

CARTHAGO: UN ROBOT INTELIGENTE INTERACTUANDO CON EL MUNDO REAL

Juan Luis Pedreño Molina
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Universidad Politécnica de Cartagena, Juan.Pmolina@upct.es

Antonio Guerrero González
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Universidad Politécnica de Cartagena, Antonio.Guerrero@upct.es

Juan López Coronado
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Universidad Politécnica de Cartagena, Jl.Coronado@upct.es

Resumen

En este artículo se presenta por primera vez el robot CARTHAGO. Se trata de un dispositivo robot móvil y multiarticulado, diseñado para el desarrollo de múltiples tareas de diversa índole a partir de algoritmos de aprendizaje y control adaptativo. Debido a sus características de diseño y a sus capacidades funcionales, este dispositivo se encuadra dentro de la familia de los robots autónomos inteligentes que se conocen como "real-world artifacts". El objetivo de este trabajo es el describir las especificaciones técnicas y funcionales del robot CARTHAGO, así como el esquema general de control adaptativo de inspiración biológica, que le permita interactuar con escenarios desconocidos e integrar todas las percepciones sensoriales y motoras del sistema.

Palabras Clave: robot CARTHAGO, agente autónomo, robótica móvil, neurocontrolador, real-world artifact.

1 INTRODUCCIÓN

Una de las principales líneas emergentes en el campo de la robótica está dedicada a la emulación de los modelos biológicos de comportamiento en los sistemas artificiales. El desarrollo de estas nuevas técnicas se ha planteado desde dos puntos de vista. Por un lado, la implementación de modelos de inteligencia artificial en *sistemas robóticos antropomórficos*, que tienden a imitar en el mayor grado posible los dispositivos sensoriales, motores y de articulación de la estructura física del sistema humano.

Por otro lado, han aparecido lo que se han llamado en denominar *agentes autónomos*. Una definición para este tipo de dispositivos puede ser la de "un sistema situado dentro y como parte de un entorno, que siente y nota su entorno y actúa en él en el tiempo para cubrir su propia agenda, siendo capaz de apreciar los resultados obtenidos y de volver a actuar, tomándolos en consideración" (Franklin). Se trata de dispositivos robóticos con cierta inteligencia y capacidad de interactuar con el mundo real y entre ellos.

La diferencia entre los robots antropomórficos y los agentes autónomos está bastante definida. En los primeros, el objetivo fundamental es conseguir el mayor grado de emulación de los sistemas biológicos en cuanto a comportamiento, sistemas de percepción a modo de dispositivos oculares, táctiles, de vibración, deslizamiento, esfuerzo en la realización de tareas, etc. Uno de los ejemplos más ilustrativos se puede encontrar en los robots bípedos o humanoides [1]. Por estos motivos los robots antropomórficos precisan de un gran esfuerzo a nivel de desarrollos hardware, electrónicos y de adquisición, siendo éste aún el objeto de innumerables trabajos de investigación.

En cuanto a los agentes autónomos, la filosofía es completamente distinta. Se trata de dispositivos en los que el diseño antropomórfico no aporta un valor añadido importante. Por el contrario, la característica principal de tales dispositivos es la de conseguir una capacidad de aprendizaje, de comportamiento a nivel tanto individual como de grupo e incluso de evolución y supervivencia a partir de modelos genéticos. Es evidente que el esfuerzo fundamental en este caso no es el desarrollo hardware sino funcional, es decir la capacidad para realizar un elevado número de tareas a partir de su aprendizaje, bien sea por refuerzo o por imitación.

Los agentes autónomos robóticos tienen la capacidad de interactuar entre ellos, pudiendo realizar tareas tales como jugar un partido de fútbol [2].

Una simplificación o restricción de los agentes autónomos son los denominados *real-world artifacts* [3]. Se trata de robots autónomos e inteligentes que actúan en un entorno real, bajo circunstancias de incertidumbre pero que a diferencia de aquéllos, carecen de una capa de control para comportamiento en grupo con otros robots. Los robots así configurados, están dotados de determinados dispositivos que los hacen muy útiles dentro del entorno doméstico, donde la interacción entre robots no se plantea como una necesidad.

Basados en el concepto de *real-world artifact*, y partiendo de los modelos de control neurobiológicos desarrollados y aplicados a robots antropomórficos para operaciones tales como alcance, agarre y manipulación [4], este trabajo presenta la nueva plataforma robótica CARTHAGO. Se trata de un dispositivo robot configurado de forma que sirva de plataforma hardware para la implementación de los modelos neuronales de control y aprendizaje. Aunque pueda presentar un cierto grado antropomórfico, su estructura está enfocada a la interacción de forma autónoma con el entorno y al aprendizaje de una diversidad de tareas en el ámbito industrial y doméstico.

El robot CARTHAGO ha sido construido a partir de elementos comerciales y de fabricación propia y de las características técnicas y funcionales deseadas. Partiendo de la experiencia que se tiene sobre el control adaptativo de robots y el aprendizaje de los mapas de coordinación senso-motora, se plantea también en este artículo el esquema general del neurocontrolador que procesa la información del entorno, realiza una representación del estado y a partir de la tarea a realizar actúa en consecuencia

2 REVISIÓN DE ROBOTS AUTÓNOMOS

Como ya se ha comentado, una de las características principales de los *real-world artifacts*, no es el conseguir un diseño antropomórfico de los elementos robóticos que conforman el sistema, sino el diseño de una arquitectura de control basada en el aprendizaje que proporcione una cierta autonomía de comportamiento al robot.

Por ese motivo, los principales centros de investigación en este campo, hacen uso de robots comerciales que cumplan con las especificaciones mínimas necesarias de estos dispositivos robots.

Una de las familias de robots más utilizadas para el diseño de los sistemas de control inteligente es la RWI Bxx de *Real World Interface, Inc* [5]. Se trata de robots de estructura cilíndrica dotados de una plataforma móvil y una serie de sensores externos tales como: una cámara para visión, infrarrojos, de contacto, etc.

Así, en [6], Demiris y Hayes de la Universidad de Edimburgo, utilizan un robot RWI-B12, figura 1, para aplicar algoritmos de aprendizaje por imitación. La arquitectura de control propuesta por Demiris permite realizar tareas tales como imitación de movimientos 2D de un robot móvil maestro o imitación de los movimientos de una cabeza humana mediante la desviación de la imagen detectada del centro del plano de la cámara del robot.

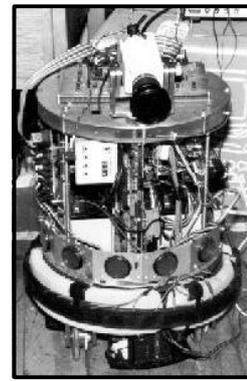


Figura 1. Robot RWI-B12 empleado por Demiris y Hayes para la aplicación de mecanismos de aprendizaje por imitación de maestros.

Otro de los dispositivos de esta familia, el RWI B-21, ha sido empleado por Crook y Hayes en [7] para la aplicación de un modelo de detección inspirado en el sistema biológico. Los resultados aportados presentan un buen comportamiento en el aprendizaje y reconocimiento formas rectangulares. En la figura 2 se muestra una escena de la operación de reconocimiento.



Figura 2. Escena de reconocimiento de formas aprendidas por el robot RWI B-21 en la Universidad de Edimburgo.

Otro tipo de aplicaciones de en navegación autónoma sobre un dispositivo robótico de esta familia se puede encontrar en los trabajos desarrollados en la Universidad de Brown [8]. Se trata de un robot construido a partir del modelo RWI-B24, al que se le ha añadido un pequeño dispositivo de cuatro ejes a modo de brazo robot, tal y como muestra la figura 3.

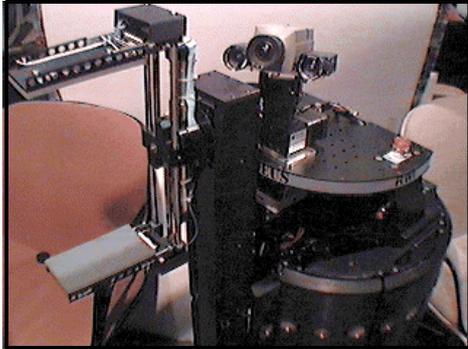


Figura 3. *RAMONA artifact*. Basado en el modelo RWI-B24, está equipado con una cámara de visión, un brazo robot, 24 sensores infrarrojos, 24 sensores de choque y 24 sonars.

Otra serie de aplicaciones en navegación autónoma ha sido desarrollada por investigadores del Instituto de Robótica de Pittsburg [13], sobre el dispositivo móvil AMELIA, basado en el modelo RWI-B21 para guiado visual de ensamblaje de una viga. A diferencia de las plataformas presentadas anteriormente, en este caso se utiliza un sistema de visión estereoscópico para la determinación de la diferencia espacial en el espacio 3D de la separación entre los extremos de ambas vigas. En la figura 4 se muestra un instante del proceso.



Figura 4. Robot autónomo AMELIA en una aplicación industrial de guiado visual de una viga sujeta por un elevador para acoplado sobre el extremo de otra viga fija.

En la Universidad de Zurich, Dimitrios Lambrinos presenta en [9] un trabajo sobre la aplicación de los

sistemas de representación del sistema biológico en un controlador senso-motor, diseñado a partir del modelo autoorganizado de Kohonen. En este caso, el dispositivo robot es un modelo sencillo de la compañía americana K-Team [10], denominado KHEPERA, de muy reducidas dimensiones (7cm. de diámetro y 3cm. de altura) y equipado con tan sólo 8 sensores de proximidad. Los resultados obtenidos, han permitido evaluar la capacidad del modelo neuronal para distinguir entre dos tipos de objetos durante la navegación.

Otro importante desarrollo de un controlador neuronal para robots autónomos ha sido implementado en el Instituto de Neurociencia de la Universidad de Nueva York [11]. Se trata de un sistema integrado denominado DARWIN V, formado por el dispositivo robótico NOMAD (*Neurally Organized, Multiply Adaptive Device*), basado en la tecnología de los RWI, y por un sistema de control por emulación del sistema nervioso humano. En ese trabajo se presenta un modelo de mapeado senso-motor que integra las señales percibidas por la cámara de vídeo, la posición de las tres ruedas de la plataforma móvil, los sensores de proximidad y un pequeño dispositivo rígido consistente en una lámina plana electro-imantada que hace las funciones de un sencillo dispositivo de agarre. Este último dispositivo puede detectar la conductividad de los objetos que son tocados por el material electromagnético. La figura 5 muestra un dibujo del robot NOMAD.

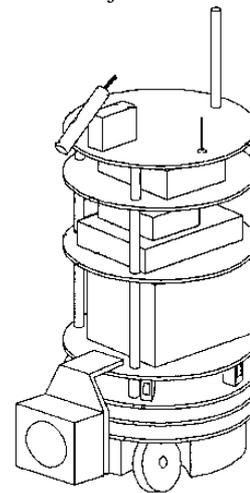


Figura 5. Representación de las primeras versiones del Robot NOMAD. (1992)

Otra de las referencias importantes en cuanto a robots móviles comerciales equipados para poder interactuar con el entorno, es el modelo COWORKER, de la compañía iRobot [12]. Se trata de una plataforma móvil inalámbrica cuya imagen se muestra en la figura 6, que proporciona un sistema de control de audio y vídeo desde Internet.



Figura 6. Robot móvil comercial COWORKER. Posee unas dimensiones de (63.5cm x 40.6cm x 88.9cm) y está diseñado para aplicaciones de navegación autónoma desde Internet.

Recientemente, investigadores de la Universidad de Pittsburg y la Universidad alemana de Boon han desarrollado e implementado un sistema formado por el robot MINERVA y un sistema de control basado en algoritmos genéticos [14]. Su principal aplicación es la de guiar a grupos de visitantes a través de su Museo Nacional de Historia Americana. Como se puede observar en la figura 7, se trata de un diseño para navegación guiada por un sistema de visión estereoscópica.



Figura 7. Robot MINERVA diseñado para guiado autónomo de visitantes a museos.

Como se puede observar de los diseños anteriormente presentados, la estructura y diseño de estos robots están lejos de tener un aspecto antropomórfico, dado que la aplicación final no es la emulación de los movimientos del sistema biológico humano sino de su comportamiento e interacción con el entorno que le rodea, bien sea doméstico o bien industrial.

Sin embargo, el enfoque de los diseños hacia plataformas móviles implica una ventaja en cuanto a los modelos de navegación autónoma pero, al mismo tiempo, una restricción para aplicaciones más avanzadas de agarre, ensamblaje, *pick-and place*, etc. En ese sentido, el disponer de un dispositivo de agarre más avanzado amplía enormemente las posibilidades de los *real-world artifacts*, en cuanto a la realización de operaciones más complejas mediante un comportamiento autónomo basado en avanzados modelos neuronales de aprendizaje.

En definitiva, la solución adoptada para el robot CARTHAGO está basada en una plataforma móvil provista de un mecanismo de alcance y agarre y un sistema de control que integra las diferentes representaciones espaciales del entorno. Con esa misma filosofía funcional y de diseño cabe destacar la versión inicial del robot MinERVA, desarrollada en la Universidad de Munich [15], y que se muestra en la figura 8.

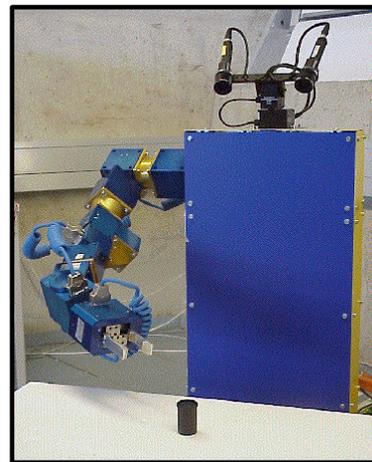


Figura 8. Versión pseudoantropomórfica del robot MinERVA (*Manipulating Experimental Robot with Visually-Guided Actions*).

3 ESPECIFICACIONES DEL ROBOT CARTHAGO

Para la construcción del robot móvil CARTHAGO, figura 9, se han tenido en cuenta los requisitos funcionales deseables para esta plataforma y se ha realizado una implementación a partir de robots comerciales y de fabricación propia. Se han incorporado, además, de un conjunto de sensores externos (visuales, táctiles, ultrasónicos y de contacto) y un sistema de comunicación que permite la transmisión bidireccional de comandos de movimiento y estímulos percibidos, haciendo uso de tecnologías basadas en protocolos TCP/IP para la configuración de redes LAN inalámbricas y/o a través de Internet.



Figura 9. Robot CARTHAGO

Los elementos principales que conforman el robot CARTHAGO son, por un lado los dispositivos robóticos (plataforma móvil, cabeza, brazo y pinza) junto con los elementos sensorial externos (sistema de visión estereoscópico para operaciones de guiado y alcance, sensores de tacto para operaciones de agarre y sensores de proximidad y choque). Estos elementos se describen a continuación:

Plataforma móvil

Se trata del robot comercial *RobuLab*, diseñado y fabricado por *Robosoft*. Con unas dimensiones de 102,5cm x 68cm x 44cm, es capaz de soportar un peso de 120Kg. y alcanzar una velocidad de 1,25m/sg. Posee dos ruedas accionadas por motores de 300W. y encoders ópticos para determinar su posición con una resolución de 0,1°, además de una tercera rueda de apoyo.

Cabezal estereoscópico

Se trata del dispositivo robot LINCE de diseño y fabricación propios del grupo de investigación NEUROCOR. Posee 5 grados de libertad (2 vergencia + 2 elevación + 1 panorámico). Con un peso de 8,5 Kg. posee una resolución de 0,0045°, 0,0036° y 0,0018° para los movimientos de vergencia, elevación y cuello, respectivamente. Los rangos de movimiento para estos tres grupos de articulación son $\pm 30^\circ$, $\pm 60^\circ$ y $\pm 180^\circ$ con velocidades máximas de 600°/sg, 400°/sg. y 230°/sg. El cabezal LINCE permite soportar un sistema de visión estereoscópico adquiriendo, por tanto, un diseño antropomórfico en cuanto a movimientos y capacidad de percepción binocular.

Conjunto Brazo-Mano

Por los motivos descritos en el apartado anterior, se ha previsto un dispositivo de agarre que permita cumplir una amplia gama de especificaciones funcionales, evitando las limitaciones de los robots móviles comerciales cuyo diseño está enfocado, fundamentalmente, a aplicaciones de navegación. En este caso, se ha utilizado el robot comercial *Scorbot-ER 2u*. (fabricado por *Eshed Robotec*) de 5 grados de libertad y rangos de movimiento respectivos de: (0° a 320°), (+30° a -120°), (+80° a -107°), (+120° a -120°), (0° a 400°). Permite un control en lazo cerrado con lectura de posiciones mediante encoders ópticos de alta resolución, una capacidad de carga en brazo extendido de 0,6Kg. y radio de operación de 51,7cm.

En cuanto al dispositivo de agarre, el robot Scorbot lleva incorporado una garra a modo de pinza con un grado de libertad para apertura y/o cierre y una longitud de apertura de 5,5cm. Sin embargo, el robot CARTHAGO está preparado para poder sustituir dicha pinza por otra de diseño propio de 17cm. de recorrido y que permite incorporar superficies táctiles artificiales en cada uno de los dedos (de dimensión 5cm x 5cm) o incluso por la mano CERVANTES de 4 dedos y 16 grados de libertad (con sistema de accionamiento oponente) de diseño y fabricación propia del grupo NEUROCOR. La figura 10 muestra una imagen de cada uno de estos tres dispositivos de agarre aplicables al robot CARTHAGO, dependiendo de las necesidades funcionales para el desarrollo de determinadas tareas.

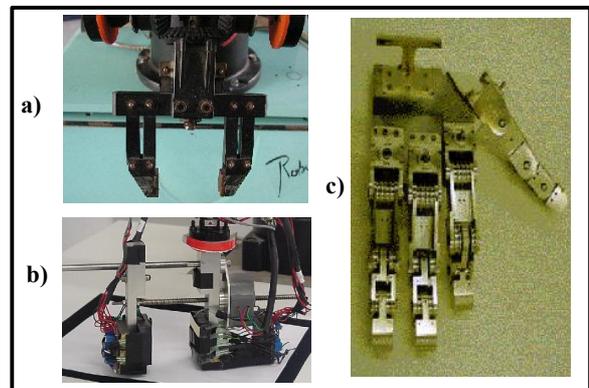


Figura 10. Dispositivos de agarre para el robot CARTHAGO. a). Pinza suministrada con el robot Scorbot. b) Pinza de diseño propio para agarre de precisión y c) Mano antropomórfica CERVANTES de diseño propio y con capacidad de complejas operaciones de agarre y manipulación.

Sensores de visión

Lo componen dos CCDs incorporadas a las articulaciones del cabezal esteresocópico basadas en el estandar PAL con resolución de 752 x 582 pixels. La adquisición se realiza mediante tarjetas PC-COMP.

Sensores de Tacto

Para el control del agarre se ha dispuesto de sensores de fuerza de diseño antropomórfico, acoplados a cada dedo de los diferentes diseños de mano robot enumerados anteriormente. El tipo de sensores táctiles a utilizar es el FSR (*Force Sensitive Resistor*) de la compañía americana *Interlink Electronics*. Para la pinza de *Eshed Robotec* y para la mano *CERVANTES* se ha implementado el modelo FSR #402 cuyas dimensiones se muestran en la figura 11a. Sin embargo para la pinza robótica se ha utilizado un array de sensores formado por una matriz de 9 elementos FSR#402, tal y como muestra la figura 11b. En los tres casos, la adquisición de los voltajes generados en cada sensor se lleva a cabo mediante una tarjeta PCL-1800 de *Advantech*, de 16 entradas analógicas

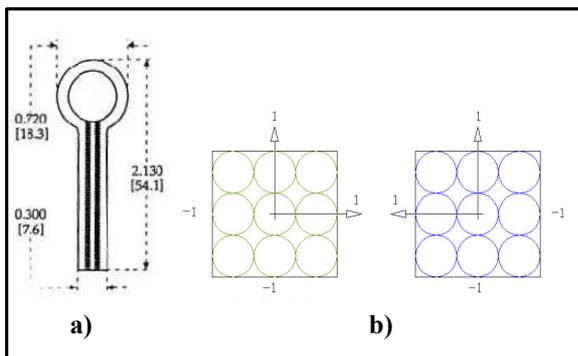


Figura 11. a) Sensor de fuerza resistivo. Posee un área activa de 12,7mm. de diámetro y un espesor de 0,46mm. Su variación de resistencia como respuesta a una presión, es convertida a voltaje y filtrada para su adquisición y posterior tratamiento. b) superficie táctil configurada en array para la pinza robot.

Sensores de contacto y proximidad

El robot *CARTHAGO* incorpora sensores de proximidad en la propia base móvil para tareas de navegación entre obstáculos y sensores de contacto. En cuanto a los primeros, el sistema está dotado de 22 sensores electrostáticos rodeando el vehículo, que operan a la frecuencia de ultrasonidos y que son capaces de detectar un obstáculo en el rango de 2cm. a 6m. y medir la distancia que le separa con una precisión de 1%. En cuanto a los segundos, se trata de dos sensores de presión tipo *bumper*, ubicados en la parte delantera y trasera del vehículo y anclados a los elementos mecánicos que actúan de parachoques.

Sistema de comunicación

Está basado en una conexión inalámbrica por medio de un Hub con puertos Ethernet desde el computador que actúa como neurocontrolador del sistema y los procesadores de control de movimiento de los elementos que componen el robot *CARTHAGO* que

acceden a la LAN inalámbrica mediante tarjetas PCI, tal y como queda representado en la figura 12.

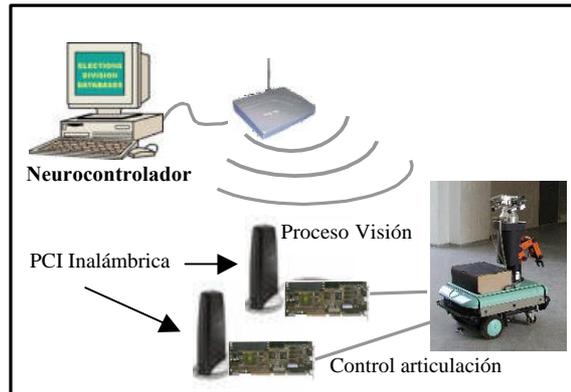


Figura 12. Esquema del sistema de comunicaciones para el acceso a los servidores embarcados del robot

En cuanto a las especificaciones funcionales, el diseño del robot *CARTHAGO* permite llevar a cabo una serie de aplicaciones tanto en el ámbito doméstico como industrial, dadas sus características de robustez y actuación. Es obvio que el neurocontrolador va a desempeñar una labor fundamental en todo lo que se refiere al desarrollo de una tarea y a las transiciones entre los diferentes estados por los que pasan todos los dispositivos y los sistemas de percepción visual, táctil, proximidad y contacto.

La interconexión efectiva entre los diferentes módulos del sistema capacitará al robot *CARTHAGO* para la realización de, entre otras, las siguientes tareas:

- Navegación guiada local o remotamente.
- Localización y sorteo de obstáculos.
- Selección de un objeto en una escena y cálculo de su posición y orientación en el espacio 3D.
- Operaciones de *pick-and-place* y ensamblajes.
- Agarre de objetos con diferentes formas y orientaciones
- Clasificación y reconocimiento de objetos mediante visión y/o tacto.
- Fijación, seguimiento y persecución de objetivos
- Transmisión de imágenes vía Internet
- Posibilidad de accionamiento mediante voz para asistencia a personas discapacitadas.

El objetivo fundamental es que el robot *CARTHAGO* tenga las capacidades de aprendizaje necesarias para la realización de las tareas que se han enumerado o cualquiera otra que se pueda plantear. Este es el motivo por el que *CARTHAGO* sea considerado dentro de la familia de los "*real-world artifacts*".

4 ESPECIFICACIONES GENERALES DEL NEUROCONTROLADOR

Tal y como se ha mostrado en la figura 12, el control, supervisión y aprendizaje del robot CARTHAGO está centralizado en una aplicación que actúa como cerebro del sistema.

A partir de diferentes trabajos de control neuronal basados en el comportamiento del sistema biológico humano y aplicados a la coordinación senso-motora en dispositivos robóticos antropomórficos [16], se han establecido las características más generales de lo que se ha denominado el *neurocontrolador* del sistema.

Este neurocontrolador actúa sobre los procesadores embarcados que interpretan los comandos de movimiento directamente sobre los motores de articulación y, al mismo tiempo, reciben su posición a través de los encoders ópticos, de los sensores de visión, tacto, proximidad y contacto. En líneas generales, el neurocontrolador está formado por los siguientes procesos internos:

- *Procesamiento de imagen de alto nivel.* Este módulo recibe las imágenes comprimidas al 25% desde el sistema de adquisición y pre-procesamiento embarcado en el sistema. Permite calcular los parámetros principales de la escena, como son: posición espacial y dimensiones de los objetivos (en función del color) y orientación de los mismos.
- *Representación espacial interna de objetivos.* Convierte todas las posiciones recibidas desde los encoders y sensores externos, y los transforma en posiciones referidas a un sistema de coordenadas centrado en la base del brazo robot.
- *Cálculo de la activación neuronal.* Permite estimar el valor de los pesos neuronales definidos en los mapas de coordinación senso-motora. En este proceso residen los aspectos más complejos del sistema de control. Inicialmente, las proyecciones espaciales-motoras se calculan a partir de los modelos de aprendizaje adaptativos VAM (*Vector Associative Maps*).
- *Supervisión de acciones motoras.* Este módulo establece una jerarquía superior de comportamiento al igual que ocurre en los humanos. Está basada en los sistemas de representación SOM (*Self Organizing Models*) de múltiples variables (estados) en mapas bidimensionales de activación neuronal. Permite representar la transición entre estados y tomar decisiones en base a las trayectorias representadas en estos mapas.

- *Selector de comportamientos.* Este módulo pondera la importancia de la información suministrada por cada dispositivo sensor con el objeto de ejecutar las acciones adecuadas cuando se dispone de diferentes fuentes de representación espacial de un mismo objetivo. Está basado en mapas neuronales cuyos pesos adaptativos se actualizan con el objeto de compensar las diferencias entre dichas representaciones.
- *Planificación de tareas.* Permite establecer una transición de estados más favorables para la realización de la tarea seleccionada.
- *Establecimiento de las comunicaciones.* Este módulo activa los procesos de transmisión y recepción de consigas como procesos independientes. También permite la conectividad de la red LAN inalámbrica con Internet para operaciones de control remoto, servidor de imágenes y teleoperación.

Además de los procesos que lleva a cabo el neurocontrolador, existen otros aspectos funcionales imprescindibles para el control efectivo de la plataforma móvil. Se trata del *módulo de navegación* y del *módulo de control visuo-motor*. Por consideraciones de tiempo real, se hace necesario su procesamiento dentro de la propia plataforma móvil.

El primero de ellos obtiene información de la posición deseada y la proximidad a los posibles obstáculos. La activación neuronal de las consignas de velocidad de cada una de las dos ruedas, está basada nuevamente en los modelos VAM para resolver de forma adaptativa el problema de la coordinación espacial-motora. Finalmente, el segundo de ellos permite estimar el centroide (en coordenadas de imagen) de cualquier objetivo y proyectar directamente esa información sobre las articulaciones del cabezal estereoscópico. Este proceso permite centrar el objeto en situación de vergencia simétrica (tal y como lo hace el sistema humano) en cada cámara de visión. De esta forma se minimiza el error de estimación de la posición. De nuevo los modelos VAM se convierten en una herramienta neuronal adecuada para la resolución de este problema.

5 CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado por primera vez una plataforma móvil diseñada e implementada para operar a partir de las especificaciones en las que se encuadra una de las tendencias más actuales en el campo de la robótica de uso doméstico: los denominados "*real-world artifacts*". El robot presentado, CARTHAGO, presenta unas características pseudoantropomórficas con el objeto

de ampliar las tareas a procesos con un mayor rango a nivel industrial. En definitiva, el diseño del sistema presentado se cierra con las especificaciones funcionales y técnicas del módulo que debe actuar a modo de cerebro del robot: el neurocontrolador.

La clave del control autónomo que permita al robot CARTHAGO interactuar con el mundo real que le rodea, está en considerar los aspectos de comportamiento conocidos en el sistema biológico humano. Muchas de las experiencias y desarrollos en el campo de los modelos neurobiológicos de coordinación senso-motora en dispositivos robóticos avanzados realizados por nuestro grupo de investigación han permitido identificar y planificar los diferentes sub-módulos que conformarán el neurocontrolador.

Referencias

- [1] Hirai, K., Hirose, M., Haikawa, Y., Takenaka, T. "The Development of Honda Humanoid Robot". , ICRA 1998, pp. 1321-1326.
- [2] Itsuki, N. "Framework of Distributed Simulation System for Multi-agent Environment", RoboCup 2000: Robot Soccer World Cup IV, Springer, 2001, Peter Stone, Tucker Balch, Gerhard Kraetzschmar ed., pp.229-238
- [3] Verschure, P.F.M.J., Wray, J., Sporns, O., Tononi, G. & Edelman, G.M. (1996) Multilevel analysis of classical conditioning in a behaving real world artifact. *Robotics and Autonomous Systems*, 16:247-265.
- [4] Pedreño-Molina, J.L., Guerrero-González, A., López-Coronado, J. "A neural controller for a robotic hand with artificial tactile skins in grasping tasks", IEEE International Conf. on Systems, Man and Cybernetics, October 2000, Nashville, Tennessee.
- [5] <http://www.rwii.com>
- [6] Demiris, J., Hayes, G. "Imitative learning mechanisms in robots and humans". *Proceedings of the 5th European Workshop on Learning Robots*, Bari, Italy., 1996
- [7] Crook, P. and Hayes, G. "A Robot Implementation of a Biologically Inspired Method for Novelty Detection". In *Proceedings of TIMR 2001 - Towards Intelligent Mobile Robots*, Manchester, April 2001.
- [8] Duchon, A.P., Warren, W. and Kaelbling, L. "Ecological Robotics". *Adaptive Behavior* (1998) Special Issue on Biologically Inspired Models of Spatial Navigation, Vol. 6:3/4, 473-507.
- [9] Lambrinos, D., Scheier, C., Pfeifer R. "Unsupervised Classification of Sensory-Motor states in a Real World Artifact using a Temporal Kohonen Map". *Proc. International Conference in Artificial Neural Networks '95[ICANN'95]*. p. 467-472
- [10] <http://www.k-team.com>
- [11] Edelman, G., Reeke, G., Gall, E., Tononi, G., Williams D., Sporns, O. "Synthetic neural modeling applied to a real-world artifact", *Neurobiology*, *Proc. Ntl. Acad. Sci. USA*, vol. 89, pp. 7267-7271, August 1992.
- [12] <http://www.irobot.com>
- [13] Saksida, L.M., Raymond, S.M. and Touretzky, D.S. "Shaping robot behavior using principles from instrumental conditioning". (1998) *Robotics and Autonomous Systems*, 22 (3/4):231-249.
- [14] Thrun, S., Bennewitz, M., Burgard, W., Cremers, A.B., Dellaert, F., Fox, D., Haehnel, D., Rosenberg, C., Roy, N., Schulte, J., Schulz, D. "MINERVA: A second generation mobile tour-guide robot". *Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'99)*, 1999.
- [15] Fink, T., Hauck, A. Faber, G., "Toward an anthropomorphic robotical hand-eye coordination". In *IMACS Conference on Comp. Eng. in Systems Applications. (CESA'98)*, Vol. 4, pp.: 483-488, 1998.
- [16] López-Coronado, J., Pedreño-Molina, J.L., Guerrero-González, A., Gorce. P. "A neural model for visual-tactile-motor integration in robotic reaching and grasping tasks". *Robotica*, Volume 20, Issue 01. January 2002. pp23-31