

SISTEMA DE VISIÓN 2D1/2. UNA APLICACIÓN EN ROBÓTICA MÓVIL

Juan Carrizo, Germán García, Humberto Secchi, Vicente Mut

Instituto de Automática – Universidad Nacional de San Juan

San Juan – Argentina

hsecchi@inaut.unsj.edu.ar

Resumen— Este trabajo presenta los resultados iniciales de una estrategia para la extracción de características de los objetos presentes en un entorno 3D, basada en visión 2D1/2, empleando una cámara de vídeo y un emisor láser. Para ello la estrategia propuesta produce una paulatina reducción de información comenzando en la imagen adquirida por el sistema de visión hasta llegar a obtener solo la información de interés. Finalmente se presentan resultados experimentales en base a una aplicación sobre un robot móvil Pioneer 2DX para la navegación en entornos desconocidos.

Palabras claves— Visión 2D1/2, robots móviles, evitar obstáculos, construcción de mapas.

2D1/2 VISION SYSTEM. AN APPLICATION ON MOBILE ROBOTIC

Keywords - 2D1/2 vision, mobile robots, obstacle avoidance, map building.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de estereovisión, como el sistema visual del ser humano, permiten obtener información de profundidad por medio de la fusión de dos escenas monoculares. En contrapartida un sistema monovisual no permite obtener información de profundidad a menos que se conozca el tamaño de los objetos para una distancia objeto-cámara conocida. Bajo este principio funciona los sistemas de visión 2D1/2. Este en particular consiste en lograr un sistema de visión en 3 dimensiones (3D) a partir de una imagen en 2D y un elemento de referencia sobre la imagen que permite obtener en forma indirecta la tercera dimensión. El empleo conjunto de una cámara de vídeo y un emisor de luz lineal láser es una forma sencilla, pero eficiente, de lograr este objetivo.

El empleo de mecanismos de visión artificial tiene grandes ventajas sobre otros sistemas sensoriales ya que, bajo procedimientos adecuados, la cantidad de información que brinda una imagen es ampliamente superior a la de cualquier otro tipo de sensor. Esta característica incrementa enormemente el campo de aplicación de estos sistemas, más aún cuando el rápido avance tecnológico permite que el procesamiento de la imagen se realice en tiempo real.

El trabajo se organiza de la siguiente forma: en la sección 2 se presentan los conceptos de visión 2D1/2. La implementación del sistema de visión se muestra en la sección 3. En la sección 4 se describe la estrategia de reducción de información y en la sección 5 se presenta una aplicación al control de un robot móvil. Finalmente, los resultados experimentales y conclusiones de este trabajo se presentan en la sección 6 y 7 respectivamente.

2. MODELO DEL SISTEMA DE VISIÓN 2D1/2

En la Figura 1 se presenta el esquema geométrico básico que describe el sistema de visión 2D1/2 desarrollado. El

referencial $(X_0Y_0Z_0)$ es solidario al robot móvil, mientras que el referencial $(X_1Y_1Z_1)$ es solidario a la cámara de vídeo y se encuentra trasladado una distancia h_v según el eje Y_0 y rotado un ángulo γ (tilt) respecto al eje X_1 . El emisor de luz láser es solidario al robot móvil y sus coordenadas son $(0, h_L, 0)$ respecto del referencial $(X_0Y_0Z_0)$.

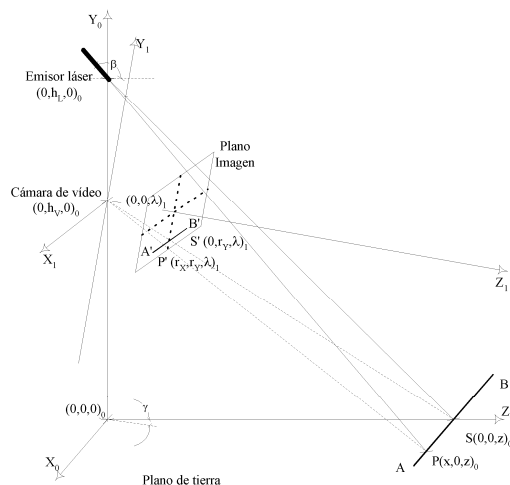


Figura 1. Geometría del sistema de visión 2D1/2.

Luego, se define como:

Plano de tierra: al plano horizontal donde el robot móvil apoya todas sus ruedas y que coincide con el plano (X_0Y_0) .

Plano de luz: al plano producido por el haz de luz del emisor láser que al interceptar al plano de tierra da por resultado un segmento de luz de longitud AB . En esta aplicación particular el emisor de luz láser proyecta un segmento de luz de longitud AB paralelo al plano imagen y paralelo al eje X_0 .

Recta de proyección: a la recta que pasa por cualquiera de los puntos del segmento AB y por el origen del referencial $(X_1Y_1Z_1)$, que permite obtener la proyección del dicho punto sobre el plano imagen.

De ahora en más la coordenada de un punto acompañada del subíndice 0 representa la coordenada de ese punto respecto del referencial $(X_0Y_0Z_0)$, mientras que acompañada del subíndice 1 representa la coordenada de ese punto respecto del referencial $(X_1Y_1Z_1)$.

En la Figura 2 se muestra el sistema de visión 2D1/2 montado en un robot móvil. Se pueden observar los accionamientos que permiten que con el haz de luz láser se pueda realizar un barrido horizontal (pan) y vertical (tilt) en forma independiente de la vídeo-cámara.

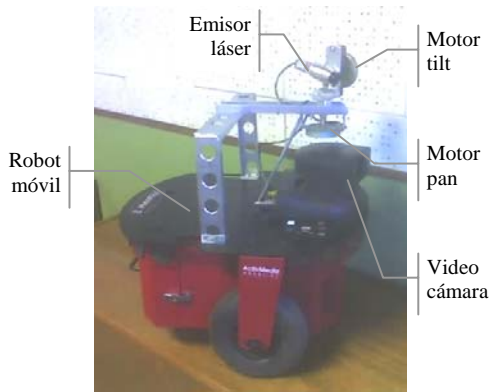


Figura 2. Sistema de visión 2D1/2.

Básicamente el sistema de visión 2D1/2 relaciona la posición que tienen en el plano imagen los puntos pertenecientes al segmento de luz cuando el plano de luz intercepta un objeto, de tal manera que al conocer las coordenadas del emisor láser $(0_0, h_{L0}, 0_0)$ y su inclinación β , las coordenadas de la cámara de vídeo $(0_0, h_{V0}, 0_0)$, su inclinación γ y su distancia focal λ es posible obtener las coordenadas (x_1, y_1, z_1) de cualquier punto del segmento de luz (Figura 3).

El procedimiento matemático para alcanzar este objetivo consta de cinco etapas bien diferenciadas:

1. Encontrar la matriz de transformación homogénea que relaciona a los referenciales del robot móvil $(X_0Y_0Z_0)$ y el referencial de la vídeo cámara $(X_1Y_1Z_1)$ entre sí.
2. Determinar la ecuación del Plano de luz láser en el referencial $(X_1Y_1Z_1)$.
3. Encontrar la ecuación de la Recta de proyección en el referencial $(X_1Y_1Z_1)$.
4. Encontrar las coordenadas, en el referencial $(X_1Y_1Z_1)$, de los puntos pertenecientes al segmento de luz como la intersección entre el Plano de luz y las Rectas de proyección.
5. Transformar las coordenadas de los puntos pertenecientes al segmento de luz desde el referencial $(X_1Y_1Z_1)$ al referencial $(X_0Y_0Z_0)$.

La transformación homogénea que vincula el referencial $(X_1Y_1Z_1)$ con el $(X_0Y_0Z_0)$ queda definida por:

$$T_0^1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\gamma) & \sin(\gamma) & h_V \\ 0 & -\sin(\gamma) & \cos(\gamma) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

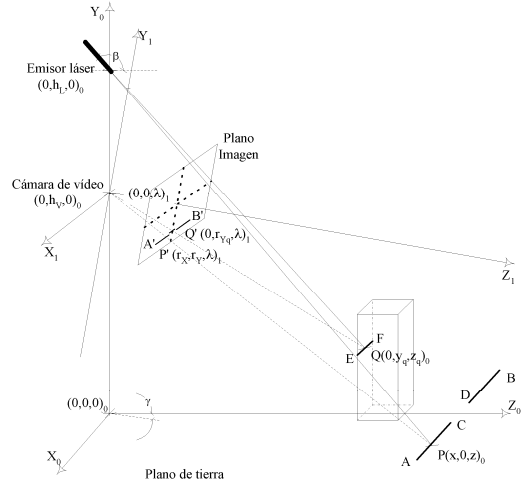


Figura 3. Transformación de la imagen en presencia de un objeto.

La ecuación del Plano de luz láser se obtiene a partir de las coordenadas $(0, y_L, z_L)_1$ del Emisor de luz láser y de la ecuación de la recta que contiene al Segmento de luz láser cuando este se proyecta completamente en el Plano de tierra. Las coordenadas del Emisor de luz láser quedan definidas por la relación

$$\begin{bmatrix} 0 \\ y_L \\ z_L \end{bmatrix}_1 = (T_0^1)^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ h_L \\ 0 \end{bmatrix}_0 \quad (2)$$

y la ecuación de la recta que contiene al Segmento de luz láser cuando se proyecta en el plano de tierra es

$$\begin{cases} y_{R1} = -h_{L0} \cdot \tan(\beta) \cdot \sin(\gamma) - h_{V0} \cdot \cos(\gamma) \\ z_{R1} = h_{L0} \cdot \tan(\beta) \cdot \cos(\gamma) - h_{V0} \cdot \sin(\gamma) \end{cases} \quad (3)$$

El punto asociado al emisor láser y la recta asociada al segmento AB determinan el plano de luz de ecuación

$$\left(\frac{z_{R1} - z_{L1}}{y_{L1} \cdot z_{R1} - z_{L1} \cdot y_{R1}} \right) \cdot y_1 - \left(\frac{y_{R1} - y_{L1}}{y_{L1} \cdot z_{R1} - z_{L1} \cdot y_{R1}} \right) \cdot z_1 = 1 \quad (4)$$

La recta de proyección que une un punto $\mathbf{P}(p_X, p_Y, p_Z)_1$ cualquiera perteneciente al segmento AB y su proyección $\mathbf{P}'(r_X, r_Y, \lambda)_1$ tiene por ecuación

$$x_1 = \frac{r_{X1}}{\lambda_1} \cdot z_1 \quad ; \quad y_1 = \frac{r_{Y1}}{\lambda_1} \cdot z_1 \quad (5)$$

La coordenada del punto $\mathbf{Q}(q_x, q_y, q_z)_1$ se obtiene como la intersección entre el plano de luz y la recta de proyección

$$\begin{aligned} q_{X1(i)} &= \left[\frac{(z_{R1} - z_{L1}) \cdot r_{Y1(i)}}{(y_{L1} \cdot z_{R1} - z_{L1} \cdot y_{R1}) \cdot r_{X1(i)}} - \frac{(y_{R1} - y_{L1}) \cdot \lambda_1}{(y_{L1} \cdot z_{R1} - z_{L1} \cdot y_{R1}) \cdot r_{X1(i)}} \right]^{-1} \\ q_{Y1(i)} &= \left[\frac{(z_{R1} - z_{L1})}{(y_{L1} \cdot z_{R1} - z_{L1} \cdot y_{R1})} - \frac{(y_{R1} - y_{L1}) \cdot r_{Y1(i)}}{(y_{L1} \cdot z_{R1} - z_{L1} \cdot y_{R1}) \cdot \lambda_1} \right]^{-1} \\ q_{Z1(i)} &= \left[\frac{(z_{R1} - z_{L1}) \cdot r_{Y1(i)}}{(y_{L1} \cdot z_{R1} - z_{L1} \cdot y_{R1}) \cdot \lambda_1} - \frac{(y_{R1} - y_{L1})}{(y_{L1} \cdot z_{R1} - z_{L1} \cdot y_{R1})} \right]^{-1} \end{aligned} \quad (6)$$

donde el subíndice i se asocia con la columna i -ésima de píxeles en el plano imagen

Finalmente, las coordenadas del punto $\mathbf{Q}(q_x, q_y, q_z)_0$ se obtienen como

$$\begin{bmatrix} q_X(i) \\ q_Y(i) \\ q_Z(i) \end{bmatrix}_0 = T_0^{-1} \cdot \begin{bmatrix} q_X(i) \\ q_Y(i) \\ q_Z(i) \end{bmatrix}_1 \quad (7)$$

3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE VISIÓN

3.1. Procesamiento de la imagen

La tecnología con la que cuenta la cámara Sony D30-31 es del tipo CCD. En este caso, la imagen digital con la que se trabaja es monocromática, debido a limitaciones en el hardware del frame grabber. Las dimensiones de la matriz son 640x512, y la magnitud de cada elemento o píxel varía entre 0 (negro) y 255 (blanco), resolución de 8 bits. Luego la señal de video que entrega la cámara es capturada y digitalizada por el frame grabber. El hardware de esta placa digitalizadora, modelo PX 500, soporta ajustes de offset y ganancia, y además tiene incorporado un módulo LUT (Look Up Table) para ajustes de contraste.

Luego con la imagen digitalizada se aplica un operador de derivada para realizar la detección de bordes. Esta función permite resaltar la zona iluminada por la luz láser. El filtro de Prewitt resultó tener un buen desempeño en esta aplicación.

A continuación se realiza una umbralización de la imagen resultante. Esta transformación permite extraer objetos de una imagen cuando las intensidades de los píxeles del objeto de interés y del entorno tienen niveles de gris agrupados en dos tonos dominantes. Luego de pasar el filtro de Prewitt sobre la imagen la línea láser queda resaltada del resto, cumpliendo con los requisitos indicados.

Una vez concluida la segmentación, se observan con frecuencia pequeños conjuntos o agrupaciones de píxeles aleatorios en blanco que no pertenecen al objeto de interés. Este efecto llamado ruido de sal y pimienta, puede ser contrarrestado mediante el uso de algún filtro promediador, en particular, el de mediana (filtro no lineal).

Se observó que la porción de luz láser que se refleja sobre el cuerpo es mucho más brillante que la que incide en el piso de la habitación, simplemente por encontrarse mejor

posicionado respecto de la cámara. Como eventualmente se tiene que elegir un único umbral para segmentar la imagen, existirán segmentos de la misma línea que quedarán mejor definidos que otros, provocando en algunas ocasiones la detección de falsos cortes en la línea. Lo que se propone para remediar esto es emplear un filtro que realce solo la zona ROI (Region Of Interest) donde se supone que está la línea de referencia (su localización se conoce de antemano), antes de pasar a la imagen binaria. Se eligió entonces un filtro de máximo para cumplir con este objetivo. Las ROI sirven para efectuar operaciones sobre una determinada porción de la imagen. Esto se adecua perfectamente a nuestras necesidades, al otorgarnos la posibilidad de incrementar el contraste en un cierto sector de la imagen sin alterar los demás píxeles y reducir los tiempos de procesamiento al no tener que trabajar con toda la imagen.

3.2. Control de inclinación y paneo de la fuente de luz

Como se observa en la Figura 2 la fuente de luz láser puede modificar su inclinación (tilt) y acompañar los cambios de dirección dados a la vídeo cámara. El hardware de control del pan y tilt de la fuente de luz consta de dos motores de paso unipolares. La secuencia de control elegida es del tipo medio paso, en esta secuencia se activan las bobinas de tal forma de brindar un movimiento igual a la mitad del paso real (0.9°).

El sistema de control asociado tiene por función gobernar todo el sistema de movimientos de los motores, que desplazan la estructura de la fuente de luz láser, y la comunicación (modo asincrónico) con el software desarrollado para control de las coordenadas desde la PC local montada en el robot móvil.

El driver de control consiste simplemente en la etapa de potencia necesaria para poder hacer interactuar los motores con el bloque de control digital que los comanda, para el caso, un microcontrolador dedicado PIC16F876. Este último no es capaz de entregar las tensiones y las corrientes necesarias para lograr el movimiento deseado en cada uno de los motores a utilizar, por cuanto, para lograr dicho objetivo se utiliza como circuito de potencia un circuito integrado estándar, el ULN2003, el cual alberga transistores en configuración Darlington de hasta 0,5A cada uno. Adicionalmente a la matriz de transistores Darlington se dispondrá de un Latch Tri-State (74HC373) con el fin de sostener la excitación de los motores y así, mantener fija parte de la estructura mecánica en un estado predeterminado.

4. ESTRATEGIA DE REDUCCIÓN DE LA INFORMACIÓN

El método de navegación basado en visión 2D1/2 emplea una técnica de reducción de información en tres etapas que permite en forma paulatina reducir cientos de datos de información a sólo dos datos: la dirección φ_d y velocidad u_d de movimiento deseadas del robot móvil. Esta paulatina reducción de datos permite, además, conservar información detallada acerca de la distribución local de los obstáculos y evitar cambios bruscos en la dirección y velocidad de movimiento. Los tres niveles de representación de datos que se pueden distinguir son:

- El nivel superior que retiene información detallada del entorno del robot. En este nivel las coordenadas (distancia y dimensión) de los obstáculos es actualizada permanentemente por el sistema de visión 2D1/2.
- En el nivel intermedio se constituye el Histograma Polar, en el cual una discretización en sectores angulares se corresponde con una magnitud en el histograma que indica la proximidad de los obstáculos (a menor distancia al obstáculo, mayor la magnitud en el histograma).
- El nivel inferior de representación de datos es la salida del sistema sensorial y es quien genera los valores de referencia para guiar al robot móvil.

4.1. Primer reducción de datos: El histograma polar

El histograma permite visualizar los sitios libres de obstáculos y se construye como una función de la distancia d medida en la dirección δ (Figura 4).

$$h_{(i)} = a - b \cdot d_{(i)} \quad (8)$$

Donde el subíndice i asocia cada columna del plano imagen con el ángulo δ , tal que

$$\delta_{(i)} = \tan^{-1}(-r_{X1(i)}, \lambda_1 \cdot \cos(\gamma)) \quad (9)$$

es la pendiente de la proyección de la recta de proyección del punto P en el plano (X_0Z_0) y

$$d_{(i)} = (q_{X0(i)}^2 + q_{Z0(i)}^2)^{1/2} \quad (10)$$

es la magnitud asociada a la proyección del punto Q_i en el plano (X_0Z_0) . Las constantes a y b son constantes de diseño que cumplen con la condición

$$a - b \cdot d_{(i)\max} = 0 \quad (11)$$

siendo

$$d_{(i)\max} = \left(\left[\frac{h_{L1} \cdot \tan(\beta - \frac{\pi}{2})}{\lambda_1 \cdot \cos(\gamma)} \cdot r_{X1(i)} \right]^2 + \left[\frac{h_{L1} \cdot \tan(\beta - \frac{\pi}{2})}{Z_{\max}} \right]^2 \right)^{1/2} \quad (12)$$

donde $x_{(i)\max}$ se obtiene por semejanza de triángulos.

En la Figura 5 se muestra una secuencia de imágenes del entorno del robot móvil en interacción con el haz de luz láser según la vídeo cámara abordo del mismo (Figura 5(a) y Figura 5(b)) y los correspondientes histogramas lineales (Figura 5(c) y Figura 5(d)). En las imágenes se puede apreciar como aumenta la distancia (en pixeles) entre el

segmento de luz láser que incide sobre el objeto y los segmentos que inciden en el plano de tierra, a medida que la distancia robot-objeto disminuye. Esto se refleja en el histograma como una significativa variación de amplitud.

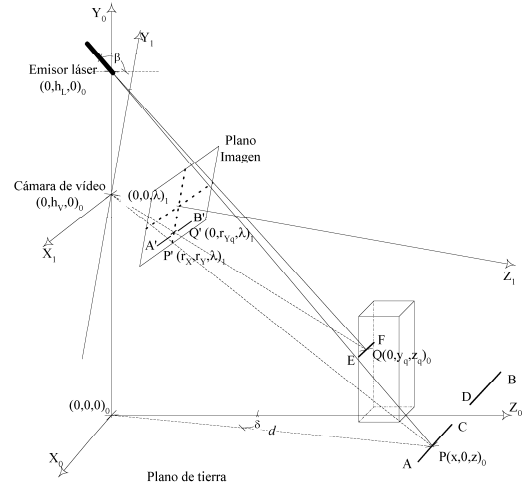


Figura 4. Proyección del rayo de proyección en el plano de tierra.

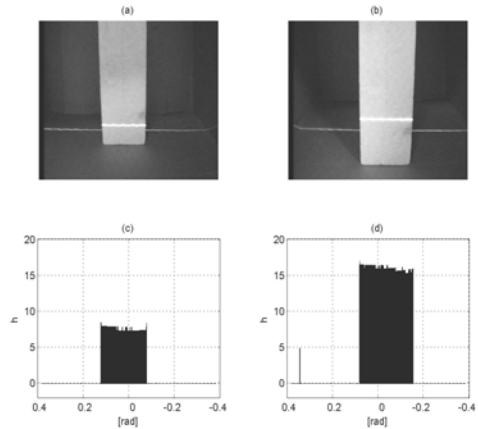


Figura 5. Diferentes imágenes de un objeto en interacción con el segmento de luz láser y sus correspondientes histogramas lineales.

4.2. Segunda reducción de datos: La generación de referencias

La segunda etapa en la reducción de datos se encarga de computar la dirección de movimiento requerida, φ_d .

Como se observa en la Figura 5, el Histograma Polar presenta zonas con montes, que indican la proximidad de un objeto, y zonas con valles, que indican la existencia de espacio libre. A su vez el histograma está acotado por la apertura de la cámara de vídeo a un valor máximo ($\pm \delta_{\max}$) simétrico respecto al centro de la vídeo cámara. Cualquier valle comprendido entre montes y/o cotas del histograma se denomina *valle candidato*. Usualmente puede existir más de un valle candidato pero sólo se considera válido a aquel valle que tenga más de N_{\min} sectores angulares consecutivos, esto se debe a que el robot en la realidad tiene dimensiones reales distintas de cero.

En caso de existir un valle candidato la dirección de navegación relativa (al centro de la imagen) se calcula como:

$$\delta_d = \frac{(\delta_{\text{sup}} + \delta_{\text{inf}})}{2} \quad (13)$$

y la dirección absoluta se calcula como:

$$\varphi_{d(k)} = \varphi_{(k)} + \delta_{d(k)} \quad (14)$$

5. UNA APLICACIÓN EN ROBÓTICA MÓVIL

La tarea que el robot móvil debe desempeñar puede plantearse de la siguiente manera: “desde cualquier posición inicial, el robot debe desplazarse en un entorno totalmente desconocido evitando los obstáculos que encuentre en su camino”. Por lo tanto queda establecido que no existe información previa del entorno.

El sistema de control permite que el robot vaya suavemente de la dirección actual a la dirección deseada regulando las velocidades lineal y angular. En este nivel el lazo de control de movimiento garantiza que se alcancen los objetivos de control. En [1] se describe, además, el análisis de estabilidad de las leyes de control del sistema de lazo cerrado y se hace una evaluación más profunda del mismo.

Las leyes de control propuestas son:

$$\begin{aligned} \omega_{(k)} &= k_1 \cdot \tanh[k_2 \cdot (\varphi_{d(k)} - \varphi_{c(k)})] \\ \omega_{(k)} &= k_1 \cdot \tanh[k_2 \cdot \delta_{d(k)}] \quad \text{con } k_1, k_2 > 0 \end{aligned} \quad (15)$$

y

$$u_{(k)} = u_0 \cdot \left[1 - \tanh\left(k_u \cdot \frac{h_{(\delta_0)}}{h_{\text{máx}}}\right) \right] \quad \text{con } k_u > 0 \quad h_{(\delta_0)} = \text{máx } h_{(121:520)} \quad (16)$$

con $u_{\text{máx}} = u_0$, k_u como una constante empírica que produce una adecuada reducción de la velocidad lineal y $h_{\text{máx}}$ como el valor máximo que puede alcanzar el histograma para una distancia robot-obstáculo mínima. Finalmente $h_{(\delta_0)}$ es el valor máximo del histograma entre las direcciones (columnas de píxeles en la imagen) 121 a 520. Estas direcciones cubren el espacio correspondiente al ancho del robot móvil, de tal manera que cualquier obstáculo presente al frente del robot provoca una reducción de la velocidad lineal inversamente proporcional a la distancia robot-obstáculo.

6. RESULTADOS EXPERIMENTALES

En el siguiente experimento se presenta la navegación de un robot móvil Pioneer 2DX por un pasillo estrecho que, además, posee curvas cerradas que dificultan el

movimiento del robot. En este contexto de restricciones se puede observar el buen desempeño del controlador y del sistema de visión 2D1/2.

En la Figura 6 se muestra el entorno por el cual navega el robot móvil. Se pretende que el robot móvil se desplace con parsimonia por este entorno evitando colisionar los obstáculos presente en su camino e identificando las zonas libres de obstáculos por las cuales puede transitar. Se observa que la zona libre de obstáculos es apenas un poco mayor que las dimensiones del robot móvil.



Figura 6. Entorno sobre el que se realizó la experiencia de laboratorio.

En la Figura 7 se observa la trayectoria descrita por el robot móvil durante la travesía en un entorno desconocido. Los puntos más claros dispersos en la imagen representan los obstáculos presentes en las proximidades del robot que se reconstruyen con la información sensorial suministrada por los sensores de ultrasonido. En dicha figura se aprecia como el robot mantiene, en todo momento, una distancia prudencial de los obstáculos que encuentra en su camino y, al mismo tiempo, logra navegar por entre obstáculos muy próximos entre sí.

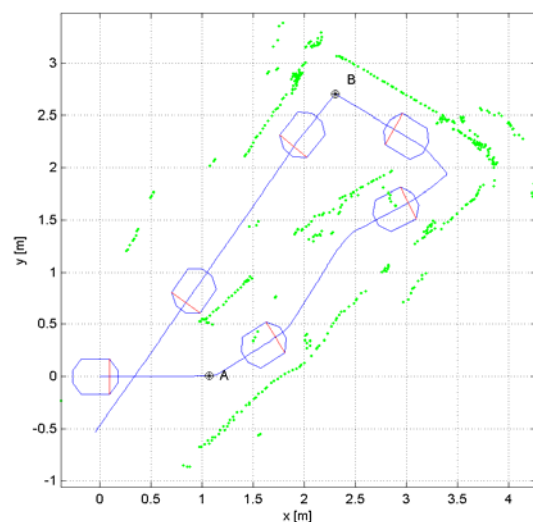


Figura 7. Trayectoria descrita por el robot móvil.

La Figura 8 y la Figura 9 muestran los histogramas polares en dos puntos de la trayectoria del robot. En la mismas gráficas se superpone la orientación deseada $\varphi_{d(k)}$ computada en ese instante de tiempo, en base a la información dada por el histograma.

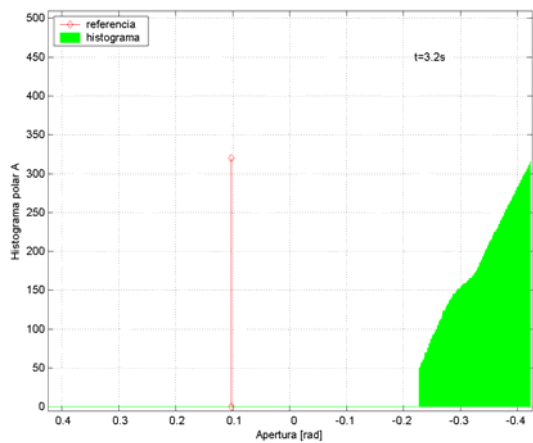


Figura 8. Histograma polar en el punto A de la trayectoria.

En la Figura 9 se observa la presencia de pequeños valles próximos entre sí. Estos se deben a cambios en la iluminación del entorno que afectan la respuesta del sensor. Si bien la información proporcionada por el histograma, a veces, puede ser fuertemente perturbada por cambios en la iluminación del entorno (Figura 9), la estrategia de reducción de datos elegida resulta ser adecuada a los efectos de detectar zonas libres de obstáculos por donde el robot móvil pueda transitar. Se verifica, por lo tanto, la robustez del conjunto sistema sensorial-estrategia de control desarrollada.

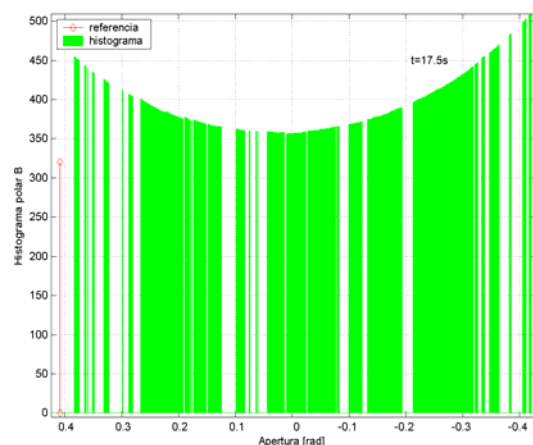


Figura 9. Histograma polar en el punto B de la trayectoria.

Los resultados experimentales están dados para los siguientes parámetros de diseño:

$$\begin{array}{llll}
 h_L=0.4 \text{ m} & \lambda=5.4 \text{ mm} & k_1=1.3\text{rad/seg} & u_0=0.2\text{m/seg} \\
 h_V=0.3 \text{ m} & \gamma=-0.62 \text{ rad} & k_2=30 & kv=6.6 \\
 \beta=2.66 \text{ rad} & h_{\text{m}\acute{\text{a}}x}=300 & T_0=0.1\text{seg} &
 \end{array}$$

7.CONCLUSIONES

En este trabajo se ha propuesto el diseño de un sistema sensorial basado en visión 2D1/2. El resultado alcanzado es beneficioso tanto en desempeño como en costos. La progresiva reducción de la información contenida en la imagen da como resultado un sistema sensorial que presenta una buena robustez frente al ruido proveniente de otras fuentes luminosas y permite un manejo sencillo de la información resultante.

En referencia a la aplicación realizada, la navegación autónoma de un robot móvil en ambientes desconocidos, esta implica la capacidad del robot para establecer su relación con el entorno de manera que el robot sea capaz de evitar los obstáculos inmediatamente después de ser detectados. Los métodos basados en campos de potencial han demostrado ser los más efectivos [2] [3] dado que son robustos a los errores de sensado y, también son sencillos de implementar, sin embargo presentan algunas limitaciones [4], en particular la dificultad para navegar entre obstáculos muy próximos entre si (por ej., para atravesar aberturas estrechas). El empleo de un sistema de visión 2D1/2 mejora el desempeño de este tipo de sistemas.

La labor hasta aquí realizada no se agota en si misma y quedan planteados algunos desafíos para futuros trabajos:

- En general, desarrollar una estrategia de reducción de datos que permita obtener un histograma dinámico del entorno que contemple la velocidad relativa entre el sensor y los objetos.
- En particular, desarrollar una algoritmos que permitan emplear la información de los histogramas para realizar la construcción de mapas del entorno.

[1] Secchi, H. Carrizo, J., y Mut, V. "Navegación de un Robot Móvil basada en Visión 2D1/2" *Proceedings CLCA 2006*.

[2] Khatib, O. "Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots" *Proceedings IEEE-ICRA*, St. Louis MO, pp 500-505 (1985).

[3] Borenstein J. y Y. Koren. "The Vector Field Histogram - Fast Obstacle Avoidance For Mobile Robots," *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 7, No 3, pp 278-288 (1991).

[4] Borenstein J. y Y. Koren, "Potential Field Methods and Their Inherent Limitations for Mobile Robot Navigation," *Proceedings of the IEEE-ICRA*, Sacramento, California, pp 1398-1404 (1991).