

# DISEÑO DE UNA CABEZA ROBÓTICA PARA EL ESTUDIO DE PROCESOS DE INTERACCIÓN CON PERSONAS

Enrique Paz Domonte, Javier Pérez Castro, Joaquín López Fernández, Rafael Sanz Domínguez  
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Vigo, epaz@uvigo.es  
E.T.S. Ingenieros Industriales, Campus Universitario, 36310 Vigo

## Resumen

*En este artículo se describe el diseño y construcción de una cabeza robotizada que permite dotar de expresividad al robot móvil autónomo RATO del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Vigo.*

*Se detalla también el software de control desarrollado para manejar la cabeza que ha sido integrado en el software de control y navegación del robot.*

**Palabras Clave:** Robots Sociales, Robótica Móvil, Interacción Hombre-máquina, Inteligencia Artificial.

## 1 INTRODUCCIÓN

La construcción de robots sociales inteligentes es un emergente campo de investigación que abarca entre otras disciplinas la robótica y la inteligencia artificial, y está progresivamente atrayendo la atención de empresas y centros de investigación de todo el mundo, en especial de Japón y de E.E.U.U.

Los robots sociales son desarrollados fundamentalmente para ayudar a las personas en las tareas cotidianas. Proporcionan muchas funciones de utilidad, se emplean para el ocio, guía de museos, la educación, fines de bienestar personal y social [4][6]. Por ejemplo, hay equipos que recorren los pasillos de los hospitales para servir alimentos o medicinas, como ayuda a personas ciegas o con discapacidades, otros navegan en oficinas para repartir documentos u objetos de pequeño tamaño [8].

En este tipo de robots la comunicación interactiva entre las personas y los robots es un aspecto básico. Se pueden considerar diferentes formas de comunicación, desde pantallas táctiles hasta sistemas de habla que emplean programas reconocedores de voz. La interacción hombre-robot es más fácil cuando el hombre puede conocer de alguna forma el estado interno del robot, y esto se puede conseguir mediante las expresiones de una cara que se asemeje

a una cara humana. Además, quizás influido por aspectos psicológicos, las personas tenemos una mejor predisposición a cooperar con agentes que tienen caras humanas [2].

El trabajo que se presenta en este artículo se enmarca dentro de la línea de investigación en robótica móvil del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Vigo y está directamente relacionado con los trabajos de investigación en proyectos de mejora de la interacción con el robot [3] [5].

El objetivo de este trabajo ha sido el diseño y construcción de una cabeza robotizada para dotar de expresividad al robot móvil autónomo del Departamento llamado RATO [9].

La cabeza posee 8 grados de libertad más otros 2 grados de libertad aportados por el cuello. Los rasgos faciales de los que dispone la cabeza son ojos, boca, cejas y párpados, todos ellos motorizados mediante servos y controlados mediante el PC que incorpora el robot móvil autónomo. Además de expresión se ha dotado al robot de un sistema de visión artificial mediante dos cámaras incorporadas en los ojos de la cabeza.

Se ha realizado también un software de control para manejar la cabeza. Este software ha sido realizado en C/C++ y está integrado en el software de control y navegación del robot.

## 2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

### 2.1 REQUISITOS DE TIPO ESTÉTICO Y FUNCIONAL

El diseño de una cara robótica debe ser tal que la expresión facial del robot sea fácilmente interpretable por las personas [7]. En nuestra opinión, la cara del robot no debe imitar a la perfección una cara humana, sino que debe dejar bien claro que es un robot, ya que si fuese una reproducción fiel de una cara humana esto produciría falsas expectativas en el

usuario acerca de las capacidades del robot y cuando estas expectativas iniciales no fuesen satisfechas el usuario se sentiría probablemente defraudado.

El robot debe tener un aspecto atractivo de modo que acerque a las personas a interactuar con él de forma natural.

Asimismo, el robot debe tener la capacidad sensorial y motriz y la potencia de cálculo suficiente para un comportamiento en tiempo real durante su relación con las personas.

Por último, otro requisito muy importante para el correcto funcionamiento de la cabeza es la necesidad de que ésta sea lo más ligera posible. Ello es debido a que la unidad *Pan-Tilt*, elemento que hace las funciones de cuello, sólo es capaz de soportar cargas hasta un máximo de 1,6 Kg.

## 2.2 RASGOS DE LA CABEZA

### 2.2.1 Tipos de caras

Básicamente podemos decir que hay dos maneras para dotar de cara a un robot. Una de ellas consiste en crear una animación de una cara humana que aparecería en una pantalla [1]. La otra se basa en realizar físicamente la cara. Esta segunda forma tiene principalmente dos ventajas:

- Los humanos solemos asumir que los objetos móviles requieren un control inteligente, mientras que las imágenes que aparecen por una pantalla pueden ser simplemente una secuencia pregrabada, como en una película.
- Una cara robotizada tridimensional se puede ver desde muchos ángulos, permitiendo a la gente verla sin estar parado delante del robot.

### 2.2.2 Rasgos

Una cara iconográfica que únicamente consista en un par de ojos con dos cejas y una boca es universalmente reconocible, y además, con esos elementos, se pueden representar una amplia gama de emociones simples que son muy útiles en la interacción con humanos (figura 1).



Figura 1: Expresiones de una cara

En nuestro caso, con el material disponible, la adición de rasgos suplementarios complicaría en

exceso la construcción de la cabeza y no añadiría una mayor expresividad. También se incrementaría el peso de la cabeza, superando la carga máxima que puede soportar la unidad *Pan-Tilt*.

### 2.2.3 Solución adoptada

Como se ha comentado en el apartado anterior, los rasgos faciales básicos que van a ser utilizados en el diseño de la cabeza son: boca, ojos y cejas, ya que con estos rasgos podemos representar multitud de expresiones que son fácilmente reconocibles. Además de estos tres rasgos, hemos añadido párpados que nos permiten programar un abanico todavía más amplio de expresiones, como puede ser guiñar un ojo o cerrar ambos. En total, la cara dispone de 8 grados de libertad. El cuello añade otros dos grados de libertad.

## 3 DISEÑO MECÁNICO

La cabeza tiene dos partes claramente diferenciadas, una es el cuello y la otra es la cara. El cuello está formado por una unidad *Pan-Tilt* PTU-46-17.5.

La estructura mecánica está realizada mediante chapas plegadas de aluminio de 2.5 mm de espesor, que están unidas entre sí mediante remaches 3 mm de diámetro también de aluminio. En la figura 2 se representa la estructura de la cabeza.

La elección del aluminio como material para realizar la estructura de la cara se debe a que este material es ligero y fácil de trabajar. Sólo algunos ejes se han realizado en acero inoxidable para dotarles de una resistencia mecánica mayor.

Para conseguir que el centro de gravedad esté lo más cerca posible del *Pan-Tilt* se ha procurado desplazar todo el peso posible a la parte inferior de la cabeza, bajando incluso la base de la cabeza por debajo del punto de enganche con el cuello. Sin embargo, hay elementos de la cabeza que no se pueden situar en la parte inferior como, por ejemplo, las cámaras, ya que éstas deben ir a la altura de los ojos, además con el inconveniente añadido de su mayor peso.

Los servos sí se pueden situar en la base de la cara. Estos elementos aportan un alto porcentaje al peso total de la cara. Por esta razón, la mayor parte de los servos están situados en la base de la cabeza; de los ocho servos que hay en total, cinco están fijados a la base.

La transmisión del movimiento a las partes móviles de la cabeza se ha realizado mediante palancas y varillas.

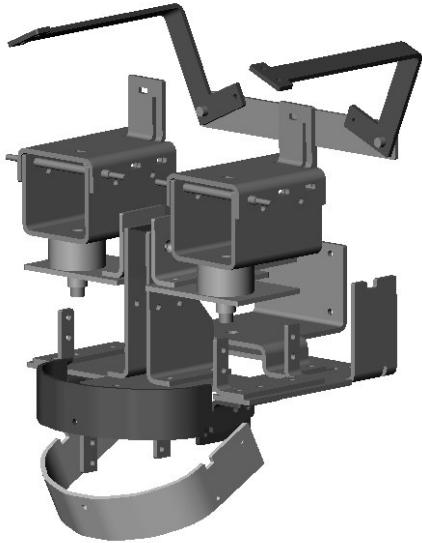


Figura 2: Estructura de la cabeza

### 3.1 EL CUELLO

Como ya se ha comentado, para el cuello se ha empleado una unidad *Pan-Tilt* PTU-46-17.5. Tiene dos grados de libertad que permiten mover la cabeza de izquierda a derecha (PAN) y de arriba abajo (TILT). Este modelo permite mover cargas de hasta 1.6 Kg, a una velocidad de hasta 300 grados/segundo y con una resolución de 0.0514 grados.

Esta unidad permite un control muy sencillo de la posición cuello, ya que se controla enviando instrucciones muy simples por el puerto RS-232 de un ordenador o de un terminal. Permite un control muy preciso tanto de la posición como de la velocidad y la aceleración.

### 3.2 LA CARA

La cara dispone de 8 grados de libertad que nos permiten los siguientes movimientos:

- Subir y bajar los ojos.
- Girar a derecha e izquierda los ojos.
- Mover la ceja derecha.
- Mover la ceja izquierda.
- Abrir y cerrar la boca.
- Mover los labios, lo que permite sonreír.
- Abrir o cerrar el párpado derecho.
- Abrir o cerrar el párpado izquierdo.

### 3.3 EL SISTEMA MOTRÍZ

Se han utilizado servomotores -del tipo estándar empleados en radio control- para conseguir el

movimiento de las partes móviles de la cabeza. La elección de este tipo de motores y no de otro tipo como, por ejemplo, motores de continua es debida a la sencillez que proporcionan estos motores para el control de posición. Además, para el pequeño tamaño de este tipo de motores, el par que son capaces de desarrollar es suficiente para la carga que tienen que soportar.

Para el control de los ocho servos disponemos de una tarjeta MiniSSC-II que se conecta al ordenador mediante el puerto serie.

#### 3.3.1 Servomotores

Un servo está compuesto por un motor, engranajes que actúan a modo de reductora, potenciómetro que gira solidario al eje de salida y que sirve como sensor de posición, y un circuito de control.

Un servo controla la posición angular de su eje de salida mediante señales codificadas. El servo se mantendrá siempre en la misma posición si mantenemos la misma señal codificada a la entrada. Sin embargo, si variamos esta señal, la posición angular del eje variará. Un servo normalmente puede girar 180 grados.

#### 3.3.2 Tarjeta de control

Mediante la tarjeta MiniSSC-II simplificamos la tarea de realizar el control de los servos, ya que es la propia tarjeta, una vez indicadas las posiciones de los servos, la que se encarga de generar la señal de control para posicionar los servos. Para ello, sólo se le debe indicar a la tarjeta la posición para cada servo. La comunicación entre la tarjeta y el ordenador se realiza por el puerto serie.

#### 3.3.1 Transmisión de movimiento

Como ya se ha comentado, la transmisión del movimiento a las partes móviles de la cabeza se realiza mediante varillas. Aunque hay otras formas de transmitir el movimiento, como por ejemplo mediante engranajes, esto dificultaría la realización física de la cabeza.

Algunas de las razones para escoger un sistema de transmisión mediante varillas son las siguientes:

- Un sistema de engranajes o correas es mucho más voluminoso y, generalmente, de mayor peso que la realización de la transmisión mediante varillas.
- Es mucho más difícil disponer de engranajes de la relación deseada que hacer palancas a la medida, ya que éstas sólo hay que adecuarlas al tamaño deseado.

- La amplitud de las rotaciones a transmitir no supera en ningún caso los 90°
- Además, debido al poco peso de las piezas a mover y a que las varillas son muy cortas, se puede transmitir tracción y empuje sin peligro de sufrir flexiones en ninguna de las varillas.

### 3.4 ESTRUCTURA DE LA CABEZA

Para la realización de la estructura de la cabeza se ha perseguido conseguir dos objetivos:

- El menor peso posible.
- El centro de gravedad lo más cercano posible al centro del *Pan-Tilt*.

Estos dos objetivos son debidos al poco peso que es capaz de mover el *Pan-Tilt*, por lo que cuanto menor sea el peso y cuanto más cerca esté el centro de gravedad del *Pan-Tilt*, menor deberá ser el par que el esta unidad tenga que realizar para mover la cabeza.

Como ya hemos mencionado, para conseguir que el centro de gravedad esté lo más cerca posible del *Pan-Tilt* se ha intentado desplazar todo el peso posible a la parte inferior de la cabeza, bajando incluso la base de la cabeza por debajo del punto de enganche con la unidad *Pan-Tilt*.

### 3.5 SISTEMA DE VISIÓN

Para el sistema de visión se han escogido dos cámaras monocromas Sony XC-ES50CE con dos objetivos PENTAX H1212B.

El mecanismo de los ojos hace que ambas cámaras se mantengan siempre paralelas.

Sobre estas cámaras se implementarán algunos de los sistemas de visión que han sido desarrollados por el grupo de robótica del Departamento. Además de técnicas estéreo para estimación de profundidad y evitación de obstáculos, cabe destacar un módulo de reconocimiento y seguimiento de caras [3], y un módulo de navegación utilizando marcas artificiales [10].

### 3.6 OTROS ELEMENTOS

Existen otros elementos que complementan los rasgos fundamentales de la cara del robot. Para su fabricación se ha procurado utilizar elementos accesibles y de bajo coste. Así, para la realización de los párpados se han utilizado las esquinas de una botella de toner de fotocopiadora, ya que, al ser de plástico, es ligero y nos permite efectuar fácilmente

taladros y, además, tiene una forma muy similar a la que se había diseñado.

Para simular el iris de los ojos se ha utilizado una pelota de plástico de un juego palas cortada en dos mitades, una para cada ojo. En cada mitad se le ha realizado un agujero para permitir que las cámaras tengan todo el ángulo de visión posible. El objetivo de la cámara sirve como pupila del ojo

Para realizar la función de labios se ha utilizado una goma de pelo roja.

Para simular el pelo de las cejas se ha utilizado el pelo de un muñeco de peluche azul.

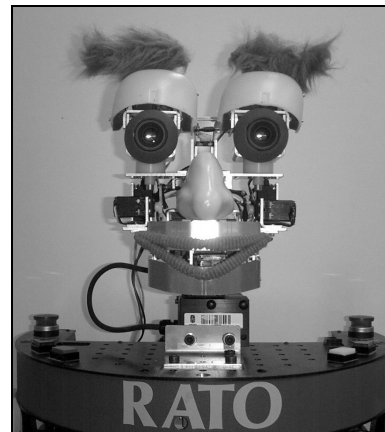


Figura 3: Cabeza montada sobre el robot RATO

Una vez montada la cara, se comprobó que, con la incorporación de una nariz, la cara ganaba en realismo y expresividad. Por ello se optó por poner una. Para realizar la función de nariz se ha utilizado una nariz de plástico de una careta de carnaval. El aspecto final de la cabeza se muestra en la figura 3.

## 4 SOFTWARE DE CONTROL

### 4.1 INTEGRACIÓN CON EL SOFTWARE DEL ROBOT MÓVIL

Es importante recordar que el funcionamiento de la cabeza en un robot móvil no puede ser concebido como algo aislado, sino que debe funcionar de forma coordinada con el resto del robot. Es, por tanto, muy importante integrar de una manera sencilla el funcionamiento de las distintas partes y tareas del robot que el Departamento ha ido realizando en trabajos anteriores. Este conjunto forma una arquitectura para robots móviles que posee el Departamento basada en software de la Universidad de Carnegie Mellon [11].

Esta arquitectura de navegación está formada por varias capas funcionales [5]: servocontrol, evitación de obstáculos, navegación, planificación de caminos y planificación de tareas. Cada capa trabaja con la información a un nivel de abstracción provisto por la capa inmediatamente inferior. Se trata de un sistema de navegación que combina una parte reactiva, usada en las capas inferiores, con una deliberativa representada por las capas superiores. De esta forma se obtienen las ventajas de ambos sistemas; rapidez de respuesta para tratar los eventos que así lo requieran a través de la parte reactiva, sin perder por ello la eficacia de los sistemas deliberativos que determinan las pautas a seguir mediante planificación.

En el nivel inferior se encuentran los mecanismos de servocontrol que permiten acceder a los recursos proporcionados por el hardware disponible (base, cabeza móvil, cámara, sensores, etc.).

La siguiente capa es el módulo reactivo que se encarga del control ante eventos que necesitan respuesta inmediata como la evitación de obstáculos, tratamiento de colisiones detectadas por los sensores táctiles, etc.

Justo por encima se encuentra el sistema de navegación que asume la tarea de localización del robot, además de producir direcciones de referencia a seguir por el módulo reactivo.

Los caminos que debe seguir el robot son calculados por el planificador de trayectorias en función de la posición origen proporcionada por la capa de navegación y el destino seleccionado por el planificador de tareas.

No vamos a entrar aquí en una descripción detallada de los distintos módulos, dado que ese no es el objetivo de este trabajo, pero sí en la forma de comunicación entre ellos que se describe en el próximo apartado

#### 4.1.1 Procesos y comunicación

Las distintas funciones descritas en el apartado anterior se encuentran implementadas en una serie de módulos independientes. Los más importantes se muestran en la figura 4. Cada uno de estos módulos se ejecuta como un proceso en Linux, comunicándose entre ellos a través de IPC (Inter-Process Communications) [13] desarrollado en 1994 para el proyecto de vuelo "Deep Space One" de la NASA.

Esta herramienta simplifica la construcción de sistemas de control para robots móviles, y se ha estado empleando y mejorando en su antigua versión (TCA) [12] desde la construcción del robot "Dante" en distintos proyectos de la universidad de Carnegie Mellon y la NASA.

IPC permite construir un sistema distribuido sin tener que preocuparse de los mecanismos de comunicación entre los componentes de dicho sistema. Esto es especialmente importante en el caso de robots móviles, debido a que los procesos de control y supervisión pueden estar distribuidos entre distintos ordenadores.

Con IPC se pueden implementar tanto modelos cliente/servidor, como modelos de publicación/suscripción, siendo más recomendables estos últimos. Existe un proceso que realiza la función de servidor central y es el que se encarga de solicitar un servicio a un proceso servidor (modelo cliente/servidor) o distribuir los mensajes entre los módulos suscritos al mismo (modelo publicación/suscripción). Además, cada uno de los procesos implicados en esta arquitectura tiene que comunicar al central los servicios que provee y/o suscribirse a los tipos de mensajes que esté interesado en recibir. De esta forma, todos los mensajes se pasan a través del central que se encarga de enviarlos al proceso que gestiona esos recursos. Estos mensajes pueden ser de diversa índole (peticiones, órdenes, suscripciones, etc.) y pueden ser servicios proporcionados por otros procesos, o bien directamente por el mismo central.

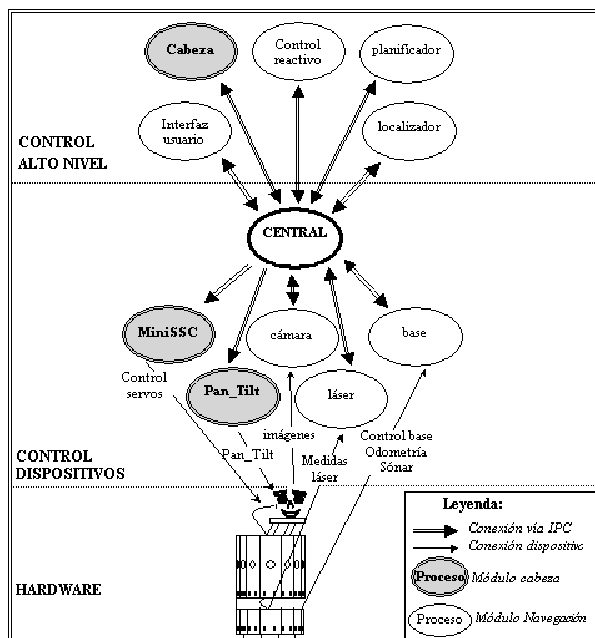


Figura 4: Procesos y comunicación. Los procesos de control de la cabeza aparecen sombreados.

Los lenguajes de programación que pueden ser empleados son C/C++, Lisp y en las últimas versiones de IPC también es posible programar en Java.

A continuación, se explican los procesos que controlan los movimientos de la cabeza. Cualquier otro módulo puede utilizar los servicios de los estos procesos sin más que enviar los respectivos mensajes a través de IPC. Será, por tanto, suficiente con conocer los servicios que proveen y el formato de los mensajes para solicitar estos servicios.

## 4.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE DE CONTROL DE LA CABEZA

Para el control de la cabeza robotizada se han creado dos módulos que reciben los mensajes provenientes de otros módulos. Uno de ellos controla la tarjeta de control de los servos MiniSSC II y el otro controla la posición de la unidad *Pan-Tilt*. Estos módulos aparecen sombreados en la parte de control de dispositivos de la figura 4.

Además de estos dos módulos que son los básicos para el control de la cabeza, se ha creado otro módulo mediante el cual se pueden enviar mensajes a los dos módulos anteriores y que permite comprobar el correcto funcionamiento de los mismos.

Finalmente se ha creado un cuarto módulo que de forma aleatoria envía órdenes tanto al modulo *MiniSSC-server* como al *PanTilt-server*.

### 4.2.1 Módulo *MiniSSC-server*

El módulo de control de los servos se denomina *MiniSSC-server*, para realizar este módulo se ha utilizado la librería de control *MiniSSC-II Motion Controller* que proporciona métodos para mover los servos de uno en uno o los ocho a la vez, y para modificar la velocidad de los servos. En este módulo se han implementado 5 mensajes IPC, estos cinco tipos de mensajes permiten mover un servo individualmente a la posición indicada, mover los 8 servos a 8 posiciones indicadas en el mensaje, mover todos los servos para adoptar unas expresiones predeterminadas que están implementadas en el código. También existe un mensaje para esperar un tiempo determinado indicado en el mensaje, esto permite encadenar movimientos y, por último, existe un mensaje que desconecta el módulo del servidor de IPC y finaliza la ejecución del módulo.

### 4.2.2 Módulo *PanTilt-server*

Es el que se encarga de recibir los mensajes IPC relativos al movimiento del *Pan-Tilt* y enviar las instrucciones correspondientes por el puerto serie.

Se han implementado 10 tipos de mensajes distintos que sirven para mover el eje *pan* o el eje *tilt* de forma absoluta o de forma relativa, o sea indicando una posición o un incremento de posición respecto a la actual, para mover los dos ejes con un mismo mensaje, para modificar las velocidades de ambos ejes, para enviar en el mensaje cadenas de caracteres que se enviaran como instrucciones por el puerto serie. También se ha implementado un mensaje que permite resetear el *Pan-Tilt* y otro que desconecta el modulo del servidor IPC y finaliza la ejecución del módulo.

### 4.2.3 Módulo *CabezaRATO*

Se ha implementado este módulo para probar el correcto funcionamiento de los dos módulos anteriores y para poder conseguir que la cabeza adoptase la configuración que deseamos.

En la figura 4 se muestra este módulo en la parte de “control alto nivel” y permite, mediante unos menús en consola de Linux, escoger el movimiento que se quiere hacer con la cabeza. Permite escoger entre enviar mensajes de movimiento a los servos, tanto individual como colectivamente, o seleccionar expresiones predefinidas (alegre, triste, sorpresa, ec.) y enviar mensajes de control al módulo del *Pan-Tilt*.

### 4.2.4 Módulo *Movimiento Aleatorio*

Este modulo envía mensajes de expresiones ya predefinidas o mensajes de movimiento del *Pan-Tilt* de forma aleatoria. Entre mensajes se espera un tiempo aleatorio entre 0 y 10 segundos. La función de este módulo es poder dejar el robot solo y que la cara vaya cambiando de expresión sin intervención por parte de ninguna persona. Esto es necesario mientras no se cree un módulo que recoja los estímulos provenientes del exterior y reaccione antes ellos.

## 5 CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

En este artículo se ha presentado las principales características del diseño de una cabeza robotizada que ha permitido dotar de expresividad al robot móvil autónomo RATO del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Vigo.

La cabeza desarrollada tiene 8 grados de libertad más otros 2 grados de libertad aportados por el cuello. Los rasgos faciales asemejan a los de un rostro humano, aunque se ha procurado que tenga claros rasgos de máquina. Se han empleado servos para

dotar de expresividad la cabeza. También se ha dotado al robot de un sistema de visión artificial mediante dos cámaras incorporadas en los ojos de la cabeza, lo que permite procesar imágenes del entorno del robot.

El software de control de la cabeza ha sido integrado en el software de control y navegación del robot.

### Agradecimientos

El trabajo presentado en este artículo ha sido desarrollado en colaboración con la Universidad de Valladolid en el marco del proyecto de investigación financiado por el MCYT DPI2002-04377-C02-02 de título: "Planificación y supervisión inteligentes para interacción con robots móviles autónomos".

### Referencias

- [1] A. Bruce, I. Nourbakhsh, R. Simmons (2002). The Role of Expressiveness and Attention in Human-Robot Interaction. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Washington DC, May 2002.
- [2] Bartneck, C. (2004). From Fiction to Science - A Cultural Reflection on Social Robots. Proceedings of the Workshop on Shaping Human-Robot Interaction- Understanding the Social Aspects of Intelligent Robotic Products. Conf. on Human Factors in Computer Systems, CHI2004, Viena, Austria.
- [3] Blanco, J., W. Burgard, R. Sanz, and J.L. Fernández (2003) Fast Face Detection for Mobile Robots by Integrating Laser Range Data with Vision, Proc. ICAR 2003, Coimbra, Portugal.
- [4] Burgard, W., A.B. Cremers, D. Fox, D. Hähnel, G. Lakemeyer, D. Schulz, W. Steiner, and S. Thrun (1999). Experiences with an Interactive Museum Tour-Guide Robot, Artificial Intelligence, Vol. 114, 1-2, pp. 3-55.
- [5] Fernández, J.L., R. Sanz, and A.R. Diéguez (2004). Probabilistic Models for Monitoring and Fault Diagnosis: Application and Evaluation in a Mobile Robot, Applied Artificial Intelligence, Vol 18,1, pp. 43-67.
- [6] Fujita, M. (2001). AIBO; Towards the Era of Digital Creatures, Int. Journal of Robotics Research, Vol. 20, 10, pp.781-794.
- [7] Kim, H., G. York, Burton, E. Murphy-Chutorian, and J. Triesch (2004). Design of an Arthropomorphic Robot Head for Studying Autonomous Development and Learning, Proc. Int. Conf. On Robotics and Automation, ICRA 2004, New Orleans, LA, USA.
- [8] Lacey, G., and K. Dawson-Howe, The application of robotics to a mobility aid for the elderly blind, Robotics and Autonomous Systems, Vol. 23, pp. 245-252.
- [9] Pérez Castro, J., (2004). Diseño y construcción de una cabeza robotizada, Proyecto Fin de Carrera, E.T.S. Ingenieros Industriales, Universidad de Vigo.
- [10] Ricart Varela, A., (2002), Levantamiento de Mapas Para Navegación de Robots Móviles Utilizando Visión y Marcas Artificiales. Proyecto Fin de Carrera, E.T.S. Ingenieros Industriales, Universidad de Vigo.
- [11] Simmons, R., J. L. Fernandez, R. Goodwin, S. Koenig, J. O'Sullivan (2000). Xavier: An Autonomous Mobile Robot on the Web, IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol. 7, 2, pp. 33-39.
- [12] Simmons, R., R. Goodwin, C. Fedor, J. Basista. (1997). Task Control Architecture, Programmer's guide to version 8.0, Carnegie Mellon University, School of Computer Science.
- [13] Simmons, R., D. James, (2001). Inter-Process Communications, A reference manual version 3.4, Carnegie Mellon University, School of Computer Science.