

RoboCoT: Simulador de Colonias de Robots Móviles

José Guerrero, Gabriel Oliver, Alberto Ortiz

Dept. de Matemàtiques i Informàtica
Universitat de les Illes Balears
07071 Palma de Mallorca (SPAIN)
e-mail: {goliver, dmiaor0}@clust.uib.es

Resumen

RoboCoT (*Robot Colonies Tool*) es una herramienta software desarrollada en la UIB que, de forma flexible, rápida y económica, permite diseñar y realizar experiencias en materias relacionadas con la robótica móvil. El usuario podrá evaluar el comportamiento de uno o múltiples robots en función de la tarea programada, de la configuración del entorno y del número y características de los robots que intervienen en la misma. Se pretende así que el alumno pueda experimentar modificando tanto parámetros cinemáticos de los robots como aspectos de su sensorización, su arquitectura de control o su capacidad de comunicación con el resto de integrantes del colectivo. Cada robot implementa una arquitectura basada en comportamientos estructurada en tres niveles funcionales: misión, adaptación y sensorial. Los diversos robots definidos para una experiencia pueden ser heterogéneos. RoboCoT puede ejecutarse sobre cualquier PC compatible bajo W95/98.

1. Introducción

La robótica móvil ha adquirido en los últimos años un grado de madurez conceptual y tecnológica que posibilita una gran diversificación de usos, tanto en entornos industriales como fuera de ellos. Paralelamente, son muchas las universidades que han incorporado a sus planes de estudio de ingeniería una o varias asignaturas sobre la materia. La realización de prácticas es, como en tantos otros casos, esencial para la consolidación de los conceptos expuestos en clase. Sin embargo, dado el elevado coste de los materiales que involucran las prácticas de robótica móvil y el gran interés que provoca esta materia

entre el alumnado, resulta difícil disponer de suficiente material para realizar un plan experimental adecuado. Éste problema se acentúa si se pretende programar experiencias que impliquen el uso de varios robots, como es el caso de las tareas cooperativas o competitivas.

El uso de simuladores es una excelente alternativa que permite superar algunas de estas dificultades, sin ser una excusa para la completa substitución de las prácticas con material real. Más aún, la flexibilidad y reconfigurabilidad que ofrece una herramienta de simulación posibilitan que el alumno pueda modificar múltiples parámetros del sistema. Como valor añadido, en el caso de *software* desarrollado por la propia universidad o de libre distribución, el alumno puede realizar experiencias complementarias al resto de prácticas en cualquier momento y con total comodidad.

Como objetivos fundamentales de RoboCoT se han establecido los siguientes: en primer lugar, su utilidad como herramienta educativa que facilite la comprensión de las arquitecturas basadas en comportamientos, especialmente para el trazado de caminos, la evitación de obstáculos y la consecución de objetivos; en segundo lugar, la facilidad de manejo y la máxima flexibilidad para introducir modificaciones en los parámetros cinemáticos, la sensorización, las estrategias de navegación, la comunicación, el número de integrantes del colectivo, el entorno en el que se desarrolla el experimento y la misión a desarrollar.

Las funciones más destacables que permite la versión actual de RoboCoT son:

- *Edición gráfica del entorno 2D en el que se desarrollará la misión.* Pueden establecerse paredes y objetos. Las paredes son líneas rectas que delimitan los espacios por los que puede discurrir el robot. Los objetos son

cuadrados modificables en tamaño y peso que pueden usarse como obstáculos o para la simulación de cargas que los robots deben transportar.

- *Parametrización de las características cinemáticas de los robots.* Desde el punto de vista cinemático todos los robots son tratados como puntos, pudiéndose determinar su vector velocidad inicial, así como la velocidad y aceleración máximas.
- *Edición gráfica de la distribución de sensores.* Los sensores con que puede contar cada robot son de distancia y de contacto. Puede establecerse su número, alcance y posición sobre el perímetro del robot.
- *Ajuste del tamaño de la memoria de los robots.* La cantidad de memoria con que cuenta el robot es ajustable. Con ella el robot confeccionará su propio mapa del entorno a partir de los datos sensoriales sobre las zonas visitadas y la información recibida de otros robots.
- *Selección de las estrategias de navegación y evitación de obstáculos que adoptará el robot.*
- *Intercambio de información entre robots.* Puede establecerse la capacidad de recibir y/o transmitir la información almacenada en memoria a otros robots. El alcance de dicha transmisión es un parámetro modificable.
- *Definición de las tareas a realizar.* Pueden implementarse diferentes misiones a partir de tres especificaciones elementales: pasar por un determinado conjunto de puntos, recoger los objetos que cumplan ciertas características y recoger objetos para llevarlos a un punto concreto de destino.
- *Determinación del tamaño de la colonia.* Aunque RoboCoT permite cualquier tamaño de colonia, se puede trabajar con tamaños de 1 a 20 individuos sin una degradación significativa en tiempo de ejecución sobre un ordenador con prestaciones moderadas (P-500MHz, 64MB RAM).
- *Creación y mantenimiento de librerías.* Todos los elementos creados (entornos 2D, robots y misiones) pueden guardarse para ser usados en posteriores ocasiones.
- *Análisis de resultados.* Los resultados de una simulación pueden analizarse de diversas formas. Durante la simulación es posible ver la posición y camino recorrido por cada robot,

su velocidad y la estrategia de navegación que mantiene activa. Posteriormente puede consultarse un fichero de traza en el que habrán quedado almacenados los eventos más significativos del proceso.

2. Comportamientos

Los robots de RoboCoT operan de acuerdo con una arquitectura de control basada en comportamientos en el sentido establecido por Ronald C. Arkin en [1, 2]. Este tipo de arquitecturas encuentran su inspiración en la observación de la fisiología animal según la cual un estímulo externo provoca una determinada respuesta refleja. En el caso de sistemas artificiales, los sensores proporcionan los estímulos y las respuestas se convierten en consignas directas a los actuadores. El módulo funcional que genera dicha respuesta se denomina comportamiento (*behavior*), véase la figura 1.



Figura 1. Esquema de módulo de comportamiento

Un comportamiento reactivo primitivo supone una toma de decisión instantánea, siendo sólo función del estímulo que la genera. La composición de diversos comportamientos primitivos mediante operadores de supresión o agregación aplicados a sus respuestas permite la obtención de mecanismos complejos que otorgan a los robots capacidades de navegación eficientes. Estos sistemas se caracterizan por su bajo coste computacional, su modularidad intrínseca y por ser capaces de obtener resultados adecuados sin necesidad de un modelo preciso del entorno en el que operan.

La funcionalidad de los robots se ha estructurado en tres niveles o módulos (figura 2) de forma que cada uno se comunica con sus inmediatos vecinos.

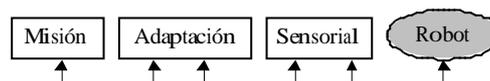


Figura 2. Niveles funcionales de los robots

En las subsecciones que siguen se detallarán los aspectos más importantes de cada uno de estos niveles.

2.1 Nivel sensorial

El nivel sensorial es el encargado de realizar las tareas de más bajo nivel. Es el único que tiene comunicación sobre los actuadores y sensores del robot. Sus tareas son:

- *Lectura e interpretación de los sensores.* Esta interpretación consiste en determinar si la activación de un sensor se ha debido a la presencia de otro robot, una pared o un objeto. Si se trata de un objeto, se determinará su tipo. El nivel sensorial recibe las órdenes de lectura de sensores del nivel de adaptación y le responde con los resultados de dichas lecturas. En los robots con memoria, éste es el nivel encargado de rellenarla con los obstáculos detectados por los sensores.
- *Movimiento del robot.* Recibe las órdenes de desplazarse hacia un punto determinado, procedentes del nivel de adaptación, y la traslada a los actuadores. No se toma aquí ninguna decisión sobre el camino a seguir.

En cuanto a la capacidad sensorial, el usuario puede configurar el robot situando sensores de contacto y de distancia con diferente alcance alrededor del perímetro del robot. Dicha configuración se realiza mediante una ventana de diálogo en la que puede verse gráficamente el resultado de la elección en curso (figura 3).



Figura 3. Configuración sensorial de los robots

2.2. Nivel de adaptación

Este módulo recibe del nivel de misión las instrucciones de desplazarse hasta un determinado punto. Mientras no se haya alcanzado dicho objetivo, deberá decidir en cada instante la siguiente posición del robot y ordenarla al nivel

inferior. Cuando se ha alcanzado la posición ordenada, el nivel de adaptación genera una señal para informar al nivel de misión.

También este nivel es el encargado de coordinar los distintos mecanismos de evitación de obstáculos que el usuario haya seleccionado para la simulación. Pueden escogerse una o más de entre tres de estas técnicas básicas: merodear (*wandering*), circunvalar y campos de potencial [3]. En caso de que se haya optado por más de una técnica, un secuenciador determinará la que debe actuar en cada momento, de forma que la opción escogida en primer lugar será la de mayor prioridad y si ésta no resulta eficiente se pasará a la siguiente. La figura 4 muestra la ventana de selección de estas opciones.

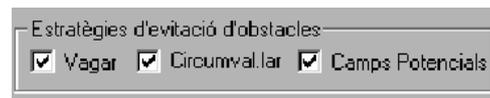


Figura 4. Estrategias de evitación de obstáculos

Las fuerzas implementadas para la obtención de los campos de potencial son: atracción del objetivo, repulsión de obstáculos estáticos y robots, inercia y repulsión de las zonas visitadas recientemente (*avoid the past*).

2.3. Nivel de misión

El nivel más alto implementado es el de misión. En este módulo se determinan los puntos intermedios por los cuales debe discurrir el robot para alcanzar el objetivo, sin preocuparse de la navegación a bajo nivel, es decir, de la detección y evitación de obstáculos. Además, es el responsable de la comunicación entre robots.

Desde el punto de vista de la implementación, la misión se desencadena como una máquina de estados finitos cuyas transiciones se activan a partir de la información procedente del nivel de adaptación.

Las misiones disponibles en la versión actual de RoboCoT se obtienen a partir de la tarea primitiva *alcanzar un punto objetivo*. Secuenciando varias primitivas se han diseñado tres misiones: *ir a punto destino*, *recoger objeto y regresar*, y *cargar y descargar*. En esta última misión, combinación de las dos anteriores, el robot buscará objetos con un determinado

identificador numérico y los desplazará hasta un punto de descarga.

3. Obtención de resultados

Dada la gran flexibilidad en cuanto a la configuración que permite RoboCoT, el número y tipo de experiencias que pueden desarrollarse es muy elevado. A modo de ejemplo se muestran tres casos ilustrativos.

El primer ejemplo (figura 5) muestra la influencia del comportamiento *avoid the past* para solucionar situaciones típicas de caídas en mínimos locales mediante la utilización de la estrategia de los campos de potencial.

En el segundo ejemplo (figura 6) se considera la calidad del camino seguido por el robot en un caso de navegación por un entorno relativamente complejo. En este caso, el estudiante puede comparar diferentes caminos obtenidos cambiando los pesos de las diversas fuerzas que participan en la creación del campo de potencial.

Finalmente, la tercera prueba (figura 7) permite comparar los tiempos de ejecución de una tarea de recogida de objetos. En un entorno dado, los robots y los objetos se sitúan aleatoriamente. Los robots deben localizar los objetos, cargarlos y desplazarlos a un punto destino común. La misión finaliza cuando todos los objetos se encuentran en el destino. En las gráficas se comparan los resultados en función del número de robots y de objetos usados, además de la influencia que la comunicación entre robots tiene en el tiempo de ejecución.

4. Conclusiones

RoboCoT es una herramienta diseñada con finalidad didáctica y orientada a asignaturas sobre robótica móvil. Permite programar múltiples experiencias gracias a su alta flexibilidad. Se muestran algunos casos prácticos realizados.

Referencias

[1] Arkin, R.C., *Behavior-Based Robotics*, The MIT Press, 1998.
 [2] Arkin, R.C., Bekey, R.G., *Robot Colonies*, Kluwer Academic Publishers, 1997.
 [3] Nehmzow, U., *Mobile Robotics: A Practical Introduction*, Springer, 2000.

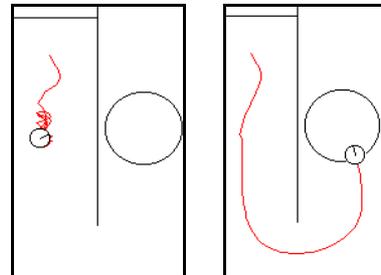


Figura 5. A la izquierda, el robot cae en un mínimo local de potencial. A la derecha, se elimina el problema evitando pasar por zonas recientemente visitadas

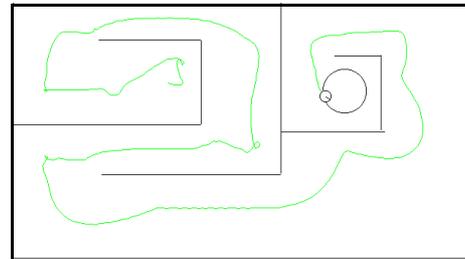


Figura 6. Navegación en un entorno complejo

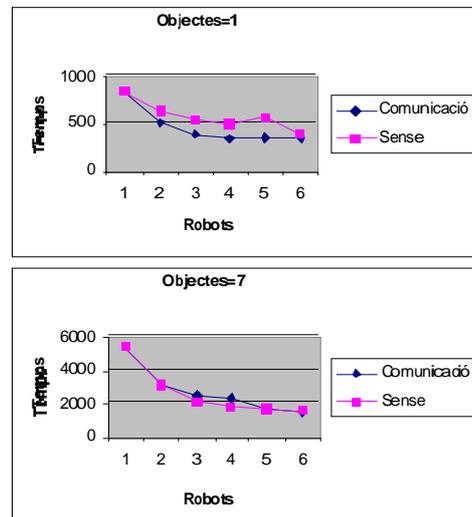


Figura 7. Tiempos de ejecución en función del número de objetos y robots participantes en la misión

