso. El otro, llamado *50 Años de la Inteligencia Artificial. XVI Escuela de Verano de Informática*, recoge las ponencias invitadas de prestigiosos investigadores que han asistido al Campus Multidisciplinar en Percepción e Inteligencia.

Julio del 2006

Antonio Fernández-Caballero
María Gracia Manzano Arjona
Enrique Alonso González
Sergio Miguel Tomé
Comité Organizador CMPI-2006

¹ La publicación de estos libros ha sido financiada en parte por la Acción Complementaria del Ministerio de Educación y Ciencia TIN2005-25897-E y la Acción Especial de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha AEB06-023.

Organización

El congreso internacional *50 Años de la Inteligencia Artificial: Campus Multidisciplinar en Percepción e Inteligencia, CMPI-2006* ha sido organizado por el Departamento de Sistemas Informáticos (DSI) y el Instituto de Investigación en Informática de Albacete (I3A) de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM) en cooperación con el Parque Científico y Tecnológico de Albacete (PCyTA) y el Excmo. Ayuntamiento de Albacete.

Comité Organizador

Antonio Fernández-Caballero	(Universidad de Castilla-La Mancha)
María Gracia Manzano Arjona	(Universidad de Salamanca)
Enrique Alonso González	(Universidad Autónoma de Madrid)
Sergio Miguel Tomé	(Universidad de Castilla-La Mancha)

Comité Local

De la Ossa Jiménez, Luis	(Universidad de Castilla-La Mancha)
Díaz Delgado, Carmen	(Universidad de Castilla-La Mancha)
Fernández Graciani, Miguel Angel	(Universidad de Castilla-La Mancha)
Flores Gallego, María Julia	(Universidad de Castilla-La Mancha)
García Varea, Ismael	(Universidad de Castilla-La Mancha)
Gómez Quesada, Francisco J.	(Universidad de Castilla-La Mancha)
López Bonal, María Teresa	(Universidad de Castilla-La Mancha)
López Valles, José María	(Universidad de Castilla-La Mancha)
Mateo Cerdán, Juan Luis	(Universidad de Castilla-La Mancha)
Miranda Alonso, Tomás	(Universidad de Castilla-La Mancha)
Parreño Torres, Francisco	(Universidad de Castilla-La Mancha)
Ponce Sáez, Antonio	(Universidad de Castilla-La Mancha)

Comité de Programa

Adán Oliver, Antonio	Dept. de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática - Universidad de Castilla-La Mancha en Ciudad Real (ES)
Alvarez Sánchez, José Ramón	Dept. de Inteligencia Artificial - Universidad Nacional de Educación a Distancia (ES)
Arce Michel, Javier	Sociedad Iberoamericana de Psicología, Bolivia - SIAPSI (BO)
Areces, Carlos	Langue et Dialogue - Laboratoire Lorrain de Recherche en Informatique et ses Applications (FR)
Armengol i Voltas, Eva	Institut d'Investigació en Intel·ligència Artificial - Centro Superior de Investigaciones Científicas (ES)

VI

Armero San José, Julio	Dept. de Lógica, Historia y Filosofía de la Ciencia - Universidad Nacional de Educación a Distancia (ES)
Augusto, Juan Carlos	School of Computing and Mathematics - University of Ulster at Jordanstown (UK)
Barber Sanchís, Federico	Dept. de Sistemas Informáticos y Computación - Universitat Politècnica de Valencia (ES)
Barro Ameneiro, Senén	Dept. de Electrónica y Computación - Universidade de Santiago de Compostela (ES)
Bayro-Corrochano, Eduardo José	Computer Science - CINVESTAV, Guadalajara (MX)
Bel Enguix, Gemma	Research Group in Mathematical Linguistics - Universitat Rovira i Virgili (ES)
Blanco Mayor, Aquilino Carmelo	Dept. de Filosofía - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)
Botella Beviá, Federico	Dept. de Estadística, Matemática e Informática - Universidad Miguel Hernández de Elche (ES)
Bustos Guadaño, Eduardo de	Dept. de Lógica, Historia y Filosofía de la Ciencia - Universidad Nacional de Educación a Distancia (ES)
Camino Benito, María Elena	Centro Regional de Investigaciones Biomédicas - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)
Casacuberta Nolla, Francisco	Dept. de Sistemes Informàtics i Computació - Universitat Politècnica de València (ES)
Casals Gelpí, Alicia	Dept. d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial - Universitat Politècnica de Catalunya (ES)
Castejón Costa, Juan Luis	Dept. Sociología II, Psicología, Comunicación y Didáctica - Universitat d'Alacant (ES)
Chinellato, Eris	Robotic Intelligence Laboratory - Universitat Jaume I (ES)
Cordón García, Oscar	Applications of Fuzzy Logic and Evolutionary Algorithms Research Unit - European Centre for Soft Computing (ES)
Cortés, Ulises	Knowledge Engineering and Machine Learning Group - Universitat Politècnica de Catalunya (ES)
Cuadros-Vargas, Ernesto	Computer Science - Universidad Católica San Pablo, Arequipa (PE)
Deco, Gustavo	Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats - Universitat Pompeu Fabra (ES)
Del Pobil, Angel Pasqual	Robotic Intelligence Laboratory - Universitat Jaume I (ES)
Delgado García, Ana	Dept. de Inteligencia Artificial - Universidad Nacional de Educación a Distancia (ES)
Díaz Delgado, Carmen	Centro Regional de Investigaciones Biomédicas - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)
Duro, Richard J.	Dept. de Computación - Universidade da Coruña (ES)
Farías del Cerro, Luis	Institut de Recherche en Informatique de Toulouse - Université Paul Sabatier (FR)

Feliú Batlle, Vicente	Dept. de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática - Universidad de Castilla-La Mancha en Ciudad Real (ES)
Fernández Graciani, Miguel Angel	Dept. de Sistemas Informáticos - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)
Fernández Moreno, Luis	Dept. de Lógica y Filosofía de la Ciencia - Universidad Complutense de Madrid (ES)
Fuentes Melero, Luis	Dept. de Psicología Básica y Metodología - Universidad de Murcia (ES)
Gámez Martín, José Antonio	Dept. de Sistemas Informáticos - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)
García Pupo, Mauro	Sociedad Cubana de Matemática y Computación - Universidad de Holguín (CU)
García Varea, Ismael	Dept. de Sistemas Informáticos - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)
Garijo, Francisco	Telefónica Investigación y Desarrollo - Telefónica (ES)
Geffner, Hector	Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats - Universitat Pompeu Fabra (ES)
Godó Lacasa, Lluís	Institut d'Investigació en Intel·ligència Artificial - Centro Superior de Investigaciones Científicas (ES)
González López, Pascual	Dept. de Sistemas Informáticos - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)
Graña Romay, Manuel	Dept. de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial - Euskal Herriko Unibertsitatea / - Universidad del País Vasco (ES)
Hernández Orallo, José	Dept. de Sistemes Informàtics i Computació - Universitat Politècnica de València (ES)
Herrera Viedma, Enrique	Dept. de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial - Universidad de Granada (ES)
Huertas Sánchez, M. Antonia	Informàtica y Multimedia - Universitat Oberta de Catalunya (ES)
Insausti Serrano, Ricardo	Centro Regional de Investigaciones Biomédicas - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)
Jansana, Ramón	Dept. de Lògica, Història i Filosofia de la Ciència - Universitat de Barcelona (ES)
Jiménez López, María Dolores	Research Group in Mathematical Linguistics - Universitat Rovira i Virgili (ES)
Juiz Gómez, José Manuel	Dept. de Ciencias Médicas - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)
Kemper Valverde, Nicolás	Laboratorio de Sistemas Inteligentes - Universidad Nacional Autónoma de México (MX)
Latorre Postigo, José Miguel	Dept. de Psicología - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)
Llinás Riascos, Rodolfo	Department of Physiology and Neuroscience - New York - University Medical Center (USA)
Llopis Borrás, Juan	Centro Regional de Investigaciones Biomédicas - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)
López Bonal, María Teresa	Dept. de Sistemas Informáticos - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)

VIII

López de Mántaras, Ramón	Institut d'Investigació en Intel·ligència Artificial - Centro Superior de Investigaciones Científicas (ES)
López-Poveda, Enrique A.	Instituto de Neurociencias de Castilla y León - Universidad de Salamanca (ES)
Luján Miras, Rafael	Centro Regional de Investigaciones Biomédicas - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)
Marin Morales, Roque	Dept. de Ingeniería de la Información y de las Comunicaciones - Universidad de Murcia (ES)
Martín-Vide, Carlos	Research Group in Mathematical Linguistics - Universitat Rovira i Virgili (ES)
Martínez Galán, Juan Ramón	Centro Regional de Investigaciones Biomédicas - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)
Martínez Tomás, Rafael	Dept. de Inteligencia Artificial - Universidad Nacional de Educación a Distancia (ES)
Mastriani, Mario	Misión SAOCOM - Comisión Nacional de Actividades Espaciales (AR)
Matellán Olivera, Vicente	Robotics Lab. - Universidad Rey Juan Carlos (ES)
Mira Mira, José	Dept. de Inteligencia Artificial - Universidad Nacional de Educación a Distancia (ES)
Miranda Alonso, Tomás	Dept. de Filosofía - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)
Moreno-Díaz, Roberto	Instituto - Universitario de Ciencias y Tecnologías Cibernéticas - Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ES)
Moreno García, Juan	Dept. de Tecnologías y Sistemas de Información - Universidad de Castilla-La Mancha en Toledo (ES)
Moreno Valverde, Ginés	Dept. de Sistemas Informáticos - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)
Nepomuceno Fernández, Ángel	Dept. de Filosofía y Lógica - Universidad de Sevilla (ES)
Ojeda Aciego, Manuel	Dept. Matemática Aplicada - Universidad de Málaga (ES)
Oliver, Nuria	Microsoft Research - Microsoft Corporation, Redmond (USA)
Pascual Fidalgo, Vicente	Dept. de Sistemas Informáticos - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)
Pavón Mestras, Juan	Dept. de Sistemas Informáticos y Programación - Universidad Complutense de Madrid (ES)
Penabad Vazquez, Jaime	Dept. de Matemáticas - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)
Pérez Jiménez, Mario de Jesús	Dept. de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial - Universidad de Sevilla (ES)
Pérez Sedeño, Eulalia	Instituto de Filosofía - Centro Superior de Investigaciones Científicas (ES)
Ponce Sáez, Antonio	Dept. de Filosofía - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)
Ponte Fernández, Dolores	Dept. de Psicología Social, Básica e Metodología - Universidade de Santiago de Compostela (ES)
Prieto Espinosa, Alberto	Dept. de Arquitectura y Tecnología de Computadores - Universidad de Granada (ES)

Puelles López, Luis	Dept. de Anatomía Humana y Psicobiología - Universidad de Murcia (ES)
Puerta Callejón, José Miguel	Dept. de Sistemas Informáticos - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)
Rechea Alberola, Cristina	Dept. de Psicología - Universidad de Castilla-La Mancha en Albacete (ES)
Rodríguez Ladreda, Rosa María	Asociación Andaluza de Filosofía (ES)
Ruiz Shulcloper, José	Centro de Aplicaciones de Tecnologías de Avanzada - CENATAV, Ciudad Cuba (CU)
Sánchez-Andrés, Juan Vicente	Dept. de Fisiología - Universidad de La Laguna (ES)
Sánchez Calle, Ángel	Dept. de Informática, Estadística y Telemática - Universidad Rey Juan Carlos (ES)
Sánchez Cánovas, José	Dept. de Personalitat, Avaluació i Tractaments Psicològics - Universitat de València (ES)
Sánchez Vila, Eduardo	Dept. de Electrónica y Computación - Universidade de Santiago de Compostela (ES)
Sanfeliú Cortés, Alberto	Institut de Robòtica i Informàtica Industrial - Universitat Politècnica de Catalunya (ES)
Solar Fuentes, Mauricio	Dept. de Ingeniería Informática - Universidad de Santiago de Chile (CL)
Silva Mata, Francisco José	Centro de Aplicaciones de Tecnologías de Avanzada - CENATAV, Ciudad Cuba (CU)
Sossa Azuela, Juan Humberto	Centro de Investigación en Computación - Instituto Politécnico Nacional (MX)
Sucar Succar, Luis Enrique	Dept. de Computación - Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (MX)
Taboada Iglesias, María Jesús	Dept. de Electrónica e Computación - Universidade de Santiago de Compostela (ES)
Toro-Alfonso, José	Dept. de Psicología - Universidad de Puerto Rico
Torra, Vicenç	Institut d'Investigació en Intel·ligència Artificial - Centro Superior de Investigaciones Científicas (ES)
Trillas Ruiz, Enric	Dept. de Inteligencia Artificial - Universidad Politécnica de Madrid (ES)
Tudela Garmendia, Pío	Dept. de Psicología Experimental y Fisiología del Comportamiento - Universidad de Granada (ES)
Vega Reñón, Luis	Dept. de Lógica, Historia y Filosofía de la Ciencia - Universidad Nacional de Educación a Distancia (ES)
Verdegay Galdeano, José Luis	Dept. de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial - Universidad de Granada (ES)
Vidal Ruiz, Enrique	Dept. de Sistemes Informàtics i Computació - Universitat Politècnica de València (ES)

Entidades Organizadoras

Universidad de Castilla-La Mancha
Parque Científico y Tecnológico de Albacete
Excmo. Ayuntamiento de Albacete

Entidades Patrocinadoras

Ministerio de Educación y Ciencia
Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha
(Consejería de Educación y Ciencia)
Caja Castilla-La Mancha
Telefónica
Fundación Campollano
Instituto de Investigación en Informática de Albacete
Departamento de Sistemas Informáticos, UCLM
Revista "Mente y Cerebro"
Centro Regional de Investigaciones Biomédicas, UCLM
Excma. Diputación de Albacete

Entidades Colaboradoras

Asociación Española para la Inteligencia Artificial
Asociación Andaluza de Filosofía
Associació Catalana d'Intel·ligència Artificial
Asociación Cubana de Reconocimiento de Patrones
Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología
Instituto de Filosofía, CSIC
Instituto de Neurociencias de Castilla y León
Mexican Association for Computer Vision, Neurocomputing and Robotics
Sociedad de Lógica, Metodología y Filosofía de la Ciencia en España
Sociedad Chilena de Ciencia de la Computación
Sociedad Colombiana de Psicología
Sociedad Cubana de Matemática y Computación
Sociedad Española de Filosofía Analítica
Sociedad Española de Neurociencia
Sociedad Española de Psicología Experimental
Sociedad Interamericana de Psicología
Sociedad Mexicana de Ciencia de la Computación
Sociedad Peruana de Computación
Sociedad Venezolana de Filosofía
TECNOCIENCIA

Índice general

VOLUMEN I

FUNDAMENTOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

<i>Inteligencia artificial frente a inteligencia natural cuando expresamos actitudes</i>	
A.J. Herencia-Leva y M.T. Lamata	1
<i>Bletchley Park: La emergencia de la computación según el modelo de cognición social distribuida</i>	
A. Rubio Frutos	12
<i>Sobre la frontera formal entre el conocimiento computable y el conocimiento humano</i>	
J.C. Herrero, J. Mira, M. Taboada y J. Des	22
<i>Aprendiendo a aprender: De máquinas listas a máquinas inteligentes</i>	
B. Raducanu y J. Vitrià	34
<i>La inteligencia como propiedad física y la posibilidad de su explicación</i>	
S. Miguel Tomé	46
<i>Esbozo de una lógica del ver: Fundamentos, método y conexiones</i>	
E. Álvarez Mosquera	57

ONTOLOGÍAS Y GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

<i>Ontologías y agentes de red: Un recambio para la I.A. clásica</i>	
E. Alonso y J. Taravilla	65
<i>Una aproximación incremental para adquisición y modelado de conocimiento sobre diagnosis en medicina</i>	
M. Taboada, J. Mira y J. Des	79
<i>Fusión automatizada de ontologías: Aplicación al razonamiento espacial cualitativo</i>	
J. Borrego-Díaz y A.M. Chávez-González	91
<i>El método del centro de áreas como mecanismo básico de representación y navegación en robótica situada</i>	
J.R. Álvarez Sánchez, J. Mira y F. de la Paz López	103
<i>Localización de fuentes del conocimiento en el proceso del mantenimiento del software</i>	
J.P. Soto, O.M. Rodríguez, A. Vizcaíno, M. Piattini y A.I. Martínez-García	118

<i>Representación del conocimiento basado en reglas para un diagnóstico enfermero</i>	
M.L. Jiménez, J.M. Santamaria, L.A. González, Á.L. Asenjo y L.M. Laita de la Rica	124
<i>Propuesta de un modelo de adquisición de habilidades y conocimiento complejo</i>	
R. Gilar Corbi y J.L. Castejón Costa	130

SISTEMAS EXPERTOS Y DE AYUDA A LA DECISIÓN

<i>Razonamiento temporal en una aplicación de gestión de enfermería</i>	
J. Salort, J. Palma y R. Marín	140
<i>Sistema experto para soporte diagnóstico en el postoperatorio de transposición de grandes arterias</i>	
V.R. Castillo, X.P. Blanco Valencia, Á.E. Durán, G.J.M. Rincón Blanco y A.F. Villamizar Vecino	146
<i>Decisión multi-atributo basada en órdenes de magnitud</i>	
N. Agell, M. Sánchez, F. Prats y X. Rovira	152

FILOSOFÍA Y MODELOS DE LA MENTE

<i>Determinismo, autoconfiguración y posibilidades alternativas en la filosofía de la mente y de la acción de Daniel C. Dennett</i>	
J.J. Colomina Almiñana y V. Raga Rosaleny	161
<i>Formalización del lenguaje filosófico en Leibniz</i>	
L. Cabañas	174
<i>Arquitecturas emocionales en inteligencia artificial</i>	
M.G. Bedia, J.M. Corchado y J. Ostalé	186
<i>Una perspectiva naturalizada del concepto de información en el sistema nervioso</i>	
X. Barandiaran y Á. Moreno	194

REDES NEURONALES

<i>Modelo de conductancia sináptica para el análisis de la correlación de actividad entre neuronas de integración y disparo</i>	
F.J. Veredas y H. Mesa	207
<i>RNA + SIG: Sistema automático de valoración de viviendas</i>	
N. García Rubio, M. Gámez Martínez y E. Alfaro Cortés	219
<i>Críticos de arte artificiales</i>	
J. Romero, P. Machado, B. Manaris, A. Santos, A. Cardoso y M. Santos	231

- Topos: Reconocimiento de patrones temporales en sonidos reales con redes neuronales de pulsos*
P. González Nalda y B. Cases 243

COMPUTACIÓN EVOLUTIVA Y ALGORITMOS GENÉTICOS

- Posprocesamiento morfológico adaptativo basado en algoritmos genéticos y orientado a la detección robusta de humanos*
E. Carmona, J. Martínez-Cantos y J. Mira 249
- Mejora paramétrica de la interacción lateral en computación acumulativa*
J. Martínez-Cantos, E. Carmona, A. Fernández-Caballero y María T. López 262
- Aprendizaje de reglas difusas ponderadas mediante algoritmos de estimación de distribuciones*
L. delaOssa, J.A. Gámez y J.M. Puerta 274
- Sociedad híbrida: Una extensión de computación evolutiva interactiva*
J. Romero, P. Machado, A. Santos y M. Santos 286

ROBÓTICA Y SISTEMAS AUTÓNOMOS

- Vehículos Inteligentes: Aplicación de la visión por computador*
C. Hilario, J.M. Collado, J.P. Carrasco, M.J. Flores, J.M. Pastor, F.J. Rodríguez, J.M. Armingol y A. de la Escalera 298
- Localización basada en lógica difusa y filtros de Kalman para robots con patas*
F. Martín, V. Matellán, P. Barrera y J.M. Cañas 310
- Reflexiones sobre la utilización de robots autónomos en tareas de vigilancia y seguridad*
J.R. Álvarez Sánchez, J. Mira y F. de la Paz López 322
- De simbólicos vs. subsimbólicos, a los robots etoinspirados*
J.M. Cañas y V. Matellán 332
- Arquitectura cognitiva para robots autónomos basada en la integración de mecanismos deliberativos y reactivos*
J.A. Becerra, F. Bellas y R.J. Duro 345
- Modelización cualitativa para integración plurisensorial en un robot AIBO*
D.A. Graullera, S. Moreno y M.T. Escrig 357

SISTEMAS MULTIAGENTE Y ARQUITECTURAS PARA LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

- La arquitectura Acromovi: Una arquitectura para tareas cooperativas de robots móviles*
P. Nebot y E. Cervera 365

<i>Desarrollo de un sistema inteligente de vigilancia multisensorial con agentes software</i>	
J. Pavón, J. Gómez-Sanz, J.J. Valencia-Jiménez y A. Fernández-Caballero	377
<i>Simulación de sistemas sociales con agentes software</i>	
J. Pavón, M. Arroyo, S. Hassan y C. Sansores	389
<i>La aplicación de modelos de consciencia artificial en los sistemas multiagente</i>	
R. Arrabales Moreno y A. Sanchis de Miguel	401
<i>Una arquitectura multi-agente con control difuso colaborativo para un robot móvil</i>	
B. Innocenti, B. Lopez y J. Salvi	413

VOLUMEN II

PERCEPCIÓN E INTELIGENCIA BIO-INSPIRADAS

<i>Una arquitectura bioinspirada para el modelado computacional de los mecanismos de atención visual selectiva</i>	
J. Mira, A.E. Delgado, M.T. López, A. Fernández-Caballero y M.A. Fernández	425
<i>Interacción con seres simulados: Nuevas herramientas en psicología experimental</i>	
C. González Tardón	438
<i>Niveles de descripción para la interpretación de secuencias de vídeo en tareas en vigilancia</i>	
M. Bachiller Mayoral, R. Martínez Tomás, J. Mira y M. Rincón Zamorano	450
<i>Principios dinámicos en el estudio de la percepción</i>	
M.G. Bedia, J.M. Corchado y J. Ostalé	463
<i>Memoria y organoterapia</i>	
J.P. Moltó Ripoll y M. Llopis	475
<i>De la neurociencia a la semántica: Percepción pura, cognición y modelos de estructuración de la memoria</i>	
M. Fernández Urquiza	482

CLASIFICACIÓN Y RECONOCIMIENTO DE PATRONES

<i>Clasificación de estímulos somatosensoriales basada en codificación temporal de la información</i>	
J. Navarro, E. Sánchez y A. Canedo	488

<i>Reconocimiento de objetos de forma libre y estimación de su posicionamiento usando descriptores de Fourier</i>	
E. González, V. Feliú, A. Adán y L. Sánchez	500
<i>Verificación off-line de firmas manuscritas: Una propuesta basada en snakes y clasificadores fuzzy</i>	
J.F. Vélez, Á. Sánchez, A.B. Moreno y J.L. Esteban	512
<i>Boosting con reutilización de clasificadores débiles</i>	
J.J. Rodríguez y J. Maudes	524
<i>Análisis de escenas 3D: Segmentación y grafos de situación</i>	
A. Adán, P. Merchán y S. Salamanca	536
<i>Clasificación de cobertura vegetal usando wavelets</i>	
O. Mayta, R. Reynaga y L. Alonso Romero	548
<i>Regresión logística con construcción de características mediante Boosting</i>	
J. Maudes y J.J. Rodríguez	558
<i>Extracción de líneas melódicas a partir de imágenes de partituras musicales</i>	
Á. Sánchez, J.J. Pantrigo y J.I. Pérez	564
<i>La visión artificial y las operaciones morfológicas en imágenes binarias</i>	
J. Cáceres Tello	570

RAZONAMIENTO FORMAL

<i>Una comparativa entre el álgebra de rectángulos y la lógica SpPNL</i>	
A. Morales y G. Sciavicco	576
<i>Deducción y generación de modelos de cardinalidad finita</i>	
Á. Nepomuceno Fernández, F. Soler Toscano y F.J. Salguero Lamillar	588
<i>Programando con igualdad similar estricta</i>	
G. Moreno y V. Pascual	600

RAZONAMIENTO APROXIMADO Y RAZONAMIENTO BAYESIANO

<i>BayesChess: Programa de ajedrez adaptativo basado en redes bayesianas</i>	
A. Fernández Álvarez y A. Salmerón Cerdán	613
<i>Un nuevo algoritmo de selección de rasgos basado en la Teoría de los Conjuntos Aproximados</i>	
Y. Caballero, R. Bello, D. Alvarez, M.M. Garcia y A. Baltá	625
<i>La Teoría de los Conjuntos Aproximados en la edición de conjuntos de entrenamiento para mejorar el desempeño del método k-NN</i>	
Y. Caballero, R. Bello, Y. Pizano, D. Alvarez, M.M. Garcia y A. Baltá	637

HEURÍSTICAS Y METAHEURÍSTICAS

<i>Ajuste dinámico de profundidad en el algoritmo $\alpha\beta$ (DDA$\alpha\beta$)</i>	
D. Micol y P. Suau	646

<i>TRADINNOVA: Un algoritmo heurístico de compra-venta inteligente de acciones</i>	
I.J. Casanova y J.M. Cadenas	655
<i>Hibridación entre filtros de partículas y metaheurísticas para resolver problemas dinámicos</i>	
J.J. Pantrigo, Á. Sánchez, A.S. Montemayor y A. Duarte	667
<i>Modelado del coordinador de un sistema meta-heurístico cooperativo mediante SoftComputing</i>	
J.M. Cadenas, R.A. Díaz-Valladares, M.C. Garrido, L.D. Hernández y E. Serrano	679
<i>Localización en redes mediante heurísticas basadas en soft-computing</i>	
M.J. Canós, C. Ivorra y V. Liern	689

INCERTIDUMBRE Y LÓGICA DIFUSA

<i>Razonamiento abductivo en modelos finitos mediante C-tablas y δ-resolución</i>	
F. Soler-Toscano, Á. Nepomuceno-Fernández, A. Aliseda-Llera y A.L. Reyes-Cabello	699
<i>Evaluación parcial de programas lógicos multi-adjuntos y aplicaciones</i>	
P. Julian, G. Moreno y J. Penabad	712
<i>Análisis del movimiento basado en valores de permanencia y lógica difusa</i>	
J. Moreno-Garcia, L. Rodríguez-Benítez, A. Fernández-Caballero y María T. López	725
<i>Estrategias cooperativas paralelas con uso de memoria basadas en Soft Computing</i>	
C. Cruz, D. Pelta, A. Sancho Royo y J.L. Verdegay	739
<i>Retículos de conceptos multi-adjuntos</i>	
J. Medina, M. Ojeda Aciego y J. Ruiz Calviño	751
<i>Descripción lingüística de trayectorias de objetos obtenidas directamente de vídeo MPEG</i>	
L. Rodríguez Benítez, J. Moreno-Garcia, J. Castro-Schez y L. Jiménez	763

LENGUAJE NATURAL

<i>Evaluación de la selección, traducción y pesado de los rasgos para la mejora del clustering multilingüe</i>	
S. Montalvo, A. Navarro, R. Martínez, A. Casillas y V. Fresno	769
<i>Etiquetación morfológica y automática del español mediante mecanismos de aprendizaje computacional y toma de decisiones</i>	
J.M. Alcaraz y J.M. Cadenas	779
<i>Máxima verosimilitud con dominio restringido aplicada a clasificación de textos</i>	
J.A. Ferrer y A.J. Císcar	791

<i>Resolución con datos lingüísticos de un problema de decisión</i>	
M.S. García, M.T. Lamata	804
<i>Teorías del lenguaje: Alcance y crítica</i>	
F. Ureña Rodríguez	815
TRADUCCIÓN AUTOMÁTICA	
<i>Traducción múltiple con transductores de estados finitos a partir de corpus bilingües</i>	
M.-T. González y F. Casacuberta	821
<i>Algunas soluciones al problema del escalado en traducción automática estadística</i>	
D. Ortiz-Martínez, I. García-Varea y F. Casacuberta	830
<i>Búsqueda de alineamientos en traducción automática estadística: Un nuevo enfoque basado en un EDA</i>	
L. Rodríguez, I. García-Varea y J.A. Gámez	843
<i>Análisis teórico sobre las reglas de traducción directa e inversa en traducción automática estadística</i>	
J.A. Ferrer, I. García-Varea y F. Casacuberta	855
TECNOLOGÍAS DE INTERACCIÓN INTELIGENTES	
<i>Interfaces de usuario inteligentes: Pasado, presente y futuro</i>	
V. López Jaquero, F. Montero, J.P. Molina y P. González	868
PLANIFICACIÓN Y OPTIMIZACIÓN	
<i>An online algorithm for a scheduler on the Internet</i>	
C. Gomez, M. Solar, F. Kri, V. Parada, L. Figueroa y M. Marin	874

Una arquitectura multi-agente con control difuso colaborativo para un robot móvil

Bianca Innocenti, Beatriz Lopez y Joaquim Salvi

Instituto de Informática y Aplicaciones
Universidad de Girona, España
{bianca,blopez,qsalvi}@eia.udg.es

Resumen Uno de los desafíos actuales en el desarrollo de sistemas de control de robots, es que sean capaces de exhibir respuestas inteligentes y adecuadas a entornos cambiantes. Resulta tecnológicamente difícil y potencialmente peligroso construir sistemas complejos controlados exclusivamente de forma centralizada. Una manera de abordar la descentralización es mediante el control colaborativo, ya que permite desarrollar un comportamiento complejo a partir de diversos controladores que se combinan para conseguir el resultado deseado. Por otra parte, un robot requiere de capacidades cognitivas de más alto nivel. En este caso, las arquitecturas multiagentes proporcionan el modo adecuado para definir las. Este artículo pretende combinar las arquitecturas multiagentes con el control colaborativo, de forma que éste se desarrolla dentro del agente. Se presenta la arquitectura multiagente y se hace énfasis en la integración del control colaborativo para modelar el comportamiento de un agente. Los experimentos se han realizado en un robot móvil Pioneer.

1. Introducción

Uno de los desafíos actuales en el desarrollo de sistemas de control para robots, es que sean capaces de exhibir respuestas inteligentes y adecuadas a las circunstancias cambiantes del entorno. Métodos de aprendizaje y de adaptación, así como técnicas de toma de decisiones, ayudan en la consecución de estos objetivos. Sin embargo, resulta tecnológicamente difícil y potencialmente peligroso construir sistemas complejos que sean controlados exclusivamente de forma centralizada [16].

Uno de los trabajos pioneros en considerar arquitecturas compuestas de diferentes comportamientos distribuidos, independientes y asíncronos que eran coordinados por un árbitro central ha sido DAMN [22]. El comportamiento global de la arquitectura de Rosenblatt se evaluó como racional, coherente, orientado a objetivos a la vez que mantenía una respuesta en tiempo real, del sistema a su entorno físico inmediato. Otras arquitecturas se han desarrollado desde entonces, como por ejemplo O2CA2 [19], en la que se utiliza un esquema de votación para coordinar los diferentes comportamientos. Las ventajas de este tipo de arquitecturas con comportamientos independientes son que facilitan el desarrollo

y que permiten la creación evolutiva de sistemas robustos con mayores capacidades [22]. En trabajos más recientes [1], se analizan diferentes arquitecturas y se destaca la organización jerárquica de los comportamientos como una de las organizaciones más ventajosas. En este tipo de arquitecturas, cada comportamiento ha sido modelizado como un módulo con habilidades de comunicación.

Trabajos recientes en Sistemas Multi-Agente, han animado a los investigadores a ir un paso más allá en el diseño de arquitecturas de control, de manera que los módulos han sido reemplazados por agentes. Los agentes son programas autónomos que pueden interaccionar entre ellos y adaptarse al entorno [15]. Un agente es un sistema auto-contenido, independiente, situado y que tiene capacidades reflectivas y reflexivas (*selfawareness*). Los agentes proporcionan más flexibilidad al desarrollo de arquitecturas para robots. En relación a las restricciones de comunicación que puedan surgir como consecuencia de la interacción de los agentes para su coordinación, trabajos recientes en sistemas multi-agente han demostrado la capacidad de respuesta en tiempo real de estos sistemas a su entorno [25].

Sin embargo, los comportamientos asociados a cada agente, no son sencillos. Por ejemplo, un comportamiento "ir a", en una trayectoria libre de obstáculos, tiene que considerar si el punto de destino está cerca o lejos de la posición actual del robot. Dependiendo de esta información, el robot debería desplazarse rápida o lentamente. Por lo tanto, el comportamiento asociado al agente que forma parte de la arquitectura de un robot, puede, a su vez, ser complejo. Una aproximación al diseño de los agentes es aprovechar los trabajos realizados en control colaborativo para desarrollar un comportamiento complejo a nivel de agente. Este control colaborativo consiste en la combinación de diferentes controladores para obtener el comportamiento deseado.

Integrando ambas líneas de investigación, la aproximación multi-agente y control colaborativo, se obtiene como resultado una arquitectura multi-agente de controles colaborativos, a la que llamamos aproximación de control colaborativo múltiple en un robot. El control colaborativo se aplica al diseño y al desarrollo de un único comportamiento, mientras que toda la arquitectura del robot se basa en un sistema multi-agente en el cual, cada agente representa un comportamiento. En este artículo se describe brevemente la arquitectura multi-agente propuesta y se proporciona una explicación detallada de la implementación de un agente con control colaborativo basado en la lógica difusa [13]. Detalles sobre la aproximación MAS se pueden encontrar en [11]. El objetivo de este artículo, por lo tanto, es centrarnos en el control colaborativo que se realiza en un agente de la arquitectura multiagente.

El artículo se organiza como sigue. En la Sección 2, se presenta el trabajo relacionado. Una breve descripción de la arquitectura multi-agente se proporciona en la Sección 3, que incluye el comportamiento *goto* diseñado por medio del control colaborativo. A continuación, en la Sección 4 se detalla la propuesta de control colaborativo. En la Sección 5 se muestran los resultados obtenidos y finalmente, se presentan las conclusiones y el trabajo futuro en la Sección 6.

2. Trabajo relacionado

Como se estableció anteriormente, el control colaborativo múltiple en un único robot concierne al control colaborativo y a los sistemas multi-agentes. El control colaborativo tiene un significado muy general y por lo tanto, cada vez que se definen varios algoritmos de control en una tarea compleja se está introduciendo una idea implícita de colaboración en el control. Por lo tanto, cualquier desarrollo de sistemas complejos con arquitecturas multiagentes puede considerarse como una aproximación colaborativa. Sin embargo la mayoría de las arquitecturas construidas como sistemas multi-agente en robótica no son para controlar un único robot sino que hacen referencia a sistemas multi-robots ([14],[24],[5],[21]). Las excepciones ([17],[2],[9],[20]) presentan diferentes aproximaciones. Por ejemplo, la arquitectura multi-agente (MAS) propuesta por [17] para el nivel reactivo, tiene dos clases de agentes: los elementales que tienen las habilidades básicas y los de alto nivel que son responsables de integrar y coordinar varios agentes elementales. En [2], hay un agente específico que, basado en un proceso de subastas, determina la acción que debe ejecutarse. En [9] la definición de una arquitectura de sistema de control MAS se basa en la teoría de la organización y en la de las alianzas estratégicas. En [20] se propone un sistema multi-agente que mejora la navegación de robots autónomos en entornos semiestructurados desconocidos. La novedad de este trabajo es el uso de técnicas de razonamiento basado en casos (CBR) para tratar las situaciones problemáticas, como por ejemplo, caminos sin salida o disposición de los obstáculos que el robot no pueda esquivar.

Por otra parte, el control colaborativo se aplica a tres tipos de sistemas: la fusión de sensores, dónde el conocimiento se obtiene procesando la información proporcionada por múltiples fuentes; el control de procesos múltiples, en el que varios controladores comparten el control del sistema; y múltiples operadores humanos, en el cual varios operadores comparten y negocian el control. Nuestra investigación se centra en la rama del control de procesos múltiples.

En [10] varias fuentes controlan cada rueda. Los controladores se modelan como autómatas finitos cuyas entradas son la posición del robot. El incremento deseado en el movimiento, se basa en la media del voto conjunto de las salidas de los autómatas. En [7], un conocimiento de alto nivel se usa para seleccionar el controlador adecuado para realizar la acción deseada. La selección del controlador se hace escogiendo de una base de casos de controladores, el que tiene especificaciones similares a las enviadas por el subsistema de alto nivel.

Otras aproximaciones, como la de [8], muestran como el control colaborativo (llamado control concurrente) presenta algunas propiedades deseables para el control de robots móviles como tolerancia a fallos, distribución y escalabilidad. Esta aproximación se basa en la intercalación de órdenes provenientes de diferentes controladores en los motores. El movimiento resultante se consigue como una superposición de diferentes señales de control.

De acuerdo con [23], nuestra hipótesis es que, en lugar de superponer señales, se puede usar un procedimiento de toma de decisiones de alto nivel para coordinar los diferentes controladores. Particularmente, proponemos el uso de la lógica difusa para modelar las acciones de control provenientes de controladores he-

terogéneos y para decidir, de acuerdo con el modelo dinámico del robot, que combinación de acciones de control debe ejecutarse en cada momento. Nuestra principal diferencia con el trabajo de Saffioti es que no estamos implementando un controlador difuso por medio de reglas difusas, sino que usamos los conjuntos difusos para modelar la relevancia de los diferentes controladores en las medidas de agregación extendiendo el trabajo de [8].

Además, el resultado del controlador colaborativo es la salida de un único comportamiento, en lugar de ser la orden directa de los actuadores. La salida de cada comportamiento (agente), se coordina en la arquitectura multi-agente para decidir las acciones posteriores del robot.

3. La arquitectura de control colaborativo múltiple

La arquitectura MAS propuesta se muestra en la Fig. 1. Los agentes pueden agruparse en agentes de percepción, de comportamientos, deliberativos y actuadores. Los agentes de percepción obtienen la información del entorno y de las condiciones internas del robot; los de comportamiento realizan acciones específicas, como evitar obstáculos; los deliberativos implementan tareas complejas como la planificación; y los agentes actuadores se encargan de controlar la velocidad lineal y angular del robot, interactuando directamente con los motores.

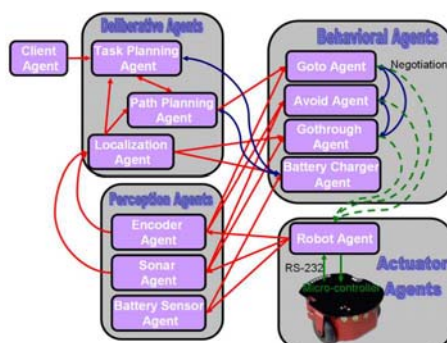


Figura 1. La arquitectura de control colaborativo múltiple así como el flujo de información entre los diferentes agentes. Las líneas de puntos indican que un único agente se comunica con el agente *robot*.

Respecto al agente *goto*, que es el objeto del control colaborativo presentado en este artículo, es un agente de comportamiento responsable de conducir al robot hasta la posición meta (rápida o lentamente) en función de la información que recibe del agente *encoder*.

La coordinación entre los agentes se necesita cuando hay varios que quieren usar el mismo recurso al mismo tiempo. En la arquitectura presentada, estos conflictos pueden aparecer entre los agentes *avoid*, *goto* y *goThrough* cuando intentan enviar acciones contradictorias al agente *robot* (actuador). El agente

avoid es responsable de evitar los obstáculos mientras que el agente *goThrough* conduce el robot a través de lugares estrechos como las puertas.

Una solución a este problema es definir un agente coordinador central, que sabiendo cuales son los agentes en conflicto, impone una decisión. Sin embargo, creemos que este mecanismo de coordinación centralizado puede ser un problema cuando haya muchos agentes en la arquitectura. En cambio, pensamos que si los conflictos son locales, una aproximación distribuida de coordinación puede ser más apropiadas. Concretamente, se propone un mecanismo de coordinación *peer-to-peer* entre los agentes involucrados en el conflicto, basados en el cálculo del valor de la *utilidad*. Para más detalles, ver la explicación presentada en [11].

Por motivos de longitud en este artículo nos centramos en el detalle del agente *goto* diseñado como un control colaborativo. Como agente, es capaz de comunicarse con los otros agentes de la arquitectura para decidir las acciones del robot. En su toma de decisiones interna utiliza diversos controladores.

4. Control Colaborativo

En esta sección se presenta el método de control colaborativo, basado en lógica difusa para hacer la combinación de múltiples controladores, que implementan el comportamiento del agente *goto*. En lugar de desarrollar un único controlador muy elaborado, pretendemos diseñar varios controladores sencillos orientados a tratar diferentes aspectos del control por separado y unir sus acciones para obtener un comportamiento final complejo.

El punto de partida es la ecuación propuesta por [8], que se extiende agregando los pesos correspondientes a la relevancia de cada controlador, de acuerdo con el contexto actual. Así, el cálculo de la velocidad deseada se define como un promedio ponderado de las órdenes proporcionadas por los controladores, siguiendo la fórmula siguiente:

$$\Omega = \frac{\sum_{t=1}^n \eta_t \cdot w_t}{\sum_{t=1}^n w_t} \quad (1)$$

donde η_t es la velocidad deseada de las ruedas para cada instante de tiempo, Ω la velocidad real de la rueda, n el número de controladores y w_t los pesos de cada controlador. Estos pesos satisfacen la condición de $\sum_{t=1}^n w_t = 1$.

Al usar los pesos, es posible darle más o menos importancia a los diferentes controladores. Para implementar este ajuste de velocidades expresado por la ecuación 1, se propone un sistema difuso funcional de Sugeno [6] (ver Fig. 2).

La entrada del sistema la conforman $n+1$ variables, una por cada controlador, y la distancia d al objetivo. Esta última se define en función de la distancia que ya ha recorrido el robot d_{rec} y la distancia desde la posición inicial del robot hasta el punto destino d_{max} , esto es $d = (d_{max} - d_{rec})/d_{max}$. Se han definido dos posibles valores para d : *cerca* y *lejos*. Los términos *lejos* y *cerca* se modelan mediante conjuntos difusos (fuzzy sets). El conjunto difuso *cerca* se puede definir como:

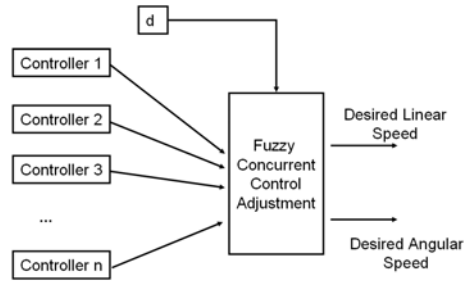


Figura 2. Diagrama de bloques de la aproximación propuesta.

$$\mu(d) = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & d \leq \min \\ \frac{-d+max}{(max-\min)} & \min < d < max \\ 0 & d \geq max \end{array} \right\} \quad (2)$$

donde \min y max son parámetros que se han sintonizado empíricamente.

De acuerdo con esta definición, dependiendo del movimiento del robot, la distancia al punto destino puede variar en forma no lineal en el tiempo, provocando que los conjuntos fuzzy sean también no lineales. La Fig. 3 muestra diferentes resultados para la función descrita por (2). En la Fig. 3-a) se representa un caso lineal, mientras que a las Fig. 3-b) y 3-c) se revela la no-linealidad de la ecuación, que depende además de los parámetros \min y max .

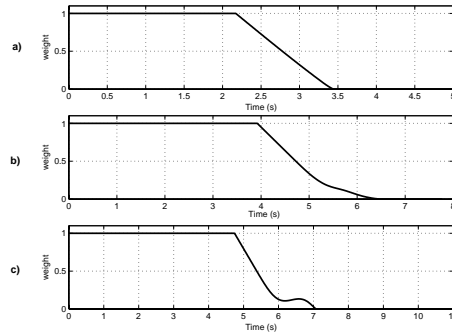


Figura 3. Pesos *fuzzy*.

Por otra parte, el conjunto difuso lejos se define como:

$$\mu_{lejos}(d) = 1 - \mu_{cerca}(d) \quad (3)$$

Como variables de salida tendremos la velocidad lineal y la velocidad angular finales. En el caso de combinar dos controladores, se definen dos valores posibles para dichas variables de salida: *lenta* y *rápida*.

En este sistema de Sugeno con $n + 1$ variables, los valores de las variables de salida se determinan como combinación lineal de las entradas. Es decir, para cada valor x de la variable de salida s se define un valor:

$$u_x(s) = a_{n+1} \cdot v_{n+1} + \dots + a_1 \cdot v_1 + a_0 = (a_{n+1}, \dots, a_1, a_0) \quad (4)$$

donde a_i es el coeficiente de la variable v_i y a_0 una constante.

En nuestro caso, considerando dos controladores se han definido los vectores de salida siguientes: $u_{lenta}(v) = (0, 0, 1, 0)$ y $u_{rapida}(v) = (0, 1, 0, 0)$, donde la variable $n + 1$ es la distancia d al objetivo, v_n es el controlador rápido y v_{n-1} es el controlador preciso. La constante a_0 se ha escogido 0.

Las reglas que describen el sistema difuso son:

Si d es *cerca* entonces v es *lenta*

Si d es *lejos* entonces v es *rápida*.

La función elegida para la propagación de evidencias (de premisas a conclusiones) es el producto. Como consecuencia de ello, si se activa la primera regla se obtiene como resultado $\mu_{cerca}(d) \cdot PID_{preciso}$ y si se activa la segunda regla $\mu_{lejos}(d) \cdot PID_{rapido}$, siendo su combinación el resultado que se expresa en la ecuación (1) (al utilizar la función media como el método de defuzzyficación).

5. Resultados

El principal objetivo es obtener una arquitectura de control del robot que proporcione una conducta coherente, racional y dirigida a cumplir el objetivo marcado, preservando a la vez, la respuesta en tiempo real al entorno físico inmediato [22]. En este sentido, los sistemas multi-agentes proporcionan la arquitectura básica, mientras el control colaborativo hace al agente *goto*, encargado de conducir al robot a la posición deseada con la orientación requerida, rápido y preciso.

Para el agente *goto*, se ha decidido implementar dos controladores diferentes y mezclar los dos vectores de control resultantes mediante factores de pesos fuzzy. Un controlador es muy rápido pero no llega exactamente a la consigna, mientras el otro es lento pero logra llegar exactamente a la consigna fijada. Debido a la naturaleza no lineal del robot, es posible que haya algunas consignas a las que no sea posible llegar exactamente con los controladores diseñados, ya que son PIDs comunes. El lazo de control del control colaborativo propuesto se muestra en la figura Fig. 4. El bloque del control concurrente difuso se encarga de la mezcla de las velocidades deseadas de los controladores para conmutar progresivamente de un controlador al otro.

En lo que resta de esta sección, se explican los diferentes controladores desarrollados, los resultados obtenidos utilizando cada controlador por separado y la salida del control colaborativo. Todas las pruebas se han realizado en trayectorias libres de obstáculos y que no ocurren en pasos estrechos. Los resultados, por tanto, reflejan la precisión del comportamiento del robot. El tiempo de respuesta es satisfactorio. Otras evaluaciones que conciernen el coste de coordinación en la arquitectura multiagente están analizados en [11].

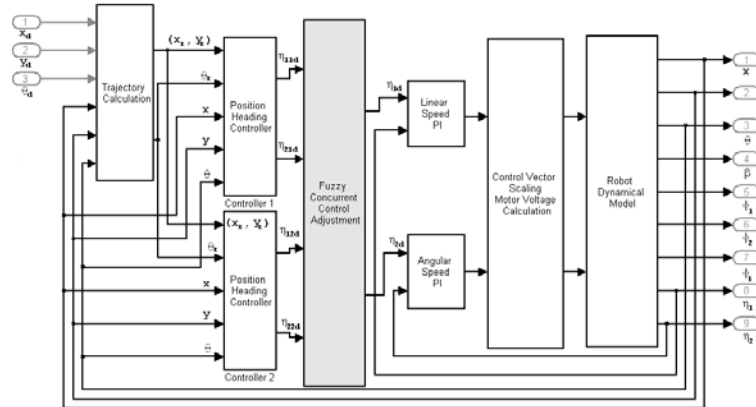


Figura 4. Diagrama de bloques del control colaborativo.

5.1. Controladores de velocidad

Con el objetivo de obtener la velocidad lineal y angular deseadas, se han desarrollado dos controladores PI independientes, uno para la velocidad angular y otro para la lineal. Un aspecto particular de estos controladores es que, en lugar de utilizar la aproximación T (T-approximation, truncado del vector de control) utilizan la aproximación S (S-approximation, escalado) para obtener vectores de control $\mathbf{u}(t)$ físicamente posibles que no violen las restricciones (más detalles en [18]). Ya que el vector resultante es proporcional al no realizable, los dos tienen la misma dirección y por lo tanto no hay error respecto a la orientación deseada. Este proceso se realiza en el bloque *Control Vector Scaling and Motor Voltage Calculation*.

5.2. Controlador de posición rápido

La idea es obtener un controlador de posición que sea muy rápido sin importar si llega exactamente a la consigna deseada o no. La Fig. 5.1 representa la respuesta del sistema controlado para una posición y orientación iniciales de $(x_0, y_0, \theta_0) = (0, 0, 0)$ y una consigna deseada de $(x_f, y_f, \theta_f) = (-1, 5, 0)$. Las Fig. 5.1-a) y 5.1-b) muestran la evolución de las coordenadas x e y con el tiempo, la Fig. 5.1-c) la orientación del robot en función del tiempo, las Fig. 5.1-e) y f) las velocidades lineal y angular respectivamente y finalmente la trayectoria del robot ($y = x(t)$) se representa en la Fig. 5.1-d). Tal como puede verse en la Fig. 5.1-d) el robot no llega exactamente a la posición deseada, incluso ni la orientación es la deseada, aunque lo hace rápido: se para en 5 segundos.

5.3. Controlador de posición preciso

El objetivo ahora es obtener el controlador de posición que llegue a la posición y orientación deseadas, a pesar del tiempo empleado en alcanzar la consigna.

La Fig. 5.2 presenta la respuesta para las mismas posición y orientación iniciales y finales del experimento anterior. Las Fig. 5.2-a) y Fig. 5.2-b) muestran la evolución de las coordenadas x e y con el tiempo, la Fig. 5.2-c) la evolución de la orientación, las Fig. 5.2-e) y Fig. 5.2-f) las velocidades lineales y angulares y la Fig. 5.2-d) la trayectoria del robot ($y = x(t)$).

Como puede observarse, el robot tarda más de 10 segundos en llegar a la consigna. Este tiempo es el doble del empleado por el controlador rápido. No obstante, el controlador rápido presenta un error en la posición final, mientras que el controlador preciso consigue llegar a la consigna con error nulo.

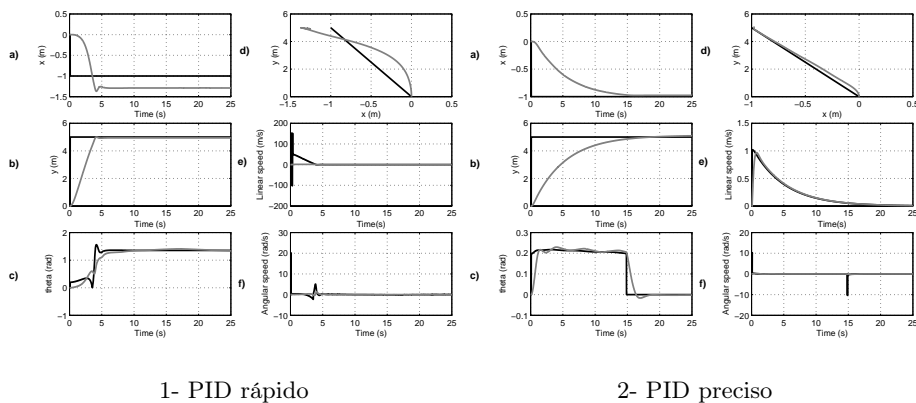


Figura 5. Respuesta de los controladores PID.

5.4. Control Concurrente Fuzzy

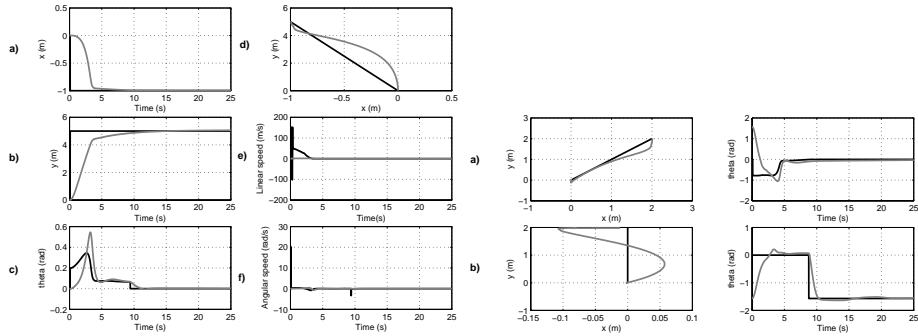
La Fig. 6.1 muestra la respuesta del sistema completo usando control concurrente (ver (1)), para las mismas posiciones inicial y final y orientación que en los experimentos previos. Como puede verse, el robot llega más rápido a la consigna deseada que el controlador lento y con más precisión que el controlador rápido.

Se han llevado a cabo otros experimentos que han dado resultados similares. Como ejemplo, la Fig. 6.2 muestra la respuesta del control fuzzy concurrente para diferentes posiciones y orientaciones iniciales, así como finales.

Para la Fig. 6.2-a) el estado inicial es $(x_0, y_0, \theta_0) = (0, 0, \frac{\pi}{2})$ y el estado deseado es $(x_f, y_f, \theta_f) = (2, 2, 0)$; y para la Fig. 6.2-b), $(x_0, y_0, \theta_0) = (0, 0, \frac{-\pi}{2})$ y $(x_f, y_f, \theta_f) = (0, 2, \frac{-\pi}{2})$.

Una característica interesante de este controlador concurrente es que funciona mejor que los controladores por separado, especialmente para aquellos estados producidos por la naturaleza no lineal del modelo del robot.

Por ejemplo, considerando el estado inicial como $(x_0, y_0, \theta_0) = (0, 0, \frac{-3\pi}{8})$ y como estado final $(x_f, y_f, \theta_f) = (-2, 3, \frac{-\pi}{2})$, puede sólo conseguirse con el controlador concurrente, tal y como se muestra en la Fig. 7. Los resultados que se muestran en la Fig. 7-b) para el controlador más rápido son de esperar, ya que



1- Para la posición ejemplo

2- Para diversos puntos destino

Figura 6. Respuesta del control fuzzy concurrente.

fue diseñado para ser rápido pero no preciso. La Fig. 7-a) muestra la respuesta del controlador más lento; aunque intenta ser preciso, no puede llegar a la consigna deseada debido a las no linealidades. Esto se puede resolver mejorando el diseño del controlador (por ejemplo un controlador no lineal) o usando un controlador concurrente, tal y como se muestra en la Fig. 7-c).

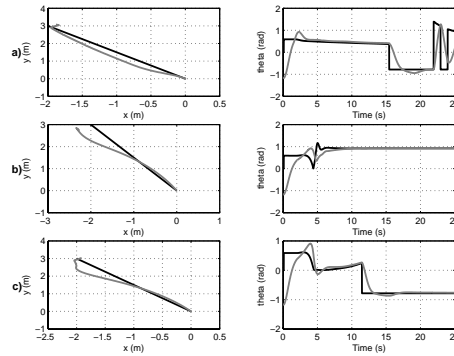


Figura 7. Comparación de la respuesta de los controladores; a) el controlador preciso, b) el controlador rápido y c) el controlador colaborativo.

Finalmente cabe destacar que la experimentación con el robot tiene que extenderse en un futuro para trayectorias planificadas. Los resultados mostrados en esta sección se han realizado para el comportamiento del agente *goto*, que mueve al robot de un punto inicial a un punto final. Con la introducción del planificador de trayectorias el agente *goto* recibirá las coordenadas objetivos de los diferentes puntos que tendrá que seguir y entonces se evitará tener consignas escalones, como son las mostradas en las figuras 5 y 6.

6. Conclusiones

En este artículo se presenta un robot con una arquitectura basada en la integración sistemas multi-agente y control colaborativo. En particular, se ha centrado la atención en el diseño de un agente simple, el agente *goto*, basado en el ajuste difuso de dos controladores de posición.

La colaboración se consigue usando un método basado en lógica difusa, similar a las ideas propuestas en [23]. Esta solución pretende introducir más conocimiento en el proceso de decisión del sistema de control. Los conjuntos difusos modelados en el sistema son dinámicos y se determinan en función de la distancia recorrida por el robot.

Para probar el método, se han desarrollado dos controladores básicos diferentes, uno rápido y el otro preciso, y un controlador colaborativo que combina las dos acciones de control. El resultado del controlador colaborativo se ha integrado como un agente en la arquitectura multiple colaborativa en robot. Seguidamente se han realizado diversos experimentos para comparar la eficiencia de los controladores simples versus el controlador colaborativo.

Los dos controladores, el rápido y el preciso son fáciles de implementar pero muestran comportamientos no deseados cuando funcionan por separado. Al ser la dinámica del robot no lineal, hay condiciones iniciales y finales que no pueden alcanzarse, debido a la restricciones del sistema (no holonómico), con cualquiera de los dos controladores operando por separado. Con el control colaborativo fuzzy, en el cual los dos controladores se combinan, la respuesta del sistema controlado, para diversas consignas, es más rápida que la del controlador más lento y más precisa que la del controlador más rápido. Aún más, llega a funcionar en el caso de algunas de las consignas en las que antes era imposible conseguir con los controladores por separado.

Como trabajo futuro, se prevé extender la solución propuesta al caso de n controladores. También se está explorando la extensión del control colaborativo a otros agentes, como el de *goThrough*, responsable de guiar al robot a través de espacios estrechos como pasillos y puertas.

Referencias

1. Bryson, J. J. (2001). *Intelligence by Design: Principles of Modularity and Coordination for Engineering Complex Adaptive Agents*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology.
2. Busquets, D., Sierra, C., and López de Mántaras, R. (2003). A multiagent approach to qualitative landmark-based navigation. *Autonomous Robots*, 15:129 – 154.
3. Champion, G., D’Andrea-Novell, B., and Bastin, G. (1991). Modelling and state feedback control of NonHolonomic mechanical systems. *Proceedings of the 30th Conference on Decision and Control. Brighton, England*.
4. D’Andréa-Novell, B., Bastin, G., and Champion, G. (1991). Modelling and control of non holonomic wheeled mobile robots. *Proceedings of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation.*, pages 1130–1135.
5. Dorigo, M. and et al. (2004) Evolving self-organizing behaviours for a swarm-bot. *Autonomous Robots* 17 pages: 223-245.

6. Driankov, D., Hellenoorn, H. and Reinfrank, M. (1991). An introduction to Fuzzy Control. *Springer*.
7. Figueras, A., Colomer, J., and De la Rosa, J. (2002). Supervision of heterogeneous controllers for a mobile robot. In *The XV World Congress IFAC*.
8. Gerkey, B., Mataric, M., and Sukhatme, G. (2002). Exploiting pphysical dynamics for concurrent control of a mobile robot. *Proceedings ICRA '02. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 4:3467 – 3472.
9. Giorgini, P., Kolp, M., and Mylopoulos, J. (2002). Socio-intentional architectures for multi-agent systems: The mobile robot control case. *AOIS-02*.
10. Goldberg, K. and Chen, B. (2001). Collaborative control of robot motion: robustness to error. In *Proceedings of the 2001 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 655–660.
11. Innocenti, B., López, B. and Salvi, J.(2006). How MAS support distributed robot control. *ISR/ROBOTIK 2006 - Joint conference on robotics (accepted)*.
12. Innocenti, B., Ridao, P., Gascons, N., El-Fakdi, A., López, B. and Salvi, J. (2004). Dynamical model parameters identification of a wheeled mobile robot. *5th IFAC/EURON Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles (preprints)*.
13. Klir, G. J. and Folger, T. A. (1992). *Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information*. Prentice Hall.
14. Hu, H. and Gu, D. (2000). A multi-agent system for cooperative quadruped walking robots. *Proceedings of the IASTED International Conference Robotics and Applications*, pages 1 – 5.
15. Murphy, R. R. (2000). *Introduction to AI Robotics*. The MIT Press.
16. Murray, R., Åström, K., Boyd, S., Brockett, R., and Stein, G. (2003). Future directions in control in an information-rich world. *IEEE Control Systems Magazine*, 23, issue 2:20 – 33.
17. Neves, M. C. and Oliveira, E. (1997). A multi-agent approach for a mobile robot control system. *Proceedings of Workshop on "Multi-Agent Systems:Theory and Applications"(MASTA'97 - EPPIA'97) - Coimbra -Portugal*, pages 1 – 14.
18. Omerdic, E. and Roberts, G. (2004). Thruster fault diagnosis and accommodation for open-frame underwater vehicles. *Engineering Practice*, (12):1575–1598.
19. Ridao, P. and J. Batlle, M. C. (2002). O2CA2, a new object oriented control architecture for autonomy: the reactive layer. *Control Engineering Practice*, 10(8):857–873.
20. Ros, R., Ramon Lopez de Mantaras, Sierra, C., and Arcos, J. L. (2005). A CBR system for autonomous robot navigation. *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications 131, IOS Press*, pages 299–306.
21. De la Rosa, J. L. and et al. (1999) Rogi team real: Research on physical agents. *RoboCup-99: Robot Soccer World Cup III* Veloso, Pagello, Kitano (eds), pages 434–438.
22. Rosenblatt, J. K. (1997). *DAMN: A Distributed Architecture for Mobile Navigation*. PhD thesis, Robotics Institute at Carnegie Mellon University.
23. Saffioti, A. (1997). The uses of fuzzy logic in autonomous robot navigation. *Soft Computing Research Journal*, 1(4):180–197.
24. Spears, W., Spears, D., Hamann, J. and Heil, R. (2004) Distributed, physics based control of swarms of vehicles *Autonomous Robots 17*, pages: 137–162.
25. Soh, L.-K. and Tsatsoulis, C. (2005). A real-time negotiation model and a multi-agent sensor network implementation. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 11(3):215–271.
26. Tounsi, M., Lebret, G., and Gautier, M. (1995). Dynamic control of a nonholonomic mobile robot in cartesian space. *Proceedings of the 34th Conference on Decision and Control*, pages 3825–3830.