

Monitorización y Supervisión via web de un equipo de robots para la realización de tareas cooperativas

A. Gil, O. Reinoso, L.M. Jiménez, R. Ñeco, L. Payá

Dept.de Ingeniería de Sistemas Industriales

Universidad Miguel Hernández

Avda. de la Universidad s/n

03202 Elche (Alicante)

arturo.gil@umh.es

Resumen

Se presenta un sistema que posibilita la comunicación entre un equipo heterogéneo de robots. La arquitectura diseñada se utiliza para coordinar un equipo heterogéneo de robots mientras realiza una tarea y permite el intercambio de la información recogida por los sensores de cada robot así como el paso de mensajes entre robots. El control general de los recursos de la red se realiza mediante un gestor de Recursos de Red. Este gestor de recursos almacena información actualizada sobre todos los equipos que se encuentran conectados a la red, así como las características de cada uno. Por otra parte, existe un módulo del sistema, llamado de monitorización/supervisión, que centraliza la información recogida por todos los robots. Así, se recogen parámetros, como, por ejemplo, el estado de cada robot, su trayectoria planificada en el entorno o la tarea que está llevando a cabo. Asimismo, el sistema de monitorización/supervisión permite el envío de comandos a los robots. Este sistema de monitorización/supervisión permite realizar prácticas a distancia vía internet de planificación de tareas cooperativas en robótica móvil.

1. Introducción

Un robot móvil es un agente capaz de navegar de forma autónoma por un entorno determinado. Además, debe ser capaz de realizar la

tarea que se le ha encomendado. Podemos citar multitud de tareas que puede realizar el robot, por ejemplo:

- Servir de robot guía para conducir visitantes en un museo [1].
- Reemplazar a un operador humano en entornos peligrosos.
- Elaborar mapas detallados de minas abandonadas [2].

Por otra parte, se podría pensar que la mayoría de estas tareas se realizarán de forma más rápida y eficiente si contamos con un equipo de robots que colaboran entre sí. De esta manera, el objetivo es utilizar un conjunto de robots con capacidades cognitivas y sensoriales diferentes que colaboran entre sí para conseguir un objetivo común. Por ejemplo, en los trabajos expuestos en [3] y en [4], se emplea un conjunto de robots móviles para explorar un entorno. Los resultados revelan que el tiempo empleado en explorar un entorno determinado se ve reducido cuando empleamos un conjunto de robots móviles. Además, la precisión del mapa resultante se ve incrementada. Por otra parte, cada uno de los robots que forman el equipo puede tener unas capacidades sensoriales limitadas, es decir, contar con un conjunto de sensores no demasiado precisos. Sin embargo, la fusión de la información recogida por el equipo de robots y la cooperación de

los miembros del equipo debe compensar las deficiencias de cada integrante.

En resumen, un equipo de robots puede llevar a cabo su tarea de forma más rápida y eficiente que un robot trabajando individualmente. Como contrapartida, hacer que un conjunto de robots cooperen en una tarea común exige que exista una capa de comunicación fiable entre todos los agentes móviles. En concreto, se necesita, en este caso, que el sistema sea capaz de comunicar un equipo heterogéneo de robots, en el cual, cada modelo de robot tiene unas características diferentes.

Un aspecto importante a la hora de coordinar un equipo de robots móviles es el estado en que se encuentra el entorno. Un aspecto clave para poder coordinar un equipo de robots es conseguir que éstos tengan una visión unificada del entorno por el que se mueven [5]. Así, por ejemplo, si pretendemos que un grupo de robots se coordine en una aplicación de *foraging*, será necesario que todos los robots conozcan la posición del resto del equipo, así como la posición actualizada de los objetos en el entorno.

En este artículo se desarrolla la arquitectura de comunicación empleada en el diseño de una herramienta de monitorización/supervisión a distancia de un equipo de robots cooperativos. Esta herramienta de monitorización/supervisión a distancia va a ser utilizada en las asignaturas de robótica, de forma que los estudiantes puedan diseñar, implementar y evaluar diferentes alternativas para la realización de tareas de forma cooperativa. Varias han sido las propuestas acerca de crear un laboratorio a distancia de robótica móvil. Así, por ejemplo, en [6] se presenta un laboratorio remoto de robots móviles. En [7] se presenta una interfaz remota que permite a los usuarios controlar y gobernar a distancia el comportamiento del robot móvil disponible en el laboratorio. También en [8] se presenta una arquitectura de un laboratorio virtual que permite a los estudiantes realizar diferentes experimentos con un robot móvil.

El resto del artículo se organiza como sigue: En la sección 2.1 describimos las características de los modelos de robots móviles que for-

man el equipo. A continuación, se da una visión global de la arquitectura de comunicaciones del sistema. Seguidamente, en la sección 2.3 se describen los protocolos de comunicación que se han implementado. La sección 3 presenta algunas de las posibilidades de uso de esta herramienta para la realización de prácticas a distancia. Finalmente, en la sección 4 se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

2. Arquitectura del sistema

2.1. Agentes móviles en el entorno remoto

Se pretende monitorizar y coordinar un grupo heterogéneo de robots móviles. En concreto, se dispone de cuatro modelos diferentes de robots móviles, cada uno con características y habilidades diferentes:

- Robots WifiBot: Cuentan con una cámara color DCS 900 y dos sensores infrarrojos de distancia. A bordo, están equipados con un procesador x86 AMD a 20 MHz encargado de controlar sus 4 motores independientes. Además, se ha instalado un PC a bordo, con procesador pentium III funcionando con sistema operativo Linux. Estos robots se comunican con el exterior mediante una comunicación WIFI 802.11b/g.
- Robot B21r: Dispone de una gran cantidad de sensores de proximidad: 48 sensores sonar, 24 sensores de infrarrojos y un sensor de proximidad láser. Además, dispone de un sistema de visión estéreo. El robot B21r cuenta con dos PC a bordo, ambos funcionando bajo sistema operativo Linux. En consecuencia, tiene una gran capacidad de computación, permitiendo realizar algoritmos de visión estereoscópica a bordo. La comunicación con el exterior se realiza mediante un enlace inalámbrico Ethernet. Por otra parte, las librerías de comunicación con el robot están basadas en el estándar CORBA 2.0.
- Robots EyeBot: Estos robots funcionan con un Microcontrolador Motorola 68332 a 25 MHz y cuentan con 1 MB de memoria

RAM. Pueden capturar imágenes en color mediante una cámara, con la que pueden extraer una visión simplificada del entorno por el que se están moviendo. También pueden obtener medidas de distancia utilizando dos sensores infrarrojos. Estos robots se comunican utilizando transceivers de Radiometrix (BIM).

- Robots RugWarrior: Estos robots cuentan con un microcontrolador Motorola 68HC11. Disponen de sensores infrarrojos, con los que detectan la presencia de obstáculos cercanos. Tienen unas capacidades sensoriales muy limitadas.

Algunos de estos robots se muestran en la figura 1. Cuando se necesitan las medidas de los sensores de un determinado robot, el sistema es capaz de identificar el modelo de robot con el que se quiere establecer una comunicación y leer los datos que este proporciona.

2.2. Arquitectura de la red de comunicaciones

La comunicación entre los robots móviles de características heterogéneas ha precisado el diseño de una arquitectura de red que integre diferentes tecnologías de comunicación vía radio y diferentes protocolos de red. La arquitectura se muestra en la figura 2.2.

Se estructura en tres subredes:

- 1) Red cableada Fast Ethernet a la que se conectan los computadores, servidores, routers y cámaras fijas. A esta red se conectará la herramienta de teleoperación que permitirá gestionar todos los agentes móviles del entorno remoto.
- 2) Red WIFI 802.11b/g que comunica los robots de tipo medio (iRobot B21r, y WifiBot).
- 3) Red radio diseñada e implementada específicamente para comunicar los robots de menor capacidad (EyeBot, RugWarrior) utilizando transceivers de Radiometrix (BIM) en la banda UHF de 433MHz.

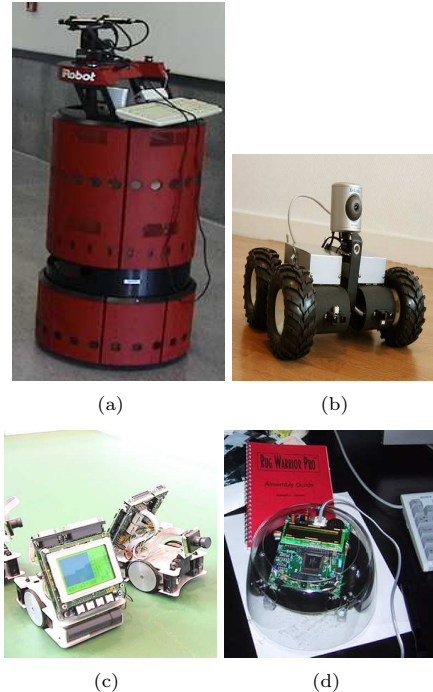


Figura 1: En la imagen a) se observa el robot B21r. En la imagen b) el robot WifiBot. Finalmente, en la figura c) se muestran los robots EyeBot. En d) se muestra el robot RugWarrior

Las subredes 1 y 2 utilizan protocolos estandarizados de red y enlace (TCP/IP) y sobre ellos se construye el protocolo de control de los robots. El robot iRobot utiliza adicionalmente una interfaz de programación CORBA para la lectura de datos de sensores y control de actuadores.

La subred 3 ha sido diseñada e implementada a partir de los transceivers de Radiometrix BIM y BIM-2 utilizando una interfaz RS-232 tanto en los robots móviles EyeBot y RugWarrior Pro, como en el PC que actúa de router con el resto de la red. Se ha propuesto un protocolo de enlace con paso de testigo y control centralizado que evite las colisiones y permita la comunicación directa entre robots. Adicionalmente se dispone de un servicio de enrutamiento entre la red TCP/IP y la red vía radio.

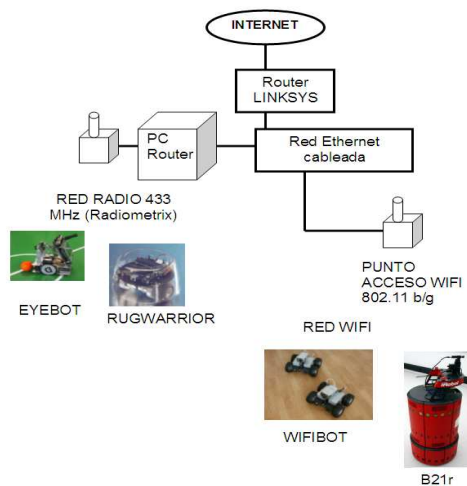


Figura 2: En la imagen se muestra la arquitectura general del sistema. Se presentan los módulos principales del sistema, así como los diferentes modelos de robots.

2.3. Protocolos de comunicación

Se ha diseñado un protocolo específico de nivel aplicación orientado al control distribuido de robots móviles para la realización de tareas cooperativas. En la especificación del mismo se ha tenido en cuenta la posibilidad de trabajar de forma transparente con los diferentes dispositivos involucrados en este tipo de aplicaciones: minirobots con capacidad de procesamiento limitada, grandes robots móviles con CPUs embarcadas, cámaras fijas y móviles, computadores externos, servidores de datos, etc.

El carácter heterogéneo de los elementos utilizados ha precisado la utilización de diferentes interfaces de programación pero manteniendo un protocolo común de aplicación. La figura 2.3 muestra la arquitectura básica diseñada. Los dispositivos más complejos que pueden conectarse a través de la red WIFI o Ethernet mediante TCP/IP, utilizan para la comunicación de datos, dependiendo del dispositivo, la librería de sockets o bien la librería CORBA. CORBA proporciona una metodología orien-

tada a objetos bien definida para la implementación de aplicaciones distribuidas y constituye el modelo de referencia utilizado en el diseño general. El estándar CORBA ha sido utilizado para tareas similares de comunicación, por ejemplo en [5], demostrando ser eficiente para intercambiar información en equipos de robots heterogéneos de la liga RoboCup F2000. Ciertos dispositivos están limitados y la arquitectura CORBA es demasiado compleja y lenta, por lo que se dispone de una interfaz adicional con la librería de sockets y la interfaz de enlace de la red radio.

El control general de los recursos de la red se realiza mediante un gestor de Recursos de Red. Se trata de un servidor encargado de mantener una base de datos actualizada de los dispositivos (agentes) presentes en la red y los recursos proporcionados (sensores, actuadores, procesamiento, ...). De este modo cuando un agente (robot, PC, cámara, ...) se incorpora a la red, debe solicitar el alta en la base de datos proporcionando los datos de identificación, direccionamiento y los recursos disponibles. Cuando un agente desea utilizar algún recurso distribuido debe realizar una petición al gestor para obtener el estado e información del resto de agentes existentes en la red.

Por otra parte, el módulo de monitorización/supervisión, centraliza la información recogida por todos los robots. Así, se recogen parámetros, como, por ejemplo, el estado de cada robot, las lecturas de sus sensores, la trayectoria planificada en el entorno o la tarea que está llevando a cabo. Además, el módulo de monitorización/supervisión se encarga del control de la misión del equipo de robots, de esta manera, gestiona el reparto de tareas entre el grupo de robots móviles. En la figura 3 se muestra la pantalla principal del monitorizador. Éste permite visualizar los robots que se encuentran en el entorno, así como la tarea que están llevando a cabo. Este módulo se ha desarrollado en lenguaje Java, hecho que nos permite ejecutarlo en diferentes máquinas, independientemente del sistema operativo.

El resto de la comunicación se realiza directamente entre agentes a nivel aplicación.

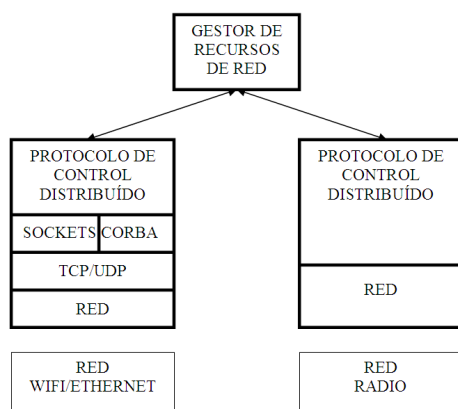


Figura 3: En la figura se muestra un esquema general de los protocolos de comunicación empleados en el sistema.

3. Aspectos educacionales

La realización de prácticas de robótica móvil plantea necesariamente el uso de dispositivos físicos generalmente caros y difíciles de mantener. Por otro lado, desde el punto de vista pedagógico es importante que los alumnos puedan observar en un entorno real el efecto que se produce cuando se modifican ciertos parámetros de los diferentes algoritmos que definen el comportamiento de un conjunto de robots en tareas cooperativas. La posibilidad de realizar este tipo de pruebas en una sesión de prácticas con presencia de un elevado número de alumnos es inviable sin la presencia de un elevado número de dispositivos físicos a repartir entre los diferentes alumnos. Es por este motivo, por el que resulta altamente interesante disponer de una herramienta que los alumnos puedan manejar en todo instante de tiempo, de forma tal que interactúe con el conjunto de agentes móviles en el entorno remoto.

Así, la esta herramienta de monitorización/supervisión permite a los alumnos observar el efecto que se produce cuando se plantean diferentes algoritmos de planificación de tareas cooperativas por un conjunto de agentes móviles. En el grado de desarrollo actual, no es

posible modificar el comportamiento de cada uno de los robots cuando se selecciona una tarea específica desde esta herramienta de monitorización/supervisión. De momento, al seleccionar una determinada tarea o aplicación a realizar por parte del conjunto de robots móviles remotos, es posible gobernar una serie de parámetros que afectan a la forma en que los diferentes robots remotos ejecutan la tarea de forma coordinada.

De esta forma, los alumnos realizan prácticas a distancia con este conjunto de robots móviles seleccionando parámetros tales como número de robots que emplean para realizar la tarea especificada, grado de interactividad entre los robots (sin comunicación o con comunicación), selección y formación de equipos de robots, movimiento del punto de destino en tareas de *foraging*, etc. En la actualidad esta herramienta permite comprobar el grado de afectación de este tipo de parámetros cuando en el entorno remoto se realiza una tarea previamente planificada y programada en cada robot. La planificación y programación del comportamiento de cada uno de estos robots se encuentra previamente desarrollada e implementada en cada uno de ellos. Este tipo de comportamientos implementados responden generalmente a comportamientos reactivos de forma tal que su funcionamiento global dependerá de alguno de los parámetros seleccionados remotamente por el usuario a través del entorno de supervisión. Por otro lado, durante todo momento de ejecución de la tarea, el usuario puede supervisar el desarrollo de la misma, interactuando con ella al alterar y modificar los parámetros específicos previamente comentados.

4. Conclusión y desarrollos futuros

Se ha presentado una arquitectura de comunicación que permite coordinar eficazmente un equipo heterogéneo de robots mientras realizan una tarea en común. Dadas las características heterogéneas del grupo de robots móviles, ha sido necesario diseñar una arquitectura de red que integra diferentes tecnologías de comunicación vía radio y diferentes protocolos

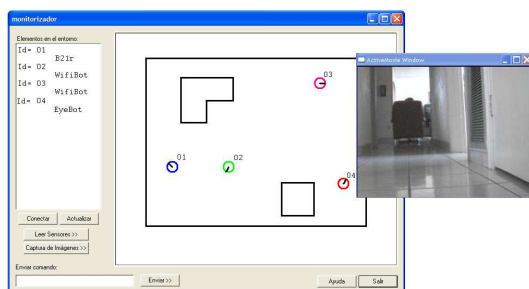


Figura 4: En la imagen se muestra la pantalla del módulo de monitorización/supervisión. Éste programa ha sido desarrollado en lenguaje Java. Permite visualizar los robots que se encuentran en el entorno, así como la tarea que están llevando a cabo.

de red.

El módulo de monitorización/supervisión se ha diseñado con el objetivo de poder ser utilizado para realizar prácticas de robots móviles utilizando la arquitectura presentada. De esta manera, los alumnos serán capaces de probar diferentes estrategias de cooperación y, a continuación, experimentarlas sobre los robots reales, comprobando el resultado.

5. Agradecimientos

Esta investigación está patrocinada por el Ministerio de Educación y Ciencia (Referencia del proyecto: DPI2004- 07433-C02-01. Título: HERRAMIENTAS DE TELEOPERACIÓN COLABORATIVA. APLICACIÓN AL CONTROL COOPERATIVO DE ROBOTS).

Referencias

[1] S. Thrun D. Fox, W. Burgard. Markov localization for reliable robot navigation and people detection. *Proc. of the Dagstuhl Seminar on Modelling and Planning for*

Sensor-Based Intelligent Robot Systems, 1999.

- [2] S. Thrun, S. Thayer, W. Whittaker, C. Baker, W. Burgard, D. Ferguson, D. Hähnel, M. Montemerlo, A. Morris, Z. Omohundro, C. Reverte, and W. Whittaker. Autonomous exploration and mapping of abandoned mines. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 2005.
- [3] S. Thrun. A probabilistic online mapping algorithm for teams of mobile robots. *International Journal of Robotics Research*, 20(5):335–363, 2001.
- [4] F. Schneider W. Bugar, M. Moors. Collaborative exploration of unknown environments with teams of mobile robots. *Proc. of the Dagstuhl Seminar on Plan-Based Control of Robotic Agents. Springer-Verlag*, 2002.
- [5] Hans Utz, Freerk Stulp, and Arndt Moeld. Sharing belief in teams of heterogeneous robot. In *Proceedings of RoboCup-2004 Symposium*, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Berlin, Heidelberg, Germany, 2004. Springer-Verlag.
- [6] M.A. Salichs, A. Khamis, F. Rodriguez, and M. Rivero. Laboratorio a distancia vía internet en robótica móvil. *Enseñanza Via Internet/Web de la Ingeniería de Sistemas y Automática EIWISA'02*, pages 71–74, 2002.
- [7] D. Austin. Design of a web based teleprogramming interface for mobile robots. *Australian Conference on Robotics and Automation*, 2002.
- [8] G. Zysko, R. Barza, and K. Shchilling. Tele lab using non-holonomic car-like mobile robot. *IFAC Internet Based Control Education IBCE'04*, 2004.