

Realización de tareas colaborativas entre robots humanoides. Experimentación con dos robots Robonova

M. GONZÁLEZ-FIERRO¹, P. PIERRO¹, A. JARDÓN¹, D. HERRERO¹,
C. BALAGUER¹

¹Robotics Lab, Universidad Carlos III de Madrid; {mgpalaci, ppierro, ajar-
don, dherrero, balaguer}@ing.uc3m.es

En este artículo se presenta un sistema de dos humanoides que realizan el transporte colaborativo de una escalera de mano. El interés de la tarea colaborativa reside en que dicho objeto no puede ser transportado por un único robot. Cada robot se mueve de forma independiente, tratando de imitar la forma en que un sistema de seres humanos realiza esta tarea. El enfoque utilizado es descentralizado, ya que debido a las restricciones de la tarea, se deben evitar retardos en la coordinación debidos a las comunicaciones. Se han desarrollado un conjunto de rutinas de movimiento estables mediante las cuales el sistema multi-robot puede realizar una traslación rectilínea y giros a ambos lados.

1 Introducción

Uno de los principales objetivos de la robótica humanoide es conseguir que los robots coexistan y colaboren con los humanos, ayudándonos a realizar tareas peligrosas o tediosas, y además, que interactúen con nosotros en un entorno cambiante.

En la actualidad, se está dejando de ver a los robots como simples máquinas que realizan tareas repetitivas, tendiéndose a integrarlos en el entorno humano como compañeros de trabajo para que interactúen con nosotros.

Debido a su estructura antropomorfa, los robots humanoides son unos firmes candidatos para realizar trabajos colaborativos con humanos. Gracias

a ello, serán capaces de adaptarse mejor al entorno y proporcionarnos mejores ayudas y beneficios. Varios trabajos previos han estudiado sistemas colaborativos entre humanos y robots (Fernández et al., 2001), (Pierro et al., 2008), (Suda y Kosuge, 2002) y (Kaneko et al, 2004)

Los sistemas multi-robot han sido uno de los principales tópicos de investigación en robótica en las últimas dos décadas. Un sistema multi-robot no es una simple extensión de un sistema mono-robot derivado de la agrupación de las operaciones realizadas en paralelo; puede realizar tareas imposibles de conseguir mediante un sistema mono-robot en cooperación, así como maximizar el rendimiento de dicha tarea por medio de la colaboración de los diferentes miembros del equipo.

La robótica colectiva busca diseñar sistemas compuestos de varios robots capaces de resolver problemas conjuntamente. Los robots que forman parte de un sistema multi-robot son simples en términos de diseño y control, y menos costosos que los sistemas de un sólo robot especializado. Dichos sistemas están orientados a resolver problemas en los cuales la participación de un solo robot no es suficiente o resulta ser muy costosa, en términos de diseño y tiempo, o en donde se trata de trabajar en equipo en busca de un objetivo común. Algunos de los ejemplos más destacados son (Kube y Bonabeau, 2000), (Mataric et al., 1995) y (Reynolds, 1997).

Dentro de la robótica cooperativa, se distinguen dos tipos de control o coordinación (Khatib et al, 1999):

- *Coordinación centralizada*: En este tipo de control, varios robots dependen de una unidad central. Los robots adquieren datos a través de sus sensores y toda la información se la envían a la unidad central, que es la encargada de tomar las decisiones.

La principal ventaja de éste sistema es que como la unidad central almacena la totalidad de la información, es más eficiente a la hora de obtener soluciones. Como desventajas, es que la unidad central estará recibiendo continuamente datos de los otros robots, pudiéndose provocar una congestión al recibir gran cantidad de datos, y ralentizarse la toma de decisiones. Además, si la unidad central falla, deja de funcionar todo el sistema, pues los demás robots pierden la capacidad de decidir.

- *Coordinación descentralizada o distribuida:* En la coordinación descentralizada, cada robot toma decisiones individualmente, sin recibir órdenes de ninguna otra entidad. Con éste tipo de control el sistema es mucho más dinámico y rápido, pues no es necesario ni el envío ni el almacenamiento de información. Además, si deja de funcionar un robot, todos los demás pueden seguir funcionando independientemente.

La arquitectura descentralizada trata de resolver los problemas de coordinación cuando se presenta algún conflicto. Cada agente trata de resolver una tarea, y solo si las tareas son dependientes, se trata el conflicto. Utilizando este enfoque, la complejidad no aumenta con el número de robots, sino con el número de conflictos, por lo que puede resultar mucho más adecuado en ciertas aplicaciones. La implementación en tiempo real resulta mucho más eficiente que en enfoque centralizado.

En este artículo se presenta un sistema multi-robot consistente en dos robots humanoides comerciales Robonova, los cuales realizan una tarea colaborativa que consiste en transportar un objeto que simula una escalera de mano. Para realizar esta tarea se han integrado sensores de fuerza FSR (Force Sensing Resistor) en la plataforma comercial. El esquema de control utilizado en la plataforma multi-robot es descentralizado.

Este proyecto es un modelo a pequeña escala de futuros desarrollos con el robot RH-2 de la Universidad Calos III de Madrid, orientado a conseguir un humanoide capaz de realizar tareas colaborativas con humanos y con otros robots.

2 La plataforma Robonova

El robot humanoide Robonova es un robot comercial creado por la empresa coreana HITEC Robotics, es un modelo que permite un fácil manejo, ya que utiliza un entorno de programación muy sencillo denominado Robo-Basic. Este robot humanoide de 30 centímetros de alto y 1,3 kilogramos de peso, está controlado por 16 servos digitales HSR 8498HB, que le proporcionan una excelente movilidad (ver Fig. 1). Su estructura está fabricada a base de aluminio anodizado y plástico rígido, otorgándole una gran resistencia que protege sus circuitos y baterías de golpes y caídas.

El Robonova lleva incorporado el circuito controlador MR-C3024. El microcontrolador es un Atmel ATMEGA 128 de 8 bits y cuenta con una memoria de 64 Kbytes de tipo flash, lo que le permite descargar los programas en la memoria para poder ejecutar gran cantidad de pasos y movimientos de forma autónoma, sin necesidad de que el robot esté conectado al ordenador. Cuenta con un total de 40 puertos de entrada y salida, de los cuales 24 son para el control de los servos, 8 puertos de A/D, 3 salidas PWM y 2 puertos serie de alta velocidad.

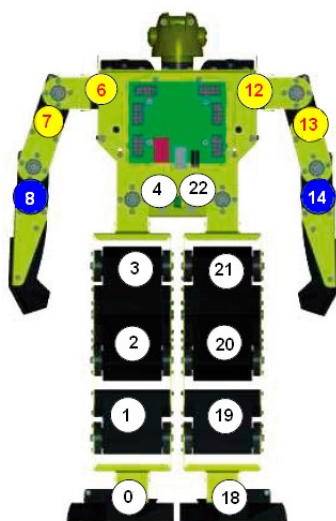


Fig. 1: Disposición y numeración de los servos en Robonova

Se han elegido estas plataformas Robonova por su bajo coste, facilidad de personalización añadiéndole los sensores precisos y su sencillez de puesta en marcha.

3 Arquitectura de colaboración

En el transporte de un objeto entre dos humanos, habitualmente no existe una comunicación directa o explícita que establezca la dirección del movimiento que se va a efectuar. Por el contrario, uno de los individuos toma el papel del director del movimiento, dirigiendo la marcha. El otro individuo

sigue al primero simplemente percibiendo el movimiento a través del tacto. Si el director del movimiento tira del objeto hacia una dirección, el seguidor sabe, sin necesidad de una comunicación directa, que tiene que seguir hacia dicha dirección. Este trabajo trata de imitar precisamente esta situación pero entre dos robots humanoides de pequeño tamaño.

Para la realización de este experimento se ha contado con una pareja de humanoides Robonova, uno de ellos, de color rojo, posee el rol de maestro o director del movimiento y el otro, de color amarillo, es el esclavo o seguidor (ver Fig. 2). Se puede observar que el robot esclavo dispone en el dorso de sus manos de dos sensores de fuerza FSR (Force Sensing Resistor). Gracias a ellos, el robot esclavo es capaz de percibir el movimiento de su compañero y realizar el movimiento descentralizado.

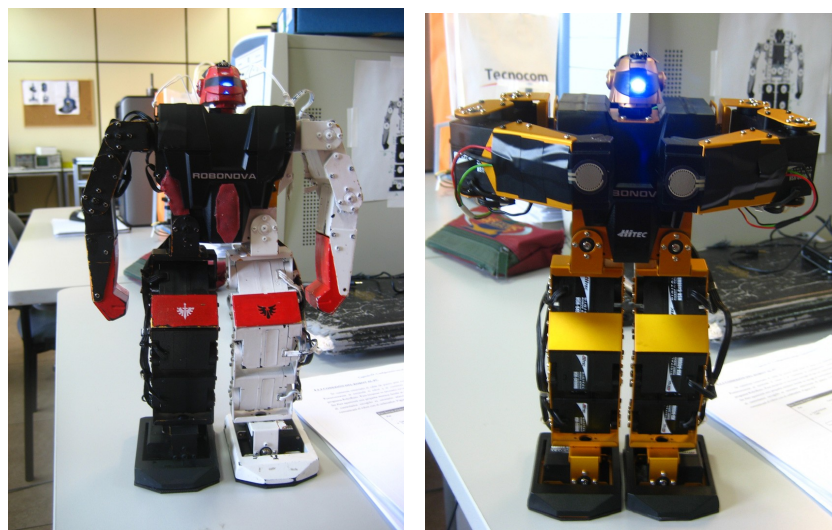


Fig. 2: Robonova rojo (maestro) y Robonova amarillo (esclavo)

El flujo de control transcurre de la siguiente manera:

1. Un agente externo da al maestro una orden de movimiento, a través de un control remoto de infrarrojos. Esta orden puede ser girar a la derecha, a la izquierda o caminar de frente.
2. El robot maestro extiende los brazos para simular que comienza a dirigir el movimiento y pulsa los sensores colocados en las manos

del robot amarillo. Para ello, a los brazos del maestro van unidas unas barras, que simulan la escalera a transportar y van a ser éstas las que pulsen los sensores. Según la orden sea giro a la derecha, a la izquierda o caminar el maestro extenderá su brazo izquierdo, derecho o ambos a la vez.

3. Por último, el esclavo percibe el movimiento del maestro a través de los sensores de fuerza y se ponen en movimiento ambos robots.

El esquema de colaboración se muestra en la Fig. 3. El usuario envía una orden de movimiento al robot maestro. Esta orden viene interpretada por la tarjeta de control del robot para efectuar los diferentes movimientos.

El robot esclavo, mediante la lectura de los FSR, interpreta el movimiento del maestro, sin una comunicación explícita. En figura, eso se representa en el bloque “Selección de la estrategia de movimiento”, que se implementa en el controlador del robot esclavo. El mismo controlador, una vez procesada la información sensorial, activa la rutina de movimiento adecuada.

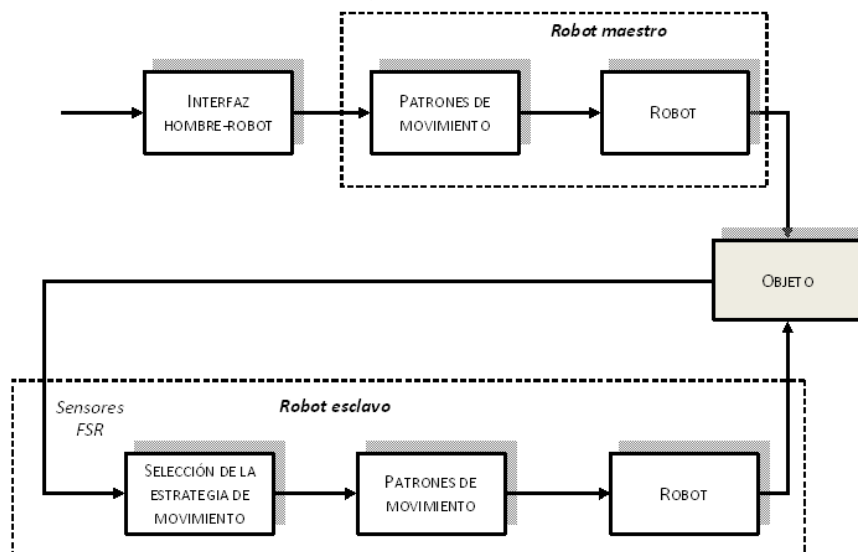


Fig. 3: Esquema de control de la colaboración

El movimiento se realiza de forma desacoplada, es decir, los dos robots no siguen un movimiento sincronizado, sino que, tratando de imitar la reali-

dad, cada uno realiza un movimiento distinto aunque complementario, para conseguir dirigirse en el mismo sentido.

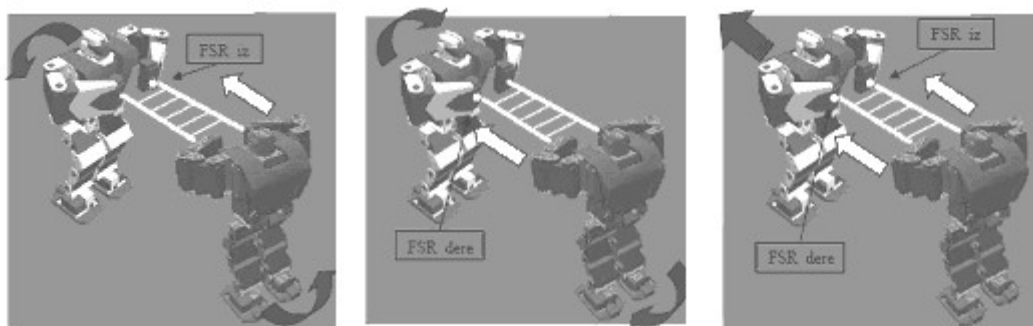


Fig. 4 (a), (b) y (c): Movimiento que puede realizar el sistema multi-robot.

En la Fig. 4 se pueden observar los diferentes movimientos que el conjunto de los robots puede llevar a cabo. Las flechas claras representan qué mano extiende el robot maestro (rojo) y las flechas oscuras representan el sentido del movimiento. Los movimientos posibles son los siguientes:

- **Giro antihorario:** para ello el movimiento del maestro hace que el esclavo detecte una presión en el sensor situado en su mano izquierda (FSR_iz) (Fig. 4 (a)).
- **Giro horario:** en este caso, el movimiento del maestro hace que el esclavo detecte una presión en el sensor situado en su mano derecha (FSR_dere) (Fig. 4 (b)).
- **Caminar de frente:** el movimiento del maestro hace que se presionen a la vez los dos sensores del cliente (Fig. 4 (c)).

No se han considerado en este experimento el movimiento de caminar hacia atrás ni el de trasladarse lateralmente, para introducir dichos movimientos habría sido necesario incorporar un mayor número de sensores además de las rutinas de movimiento correspondientes.

4 Resultados experimentales

Para la realización de este artículo se han desarrollado un conjunto de rutinas, programadas con el entorno de programación RoboBasic. Esta aplicación ha sido creada por el fabricante del robot y está basada en el lenguaje de programación Basic. Como este robot está destinado a un público genérico, que no tiene por qué poseer conocimientos técnicos de programación, el nivel de recursos para la programación es muy básico y hasta en algunos casos resulta insuficiente para poder controlar con precisión el robot.

Las rutinas de movimiento de cada robot se programaron inicialmente por separado. Sin embargo, al tratarse de un sistema de colaboración multi-robot, en el que los dos robots cooperan para obtener el mismo objetivo, fue necesario reprogramar las rutinas y ajustarlas conjuntamente de forma que los robots se moviesen de forma acoplada. Era fundamental que ambos robots estuviesen totalmente paralelos al inicio y al final de cada movimiento y, por supuesto, que mantuviesen siempre una distancia de separación constante, esa distancia es aproximadamente la longitud de las barras que forman la escalera.

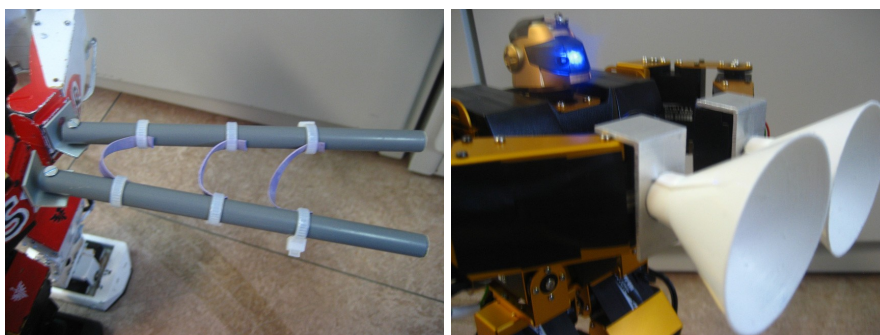


Fig. 5 (a) y (b): Dispositivo de unión y embudos de guía de las barras.

Para que el sistema funcionase correctamente, fue necesario diseñar y construir el dispositivo de unión de los robots. Por un lado, al robot maestro se pegaron las barras que simulan la escalera. Estas barras no están totalmente rígidas sino que tienen un pequeño juego destinado a amortiguar las vibraciones que se producen por el movimiento de ambos robots. En la Fig. 5 (a) se observa una foto del dispositivo de unión. También fue necesario situar unas guías en el robot esclavo para que las barras presionasen

siempre de forma correcta los sensores de fuerza FSR, para este propósito se mecanizaron unos embudos que se situaron a una pequeña distancia de los sensores (Ver Fig. 5 (b)).

Aunque el movimiento de marcha hacia delante fue el más difícil de acoplar en los dos robots, el movimiento de giro fue el que más vibraciones supuso. Esto fue debido a que para girar, el robot debía arrastrar uno de los pies, lo que junto a las limitaciones de la plataforma, provocaba vibraciones, las cuales se transmitían a través de las barras de unión.

Debido a las restricciones cinemáticas de este modelo de robot, para conseguir hacer el arco del giro, el robot esclavo tenía que realizar una secuencia de movimientos que se asemejase a un arco. En lugar de realizar un movimiento curvilíneo, realizaba uno rectilíneo.

Fue necesario ajustar el código para que al terminar el movimiento ambos robots estuviesen alineados. En la Fig. 6 se puede ver un esquema del movimiento de giro de los robots. El punto rojo representa al robot maestro, que sólo gira sobre su eje. Los puntos amarillos representan los desplazamientos del robot esclavo que al principio se mueve lateralmente, luego va a girar sobre su eje y por último se traslada lateralmente hacia el mismo lado.

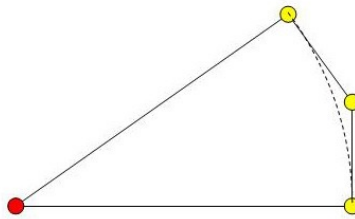


Fig. 6: Giro de los dos robots: curvilíneo y rectilíneo

Para demostrar que el sistema multi-robot era robusto y que funcionaba de forma continua combinando los diferentes movimientos programados, se realizó un video demostrativo (Vídeo demostrativo, 2008). En las Fig. 7, Fig. 8 y Fig. 9 se pueden ver algunos fotogramas de dicho video, cada una de las figuras se corresponde con un tipo de movimiento.



Fig. 7: Movimiento colaborativo: Caminar hacia delante



Fig. 8: Movimiento colaborativo: Giro horario



Fig. 9: Movimiento colaborativo: Giro antihorario

5 Futuros desarrollos

Pese a que la plataforma de ensayos, basada en estos kits comerciales, ha permitido validar las estrategias de control cooperativo presentadas, tras los ensayos realizados se ha detectado la necesidad de mejorarla en dos aspectos básicamente. La potencia de lenguaje de programación que permite el firmware de la placa de control es muy pobre. Ante la imposibilidad de cambiarlo, se precisa sustituir la placa de control por otra de mayores prestaciones. Por otro lado, para poder emular mejor la movilidad del humano que toma el papel de maestro y la del futuro humanoide esclavo RH2, se necesita que ambos robots puedan girar tal y como lo harían en un

futuro estos. Por tanto, es preciso modificar la estructura cinemática de los kits, incluyendo un eje de giro en cada tobillo.

Además, para conseguir movimientos más estables y fidedignos se ha de completar el sistema sensorial que se instala a bordo del robot, con al menos un inclinómetro, para poder corregir estas oscilaciones que pueden llegar a provocar la caída del robot. Esto justifica, más si cabe, la necesidad de sustituir esta placa de control por otra de mayores prestaciones.

6 Conclusiones

Este conjunto de experimentos han supuesto un reto importante debido a que existen pocos ejemplos de trabajo colaborativo entre robots humanoides que se hayan llevado a cabo con éxito. Además, las limitaciones impuestas por la plataforma utilizada y la necesidad de seleccionar e integrar un sistema sensorial adecuado para las tareas realizadas, ha supuesto una serie de complicaciones adicionales. Este trabajo supone una primera aproximación para la realización de tareas más complejas, como puede ser el transporte colaborativo de objetos entre humanoides de tamaño humano.

En este artículo se ha propuesto un sistema multi-robot implementando un control descentralizado, en el que cada robot se mueve de forma independiente y no existe una comunicación explícita entre ellos. Se ha programado un conjunto de rutinas de movimiento para conseguir el transporte cooperativo de un objeto que simula una escalera de mano, manteniéndose en todo momento una distancia de separación constante y permaneciendo los robots alineados. Por último, se ha probado la estabilidad de los movimientos combinándolos en un video demostrativo en el que se demuestra que se han cumplido los objetivos propuestos.

Agradecimientos

Ese trabajo ha sido patrocinado por el proyecto CYCIT DPI2004-00325 y el proyecto Europeo Robot@CWE FP6-2005-IST-5, ambos realizados en el grupo de investigación Robotics Lab de la Universidad Carlos III de Madrid.

Referencias

(Fernández et al., 2001) Fernández V., Balaguer C., Salichs M. A. 2001, *Active human-mobile manipulator cooperation through intention recognition*. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'01), Seoul, Korea.

(Kaneko et al, 2004) Kaneko K., Kanehiro F., Kajita S., Hirukawa H., Kawasaki T., Hirata M., Akachi K., Isozumi T. 2004. *Humanoid Robot HRP-2*. Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation, New Orleans, LA. Vol 2, pp. 1083 – 1090.

(Khatib et al, 1999) Khatib O., Yokoi K., Brock O., Chang K. y Casal A. 1999. *Robots in Human Environments: Basic Autonomous Capabilities*. The International Journal of Robotics Research 18; 684.

(Kube y Bonabeau, 2000) Kube C.R., Bonabeau E. 2000. *Cooperative transport by ants and robots*. Robotics and Autonomous Systems, 30(1/2):85–101.

(Mataric et al., 1995) Mataric M. J., Nilsson M., Simsarian K. T. 1995. *Cooperative multi-robot box-pushing*. International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 556–561.

(Pierro et al., 2008) Pierro P., Arbulu M., Kaynov D., Monje C., Pabon L., Perez C., Staroverov P., Balaguer C. 2006. *Arquitectura de control para la colaboración hombre-humanoide*. 4º workshop Robocity 2030.

(Reynolds, 1997) Reynolds C. 1987. *Flocks, herds and schools. A distributed behavioural model*. Computer Graphics 21(4):25-34.

(Suda y Kosuge, 2002) Suda, R. y Kosuge, K. 2002. *Handling of object by mobile robot helper in cooperation with a human using visual information and force information*. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System.

(Vídeo demostrativo, 2008) <http://es.youtube.com/watch?v=4r91vFod9IU>
(última visita: 20/1/2009)