

# Detección de puertas mediante visión y lógica difusa \*

Eugenio Aguirre, Miguel García-Silvente, Antonio González, Rafael Muñoz

Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial

E.T.S. de Ingeniería Informática. Universidad de Granada

18071 - Granada tlfno.: +34.958.240807 fax: +34.958.243317

e-mail: {eaguirre, mgs, gonzalez, salinas}@decsai.ugr.es

## Resumen

Uno de los métodos existentes para desarrollar la navegación de un robot en un entorno de interiores, consiste en la utilización de un mapa topológico del mismo y una serie de comportamientos de navegación adecuados. Un elemento muy común en este tipo de entornos son las puertas, cuya detección nos facilitará enormemente tanto conocer su estructura, como explorarlo y llevar a cabo una navegación eficiente. En este trabajo utilizamos la información suministrada por la cámara de un robot para que éste pueda establecer un nivel de creencia sobre la existencia de un marco de una puerta. Para ello se definen las características que deben tener los segmentos detectados en la imagen para pertenecer al marco. Este proceso se realiza con reglas expresadas mediante lógica difusa. Esto nos permite tanto poder medir la creencia del robot como manejar imágenes en las que las puertas se ven desde diferente perspectiva y con distintos tamaños y condiciones de luminosidad. Se muestran algunos experimentos para validar la propuesta.

**Palabras Clave:** Robots móviles, visión artificial, modelos perceptuales difusos.

## 1. Introducción

En el área de la robótica móvil autónoma, el robot debe ser capaz de extraer información útil a partir de su sistema sensorial a pesar de la existencia de ruido e imprecisión en los datos de los sensores. Esta información debe ser adecuada para ayudar al robot a realizar la tarea que tiene encomendada. En el caso de la navegación por entornos de interior el robot debe alcanzar un destino concreto a partir de su situación original. Una de las formas de resolver este problema es mediante la utilización de un mapa topológico [13] y el empleo de una arquitectura de navegación basada en comportamientos [1, 2, 4]. Para ello es necesario contar con modelos perceptuales que permitan al robot detectar determinados lugares distinguidos que formarán parte

del mapa topológico, ya sea para construir dicho mapa o para llevar a cabo la fase de navegación propiamente dicha. En trabajos anteriores [3] hemos desarrollado un modelo perceptual basado en ultrasonidos mediante el cual el robot puede establecer estas creencias en ciertos objetos como paredes, esquinas, pasillos o puertas. Este modelo utiliza la lógica difusa como herramienta para el manejo de la imprecisión e incertidumbre así como para la propia definición de estos objetos.

En este trabajo nos proponemos utilizar la información que nos suministra una cámara situada en nuestro robot Nomad 200, para poder establecer visualmente un nivel de creencia en la presencia del marco de una puerta en un entorno de interiores. En posteriores trabajos se integrará este nuevo valor de creencia, obtenido mediante visión, con otros valores que el robot puede obtener aplicando el modelo perceptual anteriormente comentado.

El problema de la detección visual de puertas ha sido abordado por diversos autores empleando distintas técnicas. En el trabajo desarrollado por [7], dos redes neuronales son utilizadas para la detección de puertas en imágenes en color. Una red es utilizada para detectar los marcos laterales, mientras que la otra se utiliza para detectar el marco superior. Las redes reciben como entrada ventanas de 18x18 píxeles centradas en cada píxel de la imagen con las componentes de brillo y saturación. En total cada red cuenta con una capa de entrada de 648 elementos, una intermedia y una de salida que indica el grado en que el píxel analizado pertenece al marco de una puerta. Tras este proceso de clasificación de cada píxel de la imagen, se realiza un proceso de agrupación para determinar si hay puerta en la imagen. El sistema es capaz de detectar puertas en condiciones de oclusión parcial y desde distintos ángulos, pero presenta el problema de requerir un alto coste computacional.

Basándose en el concepto de usabilidad, en [9] se presenta un método para la detección de puertas usando un sistema trinocular de visión. El concepto *puerta* es definido como una  $U$  invertida que puede ser atravesada por personas. Para ello analizan los segmentos presentes en las imágenes buscando formas rectangulares. Si cumplen una serie de criterios de altura y anchura que establecen sobre las puertas de su entorno son clasificadas como tales. Este sistema cuenta con el inconveniente del coste del equipo perceptual además de que no se realiza un análisis de cómo puede influir

\* Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto TIC2003-04900 del MCYT

la perspectiva en la detección.

En el trabajo propuesto por [12] se utiliza un método para la detección de puertas limitado a pasillos teniendo en cuenta las dimensiones del mismo. La detección se realiza buscando las líneas verticales del pasillo y agrupándolas en puertas. La técnica limita la detección de las puertas a un entorno muy concreto y no tiene en cuenta las deformaciones debidas a los cambios de perspectiva.

En [11] se propone un método para la detección de puertas, usando una única cámara, basado en la extracción de segmentos con redes neuronales de la Transformada de Hough. Además, usando la proyección de los puntos inferiores de la puerta y conociendo las dimensiones de la misma así como la orientación de la cámara, son capaces de determinar la posición relativa del robot a la puerta. Sin embargo hay aspectos poco claros en diversos puntos del trabajo. Por un lado no se explica como se realiza el reconocimiento de la puerta a partir de las líneas, se dice que se usa una red neuronal pero no se indican cual es la información de entrada a la misma. Tampoco se indica ninguna información sobre el conjunto de datos que se ha utilizado para llevar a cabo el entrenamiento y la validación parece estar poco fundamentada.

En [10] la detección visual de puertas sirve de guía a un robot móvil para cruzar puertas. La detección de los marcos se realiza en las inmediaciones de la misma como columnas de ancho mayor de 35 píxeles. Esta detección permite indicar al robot el centro de la puerta. Usando la información del sistema visual el robot es capaz de cruzar las puertas de su entorno de trabajo. Sin embargo, el mecanismo utilizado para la detección visual es poco elaborado y difícilmente puede ser extendido a otras situaciones.

En la línea del trabajo anterior, Cañas y otros [5] diseñan un sistema que integra ultrasonidos y visión activa para detectar las puertas en el entorno del robot. La detección visual se basa exclusivamente en la localización de líneas verticales. Como en el caso anterior la detección visual de la puerta es poco flexible frente a cambios de perspectiva sufridos por movimientos de la cámara en el eje vertical. Esto limita las condiciones en que el método puede ser aplicado.

En este trabajo presentamos un nuevo método para la detección visual de puertas basado en la extracción de los segmentos de la imagen y en la definición, mediante lógica difusa, de las características que presentan dichos segmentos al formar parte del marco. Es decir la puerta se detecta buscando los segmentos en la imagen que constituyen el marco de la misma. En primer lugar, detectaremos los bordes en la imagen usando el detector de fronteras Canny [6]. Sobre esta imagen aplicaremos las Transformada de Hough [8] con objetivo de extraer los segmentos. Luego, utilizando lógica difusa analizaremos las relaciones entre los segmentos para determinar la presencia de posibles marcos de puertas en la imagen. Se definen el concepto de *marco simple* y *marco doble* para poder diferenciar aquellas situaciones en las que se detecte sólo una de las fronteras del marco o las dos. El método es capaz de detectar las puertas más comúnmente encontradas en los entornos de interior en condiciones de iluminación variable. Además es robusto frente a cambios de escala y a la deformación debida a la perspectiva.

## 2. Detección visual de puertas

En esta sección explicaremos cómo se realiza el proceso de detección visual de las puertas a partir de los marcos. Nuestro enfoque se basa en la detección de segmentos en la imagen resultado de un extractor de fronteras. De esta manera, buscaremos los segmentos de la imagen que forman el marco de una puerta. Realmente, según hemos comprobado en nuestra experimentación, en algunos casos se puede detectar solamente una de las fronteras del marco, correspondiente a uno de sus bordes (el interior o exterior según las imágenes). En otras ocasiones se detectan ambas fronteras del marco, la interior y la exterior. En el segundo caso, se puede considerar que la evidencia visual de la presencia de la puerta es más fuerte que en el primero. Para tratar esta diferencia se va a definir el concepto *marco simple* para referirnos al primer caso y el concepto *marco doble* para el segundo caso. En concreto, un *marco simple* se define como una pareja de segmentos verticales (correspondientes a las zonas laterales de la puerta) unidas en su zona superior por un segmento horizontal (correspondiente a la zona superior). Por otra parte, un *marco doble* está formado por dos marcos simples que guardan cierta relación de paralelismo y cercanía por lo que podemos suponer que son las dos fronteras de un mismo marco de una puerta. En las imágenes de la figura 2 en los dos primeros casos se detecta un marco simple, mientras que en el último se detecta un marco doble.

El proceso de detección comienza aplicando el detector de fronteras de Canny sobre la imagen en niveles de grises. La imagen resultado  $I(x, y)$  es una imagen binaria donde los píxeles a valor *verdadero* corresponden a bordes en la imagen original. Supondremos para facilitar la notación, que la imagen  $I(x, y)$  es cuadrada de tamaño  $N \times N$ . Con los píxeles de contorno de  $I(x, y)$  aplicamos la Transformada de Hough. A partir de la Transformada de Hough se obtienen los segmentos de la imagen que denotaremos  $S = \{S^0, S^1, \dots, S^n\}$ . Cada segmento está compuesto de dos puntos en el plano de la imagen,  $S^i = \{p_0^i, p_1^i\}$  donde  $p_j^i = (x_j^i, y_j^i)$ . A su vez, cada segmento tiene una orientación que se extrae de la Transformada de Hough  $S_\phi^i \in [-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$ .

Una vez obtenidos los segmentos se realiza el proceso de análisis que se explica a continuación para ver si cumplen las propiedades de pertenecer a posibles *marcos simples* de puertas.

### 2.1. Selección y clasificación de segmentos candidatos

El conjunto de segmentos total obtenido en una imagen es alto y deseamos reducirlo sólo a aquellos que puedan pertenecer al marco de una puerta. Recordamos que estamos buscando los segmentos verticales del lateral del marco y el segmento más o menos horizontal de la parte superior del mismo. Dado que deseamos poder realizar la detección desde diferentes perspectivas, la proyección de los segmentos laterales y superior del marco no serán necesariamente paralelos al plano de la imagen, pudiéndose por tanto proyectar como segmentos inclinados que no mantienen la perpendicularidad que tienen en la realidad. Esta circunstancia nos obliga a entender el concepto de "*segmento lateral y horizontal perteneciente al marco de una puerta*" de

una forma flexible. Por otra parte, debido a que suelen aparecer una gran cantidad de segmentos al analizar una imagen se hace necesario realizar una selección de los mismos para considerar que efectivamente forman parte de un posible marco. Para afrontar ambas tareas se va a tener en cuenta que el robot en el proceso de detección visual de las puertas, va a establecer unos niveles de creencia sobre la detección de dichos segmentos laterales y horizontales. Para expresar estos niveles de creencia acudiremos a las técnicas proporcionadas por la lógica difusa como se muestra a continuación.

Si analizamos los entornos de interior podremos observar como las puertas son objetos relativamente altos. Por tanto, los segmentos laterales deben tener un tamaño grande en la imagen y proyectarse con un aspecto más o menos vertical. Haciendo uso de las características *inclinación* y *tamaño* de un segmento, el robot establecerá un nivel de creencia en el intervalo  $[0, 1]$  sobre el hecho de que un segmento  $S^i$  pueda pertenecer al lateral de un marco. La primera característica se medirá mediante una variable lingüística que llamaremos *Inclinación*( $S^i$ ) que presenta dos posibles valores, *vertical* y *horizontal* representados por los conjuntos difusos de la figura 1(a). El valor de entrada para esta variable será la inclinación del segmento calculada como el  $\sin(S_\phi)$ . De esta manera la inclinación es *vertical* cuando el seno toma valores cercanos a 0 y *horizontal* en valores próximos a 1.

La segunda característica la mediremos mediante la variable lingüística *Tamaño* $SL(S^i)$  que tiene también dos posibles valores *pequeño* y *apropiado* representados por los conjuntos difusos de la figura 1(b). El valor de entrada para esta variable será el tamaño de un segmento,  $\text{tamano}(S^i)$ , que acotaremos en el intervalo  $[0, 1]$  según la ecuación 1. Donde  $\text{dist}(p_0^i, p_1^i)$  es la distancia euclídea entre los dos extremos del segmento y  $N\sqrt{2}$  la distancia máxima en la imagen.

$$\text{tamano}(S^i) = \frac{\text{dist}(p_0^i, p_1^i)}{N\sqrt{2}} \quad (1)$$

A partir de estas variables lingüísticas definimos el nivel de creencia, *Segmento* $L(S^i)$ , como la posibilidad de que  $S^i$  sea un segmento lateral perteneciente al marco de una puerta. Esta posibilidad viene dada por la siguiente regla:

$$\begin{aligned} & \text{Si } \text{Inclinacion}(S^i) \text{ es Vertical} \wedge \\ & \text{TamanoSL}(S^i) \text{ es Apropiado} \\ & \text{entonces } S^i \text{ es Segmento lateral.} \end{aligned} \quad (2)$$

Entonces, *Segmento* $L(S^i)$  se define como el grado de cumplimiento de la regla anterior. A la hora de aplicar esta regla usaremos el operador mínimo para llevar a cabo la intersección.

En lo concerniente al segmento superior de la puerta, su proyección en la imagen se verá afectada en mayor medida por la perspectiva. Esto se debe a que el grado de libertad que se permite en el plano horizontal de visión (cuando rodeamos la puerta) es mayor que en el vertical (cuando la vemos desde abajo hacia arriba). Por ello se podrá proyectar en un amplio rango de tamaños y orientaciones en torno a la horizontal. Pero se puede decir que debería estar en posiciones superiores de la imagen. El robot asignará un grado de creencia

en el intervalo  $[0, 1]$  sobre el hecho de que un segmento  $S^i$  pueda ser un segmento perteneciente al marco superior de la puerta, basándose en las características de *inclinación*, *tamaño* y *posición* del segmento. La primera característica se medirá usando la variable lingüística anteriormente explicada *Inclinación*( $S^i$ ). La característica tamaño será evaluada mediante la variable lingüística *Tamaño* $SH(S^i)$  que tiene dos posibles valores *pequeño* y *apropiado* representados por los conjuntos difusos de la figura 1(c). El valor de entrada de esta variable se calculará usando la ecuación (1).

Finalmente la posición del segmento en la imagen será medida por la variable lingüística *Posición* $Y(S^i)$  que tiene dos posibles valores *alta* y *baja*, definidos en la figura 1(d). El valor de entrada,  $\text{posY}(S^i)$ , será la posición del punto medio del segmento en el eje vertical de la imagen acotado en el intervalo  $[0, 1]$  que se define como:

$$\text{posY}(S^i) = \frac{y_0^i + y_1^i}{2N}. \quad (3)$$

Valores bajos indican que el segmento tiene su punto medio en la zona superior de la imagen y viceversa.

Con estas tres variables definimos el nivel de creencia *Segmento* $H(S^i)$ , como la posibilidad de que  $S^i$  sea un segmento horizontal correspondiente a la zona superior del marco de una puerta mediante la siguiente regla:

$$\begin{aligned} & \text{Si } \text{Inclinacion}(S^i) \text{ es Horizontal} \wedge \\ & \text{TamanoSH}(S^i) \text{ es Apropiado} \wedge \\ & \text{PosicionY}(S^i) \text{ es Alta} \\ & \text{entonces } S^i \text{ es Segmento horizontal.} \end{aligned} \quad (4)$$

De forma similar al caso anterior, *Segmento* $H(S^i)$  se define como el grado de cumplimiento de esta regla.

Estos valores de creencia nos van a servir para definir el concepto de *marco simple* como veremos en la siguiente sección pero además también los utilizaremos para acelerar el proceso de búsqueda de los posibles marcos. Para ello, se realiza una selección de segmentos candidatos en base a los grados de creencia *Segmento* $L(S^i)$  y *Segmento* $H(S^i)$ . Si alguno de ellos supera un determinado umbral  $\alpha_1$ , el segmento  $S^i$  será candidato a formar parte de un marco simple y pasará a la siguiente fase. En ese caso  $S^i$  será considerado lateral si  $\text{Segmento}L(S^i) > \text{Segmento}H(S^i)$  y horizontal en caso contrario. En lo que sigue denotaremos al conjunto de segmentos laterales candidatos como  $L = \{L^0, \dots, L^n\}$  y al de horizontales  $H = \{H^0, \dots, H^n\}$ .

Con la flexibilización de estos conceptos de esta manera, si bien es necesario tener la puerta a cierta distancia para poder detectarla, la detección se hace relativamente independiente a cambios de escala y perspectiva. Además podemos asumir, como dijimos anteriormente, que en entornos de interior las puertas son elementos relativamente grandes y que por lo general cumplirán estas restricciones.

## 2.2. Definición del concepto de marco simple

El siguiente paso es analizar si en el conjunto de segmentos extraído hay algún marco simple. Un mar-

co simple se define como un par de segmentos laterales atravesado por uno horizontal en su zona superior. Para ello tomaremos por cada segmento horizontal  $H^i$  un par de segmentos laterales  $L^i, L^j$  y asignaremos un grado de creencia perteneciente al intervalo  $[0,1]$  de ser un trío candidato a ser un posible marco simple, basándonos en la distancia mínima de los puntos extremos de los segmentos.

Definimos la variable lingüística  $DistanciaSegmentos(S^i, S^j)$  para medir la distancia entre dos segmentos en la imagen. Esta variable puede tener tres posibles valores representados por los conjuntos difusos de la figura 1(e). Como valor de entrada toma:

$$distS(S^i, S^j) = \min\{dist(p_0^i, p_0^j), dist(p_0^i, p_1^j), dist(p_1^i, p_0^j), dist(p_1^i, p_1^j)\} / N\sqrt{2} \quad (5)$$

Esta ecuación expresa la distancia entre dos segmentos como la mínima distancia entre sus puntos extremos dividida por la máxima distancia. Los valores están acotados al intervalo  $[0,1]$ , dónde 0 indica que ambos elementos no tienen separación y 1 indica separación máxima.

Para evaluar el grado de creencia de que el trío  $\{H^i, L^j, L^k\}$  forme un marco simple, llamémosle  $MarcoSimple(H^i, L^j, L^k)$ , evaluaremos el nivel de cumplimiento de la siguiente regla:

$$\begin{aligned} &Si H^i \text{ es Segmento}H \wedge L^j \text{ es Segmento}L \wedge \\ &L^k \text{ es Segmento}L \wedge \\ &DistanciaSegmentos(H^i, L^j) \text{ es baja} \wedge \\ &DistanciaSegmentos(H^i, L^k) \text{ es baja} \wedge \\ &DistanciaSegmentos(L^j, L^k) \text{ es alta entonces} \\ &\{H^i, L^j, L^k\} \text{ es Marco simple.} \end{aligned} \quad (6)$$

En este momento, el robot ya puede calcular un grado de creencia en la existencia de un marco de una puerta  $MarcoSimple(H^i, L^j, L^k)$  utilizando el proceso descrito. Este valor lo utilizará como una información perceptual más que se tendrá que fusionar dentro del modelo perceptual existente y que le ayudará en la toma de las decisiones oportunas en la navegación por el entorno.

Ahora es necesario definir el segundo concepto, ya que dependiendo de la imagen que tengamos de la puerta, puede ser que se hayan detectado los dos bordes del marco de la puerta. Hasta ahora estos dos bordes serían considerados como dos marcos simples cuando realmente pertenecen a la misma puerta. Por tanto necesitamos agrupar aquellos marcos que pertenecen a la misma puerta y obtener un único valor de creencia final para estos casos, que se verá reflejado en el concepto de *marco doble*. Para realizar el análisis siguiente nuevamente llevamos a cabo una selección de candidatos con el objetivo de acelerar el proceso. Si el grado de creencia  $MarcoSimple(H^i, L^j, L^k)$  supera un determinado umbral  $\alpha_2$  ese trío es considerado candidato a formar parte de un marco doble y se tendrá en cuenta en la siguiente fase. Notaremos dicho trío de segmentos como  $MS^i = \{L_l^i, Sup^j, L_r^i\}$ . Donde  $Sup^i = H^i$ ,  $L_l^i$  es lateral y está en la imagen situado a la izquierda de  $L_r^i$  que es el otro segmento lateral.

### 2.3. Concepto de marco doble

Dado un conjunto de marcos simples candidatos  $MS = \{MS^0, \dots, MS^n\}$ , estos se deben analizar para ver si forman parte de la misma puerta formando por tanto lo que hemos llamado un marco doble. Para ello asignaremos un grado de creencia perteneciente al intervalo  $[0,1]$  en el hecho de que dos posibles marcos simples pertenezcan a la misma puerta, basándonos en las características de distancia y paralelismo entre ellos. Definimos la variable lingüística  $DistanciaMarcos(MS^i, MS^j)$  para medir la distancia entre dos marcos simples  $MS^i, MS^j$ . Dicha variable puede tomar tres valores representados por los conjuntos difusos de la figura 1(f). El valor de entrada se calcula mediante:

$$distMS(MS^i, MS^j) = \frac{distS(L_l^i, L_l^j)}{distS(Sup^i, Sup^j)} + \frac{distS(L_r^i, L_r^j)}{3} \quad (7)$$

Este valor, está acotado en el intervalo  $[0,1]$  y mide la distancia entre dos marcos simples como la media de las distancias entre los segmentos homónimos en ambos marcos. La distancia entre dos segmentos  $distS(S^i, S^j)$  se mide con la ecuación (5).

Por otro lado, la variable lingüística  $Paralelismo(MS^i, MS^j)$  mide el grado de paralelismo entre dos posibles marcos simples. Los conjuntos difusos que representan los valores definidos para esta variable se reflejan en la figura 1(g). La variable toma como valor de entrada:

$$paralelismo(MS^i, MS^j) = \frac{\cos(L_{l\phi}^i - L_{l\phi}^j)}{\cos(Sup_{\phi}^i - Sup_{\phi}^j)} + \frac{\cos(L_{r\phi}^i - L_{r\phi}^j)}{3} \quad (8)$$

En esta expresión,  $\cos(S_{\phi}^a - S_{\phi}^b)$  mide el grado de perpendicularidad de  $S^a, S^b$  en el intervalo  $[0,1]$ . Si el coseno es 0 se debe a que los segmentos forman un ángulo  $\frac{\pi}{2}$  y toma valor 1 en caso de que no exista diferencia entre sus ángulos. De esta manera (8) expresa la media del paralelismo entre los segmentos homónimos en ambos marcos simples.

Finalmente, asignaremos un grado de creencia al hecho de que dos posibles marcos simples  $MS^i, MS^j$  formen parte realmente de la misma puerta constituyendo un marco doble, al que denominaremos  $MarcoDoble(MS^i, MS^j)$ , evaluando el cumplimiento de la siguiente regla:

$$\begin{aligned} &Si MS^i \text{ es MarcoSimple} \wedge MS^j \text{ es MarcoSimple} \wedge \\ &DistanciaMarcos(MS^i, MS^j) \text{ es no(alta)} \wedge \\ &Paralelismo(MS^i, MS^j) \text{ es alto} \\ &\text{entonces } \{MS^i, MS^j\} \text{ es Marco doble.} \end{aligned} \quad (9)$$

De esta forma se podrá calcular el grado de creencia  $MarcoDoble(M^i, M^j)$  que luego en el proceso de fusión con el modelo perceptual anterior se podrá tener en cuenta con más peso. La razón es que podemos suponer que el detectar los dos bordes del marco nos ofrece una evidencia visual mayor en la existencia de la puerta.

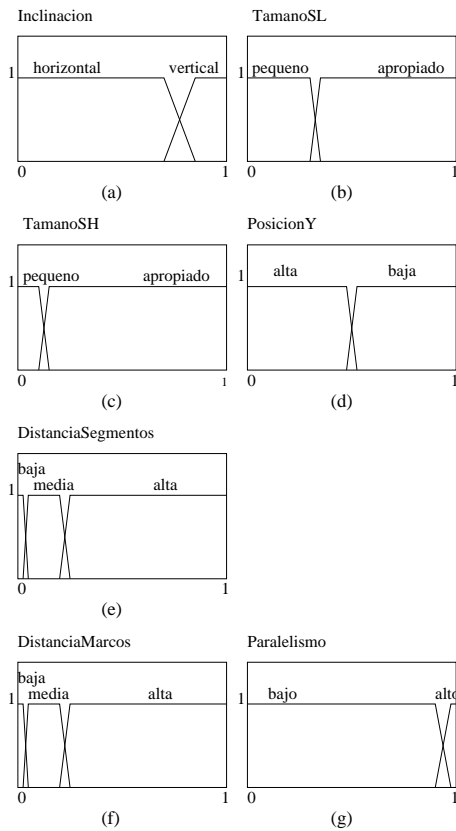


Figura 1: Variables lingüísticas empleadas. a) Inclinación b) TamanoSL c) TamanoSH d) PosicionY e) DistanciaSegmentos f)DistanciaMarcos g)Paralelismo

Para finalizar la descripción del proceso, queremos comentar que las funciones de pertenencia de los conjuntos difusos implicados y los valores concretos para los parámetros  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  han sido determinados a partir de la experimentación y usando conocimiento experto. Puede ser interesante la utilización de algún procedimiento automatizado para su determinación, lo que nos plantearemos en próximos trabajos.

### 3. Experimentación

En esta sección mostramos algunos resultados de la experimentación realizada con nuestro método. Para validar el método hemos realizado dos tipos de pruebas. Mediante la primera se pretende determinar el éxito en la detección de puertas en imágenes que efectivamente muestran puertas. Con la segunda se pretende comprobar que el método no detecta falsas puertas en imágenes donde no hay ninguna (falsos positivos). En el primer caso se han usado un total de 105 imágenes de distintos tipos de puertas tomadas desde diferentes perspectivas y a una distancia máxima de 4 metros, obteniéndose un éxito del 87%. En la segunda prueba se han usado 50 imágenes y el sistema no detecta ningún falso positivo demostrando un comportamiento robusto. Con el objeto de mejorar el porcentaje de éxito en la primera prueba se pretende introducir alguna técnica automática de ajuste de los parámetros del sistema en la que actualmente estamos trabajando.

La figura 2 muestra en la primera fila imágenes de diferentes edificios en las que aparece una puerta. En la segunda línea se muestra el conjunto total de segmentos que obtiene nuestro detector basado en la Transformada de Hough. La tercera línea muestra los segmentos preseleccionados por el método explicado en 2.1. Finalmente en la última línea de imágenes se muestran las puertas que se han detectado a partir de la búsqueda de los marcos de las mismas. Como se puede observar en las dos primeras puertas comenzando por la izquierda, se han detectado solamente el concepto marco simple. En el tercer caso, sin embargo se han detectado dos marcos simples que corresponden realmente a la misma puerta formando un marco doble. En los tres ejemplos el nivel de creencia alcanzado en los conceptos marco simple y marco doble ha sido de 0.9 sobre un valor máximo de 1.

Las imágenes muestran como el método desarrollado es capaz de detectar puertas de diferentes tipos, a partir de imágenes tomadas desde diferentes puntos de vista y con condiciones de iluminación variables. La primera imagen muestra una puerta vista desde dentro de la habitación en una posición muy cercana y bajo ella. En esta imagen se observa claramente la inclinación de los segmentos debida a la perspectiva. En el resto, la visión de la puerta se realiza desde posiciones más alejadas en las que los marcos de las mismas adquieren mayor tamaño, siendo igualmente detectados de forma correcta.

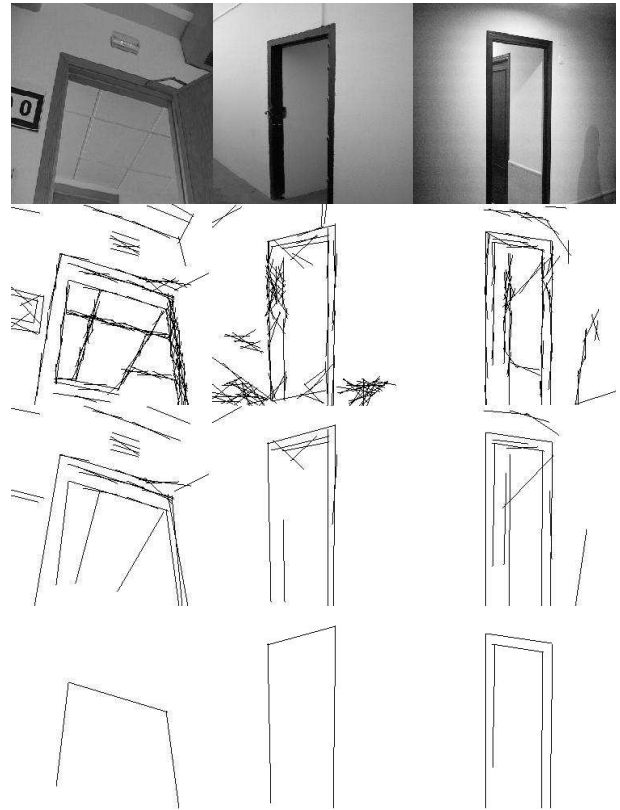


Figura 2: De arriba a abajo. Imagen original. Todos los segmentos detectados. Segmentos candidatos seleccionados. Puertas detectadas con alto nivel de creencia

## 4. Conclusiones y trabajo futuro

Hemos desarrollado un método para la detección visual de puertas basado en el análisis de los segmentos detectados en la imagen y que forman parte del marco de la misma. Para diferenciar la situación en la que se detecta una frontera del marco o las dos, se definen los conceptos de marco simple y doble utilizando expresiones mediante lógica difusa. En este sentido, el método hace uso de lógica difusa para definir las características apropiadas según las cuales un segmento puede ser considerado como un segmento lateral u horizontal de un marco de una puerta, estableciendo un cierto grado de creencia en ambos casos. Luego, tomando en cuenta los segmentos que cumplen esa condición en cierto grado, se analizan sus relaciones espaciales para determinar si pueden formar un marco simple. Posteriormente se analizan las relaciones entre los marcos simples para detectar posibles marcos dobles. El empleo de la lógica difusa en todo este proceso nos permite, por un lado, limitar el espacio de búsqueda sobre el conjunto de posibles segmentos y definir de manera natural los conceptos de marco simple y doble. Por otro lado, también nos da la posibilidad de analizar un conjunto de segmentos con diferente grado de inclinación y tamaño lo que nos proporciona una gran flexibilidad a la hora de manipular la información contenida en las imágenes. Esta flexibilidad es necesaria para contemplar las posibles diferentes proyecciones del marco de una puerta en la imagen según la situación de la cámara del robot respecto de la puerta, haciéndolo robusto frente a cambios de perspectiva y escala. Por último, gracias a la lógica difusa podemos expresar el grado de creencia del robot en que los segmentos detectados visualmente pertenezcan al marco de la puerta (simple o doble), de manera que este nivel de creencia puede ser fusionado con otros valores aportados por otros sensores como los ultrasonidos. Con ello se pretende que unos sensores complementen la información proporcionada por otros.

La experimentación realizada muestra que el método propuesto es capaz de detectar de forma efectiva las puertas que se encuentran en las imágenes como se ha mostrado en el apartado 3. Pensamos también, que el método es válido para aquellas puertas de tipo similar al que encontramos en la mayoría de los entornos de interiores.

En lo que respecta a trabajos futuros, además de llevar a cabo la integración con el modelo perceptual anterior, hay que tener en cuenta que tal y como ha sido definido, el método explicado requiere que los tres segmentos del marco estén presentes en la imagen. Sin embargo, en las pruebas realizadas hemos observado que en ocasiones alguno de los segmentos puede estar oculto. Por ello como trabajo futuro habrá que modificar este método para poder contemplar la posibilidad de occlusión de parte del marco de la puerta en las observaciones. Para ello se tendrá en cuenta tanto el papel activo que puede adoptar el robot, como elemento que se puede desplazar por el entorno, como la información complementaria que pueda aportar el modelo perceptual ya desarrollado.

## Referencias

- [1] E. Aguirre, M. Gómez, R. Muñoz, y C. Ruiz. Un sistema multi-agente que emplea visión activa y ultrasonidos aplicado a navegación con comportamientos difusos. En *Actas del IV Workshop en Agentes Físicos (WAF'2003)*, páginas 63–74, Alicante, 2003.
- [2] E. Aguirre y A. González. Fuzzy behaviors for mobile robot navigation: Design, coordination and fusion. *International Journal of Approximate Reasoning*, 25:255–289, 2000.
- [3] E. Aguirre y A. González. A fuzzy perceptual model for ultrasound sensors applied to intelligent navigation of mobile robots. *Applied Intelligence*, 19(3):171–187, 2003.
- [4] R.C. Arkin. *Behavior-Based Robotics*. The MIT Press, 1998.
- [5] J.M. Cañas, R. Simmons, y M. C. García-Alegre. Detección probabilística de puertas con visión monocular activa. En *Actas del II Workshop Hispano-Luso en Agentes Físicos (Waf'2001)*, páginas 113–128, Madrid, 2001.
- [6] J. Canny. A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-8:679–698, 1986.
- [7] G. Cicirelli, T. D'orazio, y A. Distanto. Target recognition by component for mobile robot navigation. *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, 15(3):281–297, 2003.
- [8] P.V.C. Hough. Method and means for recognizing complex patterns. *U.S. Patent 3069654*, 1962.
- [9] D. Kim y R. Nevatia. A method for recognition and localization of generic objects for indoor navigation. *Image and Vision Computing*, 16(11):729–743, 1998.
- [10] I. Monasterio, E. Lazkano, I. Rañó, y B. Sierra. Learning to traverse door using visual information. *Mathematics and Computer in Simulation*, 60:347–356, 2002.
- [11] O.L. Cetin y A. Erden. Improvement of an image processing system for autonomous mobile robot navigation. En *Proc. 5th Int. Conf. on Mechatronics Design and Modelling*, 2001.
- [12] S. A. Stoeter, F. L. Mauff, y N. P. Papanikolaou. Real-time door detection in cluttered environments. En *Proceeding of the 15th IEEE International Symposium on Intelligent Control (ISIC 200)*, páginas 187–191, 2000.
- [13] S. Thrun. Learning metric-topological maps for indoor mobile robot navigation. *Artificial Intelligence*, 99(1):21–71, 1998.