

DISEÑO DE UN ESCENARIO “EN LÍNEA” PARA ROBOTS TELEOPERADOS DESDE INTERNET

RESUMEN

Se presentan conceptos relacionados con robots operados remotamente desde Internet, incluyendo su estructura física y computacional. Se describe la evolución de estos sistemas desde plataformas reales a virtuales e híbridas, y sus aplicaciones. Finalmente, se describen los elementos de un sistema hardware y software desarrollado para teleoperar y monitorear a través de un panel de control y una cámara CCD, a un robot desde un sitio Web.

PALABRAS CLAVES: Robot móvil, teleoperación, robots en línea, java

ABSTRACT

Concepts related with teleoperated robots from Internet, including its physical and computational structure are present. It describes the evolution of these systems from real platforms to virtual and hybrids ones, and their applications. Finally, the hardware and software developed to teleoperated and monitoring a robot from a Web site, through a control panel and CCD camera, are described.

KEYWORDS: Mobile robot, teleoperation, on line robots, java

NELSON DAVID MUÑOZ C.

Ingeniero Electrónico
Profesor Depto. Ing. de Sistemas
Universidad de Antioquia
nmunoz@udea.edu.co

**NÉSTOR ALFONSO
DELGADO HERNANDEZ**

Ingeniero Electrónico
Universidad de Antioquia
nextor25@gmail.com

JOSÉ ALEJANDRO DÍAZ C.

Est. de Ingeniería de Sistemas
Universidad de Antioquia
alejo.dc@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Los robots requieren básicamente de tres funciones: sensado, procesamiento y actuación. Algunas tendencias entre los investigadores en robótica, han intentado cubrir las tres funciones en un solo sistema, lo cual hace que la complejidad y los precios se aumenten. Otras tendencias demuestran un cambio del paradigma, llevando las señales de sensado y el procesamiento a las capacidades de las redes de computadores, solamente la capacidad de movimiento está ubicada en el robot.

El uso de las redes de computadores y en especial del Internet, se ha encaminado principalmente a interconectar redes de comunicación basados en estructuras de súper computadoras que permiten acceder importantes bases de datos, recursos de información, servidores de correo y de software, pero en los últimos años se encuentran en uso muchos otros dispositivos electrónicos conectados a la red, tales como: cámaras, sensores, telescopios, brazos manipuladores, robots móviles, equipos de medición, entre otros; En [1], [2], [3] se encuentra un completo listado de dispositivos conectados a la red Internet. Con la combinación de esta tecnología, se empiezan a explorar nuevos servicios comerciales y sus potenciales áreas de aplicación como la industria del entretenimiento y diversión, el entrenamiento, la telemanufactura o el servicio de maquinado de piezas, accesible desde Internet [4]

Desde hace más de una década, los investigadores han estado usando el Internet como un medio de transmisión de comandos que permiten teleoperar robots y obtener señales de realimentación. Aunque el Internet tiene muchas ventajas en una gran variedad de campos,

usándolo para teleoperar robots, también tiene algunas limitaciones, tales como el problema del retardo de tiempo incierto, la pérdida de datos y la seguridad en la transmisión [5]. Un estudio de los retardos presentes en las comunicaciones de robots teleoperados desde Internet, se describe en [6], donde se propone un modelo del retardo de tiempo de Internet, el cual se verifica experimentalmente a través de datos reales. Pese a las dificultades, los robots teleoperados desde Internet, es un campo de investigación que crece en su desarrollo debido a la aparición de nuevos avances tecnológicos que facilitan la implementación de estos sistemas, como los dispositivos *transceivers*, *bluetooth*, *zeebee*, y las redes inalámbricas *WiFi*, la masificación de cobertura o de acceso a Internet, el ancho de banda disponible a los usuarios actuales, el mejoramiento y el abaratamiento del hardware computacional, etc. Todas estas características aumentan las prestaciones y aplicabilidad de este tipo de sistemas.

En el caso particular de los robots, se cuentan varias aplicaciones, tales como robots conectados en línea bajo condiciones estándar para que los usuarios los utilicen como plataforma para la prueba de algoritmos “*Benchmark*”, telemanufactura de piezas (cualquier pieza que un robot pueda manufacturar), la exploración de sitios distantes o de difícil acceso, por ejemplo, la NASA ha usado el Internet para el control de vehículos en el espacio, desde su centro local de operaciones y en colaboración con científicos distribuidos geográficamente en diferentes lugares del mundo [7].

Entre los principales antecedentes se destaca el proyecto *Mercury*, en agosto de 1994 puso en funcionamiento el primer robot teleoperado a través del protocolo *HTTP*

(*Hyper Text Transfer Protocol*) y una interfase en página web. Inicialmente se orientó hacia el estudio de factibilidad en teleoperación vía Internet de robots manipuladores en entornos de riesgo para un humano como lo es un laboratorio radioactivo. El sistema fue diseñado para estar disponible las 24 horas al público y para poder ser operado por personal no experto [8]. Poco después, fue puesto en funcionamiento el Tele Robot Australiano, desde septiembre de 1994. En la actualidad, el sistema cuenta con un robot ABB IRB 1400 de seis (6) grados de libertad y una interfase web elaborada mediante software de instrumentación virtual *LABVIEW*. Este brazo permite manipular objetos, además puede ser operado por varios usuarios simultáneamente [9]. En la figura 1 se observa el ambiente de trabajo del robot y en la figura 2 su interfase web de teleoperación.

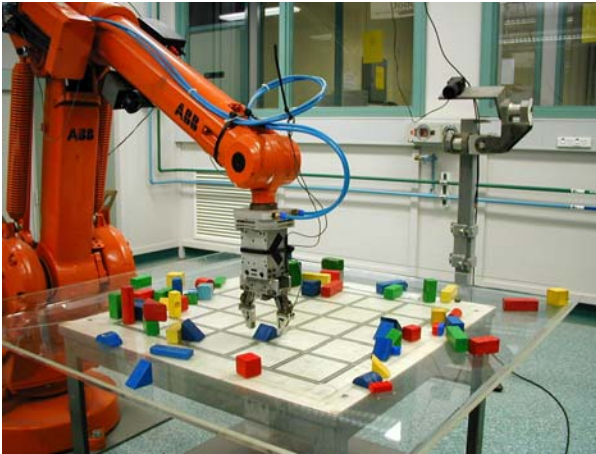


Figura 1. Ambiente de trabajo del robot

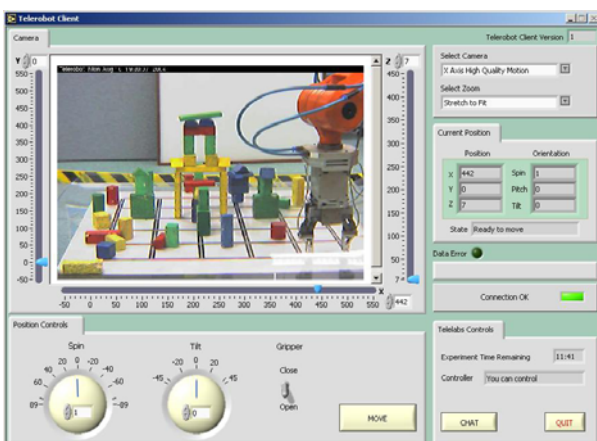


Figura 2. Interfase web del Tele robot Australiano

Otros sistemas como el Robot Interactivo Pintor, combinaron actividades académicas y de investigación con el entretenimiento. Este proyecto emplea un robot

PUMA 760, su tarea principal es pintar sobre un cartel. La interfase visual *PumaPaint* posee cuatro tipos de colores para dibujar, detrás de esta selección existe todo un complejo control de acercamiento, cambio de pinceles, reabastecimiento de pintura que ejecuta delicadamente el robot con sus pinzas de sujeción ó manipulador. La estructura básica del *PumaPaint*, fue puesta a disposición del público desde junio 3 de 1998 [10]. Otros trabajos han enfatizado en el desarrollo de sistemas que permiten la simulación de este tipo de aplicaciones, precisamente el *KhepOnTheWeb* fue un proyecto realizado con el fin de estudiar algunas posibilidades de controlar remotamente un robot móvil *Khepera*, para proveer una herramienta de prueba a la comunidad científica que investiga en algoritmos de control de robots móviles. El espacio de trabajo del robot es un laberinto, el cual se observa en la figura 3 [11]. Posteriormente, el proyecto fue sustituido por el *VirtualKhepOnTheWeb*, el cual coloca a disposición de la comunidad, un simulador en la web, del anterior sistema en entorno real. [12]

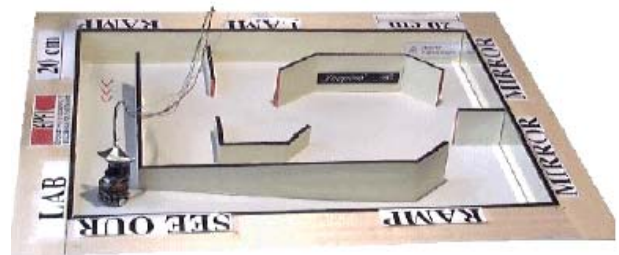


Figura 3. Sistema KhepOnTheWeb de la EPFL - Suiza.

En [13] se emplea un modelo híbrido entre un escenario virtual y uno real, al virtual puede acceder el público general y al real solo pueden acceder los alumnos del curso de robótica y luego de haber obtenido simulaciones que garantizan el buen uso del sistema real. Este proyecto también evalúa el grado de aceptación del alumnado, cuyas conclusiones hacen aportes en la aplicación de los laboratorios virtuales. *Digger arena* [14], es un proyecto que los estudiantes califican como desafiante y didáctico. Es utilizado como apoyo en la enseñanza de la robótica y la inteligencia artificial, así como también en la enseñanza de aspectos importantes de los sistemas *on-line* en Internet, tales como la creación de escenarios interesantes y dinámicos, la identificación de los usuarios objetivo de los escenarios, creatividad del escenario para mantener el interés de los usuarios, protección del sistema contra el vandalismo, etc. [15].

Este artículo ha sido estructurado de la siguiente forma: en la sección 2, se hace una descripción general del sistema, los requerimientos básicos y el uso de *Java* y *servlets* en el proyecto, en la sección 3 se describe el desarrollo de la aplicación, desde la estructura *hardware*

y *software*, en la sección 4, se plantean los trabajos futuros a desarrollar con esta aplicación, y en la sección 5 se presentan las conclusiones.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

Se presenta el desarrollo de un escenario hardware y software para el acceso remoto a la teleoperación de un robot desde Internet, implementado en Java para facilitar la comunicación entre la plataforma del robot y el usuario o cliente, quien utiliza las ventajas de la red de redes para acceder a la aplicación desde cualquier lugar del mundo.

Un servlet es un programa Java que se ejecuta dentro del contexto de un servidor Web y que procesa solicitudes hechas por un cliente, usualmente a través de un navegador Web (browser).

Cuando el servidor Web recibe por primera vez una solicitud para un servlet, éste último es cargado en memoria y a continuación es ejecutado. Una vez finalizada la ejecución, de haber algún resultado, es enviado de vuelta al cliente que originó la petición.

Los Servlets se benefician de la gran capacidad que ofrece Java en cuanto a portabilidad se refiere, además de permitir la ejecución de métodos remotos y también nativos, procesamiento de datos, conectividad con diferentes bases de datos, acceso a componentes de hardware de la plataforma subyacente, etc., solucionando con anterioridad muchos de los posibles problemas que podría adquirir el programador si utilizase cualquier otro lenguaje de programación.

En el proyecto, se necesita básicamente de dos herramientas: la primera es la plataforma Java (también conocida como Java 2 Standard Edition), necesaria para la compilación, depuración y ejecución de cualquier clase Java; la segunda, Jakarta Tomcat, la cual opera con el servidor Web para atender a las solicitudes de *servlets* [16].

El sistema que conforma el escenario en línea para el robot teleoperado desde Internet, esta compuesto por:

- Una plataforma robótica móvil.
- Un transmisor de datos inalámbrico que se encuentra conectado a través del puerto de comunicación serial COM a un servidor con sistema operativo Linux.
- Un servidor Web Apache sirviendo en la dirección IP pública (microe.udea.edu.co)
- Java 2 Standard Edition.
- Jakarta Tomcat (como contenedor de Servlets).
- Una cámara Web conectada al puerto USB.

Además, el equipo cliente debe poder soportar recepción de video (*VideoStreaming*) y un navegador Web (*browser*).

3. IMPLEMENTACION

3.1 Descripción del Robot

Giraa_01 es una plataforma robótica móvil, útil en investigación y prueba de algoritmos de control autónomo y teleoperado. El robot es de locomoción diferencial, su estructura es cilíndrica de 13 cm de diámetro y 15 cm de altura, posee sensores de ultrasonido, infrarrojo, iluminación y codificadores de posición. Su unidad central de procesamiento está basada en el microcontrolador 68HC12, de 16 bits, el cual se encarga de comandar todas las acciones del robot, como procesar la información proveniente del puerto de comunicación serial, o de los sensores, y de enviar órdenes a los motores dando respuesta a la ejecución de un algoritmo de control, o por órdenes enviadas desde un PC (en configuración "teleoperado"). Este microcontrolador posee instrucciones para la ejecución de algoritmos basados en lógica difusa y puertos disponibles para futuras expansiones del robot [17]. El esquema del sistema central se observa en la Figura 4.

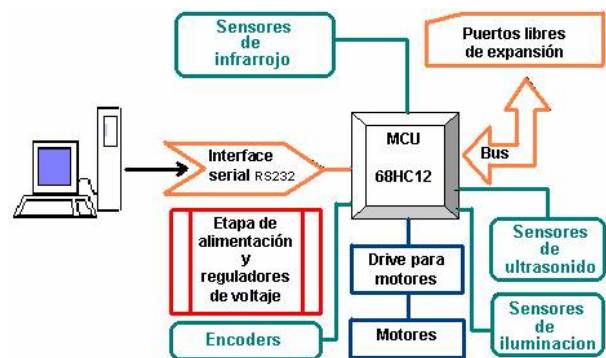


Figura 4. Esquema del sistema central del robot Giraa_01.

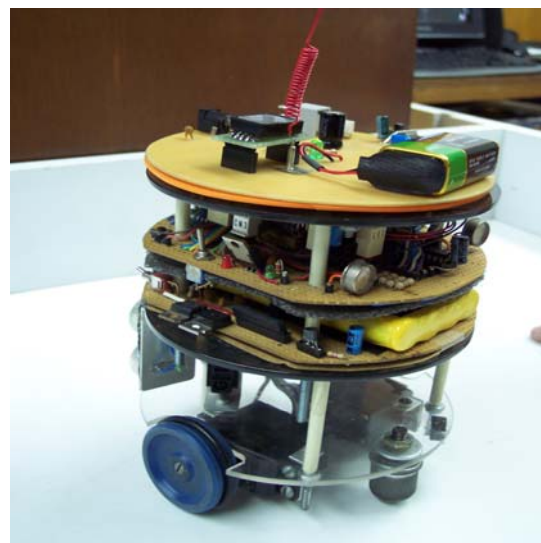


Figura 5. Robot móvil Giraa_01, con el módulo de comunicación inalámbrica en la parte superior

Este vehículo posee un módulo de comunicación inalámbrica por radio frecuencia (RF), el cual permite la comunicación con un computador a través de un puerto serial COM mediante el protocolo RS232, a una velocidad de 4800 baudios [18]. El Giraa_01 se observa en la figura 5.

3.2 El software de la aplicación

El software desarrollado se basa en *Servlets*, *JSP* y el *API JavaComm* [19] que se encarga de la comunicación serial. Del lado del cliente, se despliega la aplicación web <http://microe.udea.edu.co:8080/robot> en el navegador Web del cliente, donde:

1. El usuario se autentica ante la aplicación.
2. El usuario configura los parámetros necesarios para la inicialización del puerto serial.
3. El usuario visualiza *on-line* los movimientos del robot y le envía las órdenes o comandos de movimiento desde el panel de control, pasando la solicitud a través del puerto serial para luego ser transmitida al robot por medio del módulo de comunicación RF. El panel de control se observa en la figura 6.

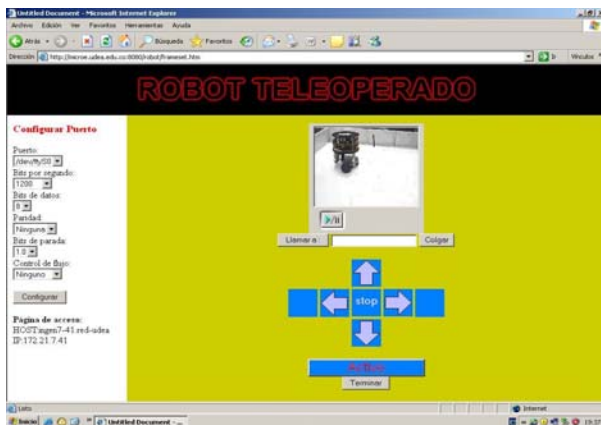


Figura 6. Aplicación Web: configuración de puerto COM, panel de control teleoperado y video en línea.

Esta comunicación serial entre el servidor y el robot, se establece para permitir que el robot reciba los comandos de control de movimiento que envía el usuario de forma remota. Los comandos implementados fueron: avanzar, retroceder, parar, girar a la derecha 30°, girar a la izquierda 30°, girar a la derecha 90° y girar a la izquierda 90°, enviados como código *ASCII*.

Cada uno de los componentes (clases) interactúan entre sí dentro del contenedor de *Servlets Jakarta Tomcat* en el que reside la aplicación, efectuando una tarea específica asignada:

- Configuración del puerto serial.
- Manejo del puerto serial.
- Despliegue de video.
- Interacción con el puerto serial y su respuesta.

Un esquema de la estructura general del sistema se observa en la figura 7.

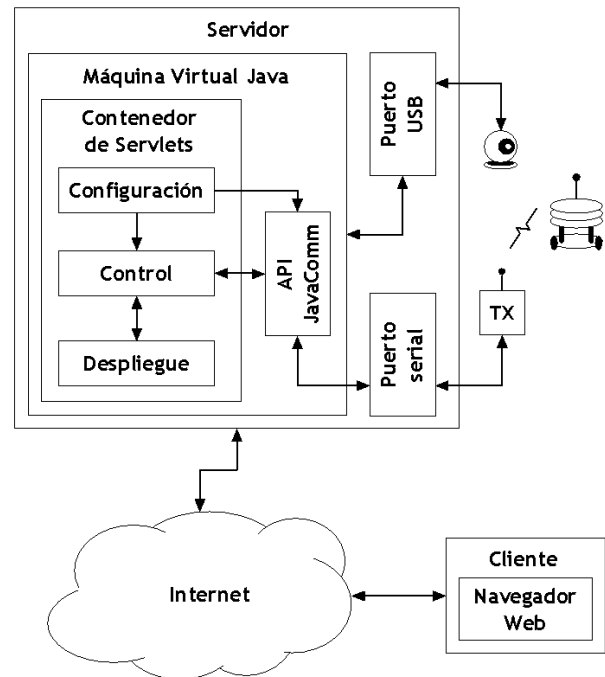


Figura 7. Estructura general del sistema.

4. TRABAJO FUTURO

El sistema desarrollado se puede adaptar fácilmente a la teleoperación de brazos manipuladores, para lo cual se está construyendo un primer prototipo. Además, se plantea el diseño de una interfase hardware a la que se pueden conectar otros dispositivos electrónicos para permitir su acceso desde Internet y trasladar los resultados obtenidos con el robot a otras áreas de aplicación industrial y comercial como el monitoreo y teleoperación de máquinas de ventas o dispensadores, electrodomésticos, luces industriales y domésticas, etc.; o el sector de la domótica, la telemetría, automatización industrial, la vigilancia y seguridad.

5. CONCLUSIONES

Uno de los aspectos a mejorar en este tipo de sistemas es el tiempo de respuesta en función del ancho de banda de la red. Es decir, hay que considerar el intervalo de tiempo entre el envío del comando, la actuación del robot y la visualización de la nueva posición. Lo cual restringe aplicaciones de este sistema en tareas de tiempo real. La implementación realizada demuestra la viabilidad del uso

de laboratorios y enseñanza de robótica a través de Internet.

El sistema desarrollado tiene en cuenta el concepto de laboratorios virtuales, remotos y dispositivos teleoperados basados en la *Web*, utilizando software libre como *Java*, *Linux*, *Netmeeting*, *Gnomemeeting*, demostrándose que es posible realizar toda una implementación de mediana o alta complejidad con software libre no necesariamente propietario o comercial.

La utilización de Internet como medio de transmisión de datos para aplicaciones de monitoreo y control o teleoperación de robots permite que los sistemas sean ampliamente disponibles para los usuarios, sin limitaciones geográficas y ofreciendo un ambiente estándar para la prueba de algoritmos.

Se espera que la utilización de esta tecnología asociada al ancho de banda de Internet será viable para aplicaciones en tiempo real en un futuro cercano, con menos restricciones que las actuales. Igualmente sucede con los módulos de comunicación inalámbricos, los cuales a futuro tendrán mejores características en cuanto a ancho de banda, menor tamaño, menor consumo de potencia y menor costo, gracias al avance de la Microelectrónica.

Este tipo de aplicaciones también sirve en el ámbito académico en asignaturas o concursos, donde se plantea a los estudiantes conceptos concernientes al diseño e implementación de sistemas *on-line* en Internet, donde el estudiante debe tener en cuenta aspectos como el buen diseño de una interfaz gráfica de usuario, interesantes y dinámicas, la identificación de usuarios, la creatividad del escenario para mantener el interés de los usuarios, la seguridad y protección del sistema, entre otros aspectos.

6. RECONOCIMIENTOS.

Este trabajo fue parcialmente financiado por la Universidad de Antioquia en el marco de los proyectos MC02-1-09 y FPPI06-1-07, desarrollados por el Grupo de Investigación en Robótica y Mecatrónica – adscrito al GIMEL, [<http://ingenieria.udea.edu.co/giraa/>]. Los autores expresan agradecimiento por la orientación y cooperación al grupo de Microelectrónica, y al Laboratorio de Ingeniería de Sistemas L.I.S. de la Universidad de Antioquia, conformados por un excelente grupo profesores y aprendices.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Devices connected to the Internet, acceso junio 15/06 http://dir.yahoo.com/Computers_and_Internet/Internet/Devices_Connected_to_the_Internet/
- [2] Online Robots and Cameras, acceso junio 18/06 <http://ford.ieor.berkeley.edu/ir/>
- [3] Online Robots List, acceso junio 18/06 http://ford.ieor.berkeley.edu/ir/online_robots_list.html
- [4] Berkeley Manufacturing Institute, acceso julio 10/06 <http://cybercut.berkeley.edu/>
- [5] GOLDBERG Ken, SIEGWART Roland. Beyond Webcams: an introduction to online robots. Mit press, Massachusetts 2002
- [6] SLAWINSKI E., *et al.* Experiencias en teleoperación bilateral de robots Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, Vol: 3, no: 1. Enero 2006.
- [7] BACKES P.G., *et al.* Internet-based operations for the Mars Polar Lander mission. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2000. Proceedings. ICRA '00. pag: 2025-2032 vol.2
- [8] GOLDBERG Ken. The robot in the garden : telerobotics and telepistemology in the age of the Internet. Mit press, Massachusetts 2000
- [9] TAYLOR Kenneth, DALTON Barney. Internet robots: a new robotics niche, En IEEE robotics & automation magazine. Vol 7, # 1 march 2000
- [10] STEIN M. R. Interactive Internet artistry. En IEEE robotics & automation magazine. Vol 7, # 2 june 2000
- [11] SAUCY P., MONDADA F. KhepOnTheWeb: open access to a mobile robot on the Internet. En IEEE robotics & automation magazine. Vol 7, # 1 march 2000
- [12] Virtual KhepOnTheWeb, acceso agosto 18/05 <http://diwww.epfl.ch/lami/robots/K-family/KOTW/Virtual/>
- [13] CANDELAS F., *et al.* Laboratorio virtual remoto para robótica y evaluación de su impacto en la docencia. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, Vol. 1, Núm.2, Julio 2004
- [14] MCKENN, Gerard. GATWARD, Andrew. Escenarios online para robots: diseño y utilización. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, Vol: 2, no: 2. Abril de 2005.
- [15] ICRA. Proceedings of the workshop on educational applications of online robots, at the IEEE International conference on robotics and automation ICRA 2002, Washington DC, junio de 2002
- [16] GIRALDO Harvey, *et al.* Implementación de una interfaz de software para el manejo de laboratorios virtuales – remotos. En: revista Silicio, # 14, 2002 Pág. 63-66

[17] MUÑOZ Nelson David, *et al.* Giraa_01: una plataforma para investigación en robótica móvil. En: revista Silicio, # 14, 2002 Pág. 26-31

[18] DELGADO Néstor Alfonso, *et al.* Diseño de un modulo de comunicación inalámbrica para robot móvil. Tesis Ingeniero Electrónico, Universidad de Antioquia, 2005

[19] Java Comm API, acceso agosto 15/05
<http://java.sun.com/products/javacomm/>