

# Control de la velocidad de un robot móvil mediante Reglas Temporales Borrosas

M. Mucientes, R. Iglesias, A. Bugarín y S. Barro

Grupo de Sistemas Inteligentes  
Departamento de Electrónica y Computación  
Universidad de Santiago de Compostela  
15706 Santiago de Compostela, España  
{manuel, rober, alberto, senen}@dec.usc.es

C. V. Regueiro

Grupo de Arquitectura de Computadores  
Departamento de Electrónica y Sistemas  
Universidade da Coruña  
15071 A Coruña, España  
cvazquez@des.fi.udc.es

## Resumen

En este trabajo se describe un sistema de control de la velocidad angular y lineal para un robot Nomad200. En el control de la velocidad lineal se utiliza un mecanismo de razonamiento basado en Reglas Temporales Borrosas que permite valorar la evolución de las variables, eliminando comportamientos espúreos al tiempo que se simplifica el diseño del control angular.

**Palabras Clave:** Robótica móvil, Reglas Temporales Borrosas, Control inteligente.

## 1 Introducción

Dentro del ámbito de la robótica móvil, y con el fin de poder lograr una mayor autonomía y hacer frente a tareas complejas, es habitual combinar lo que se conoce como “sistemas de control basados en **comportamientos**” [3, 6]. En este trabajo describimos un controlador del comportamiento de seguir paredes, que proporciona, en cada instante, el valor de las velocidades lineal y angular con las que se debe mover el robot. El robot que hemos utilizado para la implementación real del sistema es un NOMAD200, de Nomadic Technologies, Inc. Se ha modularizado el diseño en base a dos objetivos claramente diferenciados: en primer lugar, determinar hacia donde debe girar el robot en cada instante, con el fin de que se mantenga paralelo y a una cierta distancia con respecto a la pared que pretende seguir; en segundo lugar se deberá determinar cual es la velocidad lineal máxima con la que puede moverse el robot en cada instante, sin que se vea perjudicado el comportamiento que se persigue.

Con el fin de resolver el segundo de los objetivos mencionados, hemos utilizado un modelo de razonamiento denominado Reglas Temporales Borrosas (RTBs) [1] que permite recoger de forma adecuada el conocimiento disponible, así como considerar la evolución

temporal de las variables contempladas por el sistema. Es precisamente esta capacidad de contemplar información de tipo temporal la que, tal y como veremos, permite que a través de las RTBs se pueda filtrar parte del considerable ruido sensorial, e incluso hacer frente a las posibles percepciones incorrectas del entorno debido a orientaciones inadecuadas del robot. Esta aproximación difiere significativamente de otras existentes [2, 3, 7], en las que habitualmente se proporciona el valor de las variables de control en función, únicamente, de la disposición del entorno en cada instante.

A lo largo de este trabajo se hará especial énfasis en el papel desarrollado por las RTBs, no sólo por su especial importancia para resolver de forma muy satisfactoria la tarea propuesta, sino también con el fin de reflejar su interés general en el desarrollo de comportamientos en el marco de la robótica móvil.

## 2 Descripción del sistema de control

La descripción gráfica del sistema de control para el seguimiento de paredes se muestra en la figura 1.

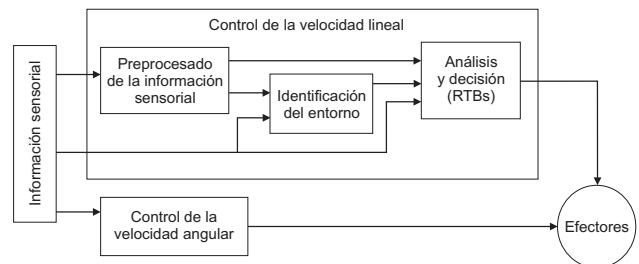


Figura 1: Diagrama de bloques del sistema de control.

Las variables de control del movimiento del robot son las **velocidades lineal** y **angular**, motivo por el cual se ha definido una estructura formada por los bloques **Control de la velocidad lineal** y **Control de la velocidad angular** que se muestran en la figura 1.

Para llevar a cabo el **control de la velocidad angular** se emplea un sistema que utiliza una representación de estados muy básica. La simplicidad de es-

te diseño es consecuencia directa de disponer de un control de velocidad lineal capaz de garantizar que el robot se mueva con un radio de giro correcto. En este bloque, se utiliza la información procedente de los sensores frontales y de los laterales más próximos a la pared que interesa seguir (el NOMAD200 dispone de un total de 16 sensores de ultrasonidos dispuestos de forma circular). A partir de esta información sensorial, convenientemente procesada, se obtiene un patrón binario en el que las componentes nulas identifican la presencia de posibles espacios libres por los que podría tratar de introducirse el robot en la pared que se está siguiendo, de forma similar a como se hace en [4]. Por el contrario, a través de las componentes no nulas del patrón binario, se indica la posición y la orientación de los segmentos de pared más próximos al robot. Como resultado, es posible discretizar todas las situaciones ante las que se puede encontrar el robot en un conjunto reducido de 64 estados, y tabular la que se recomienda como respuesta para cada uno de ellos.

El bloque de **control de la velocidad lineal** resulta esencial no sólo para recoger de forma adecuada conocimiento procedente de un experto, sino también para filtrar de forma efectiva el ruido procedente de los sensores, como resultado del análisis de la evolución del sistema en diferentes intervalos temporales.

A lo largo de este trabajo nos centraremos principalmente en la descripción de este último bloque, con el fin de mostrar la importancia y utilidad de las Reglas Temporales Borrosas en la obtención de un comportamiento muy satisfactorio, tal y como se verá a través de los diferentes resultados experimentales. Por otra parte, el análisis de este bloque nos permitirá igualmente hacer hincapié en aquellos aspectos de las RTBs que las hacen también especialmente idóneas para el desarrollo de otros comportamientos en el marco de la robótica móvil [5].

### 3 Control de la velocidad lineal

El módulo de **análisis y decisión** (figura 1), se encarga de determinar la velocidad lineal más adecuada en cada momento, a partir tanto de la información sensorial como de la que le proporcionan los otros dos módulos incluidos en este mismo bloque.

Contemplamos la existencia de tres situaciones claramente diferenciadas, en la medida en que requieren respuestas significativamente diferentes por parte del robot. De la identificación de estas situaciones, que etiquetamos como *pared recta*, *esquina abierta* y *esquina cerrada*, se encargará el módulo de **identificación del entorno** (figura 1).

Asumiendo que el robot trata de seguir una pared

situada a su derecha, representaremos por **esquina abierta** ( $A_i$  en las figuras 2 y 3) cualquier situación ante la que el robot tenga que girar hacia la derecha, con un radio de giro bajo, y describiendo un arco de casi  $90^\circ$  o superior. Si el giro debe verificar unas condiciones similares, pero hacia su izquierda, consideraremos que nos encontramos en situación de **esquina cerrada** ( $C_i$  en las figuras 2 y 3); cualquier otra situación entra en la categoría de **pared recta**. En el caso de que se siga una pared por la izquierda los giros se referirán, en cada una de las situaciones anteriores, al sentido contrario al que acabamos de indicar.

En los módulos de “identificación del entorno” y “análisis y decisión”, se hace uso no sólo de la información procedente de forma directa de los sensores de ultrasonidos, sino también de un vector,  $\vec{P}$ , en el que el valor de cada componente codifica la distancia a la que se encuentra el segmento de pared más próximo y situado con una determinada orientación respecto al robot. Este vector  $\vec{P}$  se obtiene como resultado de procesar la información sensorial a través de un conjunto de redes de Kohonen dentro del módulo de “pre-procesado de la información sensorial” (figura 1). Una descripción más detallada de este módulo, que no es objeto del presente trabajo, se muestra en [4].

Con el fin de detectar ante qué situación se encuentra el robot en cada instante, dentro del módulo de **identificación del entorno** se mantiene actualizado un sistema de referencia  $SR_p$ , caracterizado por presentar uno de sus ejes orientado, en la mejor medida de lo posible, de forma paralela a dicha pared. Con el fin de contrarrestar pequeños cambios en la pared, el ruido sensorial, el error asociado a la propia odometría y/o el error en la disposición de los sistemas de referencia, se asume que la pared que se sigue tiene un cierto grosor. De esta forma, a partir de las medidas sensoriales actuales y las procedentes de observaciones anteriores, convenientemente transformadas todas ellas a  $SR_p$ , se puede deducir qué dirección tiene la pared de interés, o en cual parece identificarse el comienzo de una situación de esquina cerrada o abierta. Dentro de este módulo también se utiliza el vector  $\vec{P}$  antes citado, con el fin de determinar si el robot está más o menos paralelo a la pared, para poder así recalibrar  $SR_p$  y minimizar el efecto de los errores de odometría. Esta recalibración será necesaria cada vez que el robot haya pasado por una situación de esquina cerrada o abierta. A su vez,  $\vec{P}$  también se puede utilizar para apoyar y confirmar, cuando sea necesario, que la situación que se está percibiendo es esquina abierta o cerrada.

#### 3.1 Módulo de análisis y decisión

En numerosos trabajos [6], la teoría de conjuntos borrosos y el control borroso en particular, son utiliza-

dos para proyectar al terreno computacional el conocimiento de un experto y poder así resolver satisfactoriamente alguno de los comportamientos habituales en robótica móvil.

En este marco, el poder valorar de forma explícita información temporal resulta de gran interés debido a las ventajas adicionales que introduce para el desarrollo de este tipo de comportamientos [5]. Por ello nuestro desarrollo utiliza Reglas Temporales Borrosas (RTBs), ya que admiten un procesamiento temporal de la información disponible que influye directamente en el cálculo de los grados de verdad, logrando filtrar, en buena medida, el ruido sensorial, y alcanzar así comportamientos más robustos, continuos y homogéneos. Por otra parte se podrán obtener también mejores comportamientos gracias a la mayor expresividad que proporcionan este tipo de reglas, al permitir tener en cuenta también valores pasados y no sólo los actuales.

La estructura genérica de las proposiciones de una RTB es “ $X$  es  $A$  en  $Q$  de  $T$ ”, donde  $X$  es una variable lingüística “espacial” (no temporal),  $A$  representa un valor lingüístico de dicha variable,  $T$  es una referencia temporal y  $Q$  un cuantificador lingüístico. En esta aplicación se han empleado los cuantificadores “en”, “aproximadamente en”, “durante”, “en la mayoría de” y “en parte de”, y las referencias temporales usadas en las reglas comprenden las 2, 3 ó 4 últimas medidas. Se ha evitado utilizar intervalos mayores ya que la dinámica de la aplicación a controlar es muy rápida, pudiendo producirse cambios relevantes en pocas medidas.

Este modelo de reglas se ha utilizado para caracterizar cada una de las situaciones de interés en el problema de control de la velocidad lineal (pared recta, esquina abierta y esquina cerrada). Cada una de ellas ha requerido el diseño de una Base de Conocimiento Borroso (BCB) independiente, cuya descripción se realiza en los siguientes apartados.

### 3.1.1 Situación de pared recta

Las reglas de la base de conocimiento para la situación *wall straight* han sido diseñadas con el objetivo de conseguir que el robot alcance velocidades elevadas (en torno a 45 cm/s) cuando su distancia a la pared derecha es adecuada (se consideran satisfactorias distancias en torno a los 50 cm), se encuentra paralelo a dicha pared y además la distancia a la pared izquierda es igual o mayor a la distancia a la pared derecha. En cualquier otra situación se reducirá convenientemente la velocidad, adaptándola a las circunstancias en las que se encuentre el robot.

En la situación de pared recta se podrán permitir radios de giro altos, ya que es poco probable que el ro-

bot se acerque o se aleje demasiado de la pared de interés en un intervalo temporal muy reducido. Por este motivo en esta situación, las variaciones en velocidad podrán ser suaves.

La BCB que caracteriza la situación de pared recta utiliza, además de la velocidad del robot, las variables de entrada  $distancia_{derecha}$  (calculada como la distancia mínima de parte de los sensores del sector derecho y del sector frontal) y  $distancia_{izquierda}$  obtenida como el cociente entre el mínimo de los sensores del sector delantero izquierdo y la distancia derecha. A partir del valor de la distancia derecha en el ciclo actual ( $\tau$ ) y el anterior ( $\tau - 1$ ), se calcula el valor de la variable *tendencia de la distancia derecha*:  $tendencia_{dist\ dcha}(\tau) = dist_{dcha}(\tau) - dist_{dcha}(\tau - 1)$ .

Finalmente, el vector  $\vec{P}$  obtenido como resultado de procesar la información sensorial a través de las redes de Kohonen, permite obtener una nueva variable que evaluará si el robot se encuentra enfrenteado o no a la pared que está siguiendo. Esta variable se utiliza como complemento a la tendencia de la distancia derecha, y en concreto cuando ésta permanece estable, con el fin de tener una mejor descripción de la situación en que se encuentra el robot.

A continuación se muestra el ejemplo de una regla de esta base de conocimiento:

“SI la ***distancia izquierda*** es alta en la mayoría de las tres últimas medidas Y la ***distancia derecha*** es media aproximadamente en las tres últimas medidas Y la ***tendencia de la distancia derecha*** se mantiene estable aproximadamente en las dos últimas medidas Y la ***velocidad*** es alta Y el ***robot*** no se encuentra enfrenteado a la pared

ENTONCES

*aumentar la **velocidad** un poco*”

A grandes rasgos se puede afirmar que dentro de esta situación (pared recta) será deseable que el robot avance a una velocidad elevada, siempre y cuando se encuentre a una distancia razonable de la pared derecha (generalmente entre los 40 y los 75 cm), mientras que, en caso contrario, el robot deberá reducir su velocidad. La existencia de una pared u obstáculos situados a la izquierda del robot y relativamente próximos a éste, pueden provocar que el robot deba desplazarse más próximo a la pared derecha (se produce entonces una modificación del intervalo de distancias a la pared derecha que se consideran razonables) con el fin de alejarse de los obstáculos a la izquierda. Así, para distancias izquierdas medias o bajas la velocidad del robot se verá sensiblemente reducida, dado que es necesario disminuir la distancia a la pared derecha.

La robustez del comportamiento viene dada, por un lado, por el empleo de la tendencia de la distancia

derecha, que permite suavizar los cambios en velocidades y por otro, por realizarse la evaluación de las variables distancia izquierda, derecha y tendencia de la distancia derecha dentro de un marco de referencia temporal (“las últimas tres medidas”, ...). Esto aporta importantes ventajas: por un lado se evita que datos erróneos espúreos de los sensores puedan dar lugar a alteraciones innecesarias de la velocidad; además se consigue prestar atención únicamente a aquellas variaciones significativas y mínimamente persistentes de la distancia a la pared derecha.

La elaboración y ejecución de las reglas es también simple, pues la posibilidad de evaluar las variables en un marco temporal permite que se puedan obtener directamente a partir de lecturas del sonar.

### 3.1.2 Situación de esquina abierta

Se define esta situación como aquella en la que el robot tiene que girar hacia la derecha, con un radio de giro bajo, y describiendo un arco de casi 90° o superior. Esta situación es realmente compleja ya que, además de tener que aplicar velocidades bajas para obtener valores pequeños del radio de giro, es posible que en determinados momentos los sensores del robot dejen de detectar correctamente la pared derecha, aunque alguno de ellos la detecte ocasionalmente. Las RTBs constituyen de por sí una herramienta adecuada para hacer frente a este problema, pues aunque en algunos instantes la percepción haya podido ser insatisfactoria, el análisis de las variables en un intervalo temporal permite que la respuesta del sistema pueda ser correcta.

En primer lugar asumiremos que el robot debe describir un arco de circunferencia centrado en el vértice de la esquina, y con unos 50 cm de radio (distancia deseada con respecto a la pared). De esta forma es posible estimar cuál podría ser la velocidad lineal en cada instante, teniendo en cuenta la velocidad angular con la que se está moviendo el robot:  $v_{deseada} = v_{angular} \times radio_{deseado}$ , siendo  $radio_{deseado} = 50$  cm.

Para evitar que el robot termine enfrentado o demasiado próximo a la pared, se considera el ángulo barrido por el robot desde el comienzo de la esquina:  $\text{ángulo}_{barrido} = \text{ángulo}_{partida} - \text{ángulo}_{actual}$ .

Finalmente, a través de las medidas obtenidas por los sensores del sector delantero derecho, se podrá detectar la presencia de una pared próxima que podría ser considerada como el final de la esquina abierta. Dado que en los últimos instantes es posible que el robot se haya tenido que mover con información poco fiable, es preciso comprobar si su orientación es adecuada. Por este motivo, en esta situación, consideramos una variable  $\alpha$ , calculada a partir de información procedente del bloque de “preprocesado de la información sensorial”,

que indica si el robot se encuentra enfrentado o no a la pared. Así por ejemplo, aun cuando en los últimos instantes  $\alpha$  haya sido alta, si su tendencia indica que está disminuyendo y la distancia a la pared derecha es correcta, no será conveniente aumentar la velocidad lineal puesto que todo parece indicar que el robot se está enfrentando a la pared y por tanto un aumento de la velocidad lo acercaría más a la misma

Una regla típica de esta base de conocimiento es:

“SI la **distancia derecha** es baja en la mayoría de las cuatro últimas medidas Y la **distancia izquierda** es alta durante las dos últimas medidas Y el **ángulo barrido** es medio o alto Y  $\alpha$  es alta en la mayoría de las cuatro últimas medidas Y la **tendencia de  $\alpha$**  indica aumento en la mayoría de las cuatro últimas medidas Y la **velocidad** es media

ENTONCES

*aumentar la **velocidad** un poco”*

Esta regla actuará típicamente en los instantes finales de una esquina abierta, puesto que la pared derecha está cercana, se ha girado ya un ángulo bastante o muy amplio, el robot no se encuentra enfrentado a la pared derecha ( $\alpha$  es alta) y además en las últimas cuatro medidas la orientación con respecto a la pared ha mejorado (*la tendencia de  $\alpha$  indica aumento*). Además del cuantificador “en la mayoría de”, se ha utilizado el cuantificador *durante*, que exige el cumplimiento de la parte espacial de la proposición en todos los puntos del intervalo temporal.

### 3.1.3 Situación de esquina cerrada

La última situación que se ha abordado es la de esquina cerrada. Recordemos que esta situación está caracterizada por un giro del robot hacia la izquierda con un radio de giro bajo. A diferencia de las otras situaciones, la esquina cerrada está marcada por la presencia de un obstáculo frontal situado al final de la pared recta que se está siguiendo. Por esta razón, la distancia frontal se convierte en una de las variables relevantes que van a determinar el comportamiento del robot.

Mientras que el robot aún se encuentre lejos de la esquina, su comportamiento no diferirá del que tendría en una situación de pared recta, pero a medida que se acerque a la esquina (se producirá una reducción de la distancia frontal) deberá disminuir sensiblemente la velocidad.

Nuestro sistema tiene en cuenta además, que en una esquina cerrada es posible que el robot se vea obligado a girar incluso hasta 180°. Para tratar estas situaciones se considera la evolución del cociente entre la distancia mínima izquierda y la distancia mínima frontal, el cual indica ante que tipo de esquina cerrada se encuentra el robot en cada momento.

## 4 Resultados

Con el fin de comprobar el funcionamiento del sistema se han llevado a cabo múltiples pruebas experimentales tanto en entornos simulados como reales, con resultados muy satisfactorios, de los cuales mostramos dos ejemplos realizados sobre el robot real. Hubiese sido interesante una comparación con otros sistemas de control que aparecen en la bibliografía, pero ésta resulta imposible en un ámbito como la robótica móvil, ya que no es factible plantear un “banco de pruebas” estándar que permita comparar los controladores en entornos similares y considerando las distintas características dinámicas que presentan los diferentes tipos de robots.

En el primero de estos ejemplos (figura 2) se ha escogido un entorno real complejo, con un gran número de esquinas cerradas ( $C_i$ ), esquinas abiertas ( $A_i$ ), huecos, puertas, columnas, ...

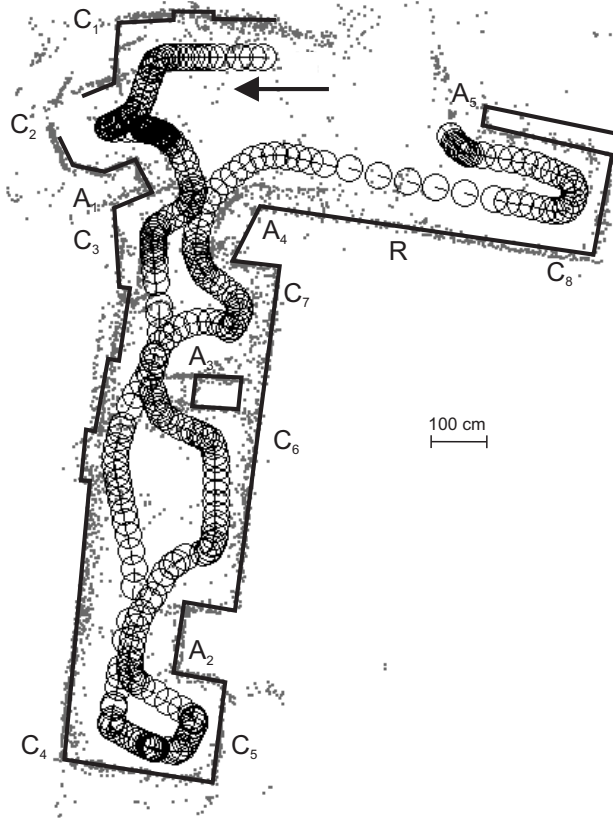


Figura 2: Ejemplo 1. Véase el texto para su descripción.

Con el fin de reflejar la complejidad de la tarea planteada se muestran también, en la misma figura, las lecturas que han ido recogiendo los sensores de ultrasonidos durante el movimiento del robot. Por otra parte, a través de la trayectoria del robot (representada por

círculos), se incluye implícitamente información de su velocidad en cada instante (una mayor concentración de marcas indica una menor velocidad lineal).

Lo primero que cabe destacar es la gran fiabilidad y robustez del sistema de control, puesto que el robot a lo largo de la prueba ha permanecido a una distancia media de la pared derecha de 45 cm, la cual entra en el rango de las distancias consideradas como satisfactorias. Por otra parte, también se observa como el sistema es capaz de resolver adecuadamente todas las situaciones, incrementando la velocidad cuando el robot sigue una pared recta ( $R$ ) y reduciéndola convenientemente cuando se aproxima a una esquina cerrada o abierta. Así mismo, se diferencia la reacción frente a una esquina muy cerrada ( $C_2, C_8$ ) en la que debe girar casi  $180^\circ$  sobre sí mismo, o cuando no es preciso reducir tan drásticamente dicha velocidad debido a que la esquina es más suave ( $C_1, C_4$ ), y basta realizar giros próximos a  $90^\circ$ .

La velocidad media en este ejemplo ha sido de 12 cm/s. Aunque a priori esta velocidad podría parecer baja, realmente se justifica por la enorme complejidad del entorno, con un gran número de esquinas. En estas esquinas el bloque que se encarga del control de la velocidad angular propone unas velocidades angulares muy bajas, lo que obliga al sistema de control de la velocidad lineal a reducir mucho esta última con el fin de mantener un radio de giro bajo y evitar así que el robot se acerque o separe de la pared en exceso.

La actuación del controlador de la velocidad lineal queda perfectamente reflejada en el tramo  $C_4$ - $C_5$ - $A_2$ , donde se observan cambios de velocidad importantes, todos ellos acordes con la situación existente en cada momento.

En el segundo de los ejemplos (figura 3) se cumple de nuevo que el robot mantiene una distancia media a la pared de 45 cm, observándose un comportamiento robusto y fiable, a pesar del gran ruido asociado a los sensores de ultrasonidos, errores de odometría, etc. El robot se mueve con velocidades elevadas (45 cm/s) cuando sigue las paredes rectas, reduciéndose dicha velocidad convenientemente ante las diferentes esquinas. La velocidad media obtenida es en este caso de 17 cm/s.

## 5 Conclusiones

En este trabajo se ha presentado un controlador de la velocidad lineal para el seguimiento de paredes por parte de un robot Nomad200. La realización del control sobre la velocidad lineal contribuye en primer lugar a reducir el tiempo de navegación entre dos puntos. Por otra parte aumenta la robustez y fiabilidad del sis-

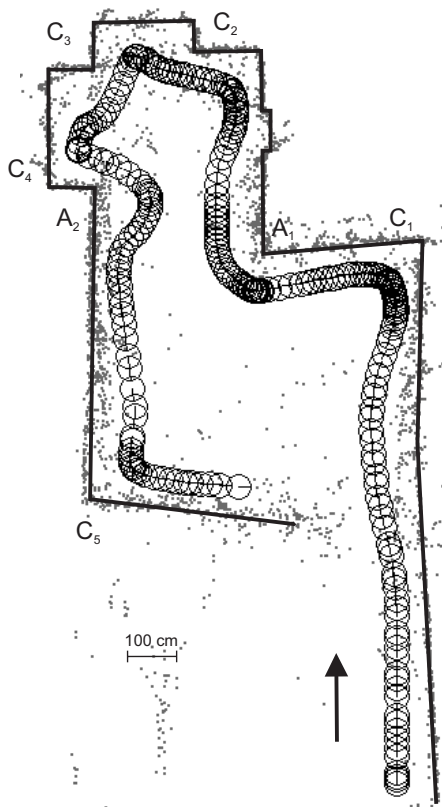


Figura 3: Ejemplo 2. Véase el texto para su descripción.

tema puesto que, aunque la velocidad angular pueda no ser correcta en algún momento, la velocidad lineal siempre se adaptará a las circunstancias del entorno que rodea al robot.

Se han distinguido tres tipos de situaciones del entorno: pared recta, esquina abierta y esquina cerrada, cuya implementación en el módulo de “análisis y decisión” (bloque de control de la velocidad lineal) utiliza Reglas Temporales Borrosas, extremadamente útiles en un ámbito como el de la robótica móvil, caracterizado por la falta de precisión en las medidas y la necesidad de evaluar variables y/o tendencias de las mismas dentro de intervalos temporales. Con el empleo de RTBs se consigue por un lado filtrar el ruido sensorial, dotar a las reglas de una gran expresividad (lo cual es fundamental para la adquisición del conocimiento) y analizar la evolución de las variables teniendo en cuenta también valores pasados. El comportamiento obtenido es robusto, fiable y progresivo, como muestran las numerosas pruebas, de gran complejidad, a que ha sido sometido tanto en entornos simulados como reales.

Comparando de forma cualitativa este controlador con otros existentes, podemos destacar que a diferencia de [2, 3], nuestra solución plantea que la velocidad lineal

del robot sea variable, lo que permite reducir el tiempo de navegación. Además se muestran los resultados de prueba en entornos en los que las distintas situaciones (esquina abierta, cerrada y pared recta) se enlazan de forma consecutiva incrementando la complejidad del entorno. Los resultados que se presentan en [3, 7] corresponden a cada una de las situaciones básicas por separado, no siendo posible valorar su comportamiento global.

### Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Secretaría Xeral de I+D de la Xunta de Galicia (proyectos XUGA20608B97, PGIDT99PXI20603A y PGIDT99PXI20601B).

### Referencias

- [1] A. Bugarín, P. Cariñena, P. Félix y S. Barro, *Fuzziness in Petri Nets*, vol. 22 de *Studies in Fuzziness*, cap. Reasoning with Fuzzy Temporal Rules on Petri Nets, págs. 174–202, Physica-Verlag, 1998.
- [2] G. Castellano, G. Attolico y A. Distanti, “Automatic generation of fuzzy rules for reactive robot controllers”, *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 22, págs. 133–149, 1997.
- [3] A. García-Cerezo, M. J. López-Baldán y A. Mandow, “Modelado de comportamientos de navegación mediante lógica borrosa”, en *Conferencia de la Asociación Española para la Inteligencia Artificial (CAEPIA '97)*, 1997.
- [4] R. Iglesias, C. V. Regueiro, J. Correa y S. Barro, *Biological and Artificial Computation: from Neuroscience to Technology*, cap. Implementation of a Basic Reactive Behaviour in Mobile Robotics through Artificial Neural Networks, págs. 1364–1373, no. 1240 en *Lecture Notes in Computer Science*. Springer, 1997.
- [5] M. Mucientes, R. Iglesias, C. V. Regueiro, A. Bugarín, P. Cariñena y S. Barro, “Use of fuzzy temporal rules for avoidance of moving obstacles in mobile robotics”, en *Proceedings of the 1999 Eusflat-Estylf Joint Conference*, 1999, págs. 167–170.
- [6] A. Saffiotti, “The uses of fuzzy logic in autonomous robot navigation”, *Soft Computing*, vol. 1, no. 4, págs. 180–197, 1997.
- [7] J. P. Uribe, J. Urzelai y M. Ezkerra, “Fuzzy controller for a wall-following with a non-holonomous mobile robot”, en *Fuzzy-IEEE'97, the sixth IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 1997.