

Detección de caminos libres de obstáculos mediante mapas de profundidad

Autor: Nuria Ortigosa Araque

Directores: Samuel Morillas Gómez

Valery Naranjo Ornedo

Resumen

El procesado del espacio libre presente en la escena es básico para el correcto funcionamiento de muchas aplicaciones en el ámbito de la robótica y de la navegación. En este trabajo se presenta un método para realizar, en tiempo real, la detección de vías libres de obstáculos mediante el procesado de mapas de profundidad, obtenidos como producto de la disparidad entre las imágenes obtenidas de un sistema de estereovisión. El algoritmo desarrollado se basa en aproximar los valores de grupos de columnas de la cuarta parte inferior de dichos mapas a una recta, utilizando el ajuste por mínimos cuadrados. La decisión final sobre si la zona analizada es un pasillo libre o no dependerá de los valores del índice de determinación y de la pendiente de la recta ajustada en cada caso.

Abstract

The computation of free space available in an environment is an essential task for many intelligent automotive and robotic applications. This document describes a method to detect obstacle-free areas in real-time using depth maps. Depth maps are obtained processing disparity between left and right images from a stereo-vision system. The proposed algorithm finds the best-fitting first degree polynomial to the columns of the fourth bottom of the depth map, using least squares fitting. The final detection in each case depends on the correlation index and the gradient of the fitted polynomial.

Autor: Nuria Ortigosa Araque, email: nuorar@upvnet.upv.es

Directores: Samuel Morillas Gómez, email: smorillas@mat.upv.es

Valery Naranjo Ornedo, email: vnaranjo@dc.com.upv.es

Fecha de entrega: 05-12-08

ÍNDICE

I. Introducción	3
I.1. Marco contextual	3
I.2. Motivación del trabajo	4
I.3. Objetivos	4
I.4. Estado del arte	5
I.5. Organización de la memoria	6
II. Obtención de los mapas de profundidad	8
II.1. Sistema de estereovisión	8
II.2. Extracción del mapa de profundidad	8
II.3. Ejemplos de imágenes de estereovisión y de sus mapas de profundidad	9
III. Método de detección de caminos libres	11
III.1. Análisis del problema	11
III.2. Método aplicado	13
III.2.1. Ajuste de mínimos cuadrados a una recta	13
III.2.2. Algoritmo de detección de caminos libres	14
III.2.3. Parámetros a ajustar en el algoritmo	15
IV. Experimental	16
IV.1. Ajuste de los parámetros	16
IV.1.1. Parámetros de comparación	16
IV.1.2. Ajuste del número de columnas sobre el que realizar el promediado	17
IV.1.3. Ajuste del índice de determinación	18
IV.1.4. Ajuste de la pendiente de la recta de regresión	19
IV.2. Resultados	21
V. Conclusiones	27
Agradecimientos	29
Referencias	30
Apéndice I: Imágenes groundtruth utilizadas	32
Anexos	35

I. INTRODUCCIÓN

I.1. MARCO CONTEXTUAL

El presente trabajo está enmarcado en el Proyecto CASBlIP [1] (*Cognitive Aid System for Blind and Partially Sight People*) del 6º Programa Marco, cuyo objetivo consiste en el desarrollo de un prototipo capaz de interpretar y gestionar información procedente del mundo real para asistir a personas con ceguera total o parcial. El sistema reproducirá los elementos de la escena mediante mapas acústicos para ciegos totales y mediante imágenes enriquecidas para aquellas personas con ceguera parcial.

El sistema está compuesto por diversos dispositivos y sensores, todos ellos embarcados en el usuario (Fig.1):

- Un par de estéreo-cámaras que adquieren imágenes en color en tiempo real y que permiten procesar los mapas de profundidad de la escena.
- Un sensor láser CMOS que adquiere información de profundidad muy precisa en un plano acimutal.
- Un sensor de posicionamiento de la cabeza *Head Position Sensor* (HPS) que proporciona información de las coordenadas y ángulos de la cabeza del usuario.
- Un sensor inercial que proporciona información del movimiento y trayectoria del usuario *Artificial Vision System* (AVS).
- Un sistema de posicionamiento global GPS.

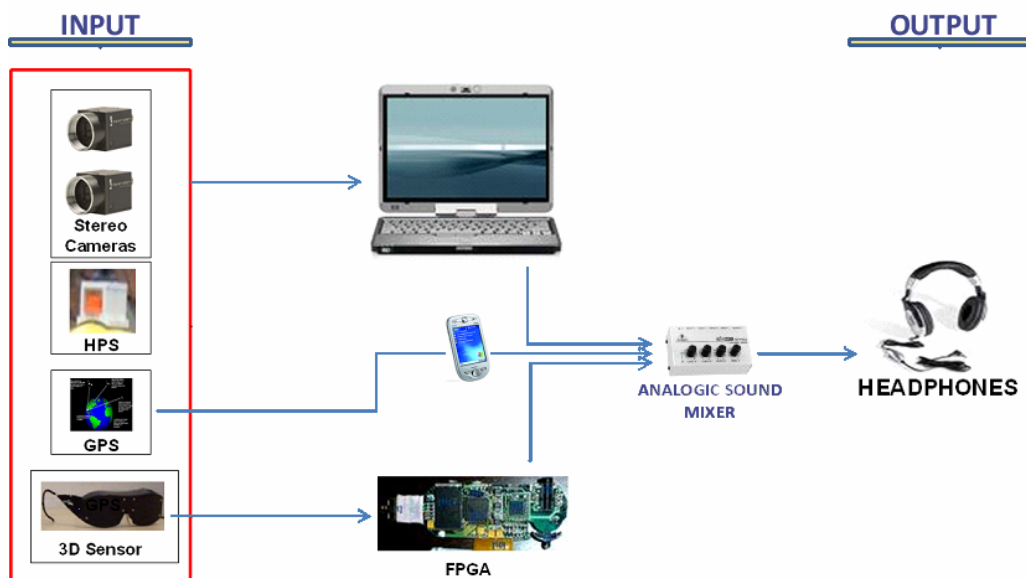


Fig.1. Esquema modular del *hardware* que compone el prototipo de CASBlIP.

La información captada por los dispositivos anteriores es procesada en dos campos claramente diferenciados, como son el subsistema de procesado de la imagen y el subsistema de sonificación.

El presente trabajo queda enmarcado en el primer subsistema, que es el encargado de proporcionar el conjunto de datos necesarios para generar los mapas acústicos que servirán de guiado para el usuario. Asimismo, los datos facilitados por el subsistema de procesado de imagen también van a poder ser utilizados para la generación de imágenes enriquecidas, utilizadas para el guiado de las personas con ceguera parcial.

1.2 MOTIVACIÓN DEL TRABAJO

Desde hace muchos años, diversos grupos de trabajo han estado trabajando en proyectos que ayuden a las personas ciegas o con visión limitada a realizar sus tareas cotidianas, así como a circular por las calles. Los hay que se han centrado en crear dispositivos que se encarguen del guiado del usuario a través de una ruta predefinida anteriormente haciendo uso de GPS [2] o bien mediante elementos similares al bastón, pero que estén formados por sensores ultrasónicos para la detección de obstáculos [3]. Por otra parte, los hay que han trabajado en detectar elementos de interés mediante técnicas de procesado de imagen, como los marcos de las puertas [4] o bien detectar determinados objetos [5] o reconocimiento de caracteres de texto [6], sonificando la información obtenida a partir de ellos.

En el caso del prototipo que nos ocupa, la generación del mapa acústico de la escena necesita de un análisis cognitivo previo capaz de filtrar aquellos elementos de la escena más relevantes para el usuario. Este proceso de análisis es desarrollado mediante técnicas de procesado de imagen que, no sólo juega un papel de extracción de información, sino que además realiza labores de fusión de dispositivos, como son la fusión con la información procedente del láser o del HPS, en un mismo paquete de datos.

1.3 OBJETIVOS

El prototipo presentado, para poder ser utilizado como un sistema de navegación para personas invidentes, debe funcionar en tiempo real. La realización de modelados 3D resulta del todo ineficiente, por lo que se decidió realizar tareas de detección de objetos directamente sobre las imágenes de estereovisión y los mapas de profundidad obtenidos tras el procesado de las mismas.

En este trabajo se realiza la detección de vías libres de obstáculos por las que un viandante puede circular sin peligro de colisión. Se requiere que el sistema desarrollado priorice la seguridad del usuario, evitando todo tipo de colisiones con objetos estáticos, en movimiento, postes, etc., además de trabajar en tiempo real y con el menor consumo de recursos posible. La detección de

objetos mediante reconocimiento de patrones requiere elevado tiempo de procesado y consumo de recursos. Es, por este motivo, que resulta más práctico para el prototipo del proyecto presentado el detectar los pasillos libres de obstáculos que realizar la detección de todos los objetos de la escena.

1.4 ESTADO DEL ARTE

El problema de la detección de objetos es un tema de actualidad y muy estudiado por la comunidad científica. La adquisición de imágenes puede hacerse por medio de cámaras convencionales, hasta pasar por estereocámaras, cámaras en el infrarrojo, etc. Todas ellas existen en el mercado y, para cada una de ellas, se puede plantear un tipo de detección diferente. Las cámaras en el infrarrojo son especialmente útiles para detección en entornos poco iluminados y con condiciones meteorológicas adversas. Sin embargo, el elevado coste de su comercialización y su necesidad de recalibración periódica (normalmente cada año), hacen difícil su inserción en el mercado. Por otro lado, las cámaras de estereovisión en la banda del visible no presentan tales ventajas frente a condiciones de iluminación adversas, pero suponen una ventaja en cuanto a precisión de los mapas de profundidad y a la menor periodicidad de calibración requerida.

Durante los últimos años, se ha estado trabajando mucho en la detección y reconocimiento de obstáculos y objetos, sobre todo en temática relacionada con robótica y navegación. Algunos de ellos trabajan directamente sobre las imágenes obtenidas de una cámara para detectar pasos de cebra y escaleras [7] o bien para la detección de viandantes [8] [9]. Otros trabajos utilizan sistemas de estereovisión para la localización y seguimiento de vehículos [10], para detección de las líneas de la carretera [11] en sistemas de navegación o en la detección y clasificación de los obstáculos presentes en la escena, dividiendo la imagen en distintas capas en las que se distribuyen los objetos según la distancia a la que se encuentren [12].

Concretamente, para el tema del cual es objeto la presente memoria, la detección de vías libres, varios autores han analizado dicho problema, trabajando directamente sobre la imagen [4] o bien trabajando con imágenes procedentes de un sistema de estereovisión. [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19].

El camino a seguir en un escenario por estar libre de obstáculos, puede obtenerse mediante el cálculo del "punto de fuga" dominante de una única imagen, obtenido tras aplicar la transformada de Hough al mapa de bordes verticales de la imagen [4]. En este caso, el "punto de fuga" indica la dirección a la que el viandante se debe dirigir para poder circular de forma segura.

Sin embargo, la mayoría de los trabajos analizados trabajan con imágenes de estereovisión ya que, en mayor o menor medida, necesitan conocer la disparidad entre ambas o bien una estimación de las profundidades.

Para determinar la ruta a seguir por un robot, se puede procesar el mapa de disparidades y, con él, obtener un mapa de costes de recorrer un determinado camino u otro [13], de modo que se decide como ruta a seguir el camino que menor coste suponga, de acuerdo al mapa anterior. También hay trabajos que realizan la detección de objetos mediante segmentación en las imágenes de estereovisión utilizando redes neuronales con las distancias entre celdas en las que divide las imágenes y entre grupos de celdas de ambas imágenes [15], decidiendo si la región pertenece a pasillo libre o no. Otra posibilidad que apuntan [18] y [19] es, a partir de las imágenes estéreo, generar *occupancy grids* (mapas de ocupación de las celdas), en las que cada una de ellas contiene un valor verosimilitud de si la región del espacio que representa la celda está ocupado o no.

A medida que la disparidad entre puntos de las imágenes de estereovisión disminuye, la distancia hasta esos puntos crece. De este modo, a partir de estas imágenes, se puede usar la suma de diferencias absolutas entre ellas para detectar las zonas libres de obstáculos [16] o calcular el "tiempo de impacto" a los objetos de la escena [14]. También se pueden ir obteniendo sucesivos mapas binarios indicativos de vía libre o no, aplicando un umbral dependiente de la distancia sobre los mapas de profundidad obtenidos por correlación de las dos imágenes estéreo [17].

A la vista de las referencias anteriores, no se han encontrado trabajos previos que utilicen los mapas de profundidad para realizar la detección de áreas libres. En el caso concreto al que hace referencia esta memoria, puesto que el algoritmo desarrollado será integrado en el prototipo final resultado del proyecto CASBliP anteriormente expuesto, es de gran importancia que todos los programas funcionen en tiempo real, debido a que los procesados se aplican a imágenes obtenidas de cámaras que el usuario ciego lleva puestas. Así, puesto que en dicho proyecto se obtienen los mapas de profundidad de la escena para poder ser sonificados y enviar esta información al usuario final, se decidió usar dichos mapas para la detección de las vías libres presentes en la escena, aprovechando así información y reduciendo tiempo de procesado.

1.5 ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA

La presente memoria se encuentra estructurada como sigue:

En el capítulo II del trabajo se realiza una breve descripción del sistema móvil de visión utilizado, así como del algoritmo empleado para la obtención de los mapas de profundidad sobre los que se realizará la detección de espacio libre, además de mostrarse algunos ejemplos de los mismos.

En el capítulo III se comenta la metodología seguida para realizar el trabajo. Se presenta el análisis del problema planteado, así como el algoritmo del método aplicado y la necesidad de realizar el ajuste de diferentes parámetros que intervienen en la detección.

En el capítulo IV se muestran los resultados del trabajo. En primer lugar se realiza el ajuste de los parámetros para mostrar finalmente los resultados obtenidos con el algoritmo de detección.

Por último, en el capítulo V se exponen las conclusiones y las líneas de trabajo futuras.

II. OBTENCIÓN DE LOS MAPAS DE PROFUNDIDAD

II.1 SISTEMA DE ESTEREOVISIÓN

El sistema de visión móvil, que portará la persona ciega sobre su cabeza, se compone de dos cámaras estéreo calibradas Firewire CCD de color (IEEE1394b), con un sensor inercial integrado, sincronizado en el tiempo con la captura de vídeo.

Las cámaras empleadas son del tipo Firewire modelo *Flea2* (FL2-03S2C-C), de la empresa *Point Gray*, debido a que proporcionan imágenes de buena calidad (0.3Mpíxels son suficientes para la aplicación) y un elevado número de frames por segundo (hasta 80fps), manteniendo un tamaño pequeño (29mm x 29mm x 30mm) que facilita la portabilidad para el usuario final. Hay cámaras de inferior tamaño a la presentada, pero ni son del tipo Firewire ni son digitales, por lo que se necesitaría un adaptador analógico-digital adicional; además de proporcionar imágenes de peor calidad y complicar la sincronización entre ambas cámaras.



Fig.2. Cámara *Flea2* del prototipo.



Fig.3. Sistema de visión integrado con las cámaras, AVS y HPS.

II.2 EXTRACCIÓN DEL MAPA DE PROFUNDIDAD

Los mapas de profundidad (*depth maps*) proporcionan información de la profundidad de los objetos obtenida mediante el cálculo de la disparidad entre el par de imágenes obtenidas mediante estereovisión (la disparidad se entiende como las diferencias que existen entre las dos imágenes en la dirección horizontal).

El algoritmo empleado para la estimación de las profundidades de la imagen se basa en programación dinámica [20], por proveer ésta resultados computacionalmente eficientes y de calidad para las imágenes de exterior en las que se enmarca el propósito de la presente tesina.

Las cámaras se calibran de modo que los parámetros de calibración externos e internos (preprocesados mediante una técnica de calibración clásica basada en gráficos [21]) se estiman y

son utilizados para la rectificación de las imágenes izquierda y derecha, la correspondencia entre las cuales se realiza minimizando una función de coste, a una tasa de 10 frames por segundo.

La función de coste a minimizar mientras se busca la coincidencia entre dos líneas escaneadas es:

$$\gamma = N_0 \kappa_0 - N_m \kappa_r + \sum_i d(x_i, y_i) \quad (1)$$

donde N_0 y N_m son el número de oclusiones y de coincidencias, respectivamente, κ_0 y κ_r son los pesos de penalización por oclusión y de aumento por coincidencia, respectivamente y la función $d(\cdot)$ mide la disimilitud entre dos píxeles x_i y y_i . Para esta medida, se utiliza una que no sea sensible al muestreo de la imagen:

$$d(x_i, y_i) = \min \left\{ \bar{d}(x_i, y_i, I_L, I_R), \bar{d}(y_i, x_i, I_R, I_L) \right\} \quad (2)$$

donde \bar{d} se define:

$$\bar{d}(x_i, y_i, I_L, I_R) = \min_{(y_i - \frac{1}{2}) \leq y \leq (y_i + \frac{1}{2})} |I_L(x_i) - \hat{I}_R(y)| \quad (3)$$

siendo $I_L(x_i)$ e $\hat{I}_R(y)$ los valores de intensidad para el valor de x_i en la línea izquierda e y en la derecha, respectivamente, e \hat{I}_R es la función interpolada linealmente entre los puntos muestreados de la línea derecha.

II.3 EJEMPLOS DE IMÁGENES DE ESTEREOVISIÓN Y DE SUS MAPAS DE PROFUNDIDAD

A continuación se muestran algunas de las imágenes de estereovisión obtenidas del sistema de visión propuesto y de los mapas de profundidad calculados a partir de las mismas. Las imágenes de la primera columna de Fig.4 corresponden a las capturas realizadas por la cámara izquierda, las imágenes de la segunda columna de la figura a las imágenes capturadas por la cámara derecha, mientras que la tercera columna de la figura corresponde a los mapas de profundidad procesados según [20] utilizando las imágenes izquierda y derecha de las columnas primera y segunda de la imagen, respectivamente.



Fig.4. Imágenes de las estereocámaras y sus correspondientes mapas de profundidad.

Cabe resaltar que el objetivo del sistema de estereovisión y de la obtención de los mapas de profundidad es realizar una segmentación en tiempo real de los objetos para realizar una detección de los mismos. De este modo, la detección de los caminos libres de obstáculos que se propone en el presente trabajo trabaja de forma paralela a lo anterior, diseñando un método que utilice la misma información que esté ya disponible para el reconocimiento y segmentación, de forma que no se incremente la carga computacional.

III. MÉTODO DE DETECCIÓN DE CAMINOS LIBRES

III.1 ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Debido a las exigencias del sistema final donde se va a incluir el método resultante de este trabajo, se debe cumplir con las especificaciones sobre el coste temporal de procesado. Por ello, se deben simplificar al máximo todos los métodos y variables que tomen parte en este subsistema. Es, por este motivo, que se decidió utilizar el mapa de profundidad que se obtiene en el funcionamiento del prototipo y no las imágenes obtenidas, como base en la que buscar la citada zona libre de obstáculos.

Analizando detenidamente dichos mapas de profundidad, se puede observar como, a medida que aumenta la profundidad, disminuye el valor del nivel de gris representado en la imagen. Además, se comprueba que los niveles de gris no varían de forma brusca (a no ser que haya objetos en la escena).

Si se representa el análisis por columnas, recorriendo desde las filas inferiores del mapa de profundidad de la imagen (Figs.5-7) hacia las filas superiores, puesto que ésta es la visión que tendrá el usuario final al llevar el prototipo (índice [0,0] situado en la esquina inferior izquierda de la imagen), se pueden observar las diferencias de comportamiento entre tres casos: existencia de pasillo, existencia de un objeto más un pasillo posterior y existencia de un pasillo inicial y, a una cierta distancia, un objeto. A continuación se muestran tres ejemplos de los casos anteriormente citados, representando para cada uno de ellos el análisis de una columna del mapa de profundidad:

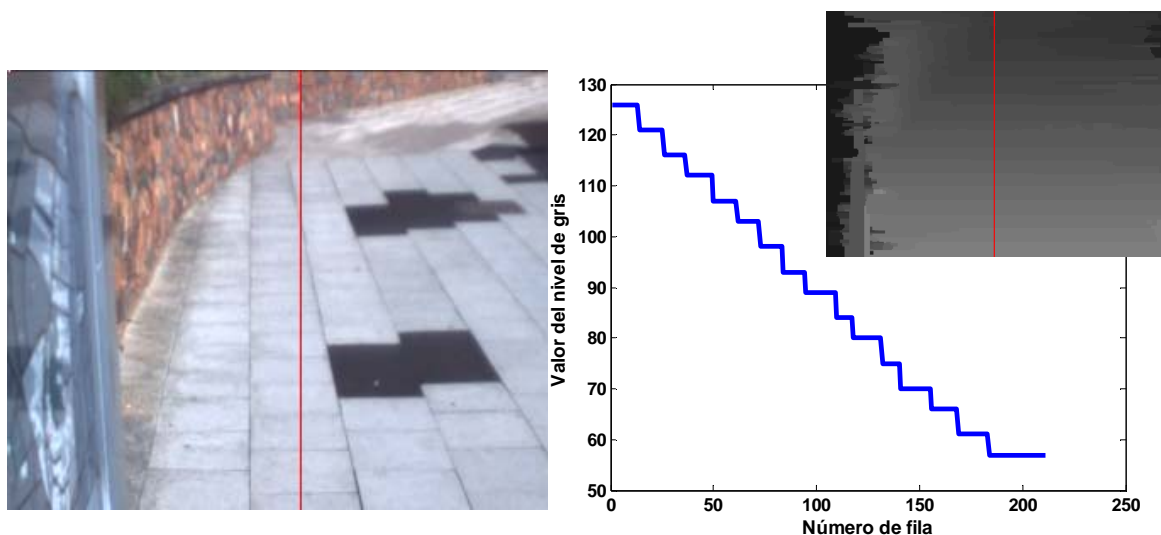


Fig.5. Imagen de pasillo libre junto con la representación de los niveles de gris de la columna resaltada en rojo en el mapa de profundidad asociado a la imagen, tomando como fila inicial la inferior de la imagen.

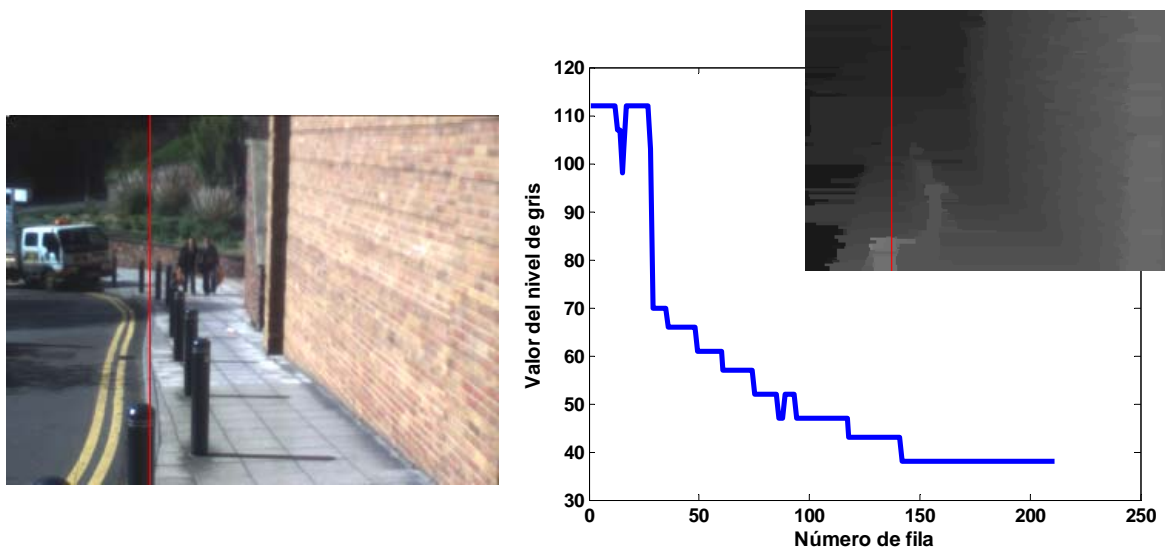


Fig.6. Imagen de objeto seguido de pasillo libre, junto con la representación de los niveles de gris de la columna resaltada en rojo en el mapa de profundidad asociado a la imagen, tomando como fila inicial la inferior de la imagen.

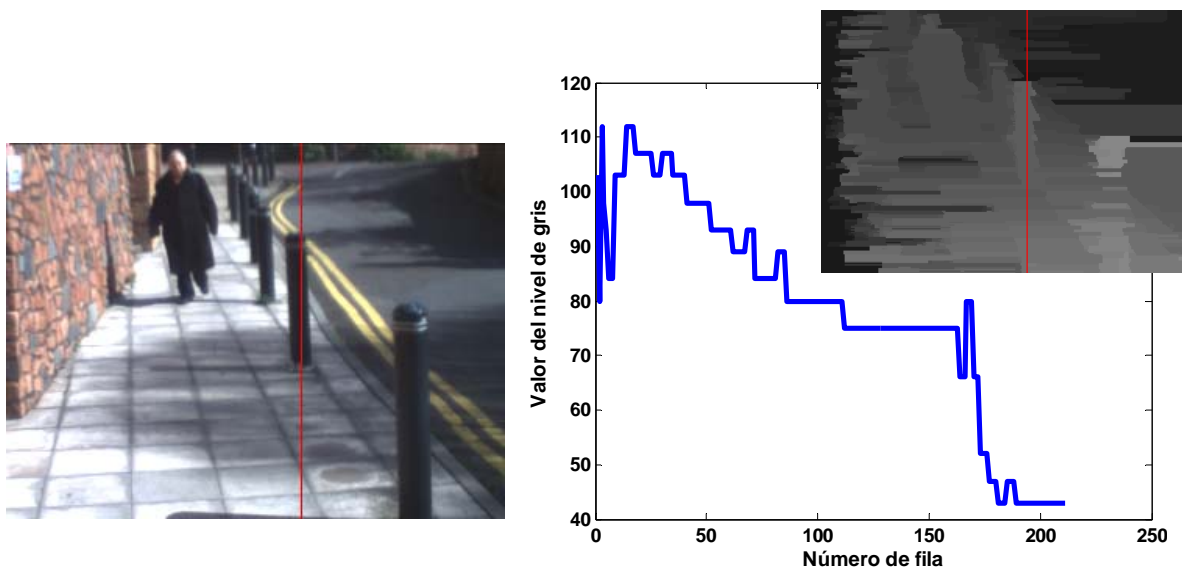


Fig.7. Imagen de pasillo libre seguido de objeto, junto con la representación de los niveles de gris de la columna resaltada en rojo en el mapa de profundidad asociado a la imagen, tomando como fila inicial la inferior de la imagen.

Debido a la aplicación final del prototipo, consistente en un sistema de navegación para viandantes, y por motivos de reducir al máximo la información a ser computada por el sistema para facilitar su funcionamiento en tiempo real, se decidió trabajar únicamente con el cuarto inferior de los mapas de profundidad que se obtengan, ya que dichos píxeles se corresponden con el suelo y objetos inmediatamente próximos al usuario, siendo éstos los que conformarán el camino que se irá indicando a medida que se vaya desplazando por la vía pública.

Como se puede observar en las figuras anteriores, en los mapas de profundidad ésta es representada mediante variaciones en los niveles de gris. En las zonas correspondientes a espacios libres de obstáculos, dichas variaciones se pueden considerar lineales, teniendo una tendencia decreciente a medida que se recorren las columnas de abajo a arriba. Es, gracias a esta observación, sobre la que se ha desarrollado el método de detección de pasillos libres explicado en el apartado *III.2* de la presente memoria.

III.2 MÉTODO APLICADO

III.2.1 Ajuste de mínimos cuadrados a una recta

A la vista de los resultados obtenidos en el apartado *III.1* de esta memoria, en los que se observa que los pasillos libres siguen una tendencia lineal decreciente a lo largo de las columnas de los mapas de profundidad, se pensó en desarrollar un método que, mediante el ajuste por mínimos cuadrados a una recta, decidiera si la zona analizada corresponde a una vía libre de obstáculos por la que se pueda circular o no.

El polinomio obtenido seguirá la forma:

$$P(x) = a_0 + a_1x \quad (4)$$

donde x es la fila y $P(x)$ es el valor del nivel de gris que indica la profundidad en dicha fila.

Para determinar los coeficientes del polinomio, se expresa matricialmente el sistema de ecuaciones lineales que se forma. Puesto que no tiene solución, se obtendrán los valores de a_0 y a_1 que minimicen el error cuadrático, definido como la suma de los cuadrados de las desviaciones entre las ordenadas de la recta en cada x_i y el valor dado s_i , siendo éstos filas y valores de profundidad, respectivamente:

$$R^2 = \sum_{i=1}^m (a_0 + a_1x_i - s_i)^2 \quad (5)$$

El problema puede resolverse analíticamente, considerando R^2 como función de dos variables a_0 y a_1 , y hallando los extremos relativos. En este caso existe un único extremo que es el mínimo buscado. Para ello, se hacen cero las derivadas parciales:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial R^2}{\partial a_0} &= 2 \sum_{i=1}^m (a_0 + a_1x_i - s_i) = 0 \\ \frac{\partial R^2}{\partial a_1} &= 2 \sum_{i=1}^m x_i (a_0 + a_1x_i - s_i) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Obteniendo así un sistema de ecuaciones lineales con dos incógnitas (ecuaciones normales), cuya solución da la recta buscada:

$$\left. \begin{aligned} ma_0 + (\sum_i x_i)a_1 &= \sum_i s_i \\ (\sum_i x_i)a_0 + (\sum_i x_i^2)a_1 &= \sum_i x_i s_i \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Las ecuaciones normales tienen, desde el punto de vista numérico, una ventaja y un inconveniente. La ventaja es que su matriz es simétrica definida positiva, lo que garantiza que puede resolverse de modo estable sin necesidad de pivotación. El inconveniente es que esta matriz puede tener un número de condición alto.

Una solución es escalar convenientemente la variable x para que sus valores sean moderados. Desplazando el origen a la media de los x_i , el sistema de ecuaciones normales resulta diagonal, lo que permite dar una fórmula explícita de los coeficientes de la recta de regresión.

El error cuadrático no es buen indicador de la aproximación, ya que depende del número de puntos y de las unidades de medida empleadas. Por este motivo, el indicador que será utilizado en el método será el llamado índice de determinación, que es un valor adimensional entre 0 y 1, de modo que, cuanto más cercano esté a 1, mejor será el ajuste:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^m (P(x_i) - \bar{s})^2}{\sum_{i=1}^m (s_i - \bar{s})^2} \quad (8)$$

donde \bar{s} es la media de las ordenadas.

III.2.2 Algoritmo de detección de caminos libres

El algoritmo del método de detección de pasillos libres presentado en esta memoria tendrá como único parámetro de entrada al programa el mapa de profundidad obtenido previamente del procesado de las imágenes izquierda y derecha del sistema de cámaras de estereovisión del prototipo.

Los pasos a seguir en dicho algoritmo son los siguientes:

- 1.- Crear una matriz con la cuarta parte inferior del mapa de profundidad.
- 2.- Realizar la media por grupos columnas de la anterior matriz, para suavizar posibles efectos de ruido en el mapa de profundidad. Será esta matriz sobre la que se realizarán los cálculos para llevar a cabo la detección.
- 3.- Para cada columna de la matriz media:
 - 3.1.- Calcular su media.
 - 3.2.- Calcular la recta de regresión de la citada columna.

3.3.- Calcular el coeficiente de determinación de correlación (I) de los valores de niveles de gris de la columna con la recta de regresión.

3.4.- Si el coeficiente de determinación de correlación procesado y el valor de la pendiente de la recta de regresión cumplen con los respectivos umbrales, esa columna media es candidata a ser pasillo libre.

4.- Para evitar falsas detecciones, se recorren los candidatos a pasillo, eliminando los que sean excesivamente pequeños, correspondientes a falsos positivos o bien a zonas libres lo suficientemente amplias como para que una persona pueda transitar por ellas, dando como resultado la detección final.

III.2.3 Parámetros a ajustar en el algoritmo

Una vez planteado el algoritmo, queda pendiente el ajuste de los parámetros usados en el mismo. Éstos son tres:

- Número de columnas del mapa de profundidad sobre las que se hará la media para suavizar los efectos producidos por el ruido en éste.
- Valor del umbral del índice de determinación de correlación I que determina la distinción entre las zonas consideradas como pasillo libre y las zonas que no lo son.
- Valor del umbral considerado para la pendiente de la recta de regresión, que debe ser negativo por la tendencia lineal decreciente de los niveles de gris en las zonas libres de obstáculos. Tras un primer análisis experimental, se comprobó que era necesaria su utilización para poder descartar candidatos a vía libre con valores del coeficiente de correlación dentro del margen considerado como pasillo pero que no cumplen con los valores de pendiente adecuados para considerarse pasillo libre.

IV. EXPERIMENTAL

IV.1 AJUSTE DE LOS PARÁMETROS

Para realizar el ajuste de los parámetros que se utilizarán como umbrales para comprobar si los valores analizados corresponden a una vía libre de obstáculos o no, se realizaron pruebas con distintas imágenes, tomadas en diferentes secuencias con diferentes escenarios, con diferentes luminosidades y con diferentes calidades en los mapas de profundidad usados. Se hicieron manualmente las imágenes *groundtruth* de los cuartos inferiores de las anteriores imágenes, en las que se marcó, píxel a píxel, si éste correspondía a pasillo o no, de modo que se podían comparar las prestaciones del algoritmo en cada caso con la verdadera detección que se debería realizar. Dichas imágenes se pueden encontrar en el Apéndice I de la presente memoria.

IV.1.1 Parámetros de comparación

Atendiendo a trabajos presentados por otros autores, los parámetros más comúnmente utilizados para analizar las prestaciones del método con cada una de las imágenes *groundtruth*, son los siguientes:

- TP (*True positives*): predicción de pasillo realizada correctamente.
- TN (*True negatives*): predicción de no existencia de pasillo realizada correctamente.
- FP (*False positives*): predicción de pasillo cuando no existe en la realidad.
- FN (*False negatives*): predicción de no existencia de pasillo cuando sí existe realmente.
- ACC (*Accuracy*): exactitud en la predicción. Corresponde al número de aciertos totales.

$$ACC = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (9)$$

- P (*Precision*): indica, de las detecciones positivas, cuántas son realmente correctas.

$$P = \frac{TP}{TP + FP} \quad (10)$$

- R (*Recall*): indica cuántas han sido las detecciones positivas del total de la imagen.

$$R = \frac{TP}{TP + FN} \quad (11)$$

- SPC (*Specifity*): indica de las detecciones negativas, cuáles realmente no corresponden a pasillo.

$$SPC = \frac{TN}{FP + TN} \quad (12)$$

Debido a la aplicación final que tendrá el algoritmo presentado en esta memoria, es de total necesidad evitar los falsos positivos (detección como vía libre de una zona que realmente no lo es), ya que éstos podrían ocasionar que el usuario ciego chocara contra objetos de la calle. Por este motivo, la optimización de los parámetros involucrados en el algoritmo tratará de minimizar al máximo los mismos, centrándose pues en maximizar los valores de *Precision* y *Accuracy*.

Tras unas primeras pruebas, se decidió elaborar otra métrica que se encargara de medir las prestaciones de ambos parámetros de interés conjuntamente. Por ello, se definió la variable *PACC*, como la media de los valores *Precision* y *Accuracy*, tratándose de maximizar para el conjunto de imágenes empleado (maximizando así el número de aciertos en la detección).

$$PACC = \frac{P + ACC}{2} \quad (13)$$

Los resultados procedentes de la comparativa serán presentados en forma de gráficos, tablas y resultados visuales, en los que el análisis subjetivo también presenta un papel importante.

IV.1.2 Ajuste del número de columnas sobre el que realizar el promediado

Tras observar diversos mapas de profundidad de distintas secuencias tomadas en diferentes escenarios, con diferente luminosidad, etc. se comprobó que realizar el método procesando directamente las columnas del mapa de profundidad, tenía el inconveniente del ruido que aparece en dichos mapas. Conforme baja la calidad de los mismos (para poder ser computados más rápidamente), el nivel de ruido empeora y, con ello, la calidad del método de detección.

Por este motivo, se decidió, en lugar de trabajar directamente sobre las columnas del mapa de profundidad, trabajar sobre la matriz resultante de ponderar grupos de columnas, haciendo la media de los píxeles de sus filas. De este modo, por un lado se suaviza el ruido del mapa de profundidad y, por otro, se reduce a la cuarta parte el número de columnas a las que se aplicará el método para llevar a cabo la detección.

Para ajustar este parámetro, se ejecutó el algoritmo variando el número de columnas sobre el que se hacía la ponderación, de 1 a 15, con cada una de las imágenes *groundtruth*. De cada una de las imágenes, se tomó como óptima aquella agrupación de columnas que maximizaba el valor del parámetro *PACC*. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

<i>Nº de imagen</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Nº de columnas óptimo</i>	14	4	5	15	15
<i>Valor de PACC para el óptimo</i>	0,79644	0,78076	0,99253	0,81417	0,92031
<i>Nº de imagen</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
<i>Nº de columnas óptimo</i>	4	15	4	4	14
<i>Valor de PACC para el óptimo</i>	0,7566	0,8369	0,70258	0,94986	0,89964
<i>Nº de imagen</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>
<i>Nº de columnas óptimo</i>	4	3	3	4	4
<i>Valor de PACC para el óptimo</i>	0,92616	0,82405	0,95448	0,84299	0,91523

Tabla 1: Resultados en el ajuste del número de columnas a ponderar.

Los resultados se hallan divididos entre valores de promediado de alrededor de 4 columnas, y de valores alrededor de 14-15 columnas. Analizando las imágenes, los valores elevados corresponden a mapas de profundidad con mucho ruido o bien con imágenes que tienen grandes zonas de vías libres (veáse imágenes 1, 4, 7 y 10 del Anexo I). Sin embargo, para la mayoría de las imágenes, como no se sabe a priori si van a tener muchos pasillos libres de obstáculos o no, el número óptimo de columnas a promediar se sitúa en 4. De este modo, el rendimiento del algoritmo empeora ligeramente en las zonas libres grandes o en las que se generan mapas de profundidad ruidosos frente a ponderar un mayor número de columnas, pero esta disminución del rendimiento permite seguir detectando, al menos, una vía libre en caso de existir; de forma que el rendimiento sería sensiblemente menor si se tomara un gran número de columnas a ponderar, para la mayoría de los casos.

IV.1.3 Ajuste del índice de determinación

El segundo parámetro a ajustar fue el valor de índice de determinación a partir del cual, para valores superiores, se pasa a considerar la zona como una vía libre. Para ello, se realizaron barridos en los que se ejecutaba el algoritmo y se realizaba la detección, variando el umbral del índice de determinación de correlación desde 0.25 hasta 0.99, en pasos de 0.01.

Una vez hecho esto, los resultados procedentes de cada una de las detecciones pasaban a ser comparados con los positivos de las imágenes *groundtruth*, realizando el cálculo de los parámetros de comparación.

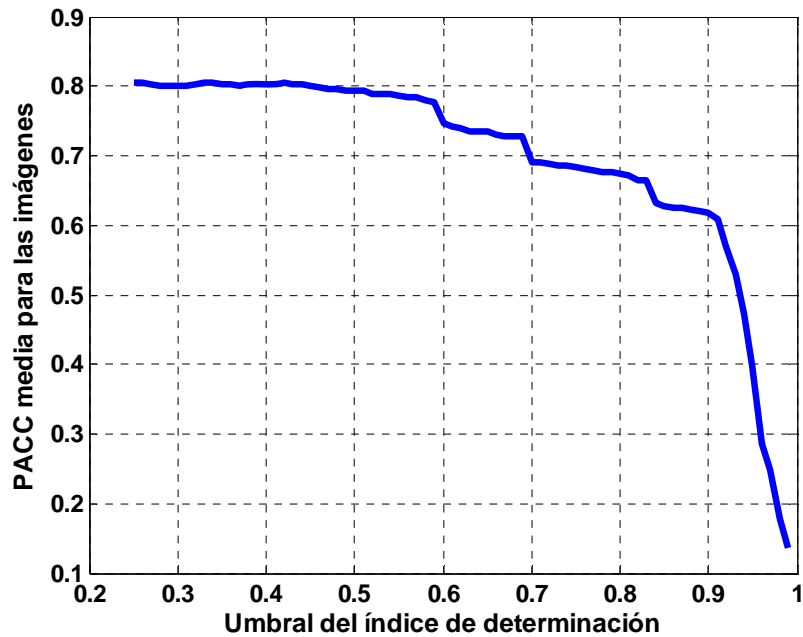


Fig.8. Representación de PACC media para las 15 imágenes de prueba, variando el umbral utilizado para el índice de determinación entre 0.25 y 0.99.

A la vista de la gráfica, el umbral óptimo para el índice de determinación es **0.4**, para el cual la medida de PACC media alcanza su valor máximo, 0.8064. De este modo, se descartarán los candidatos a camino libre cuyo índice de determinación sea inferior a 0.4.

Realizando varios estudios se comprobó que, pese a ser un valor relativamente bajo del índice de determinación para ser utilizado como umbral (puesto que los valores del índice de determinación que indican una correlación muy elevada oscilan entre 0.8 y 1), se conseguían detectar un mayor número de vías libres siendo un poco permisivo con la medida del ajuste de los puntos a la recta de regresión, evitando así falsos negativos por la presencia de ruido en los mapas de profundidad. Para evitar falsos positivos, se hacía necesario utilizar otro umbral, en este caso la pendiente de la recta de regresión, de forma que, utilizado conjuntamente con el anterior, los resultados finales mejoraban.

IV.1.4 Ajuste de la pendiente de la recta de regresión

Una vez ajustado el umbral del índice de determinación, se realizó el estudio para obtener el umbral óptimo a utilizar para la pendiente de la recta de regresión.

Como ya se mencionó anteriormente, los pasillos libres siguen una tendencia lineal decreciente en los mapas de profundidad. Se podría pensar que, simplemente quedándonos con las pendientes negativas de las rectas, ya sería suficiente. Sin embargo, se comprobó que, debido a los efectos del

ruido en los mapas de profundidad (efecto que se puede observar en la Fig.9), es posible que se obtuvieran falsos negativos operando así.



Fig.9. A la derecha se muestra el mapa de profundidad y la zona que podría ser detectada como pasillo, sin serlo, en caso de colocar el umbral de la pendiente de la recta de regresión en 0. A la izquierda se muestra la escena a la que corresponde el mapa de profundidad.

Por ello, se realizaron estudios en los que se fue variando el umbral utilizado para la pendiente desde valores muy negativos hasta positivos, (en concreto, para la representación de Fig.10 los valores van desde -3 hasta 1, en pasos de 0.01).

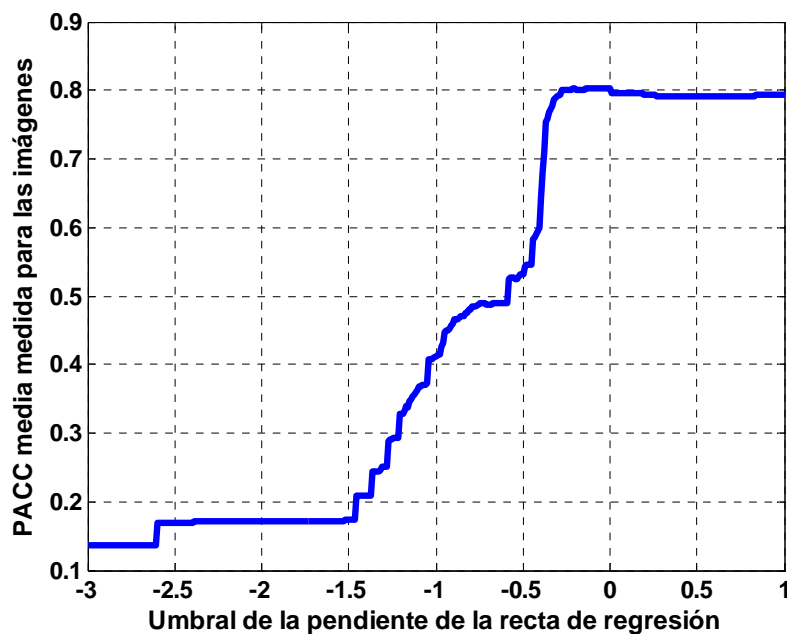


Fig.10. Representación de PACC media para las 15 imágenes de prueba, variando el umbral utilizado para la pendiente de la recta de regresión entre -3 y 1.

A la vista de la gráfica, el umbral óptimo para la pendiente de la recta de regresión es **-0.2**, para el cual la medida de PACC media alcanza su valor máximo, 0.81. De este modo, los candidatos a pasillo libre de obstáculos cuya recta de regresión tenga una pendiente superior a -0.2 serán descartados.

En la siguiente figura (Fig.11), se muestra cómo el umbral es el adecuado para la detección de pasillos.

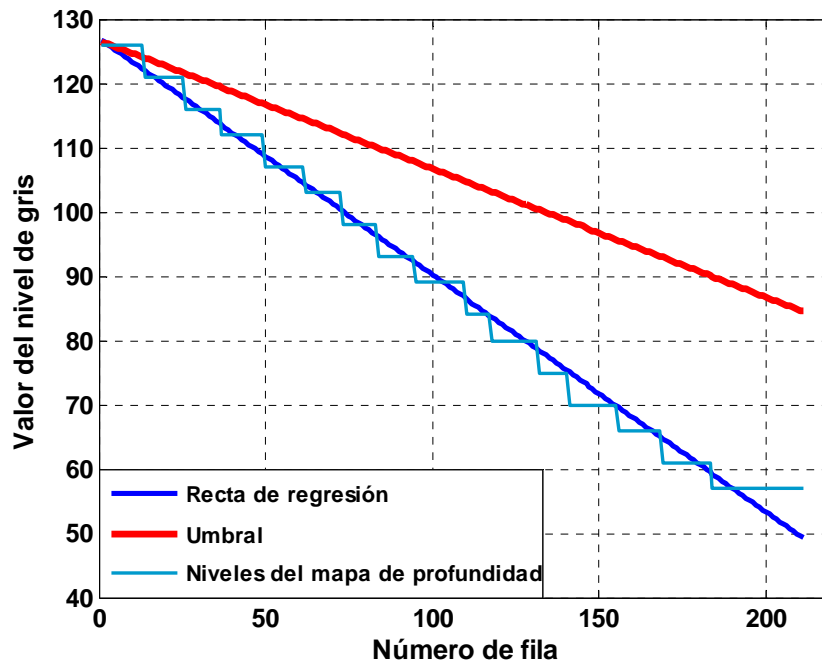


Fig.11. Representación de un la recta de regresión de un pasillo (junto con los puntos a los que se ajusta) y del umbral para la pendiente.

IV.2. RESULTADOS

En la siguiente tabla, se muestran los resultados obtenidos para los distintos parámetros de comparación, para un número de imágenes igual a 15 (ordenadas según orden de aparición en el Apéndice I), analizando el cuarto inferior de dichas imágenes (60x320 píxeles):

Número de imagen	TP	TN	FP	FN	P	ACC	R	SPC	PACC
1	9780	560	0	8860	1	0,53854	0,52468	1	0,76927
2	9170	1632	10	8388	0,9989	0,5626	0,52227	0,99391	0,78076
3	13740	4213	0	1247	1	0,93505	0,91679	1	0,96753
4	3660	699	0	14841	1	0,22703	0,19783	1	0,61352
5	11340	0	0	7860	1	0,59062	0,59062	0	0,79531
6	7271	5397	1249	5283	0,8534	0,65979	0,57918	0,81207	0,7566
7	9553	458	1127	8062	0,8945	0,52141	0,54232	0,28896	0,70794
8	4380	3399	0	11421	1	0,40516	0,2772	1	0,70258
9	9920	7127	280	1873	0,9726	0,88786	0,84118	0,9622	0,93021
10	12286	222	254	6438	0,9797	0,65146	0,65616	0,46639	0,8156
11	6589	11550	671	390	0,9076	0,94474	0,94412	0,94509	0,92616
12	4270	10886	2510	1534	0,6298	0,78938	0,7357	0,81263	0,70958
13	5886	11578	1674	62	0,7786	0,90958	0,98958	0,87368	0,84408
14	7020	6151	0	6029	1	0,68599	0,53797	1	0,84299
15	9180	6765	0	3255	1	0,83047	0,73824	1	0,91523

Tabla 2: Factores de mérito del algoritmo con algunas imágenes.

A la vista de los resultados obtenidos y, observando las imágenes a las que corresponden los resultados, se puede observar como, cuanto más claro es el patrón en los mapas de profundidad (menos ruido tienen éstos), mejores resultados se obtienen (mayores valores para *Precision* y *Accuracy*). Por ejemplo, en las siguientes imágenes, se puede observar como la detección no se realiza correctamente en las zonas con franjas negras que interrumpen y cortan el patrón (Fig.12, correspondiente a la imagen 4 del Apéndice I), así como en los bordes izquierdos de los mapas de profundidad (debido a la propia implementación de estos) (Fig.13, correspondiente a la imagen 8 del Apéndice I). Para casos como el de la imagen 8, esto no ocasiona grandes problemas para la integración final del algoritmo en el prototipo, puesto que éste sólo ha de especificar si existe pasillo en la escena o no y, en caso de haber más de uno, decir cuál es el de mayor tamaño para evitar enviar demasiadas señales acústicas al usuario final.



Fig.12. Mapa de profundidad y detección realizada en caso de ser éste muy ruidoso.



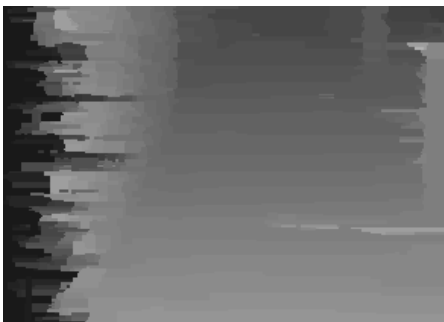
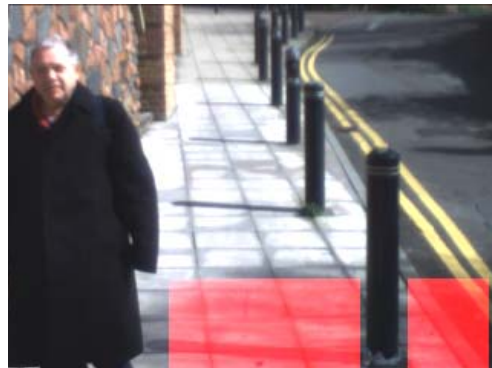
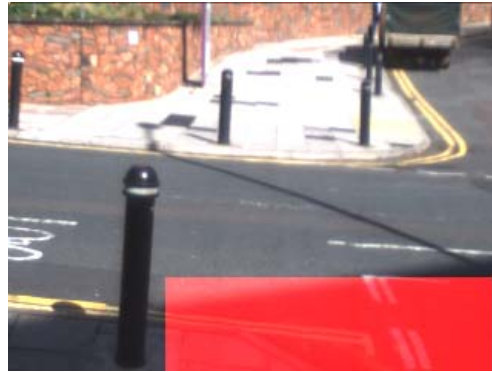
Fig.13. Mapa de profundidad en el que los bordes negros en el margen izquierdo son bastante notables y detección realizada en ese caso.

Además, la calidad de los mapas de profundidad también depende de la iluminación presente en la escena cuando las imágenes de estereovisión son captadas. Por ejemplo, para la imagen 5, la detección se realiza correctamente en la zona iluminada, teniendo problemas para realizarse correctamente en la zona de sombra (Fig. 14).



Fig.14. Mapa de profundidad en el que se puede observar los efectos de la iluminación sobre él y detección realizada en ese caso.

A continuación se muestran algunos mapas de profundidad sobre los que se ha aplicado el método presentado en este trabajo, junto con la representación de la detección en las imágenes reales correspondientes en color rojo:



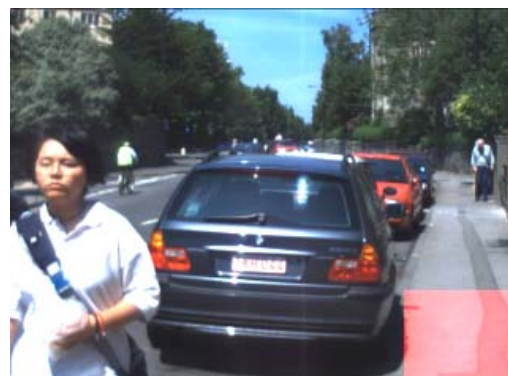




Fig.15. Mapas de profundidad y las respectivas detecciones de camino libre indicadas en color rojo sobre la imagen de la escena real.

A la vista de los resultados obtenidos en las anteriores imágenes, el método detecta generalmente de forma correcta las vías libres de obstáculos. El rendimiento de las prestaciones del mismo no es del 100%, pero, visualmente, se ha mostrado como los resultados son bastante satisfactorios.

En casos como el de la novena escena de la Fig.15, se han producido algunos falsos positivos sobre el límite del coche con el camino libre. Éstos se deben al ruido en los mapas de profundidad, que hace que, en las zonas cercanas a los bordes de las imágenes, se den variaciones en los niveles de gris de la imagen, coincidiendo en algún caso con el patrón seguido en el método de detección presentado en esta memoria. Sin embargo, estos falsos positivos corresponden a zonas muy pequeñas de la imagen, limítrofes con un área libre de obstáculos y, por la finalidad del prototipo en el que el método va a ser integrado, es de suponer que el usuario final decidirá caminar hacia la dirección central de la zona que se le indique como vía libre, no hacia los extremos de dicha zona.

V. CONCLUSIONES

Este trabajo queda enmarcado dentro del Proyecto Europeo CASBliP, del 6º Programa Marco. La finalidad del mismo es la de desarrollar un sistema capaz de interpretar y gestionar información del mundo real procedente de distintas fuentes para asistir a personas con ceguera total o parcial en entornos abiertos. El sistema se compone de un par de estereocámaras, un sensor láser CMOS, un sistema de posicionamiento de la cabeza *Head Position Sensor* (HPS), un sistema inercial *Artificial Vision System* (AVS) y un *Global Positioning System* (GPS). En concreto, en la presente memoria se describe el desarrollo de un algoritmo cuyo objetivo es la detección de los pasillos libres de obstáculos en la escena.

La primera tarea que se realizó para desarrollar el método de detección fue el estudio de la viabilidad de aplicar métodos ya existentes. Por este motivo, se hizo un estado del arte sobre la detección de áreas libres. Se vio que los métodos actuales se encontraban enmarcados en las áreas de robótica y de navegación y que muchos de ellos trabajaban con imágenes procedentes de sistemas de estereovisión, pero no que trabajaran con los mapas de profundidad. Además, debido a las especificaciones del prototipo final donde debía incluirse, el algoritmo debía trabajar en tiempo real, teniendo como entradas imágenes tomadas sobre un sujeto en movimiento. Por este motivo, se decidió desarrollar el algoritmo presentado en esta memoria.

El algoritmo expuesto se basa en la búsqueda de variaciones lineales de los niveles de gris indicativos de la distancia en los mapas de profundidad obtenidos a partir de imágenes estereoscópicas. Estas variaciones lineales corresponden a zonas de pasillos libres de obstáculos o áreas libres. De este modo, se busca la recta que aproxima, por mínimos cuadrados, la nube de puntos de los niveles de gris que ajustan la misma, tomando como parámetros de decisión el valor del índice de determinación y la pendiente de la recta.

En esta memoria se han presentado los resultados obtenidos en la detección, tras haber optimizado los valores correspondientes a los umbrales utilizados en la clasificación de las zonas analizadas. Dichos resultados, muestran unos valores de rendimiento aceptables, además de ser obtenidos en tiempo real. También se puede observar como, a medida que la calidad de los mapas de profundidad mejora (con menor nivel de ruido) las prestaciones del algoritmo mejoran. Sin embargo, el método es claramente dependiente de las condiciones de luz con las que las imágenes de estereovisión son captadas, de modo que en escenarios con escasa luz las prestaciones del mismo empeoran.

Como trabajo futuro a desarrollar se presenta el mejorar las prestaciones del algoritmo sin incrementar el tiempo de procesado, así como independizar al máximo los resultados obtenidos de las condiciones externas. Además, es conveniente realizar la detección con coherencia temporal, debido a que el algoritmo trabajará sobre secuencias que se obtienen en tiempo real. También cabe

la posibilidad de realizar un análisis de las texturas del suelo sobre las imágenes de la escena, para diferenciar, dentro de las zonas libres de obstáculos, áreas correspondientes a asfalto de calles y carreteras de las áreas correspondientes a aceras y vías para peatones.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo queda enmarcado dentro del Proyecto Europeo CASBlIP (*Cognitive Aid System for Blind and Partially Sight People*) del 6º Programa Marco, no. 027083 FP6-2004-IST-4.

En primer lugar, me gustaría dar las gracias a mis directores de tesina, Samuel Morillas y Valery Naranjo, por su atención y su ayuda en el desarrollo de este trabajo. Especialmente, me gustaría dar las gracias a Samuel, por sus explicaciones y por el tiempo que me ha dedicado estos meses, así como agradecer a Guillermo Peris la oportunidad que me ha dado de formar parte del Centro de Investigación en Tecnologías Gráficas.

Agradecer también a mi familia su apoyo, así como a mis amigos los buenos momentos compartidos juntos.

Finalmente, pero no por ello menos importante, me gustaría dar las gracias a Alberto por ser mi apoyo, por tener siempre palabras de ánimo, por estar junto a mí en todo momento, por su cariño incondicional y por ser una persona tan especial.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Página web del proyecto CASBlIP: www.casblip.upv.es
- [2] J.M. Loomis, R.G. Golledge, R.L. Klatzky. *Navigation System for the Blind: Auditory Display Modes and Guidance*. Presence, Vol.7, No.2, April 1998, pp. 193-203.
- [3] I. Ulrich, J. Borenstein. *The GuideCane – Applying Mobile Robot Technologies to Assist the Visually Impaired*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics; Part A: Systems and Humans, Vol. 31, No. 2, March 2001, pp. 131-136.
- [4] M. Snaith, D. Lee, P. Probert. *A low-cost system using sparse vision for navigation in the urban environment*. Image and Vision Computing, Vol. 16, No.4, April 1998, pp. 225-233.
- [5] N. Molton, S. Se, J.M. Brady, D. Lee, P. Probert. *A Stereo Vision-Based Aid for the Visually Impaired*. Image and Vision Computing. Vol. 16, No.4, April 1998, pp. 251-263.
- [6] P.D. Picton, M.D. Capp. *Relaying scene information to the blind via sound using cartoon depth maps*. Image and Vision Computing, Vol. 26, 2008, pp. 570-577.
- [7] S. Se, M. Brady. *Road feature detection and estimation*. Machine Vision and Applications, Vol. 14, No.3, July 2003, pp. 157-165.
- [8] S.J. Krotosky, M.M. Trivedi. *On Color-, Infrared-, and Multimodal-Stereo Approaches to Pedestrian Detection*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.8, No.4, December 2007, pp. 619-629.
- [9] N. Dalal, B. Triggs. *Histograms of Oriented Gradients for Human Detection*. Proceedings of IEEE Conference Computer Vision and Pattern Recognition, San Diego (USA), June 2005, pp. 886-893.
- [10] M. Bertozzi, A. Broggi, A. Fascioli, S. Nichele. *Stereo Vision-based Vehicle Detection*. Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Dearborn MI (USA), October 2000, pp. 39-44.
- [11] M. Bertozzi, A. Broggi. *GOLD: A parallel Real-Time Stereo Vision System for Generic Obstacle and Lane Detection*. IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 7, No. 1, January 1998, pp. 62-81.
- [12] Y. Huang, S. Fu, C. Thompson. *Stereovision-Based Object Segmentation for Automotive Applications*. EURASIP Journal on Applied Signal Processing, Vol. 2005, No.14, August 2005, pp. 2322-2329.
- [13] M. Vergauwen, M. Pollefeys, L. Van Gool. *A stereo vision system for support of planetary surface exploration*. Machine Vision and Applications, Vol. 14, No.1, April 2003, pp. 5-14.
- [14] E. Grosso, M. Tistarelli. *Active/Dynamic Stereo Vision*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.17, No.9, September 1995, pp. 868-879.
- [15] C. Caraffi, S. Cattani, P. Grisleri. *Off-road Path and Obstacle Detection using Decision Networks and Stereo Vision*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.8, 2007, pp. 607-618.
- [16] T. H. Nguyen, J.S. Nguyen, D.M. Pham, H.T. Nguyen. *Real-Time Obstacle Detection for an Autonomous Wheelchair Using Stereoscopic Cameras*. Conf. Proceedings IEEE Eng. Med. Biol. Soc., Vol. 2007, pp. 4775-4778.
- [17] U. Franke, A. Joos. *Real-time Stereo Vision for Urban Traffic Scene Understanding*. Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, October 2000, pp. 273-278.
- [18] H. Badino, R. Mester, T. Vaudrey, U. Franke. *Stereo-based Free Space Computation in Complex Traffic Scenarios*. IEEE Southwest Symposium on Image Analysis&Interpretation, 2008, pp. 189-192.

- [19]H. Badino, U. Franke, R. Mester. *Free Space Computation Using Stochastic Occupancy Grids and Dynamic Programming*. Workshop on Dynamical Vision, ICCV, Rio de Janeiro (Brazil), October 2007.
- [20]S. Birchfield, C. Tomasi. *Depth Discontinuities by Pixel-to-Pixel Stereo*. International Journal of Computer Vision, Vol. 35, No.3, 1999, pp. 269-293.
- [21]Z. Zang. *Determining the epipolar geometry and its uncertainty: A review*. International Journal of Computer Vision, Vol.27, No.2, 1998, pp. 161-195.

APÉNDICE I: IMÁGENES GROUNDTRUTH UTILIZADAS





ANEXOS

- [1] *A Multiple Sensors Prototype for Visually Impaired Subjects Mobility Assistance Using Sound Map Generation*. Nuria Ortigosa Araque, Xianghua Xie, Sion Hannuna, Majid Mirmehdi, Oscar Casanova Gonzalez, Ludwig Listl, Alessio Meloni, Francesco Rossetti, Antonio Francisco Rodriguez Hernandez, Neill Campbell, Jose Luis Gonzalez Mora, Anton Schick, Lorenzo Scalise, Samuel Morillas Gomez, Carlos Merino, Larisa Dunai, Enrique Burunat, Miguel Torres, Giovanni Ciaffoni, Hans Kaltwasser, Giovanni Cellucci, Victor Santiago Praderas, Cristian Modrono, Enrico Primo Tomasini, Guillermo Peris-Fajarnés. *Póster. LivingAll European Conference, 15 Enero 2009, Valencia*.

Abstract

We present a Mobility Assistance prototype currently in the final stages of development to assist visually impaired (VI) users during outdoor navigation. The prototype aims to sonificate to the user the presence of obstacles and free paths by the use of 3 sensing systems: an optical laser distance meter, a stereo-camera and a GPS-inertial system.

The prototype comprises a portable laptop with a pair of cameras for stereo input, a CMOS time of flight sensor, and a GPS sensor fused with an inertial sensor interfaced to a PDA and enabled to vocalise navigation maps to the user. Data from the sensors are processed to enable a sonification module to generate a 3D sound map of the obstacles and moving objects detected. The GPS and inertial positioning information are provided to the VI user by means of specially developed vocalising software to allow the use of commercial navigation software.

- [2] *Acoustical Navigation System for Visual Impaired People*. Xianghua Xie, Sion Hannuna, Majid Mirmehdi, Oscar Casanova Gonzalez, Ludwig Listl, Alessio Meloni, Francesco Rossetti, Antonio Francisco Rodriguez Hernandez, Neill Campbell, Jose Luis Gonzalez Mora, Anton Schick, Lorenzo Scalise, Nuria Ortigosa Araque, Samuel Morillas Gomez, Carlos Merino, Larisa Dunai, Enrique Burunat, Miguel Torres, Giovanni Ciaffoni, Hans Kaltwasser, Giovanni Cellucci, Victor Santiago Praderas, Cristian Modrono, Enrico Primo Tomasini, Guillermo Peris-Fajarnés. *Conferencia. LivingAll European Conference, 15 Enero 2009, Valencia*.

Abstract

In the present paper, a portable prototype capable to transform 3D environmental information into an acoustic stimulus is described. The device implements a methodology for simulating that a series of sounds, in a virtual way, are radiated by the user's surrounding objects, sounds which are capable to carry on accurate spatial information. The main goal is to generate in the user a correct perception of virtual sound sources emitting from the object's surfaces, which aims to allow the brain to create a three-dimensional perceptual image of those objects as in the real world. Using these ideas, it is aimed to create a global perception of the sound, enabling visual impaired people, on real-time, to perceive and get a global image of the surrounding environment and the way the objects are organized. Initial results are presented here which show that, using this sensory substitution modality, both blind and sighted users can both detect and localize objects present in their close field of view, and even to give an estimation of their volume and form.

----- Original Message -----

From: [Sonia García](#)

To: ladu@upv.es

Sent: Tuesday, November 04, 2008 11:02 AM

Subject: LivingAll European conference

Estimada Larisa Dunai,

Vuestro abstract **A multiple sensors prototype for visually impaired people** ha sido seleccionado para participar en la conferencia como un poster.

Debido al gran número de abstracts que hemos recibido, nos ha resultado imposible aceptar todas las propuestas de presentaciones. Por favor, decidme si estáis interesados en participar con un poster con esta presentación.

Un saludo,

Sonia

----- Original Message -----

From: [Sonia Garcia](#)

To: ladu@upv.es

Sent: Tuesday, November 04, 2008 10:33 AM

Subject: LivingAll European Conference

Dear Larisa Dunai,

I am pleased to inform you that your abstract **Acoustical Navigation System for Visual Impaired People** has been selected to participate in the LivingAll European conference in Valencia on 15-16 January 2009.

Due to the high number of abstract received for the LivingAll European conference, we have made some changes in the preliminary conference programme with the aim to count with the most interesting presentations. In the next weeks, I will send further information with the concrete date of your presentation and of other presentations selected. Please, send me a pdf copy of your presentations before the 15th December 2009, because we are going to include in the documents of the conference a CD with all the presentations. The length of your presentation should be of 15 minutes (we will be very strict regarding the length of the presentations).

You can find attached the new programme of the conference and the registration form. For further information about registration, please contact administracion@sociosanitarias.com

I look forward to meeting you in Valencia.

Best Regards.

Sonia Garcia