

MÓDULO DE TELEOPERACIÓN PARA ACCESO VÍA INTERNET A DISPOSITIVOS ROBÓTICOS EN LABORATORIOS REMOTOS

Juan Luis Pedreño Molina

Departamento de Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Universidad Politécnica de Cartagena, Campus Muralla del Mar s/n, 30202 Cartagena. Juan.Pmolina@upct.es

Antonio Guerrero González

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Politécnica de Cartagena, Campus Muralla del Mar s/n, 30202 Cartagena. Antonio.Guerrero@upct.es

Juan López Coronado

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Politécnica de Cartagena, Campus Muralla del Mar s/n, 30202 Cartagena. jl.coronado@upct.es

Resumen

El análisis y verificación sobre plataformas experimentales de los conocimientos teóricos impartidos en el campo de la ingeniería de control de dispositivos robóticos es uno de los principales objetivos de la enseñanza en ingeniería aplicada. En este trabajo se presenta una arquitectura cliente-servidor basada en tecnologías IP para el manejo y control teleoperado de cualquier dispositivo robot sobre cuyo controlador se puedan programar comandos de movimiento y lectura de sensores externos y/o internos. Este módulo añade a los métodos docentes una herramienta útil para complementar la experimentación simulada por verificación remota vía Internet o desde cualquier equipo conectado a una red LAN de un laboratorio docente.

Palabras Clave: Tecnología IP, teleoperación, control robot, compatibilidad, enseñanza aplicada.

1 INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que plantean los métodos de enseñanza tradicionales en las más importantes ramas de la ingeniería aplicada, y más concretamente en el campo de la Ingeniería de Sistemas y Automática, es la necesidad de interactuar con dispositivos sofisticados y de difícil acceso.

El accionamiento, lectura y control sobre dispositivos robóticos comerciales o de diseño propio es una de las líneas importantes de esta Ingeniería. En la mayoría de los casos estos dispositivos suelen ser muy caros, bastante complejos y, además, suelen estar ubicados sobre entornos controlados y protegidos con el fin de evitar posibles accidentes mecánicos. En definitiva, varios son los problemas

que plantea la enseñanza aplicada al control de dichos dispositivos:

- La adquisición de dispositivos robóticos tales como brazos articulados, sistemas de visión sobre cabezales robóticos, soportes móviles para guiado de vehículos, etc, son lo suficientemente costosos como para que puedan ser adquiridos en un número suficiente para interactuar con todos los equipos de un laboratorio docente.
- En muchos casos los robots sobre los que se pretenden impartir las enseñanzas de control suelen ser de tipo industrial. Ello implica que su ubicación suele estar en un habitáculo distinto del propio laboratorio y acondicionado para las características del robot.
- Normalmente, el acceso a los movimientos del robot y a la lectura de sus sensores (encoders, sensores externos, etc.) suele ser único desde uno de los terminales del laboratorio que es el que está conectado físicamente al controlador hardware. Esto limita la capacidad docente de las actuaciones sobre el robot.
- La imposibilidad de control y acceso a robots ubicados en laboratorios remotos dentro del propio centro o en centros externos es claramente una limitación en las enseñanzas correspondientes a esta ingeniería.

En definitiva, muchas son las ventajas que un robot de tales características puede aportar en el campo de la enseñanza en ingeniería de control avanzada sobre sistemas reales. No cabe duda de que los problemas que puedan surgir sobre una plataforma de gran envergadura derivados de las condiciones reales de trabajo son difícilmente emulables en todos sus aspectos. Estos problemas pueden surgir de la cinemática del movimiento del sistema físico, de la

dinámica del sistema, de la comunicación con los controladores electrónicos del dispositivo, el calentamiento, rozamientos, etc. Por este motivo, la mayoría de las aplicaciones de control y adquisición de sistemas robóticos se estudian y se implementan sobre plataformas simuladas.

En este trabajo se presenta un módulo de teleoperación basado en tecnologías IP y en una arquitectura cliente-servidor, diseñado para poder actuar remotamente a través de Internet sobre robots de diferentes características y desde cualquier terminal conectado a la red. Dicho módulo ha sido probado e implementado en diferentes plataformas robóticas tanto en el Laboratorio NEUROCOR (Murcia, España) a través de una Intranet, como en el *ARTS Laboratory* (Pisa, Italia), a través de Internet. Ambas plataformas están constituidas por un sistema brazo-mano robot con sensores artificiales de tacto (información sensorial) y sensores internos de posicionamiento (información propioceptiva).

2 CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO Y APORTACIONES A LA ENSEÑANZA APLICADA

El módulo que aquí se presenta, aporta una solución a los problemas que se plantean en la enseñanza para aplicar los conocimientos tradicionales y/o innovadores sobre plataformas reales. Las principales características de dicha arquitectura, se pueden resumir en los siguientes puntos:

- *Compatibilidad.* Esta arquitectura no está diseñada específicamente para un robot concreto, sino para cualquier dispositivo que permita recibir comandos de movimiento y envío de información sensorial y/o propioceptiva.
- *Acceso remoto.* El sistema de comunicación entre los terminales (PC's) y el robot ha sido desarrollado a partir de tecnologías basadas en protocolos TCP/IP estándar, por lo que el accionamiento sobre el robot se puede realizar a través de los siguientes medios:
 - ✓ Red Internet para dispositivos robóticos remotos.
 - ✓ Red Local o Intranet para dispositivos locales.
- *Acceso multiusuario.* La capacidad de utilizar una identificación IP para la conexión entre terminal (*cliente*) y controlador robot (*servidor*), permite el acceso de múltiples usuarios o terminales sobre el propio robot.
- *Aplicaciones abiertas.* Tanto el diseño de las aplicaciones cliente como servidor, ha sido

realizado sobre plataformas software comerciales. Esto permite que la aplicación utilizada para la enseñanza remota puede ser ampliable o modificable en función de las necesidades docentes y de adaptación a futuros cambios sobre la instalación robótica remota.

Las características presentadas han permitido crear una importante y útil herramienta de trabajo para la enseñanza aplicada sobre sencillas o sofisticadas plataformas. En la figura 1, se muestra un laboratorio de robótica del área de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad Politécnica de Cartagena. En él se realizan prácticas de control de movimiento a partir del módulo presentado en este trabajo, haciendo uso de la propia Intranet del Laboratorio NEUROCOR (*Neurotecnología, Control y Robótica*) de esta misma Universidad



Figura 1: Instalación del Laboratorio docente de robótica en la Universidad Politécnica de Cartagena, para el control de un robot comercial de acceso local.

A la vista de las características de diseño del módulo de teleoperación y de la experiencia obtenida de los resultados de implementación, se pueden resumir algunas de las principales aportaciones de este módulo a la enseñanza con dispositivos robóticos:

- *Enseñanza aplicada.* Permite trabajar sobre dispositivos robots reales desde el propio puesto del Laboratorio docente. De esta forma se elimina la incertidumbre que conlleva el trabajar sobre plataformas simuladas en lugar de sobre dispositivos físicos.
- *Verificación de resultados.* Una de las principales ventajas de acceder al servidor (dispositivo robot) mediante comunicaciones basadas en protocolos TCP/IP es la de poder verificar visualmente los resultados. Dicha monitorización se puede obtener de forma muy sencilla haciendo uso de cualquiera de las aplicaciones WEBCAM, tan ampliamente difundidas y utilizadas en la actualidad.

- *Adaptación a dispositivos robóticos.* El hecho de disponer de un módulo de carácter general y compatible con múltiples plataformas, permite la realización de actividades docentes sobre diferentes laboratorios remotos, en función de las propias necesidades docentes.
- *Evolución del módulo de teleoperación.* El programa de aplicación sobre los ordenadores que actúan como clientes en esta arquitectura cliente-servidor, ha sido desarrollado a partir de compiladores estándar (concretamente en Microsoft Visual C++ v6.0). Por ese motivo es posible mejorar las especificaciones de dichos módulos con el objeto de evolucionar a la vez que lo hacen los sistemas de enseñanza en el campo de la robótica.

Con todo ello queda demostrada la utilidad de esta herramienta de acceso a dispositivos robóticos y sus aportaciones en el terreno de la enseñanza. Por otro lado, resulta inevitable considerar algunos inconvenientes que pueden surgir de la implementación de dicho módulo, si bien es cierto que en la mayoría de los casos se trata de problemas subsanables o poco importantes en el terreno de la enseñanza: tiempo de retardo, algoritmo de gestión para múltiples usuarios, etc.

3 REQUISITOS DE COMPATIBILIDAD PARA LABORATORIOS DE ROBÓTICA

El módulo de teleoperación para accionamiento de robots remotos que se presenta en este trabajo, fue diseñado en un principio para resolver los problemas que planteaba la necesidad de verificar el funcionamiento de diversos algoritmos de control sobre plataformas avanzadas de brazos robóticos.



Figura 2: Brazo robot del Laboratorio NEUROCOR

El proyecto europeo de investigación SYNERAGH (SYstems NEuroscience and engineering Research for

Antropomorphic Grasping and Handling) [2] ha posibilitado la actuación remota sobre una plataforma formada por el conjunto brazo-mano robot haciendo uso de las tecnologías basadas en protocolos IP.

Como paso previo a dicha actuación tales algoritmos se probaron en un brazo robot comercial a través de una Intranet local. La figura 2 muestra la instalación experimental del brazo comercial A255 de CRS Robotics en el Laboratorio NEUROCOR a través de una red LAN.

Por todo lo anteriormente expuesto, se ha trabajado en el diseño de una única arquitectura cliente-servidor, válida principalmente para ambas plataformas (local y remota), con muy diferentes características físicas y de movimiento, utilizando la misma estructura de comunicaciones a través de tecnologías basadas en protocolos estándar IP. Para demostrar la compatibilidad de dicho módulo con otros dispositivos robóticos que no pertenecen a la familia de los actuadores basados en brazos robóticos, se ha realizado la implementación directamente sobre un cabezal robot - figura 3 - de fabricación propia. El diseño de este dispositivo permite profundizar en enseñanzas en el campo de la localización y captura remota de objetivos



Figura 3: Robot cabezal estereoscópico LINCE

Con el objeto de exportar la aplicación docente hacia diferentes plataformas experimentales, se han definido unos *estándares de compatibilidad* que modifican sensiblemente la instalación de ambas plataformas. Para ello se establecen dos conexiones comunes a todas las plataformas:

- Conexión física
- Conexión Software

La *conexión física*, se establece a través de un servidor conectado al controlador del brazo robot que interpreta las instrucciones de alto nivel generadas por cualquier terminal del laboratorio docente en el que se haya programado la aplicación de control y lectura. La figura 4 muestra el esquema de conexión física.

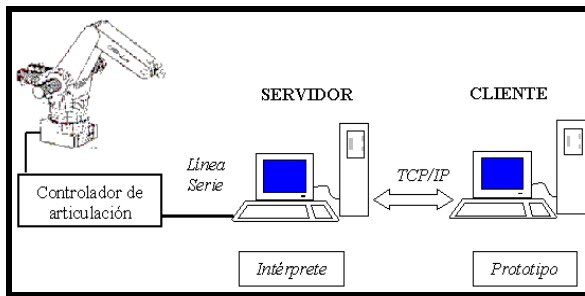


Figura 4: Esquema de la adaptación de la conexión física de una plataforma robótica a los requisitos de compatibilidad del módulo de teleoperación.

En cuanto a la *conexión software*, se ha definido una serie de rutinas que se incluyen dentro de una librería de funciones de acceso dinámico (DLL's) de forma que puedan ser ejecutadas desde cualquier aplicación estándar. Esta librería se ejecuta directamente sobre el controlador del robot que actúa como servidor. Lógicamente, para la el manejo de dichas funciones, es necesario implementar el intérprete específico dentro del servidor correspondiente al robot sobre el que se pretende actuar.

En definitiva, las funciones incluidas en la librería dinámica corresponden a las operaciones normales de lectura de posición, lectura de sensores externos, posicionamiento de las articulaciones del brazo robot, calibración, etc.

4 DESCRIPCIÓN Y DISEÑO

El esquema de conexión mostrado en la figura 4, introduce un nuevo elemento en la conexión física. Se trata de un equipo servidor que se comunica con el controlador del dispositivo robótico a través de la conexión (puerto serie, inalámbrica, *ethernet*, etc.) habilitada para ello y que es particular para cada dispositivo. Esta circunstancia no es un problema para el acceso teleoperado, puesto que el equipo servidor del sistema de comunicación, es transparente para el alumno. Su única misión es interpretar las órdenes ejecutadas desde cualquiera de los ordenadores del aula remota, gracias a la implementación de los estándares de compatibilidad para la conexión física y software.

Con el objeto de crear unas rutinas válidas para el posicionamiento de un dispositivo robot cualquiera y para la lectura de la información sensorial externa o interna, se ha definido un conjunto de funciones básicas de lectura y escritura. Estas funciones reciben como argumentos una serie de parámetros para el movimiento de los dispositivos robots. Como es lógico, la compatibilidad del módulo de teleoperación debe exigir que pueda actuar sobre dispositivos diferentes. En el caso de brazo robóticos, por ejemplo, el objetivo es poder teleactuar con brazos de diferente número de articulaciones y con diferentes

rangos de movimiento cada uno de ellos. Por ese motivo se han adoptado varios criterios principales en el diseño de este sistema:

- Los prototipos de las funciones de la librería DLL (conexión software) deben coincidir rigurosamente tanto en el equipo servidor (que actúa de intérprete) como en los terminales que acceden.
- Debe existir una función inicial de calibración que permita establecer las comunicaciones en la arquitectura cliente-servidor. La programación basada en *sockets* permite establecer la compatibilidad física a través de protocolos IP.
- Normalización de los parámetros de movimiento y lectura de sensores. De esta forma, el valor de dichos argumentos varía entre -1 y +1 para cada articulación. Para el movimiento del brazo robot, los valores -1 y +1 representan los extremos del rango de movimiento de cada articulación. Para la lectura de información, representan los valores mínimo y máximo que puede adoptar cada sensor.
- Programación basada en procesos, con el fin de que el equipo servidor pueda estar interpretando comandos de movimiento desde diferentes terminales a la vez que actúa sobre el controlador. Este hecho posibilita el acceso multiusuario.
- Definición de variables de memoria de dimensión suficiente con el fin de evitar redefinir las funciones según el dispositivo de que se trate.
- Parámetros de retorno del éxito de cada operación. Este criterio permite conocer de forma remota el resultado de las instrucciones de control y de movimiento cuando no se dispone de sistema de un monitorización visual de las imágenes del proceso.

Un ejemplo de las funciones implementadas para teleoperar sobre brazos robots, se muestra en los siguientes prototipos:

```

Bool Calibration(void)
Bool ArmJoints(double*, char)
Double *ReadArmJoints(double*)
Double *ReadHandJoints(double*)
Double *MicroForceSensor(double*)
Double *ContactSensor(double*)
Bool HandJoints(double *, char)

```

5 IMPLEMENTACIÓN EXPERIMENTAL

La utilidad y la verificación de las ventajas que este módulo aporta tanto a los métodos para enseñanza sobre dispositivos robóticos avanzados como para la

investigación aplicada, ha quedado demostrada mediante su implementación en varias plataformas robóticas y con diferentes formas de acceso. En todos los casos, el módulo no se ha modificado en ninguna de sus especificaciones, lo que demuestra su característica de compatibilidad y su consiguiente ventaja en la enseñanza sobre laboratorios remotos de diversa índole. Las principales plataformas en las que se ha llevado a cabo la implementación de este módulo se describen a continuación:

Plataforma local Brazo-mano robot en Laboratorio NEUROCOR (Universidad Politécnica de Cartagena, España). Corresponde a la fotografía de la figura 2. Consiste en un sistema brazo-pinza robot con sensores táctiles artificiales, utilizado para procesos de control de agarre y posicionamiento [1]. El brazo robot es comercial y tiene 5 articulaciones. La pinza robot es un sencillo dispositivo de 1 articulación y de diseño propio. Los sensores táctiles conforman una matriz de 18 celdas sensitivas. El servidor está conectado al controlador del robot por medio de una conexión por puerto serie. El acceso de varios terminales al robot se ha realizado por medio de una LAN con tecnología *Ethernet* y un *Hub* de 8 puertos. Esta implementación ha permitido el acceso multipuesto para las enseñanzas de control robot, dentro del propio laboratorio.

Plataforma remota Brazo-mano robot en ARTS Laboratory (Advanced Robotics Technology and System Laboratory) en la Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa, Italia.

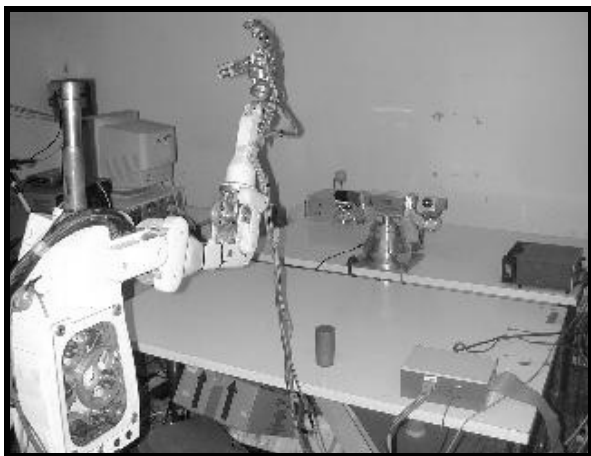


Figura 5: Instalación real de la plataforma robótica DEXTER-MARCUS en ARTS Laboratory. Su diseño antropomórfico permite aplicar enseñanzas en el campo de la robótica de rehabilitación

En este caso se han realizado conexiones a través de Internet desde diferentes equipos del Laboratorio NEUROCOR. El sistema consiste en un avanzado y sofisticado brazo robot (*Dexter Arm*) de diseño antropomórfico y una mano robot (*Marcus Hand*) con 3 dedos y 2 grados de libertad. El brazo robot dispone de 8 articulaciones con diferentes rangos de

movimiento. El sistema sensorial externo lo compone un total de consiste en 74 sensores distribuidos entre sensores de deslizamiento (2), de contacto (2), de proximidad (6) y un array táctil (64). El servidor remoto se conecta al controlador del sistema robot mediante una conexión inalámbrica de alta velocidad.

Para la comprobación del resultado del accionamiento remoto del sistema robótico, se incorporó una WebCam en uno de los ordenadores del laboratorio remoto, conectada físicamente a un ordenador con una IP visible desde Internet. De esta forma, es posible visualizar el movimiento físico del robot sin grandes retardos de tiempo, haciendo uso de una herramienta tan extendida como *MS Netmeeting*. Este último software de aplicación permite transmitir mensajes de alarma o variaciones de funcionamiento no detectadas, bien mediante teclado o bien mediante comunicación vocal a través de un micrófono comercial. La figura 6 muestra una imagen real adquirida remotamente desde uno de los terminales del aula docente durante el proceso de accionamiento.

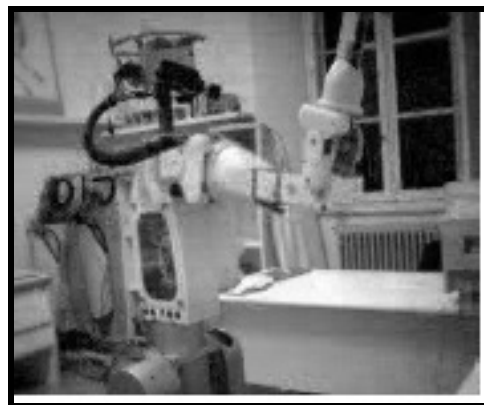


Figura 6: Captura del movimiento remoto de la plataforma italiana DEXTER-MARCUS, como resultado de la ejecución de una de las instrucciones de accionamiento remoto.

Tanto la programación de la aplicación residente en los terminales (función cliente) del aula local, como la residente en el servidor remoto (o local) de actuación física sobre el controlador del robot, han sido desarrolladas en Microsoft Visual C++ v6.0. Las interfaces de ambas aplicaciones han sido diseñadas a partir de las características descritas en el anterior apartado. Las figuras 7 y 8 muestran dichas interfaces de comunicación. La aplicación cliente es compatible para diferentes modelos de acceso y de control remoto.

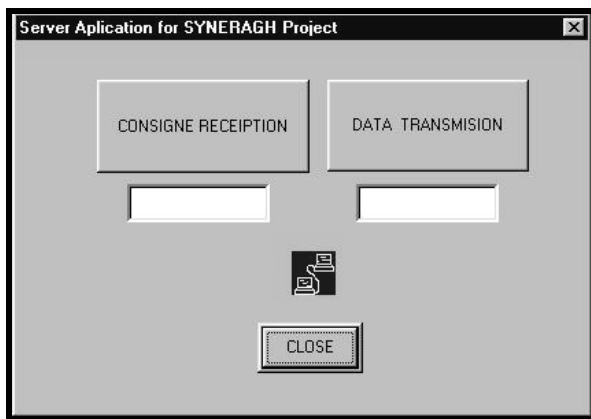


Figura 7: Aplicación en Servidor del módulo de teleoperación. Interpreta las funciones cuyos prototipos son comunes en ambos extremos de la comunicación

La funcionalidad de la aplicación residente en el servidor remoto es la de interpretar las instrucciones recibidas conforme a los prototipos generales establecidos para dichas instrucciones. Es independiente de la plataforma robótica y, a la vez, transparente para el terminal que transmite los comandos de movimiento y/o lectura. Está diseñado en base a un sistema concurrente de dos procesos. Uno de ellos establece la comunicación con el controlador del dispositivo robot, mientras que el otro establece la conexión remota de recepción y transmisión a través de Internet. Lo crítico que resulta el teleoperar con equipos sofisticados desde sistemas remotos obliga además, a incorporar rutinas de comprobación de error en cada proceso.

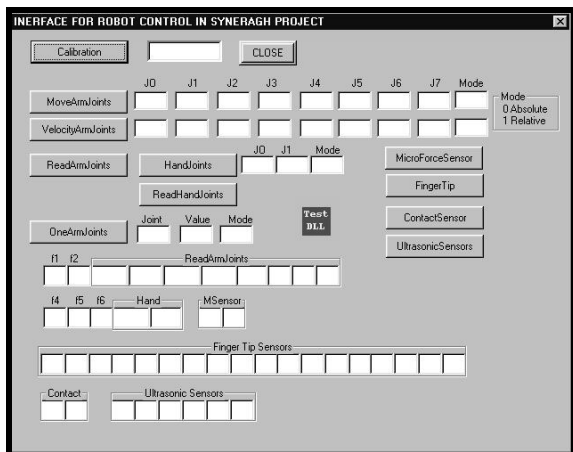


Figura 8: Aplicación en Cliente del módulo de teleoperación

La aplicación cliente ha sido diseñada con criterios de compatibilidad, así como con previsión de actualización y evolución de los diferentes dispositivos robóticos. Consiste, básicamente, en un cuadro de diálogo para la lectura y envío de parámetros hacia el robot. Al igual que en el caso anterior, se establecen dos procesos para el envío y recepción de información a través de la red.

6 CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado una arquitectura cliente-servidor para teleoperar con dispositivos robóticos a través de Internet. Una de las aportaciones de este sistema ha sido la de permitir ampliar los métodos de enseñanza sobre ingeniería aplicada, incorporando la posibilidad de interactuar sobre diferentes plataformas robóticas a partir de unas especificaciones de compatibilidad. Además, este módulo ha sido diseñado a partir de tecnologías basadas en protocolos IP por lo que cualquiera de las aplicaciones más extendidas de trabajo a través de Internet puede emplearse para visualizar (con algún pequeño retardo temporal) el resultado del movimiento o la sincronización vocal de los procesos.

Para demostrar la compatibilidad del sistema, éste se ha implementado sobre plataformas robóticas de diferentes características por medio de una red local con tecnología *ethernet*. La demostración de la capacidad del sistema para adaptarse a plataformas con diferente número de articulación y rangos de movimiento, se ha basado en la implementación, con éxito, del mismo sistema sobre un robot en el laboratorio local y sobre otro de muy diferentes características ubicado en un laboratorio remoto. En este último caso, el acceso y la capacidad de teleoperar a través de Internet ha permitido ampliar y mejorar las posibilidades y los métodos de enseñanza desde un laboratorio docente accediendo desde varios de sus terminales a una avanzada plataforma robótica de un importante centro de investigación europeo.

Se han aportado los requisitos de compatibilidad del sistema, sus características de diseño y las herramientas software utilizadas. Como conclusión final, cabe resaltar que el principal objetivo y aportación de este trabajo ha sido el de complementar los métodos de enseñanza sobre ingeniería aplicada con robots, basados únicamente en plataformas simuladas, al incorporar una arquitectura que permite una fácil y cómoda interacción con plataformas robóticas de otros centros tecnológicos.

Referencias (10 pts, negrita)

- [1] López-Coronado J., Pedreño, J.L., Guerrero, Gorce, P., (2002) "A neural model for visual tactile motor integration in robotic reaching and grasping tasks". *Robotica*, Vol. 20, Issue 01. pp: 23-31.
- [2] Taddeucci, D., Gorce, P., Burnod, Y., López, J., Pedreño, J.L., Guerrero, A., Laschi, C., Darío, P., (2000) "SYNERAGH, a European Project on Anthropomorphic Grasping and Handling for Humanoid Robots". 1º IEEE-RAS Int. Conf. on Humanoid Robots, MIT, Cambridge. MA.