

XXVIII CONVOCATORIA DE PREMIOS

“INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN”



Universidad
de Alcalá



colegio oficial
asociación española
ingenieros de telecomunicación

Proyecto Fin de Carrera

Sistema de Odometría Visual para la Mejora del Posicionamiento Global de un Vehículo

Autor:

Roberto García García

Director:

Dr. Miguel Ángel Sotelo Vázquez

Escuela Politécnica Superior

Universidad de Alcalá

2007

1. Resumen

1.1. Origen de la investigación

En los últimos años, el uso de sistemas basados en visión artificial se ha convertido en un elemento clave dentro de la investigación y desarrollo de los Sistemas Inteligentes de Transporte y de los Vehículos Inteligentes en particular; entre otras razones por caracterizarse por una mayor velocidad y un menor coste que otro tipo de sensores comunes en el mundo de la Robótica, como son los basados en ondas de radio, LASERs y ultrasonidos.

A su vez, una estimación precisa de la posición global de un vehículo es una cuestión clave, tanto para el desarrollo de buenos sistemas de asistencia al conductor, como para alcanzar una navegación autónoma. En definitiva, el desarrollo de un sistema robusto de visión que estime el movimiento de un vehículo sin conocimiento previo del entorno, constituye un reto para los investigadores especializados en el campo de los Vehículos Inteligentes.

A este tipo de sistemas se les conoce como sistemas de *odometría visual*, por analogía con los clásicos sensores de odometría que utilizan datos provenientes de los encoders de las ruedas de los robots. Es decir, se puede definir la odometría visual como el proceso mediante el cual se determina la posición y la orientación de una cámara o de un sistema de cámaras mediante el análisis de una secuencia de imágenes adquiridas, sin ningún conocimiento previo del entorno. Como el movimiento del sistema de cámaras es solidario con el movimiento del vehículo, a esta técnica también se le conoce como “ego-motion” (movimiento propio).

1.2. Objetivos

En la actualidad, es factible la implementación de este tipo de métodos en sistemas basados en PC estándar. Sin embargo, todavía existen cuestiones abiertas que constituyen un reto para alcanzar una estimación altamente robusta del movimiento propio seguido por un vehículo en condiciones reales de tráfico. Estas cuestiones se resumen a continuación:

1. Se deben detectar objetos *estacionarios* que se tomarán como referencia. El sistema debe ser capaz de rechazar puntos no estacionarios, y así evitar una estimación incorrecta del movimiento. Por lo tanto, la selección de puntos de interés o características es crítica.
2. La información contenida en las escenas de tráfico puede dividirse en puntos de interés pertenecientes a la calzada y puntos de interés de fondo (“background”). Las calzadas se caracterizan por pocos puntos de interés (marcas viales) o incluso ningún punto en el caso de calzadas sin marcas. Por el contrario, el fondo de la escena en general contiene multitud de puntos de interés, sobre todo en tramos urbanos (vehículos aparcados, árboles, edificios ...). Es clave la elección del algoritmo de extracción de puntos de interés y son necesarias técnicas de emparejamiento (“matching”) robusto para evitar emparejamientos falsos que produzcan por una parte una mala reconstrucción tridimensional del sistema estéreo y por otra un “tracking” o seguimiento de puntos erróneo.

3. Las escenas de tráfico suelen contener una gran cantidad de puntos caracterizados por una falsa información (“outliers”). Entre esta información destacan los puntos pertenecientes a objetos no estacionarios como vehículos en movimiento y peatones. Todos estos objetos producen falsas medidas para el algoritmo de odometría visual. Entre las soluciones a este problema destacan dos: emplear alguna estrategia de rechazo de “outliers” (como el algoritmo RANSAC) o estudiar el movimiento de los puntos de interés usando modelos probabilísticos que permitan desechar dichos objetos no estacionarios.

En definitiva, en este trabajo se pretende diseñar e implementar un sistema de odometría visual que permita resolver las anteriores cuestiones y estimar de forma robusta la trayectoria descrita por el vehículo en su movimiento. Para ello, se utilizarán secuencias reales de tráfico grabadas utilizando un par estéreo de cámaras de vídeo embarcado en un automóvil. Además es deseable que el sistema sea capaz de procesar los datos en tiempo real, pensando en una futura aplicación comercial.

1.3. Desarrollo

En este proyecto se implementa un sistema para el cálculo del movimiento propio de un vehículo mediante un método basado en visión estereoscópica. Se hace uso de un par estéreo de cámaras para disponer en cada instante de información tridimensional de la escena. Más concretamente, se utilizan las cámaras de bajo coste Fire-i 400 de Unibrain [1]. Las cámaras se fijan a una estructura que las mantiene alineadas y conectadas en serie, de manera que se utiliza un único cable para conectarlas al ordenador portátil que adquiere los datos. En la parte posterior de la estructura, se ha incorporado una ventosa para fijar la estructura a la parte interna del cristal delantero del vehículo (ver figura 1).



Figura 1: (a) Estructura estéreo. (b) Estructura estéreo colocada en un vehículo.

El proceso de adquisición de las imágenes es muy importante para un sistema de visión artificial, ya que es la fuente de toda la información que posteriormente se va a procesar.

La adquisición debe ser lo más eficiente posible para que el procesamiento de las imágenes disponga del mayor número de recursos y así alcanzar el objetivo de ejecución en tiempo real. Por otro lado, unas imágenes sin distorsión, con buen contraste y resolución deben ser el punto de partida para extraer la máxima información significativa y reducir el número de malas detecciones. En este proyecto, se utilizan imágenes adquiridas a una velocidad de 30 frames/segundo, en escala de grises y con una resolución de 320×240 píxeles. En la figura 2 se muestra el diagrama de flujo de ejecución del sistema.



Figura 2: Diagrama del algoritmo de odometría visual.

Por cada imagen adquirida, se extrae un conjunto de puntos con alta información (puntos de interés). En este proyecto se utiliza un detector de esquinas de Harris puesto que se ha demostrado que consigue detecciones estables frente a distorsiones moderadas en la imagen ([2] y [3]). Los procesos de selección y de seguimiento de dichos puntos de interés son aspectos clave en el sistema desarrollado. Por esta razón, se ha optimizado el tamaño de las ventanas de búsqueda buscando un compromiso entre robustez y tiempo de ejecución.

Para disponer de información tridimensional de la escena, se realiza un emparejamiento de puntos entre cada par de imágenes estéreo disponibles tras cada adquisición. Este método, conocido como “matching” estéreo, utiliza la teoría de la geometría epipolar [4] para minimizar el número de emparejamientos erróneos. A continuación, dichos puntos se emparejan entre pares de imágenes consecutivas, para que se detecte el movimiento relativo recorrido por el vehículo entre ambos instantes de adquisición. Este proceso se conoce como “matching temporal” o seguimiento de puntos. En la figura 3 se muestra un ejemplo en el que se visualizan ambos procesos de emparejamiento, tanto estéreo como temporal.

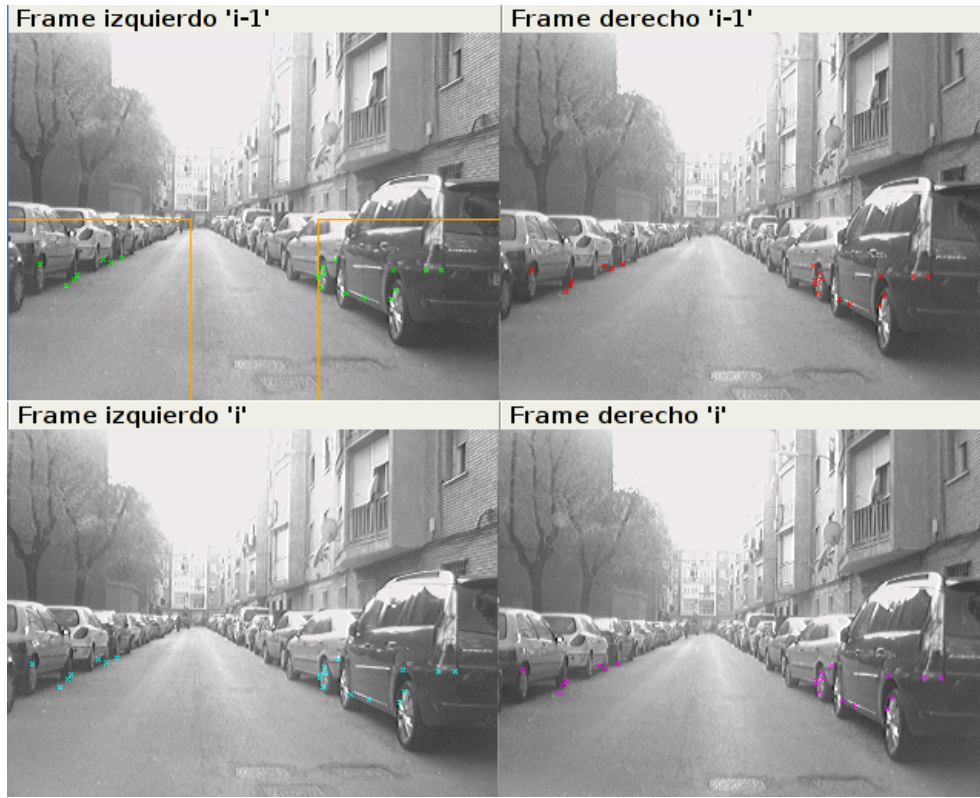


Figura 3: Ejemplo de emparejamiento de puntos entre las imágenes actual (' i ') y precedente (' $i - 1$ ').

El movimiento relativo viene descrito por un modelo no lineal función de los tres ángulos de rotación y de las tres componentes del vector de traslación $\mathbf{T}_{i-1,i}$. Para las imágenes consecutivas actual y precedente (superíndices ' i ' e ' $i - 1$ ', respectivamente) se tiene:

$$\begin{pmatrix} {}^i x_j \\ {}^i y_j \\ {}^i z_j \end{pmatrix} = \mathbf{R}_{i-1,i} \begin{pmatrix} {}^{i-1} x_j \\ {}^{i-1} y_j \\ {}^{i-1} z_j \end{pmatrix} + \mathbf{T}_{i-1,i}; \quad j = 1, \dots, N \quad (1)$$

siendo:

$$\mathbf{T}_{i-1,i} = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{pmatrix} \quad (2)$$

y

$$\mathbf{R}_{i-1,i} = \begin{pmatrix} c_{ycz} & s_{xsysz} + c_{xsz} & -c_{xsysz} + s_{xsz} \\ -c_{ysz} & -s_{xsysz} + c_{xcz} & c_{xsysz} + s_{xcz} \\ s_y & -s_{xcy} & c_{xcy} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

donde $c_i = \cos\theta_i$ y $s_i = \sin\theta_i$ para $i = x, y, z$. Los ángulos θ_x , θ_y y θ_z son los ángulos de rotación sobre los ejes x , y y z ("pitch", "yaw" y "roll", respectivamente) y N es el número de puntos candidatos.

Al expresar la matriz de rotación $R_{i-1,i}$ en función de los tres ángulos de rotación, se obliga a que el método de regresión que estima el movimiento sea no lineal. Por ello, se utiliza el método conocido como *mínimos cuadrados no lineales* complementado con el algoritmo *RANSAC* (RANdom SAMple Consensus) que aporta robustez a la estimación ([5] y [6]). Esta técnica iterativa es capaz de ignorar un gran número de “outliers” o puntos falsos que se encuentran en escenas reales de tráfico (ver figura 4).



Figura 4: Ejemplo de outliers rechazados por el método RANSAC.

Como última etapa del algoritmo, se realiza un post-procesamiento de los datos, consistente en un descarte inteligente de estimaciones parciales siguiendo dos criterios: un alto error cuadrático medio y estimaciones con ángulos de rotación sin sentido físico. Este aspecto es clave puesto que estimaciones falsas provocan un error acumulativo elevado.

Para nuestro problema, la *trayectoria* es el conjunto de puntos que representan en cada instante de muestreo la posición de la cámara con respecto a un sistema de referencia inercial estacionario cuyo origen de coordenadas es la posición de la cámara en el instante inicial. En definitiva, nuestro sistema partiendo de la posición global del vehículo en el instante inicial (que se podría conocer utilizando un sistema GPS) va actualizando en cada instante de muestreo la posición y la orientación del vehículo (utilizando la estimación de los parámetros que caracterizan el movimiento relativo entre frames consecutivos). Esto permite ir representando la trayectoria recorrida por el vehículo en tiempo real.

Se han implementado dos versiones del sistema de odometría visual. La primera proporciona trayectorias bidimensionales, estimándose únicamente un ángulo de rotación, el ángulo “yaw” o θ_y . Con la segunda versión, se obtienen trayectorias tridimensionales, ya que se estiman también los ángulos “pitch” y “roll” (θ_x y θ_z).

Con respecto a las herramientas de programación, el algoritmo (selección de puntos candidatos) se implementó en lenguaje C, utilizándose funciones de la librería de código abierto de visión artificial OpenCV (*Open Computer Vision Library*) en su versión 0.9.7 [7].

1.4. Conclusiones

Se han realizado experimentos con escenas reales de tráfico urbano (velocidades inferiores a 50 km/h) sin ningún conocimiento previo ni del entorno ni del movimiento del vehículo. Los resultados son altamente satisfactorios puesto que el sistema es capaz de proporcionar trayectorias que se aproximan con bastante precisión a las trayectorias reales realizadas con el vehículo de prueba.

Los resultados muestran que el sistema de odometría bidimensional está capacitado para diferenciar tramos rectos de curvas y estimar perfectamente el sentido de giro (a derechas o a izquierdas). Pese a la incertidumbre en la estimación de la profundidad de los puntos, las distancias estimadas se acercan bastante a las distancias reales recorridas. Esta incertidumbre es especialmente crítica para puntos de interés más alejados de la cámara, ya que no causan mucha variación en la posición en la imagen reproyectada. Además, los tiempos de ejecución demuestran que el sistema potencialmente funciona en tiempo real.

Respecto a la versión tridimensional, se ha comprobado la dificultad que representa para los sistemas de odometría visual la estimación de los ángulos θ_x y θ_z (“pitch” y “roll” respectivamente). La dificultad se debe fundamentalmente a que en un movimiento normal de un vehículo se produce poca variación de estos ángulos, lo que implica una variación mínima (difícil de apreciar) en la imagen 2D proyectada. Al no ser capaz el sistema tridimensional de estimar correctamente los ángulos “pitch” y “roll”, *el sistema bidimensional sería el elegido en una futura implementación comercial del sistema*. De hecho, en la actualidad los sistemas de odometría visual o ego-motion descritos en artículos académicos únicamente producen trayectorias bidimensionales.

En cuanto a las *futuras mejoras*, se podría desarrollar un mecanismo de clasificación de puntos que permitiese descartar puntos no estacionarios antes de comenzar la estimación. Para ello, se podría desarrollar un modelo probabilístico que ponderase cada punto con una probabilidad de que dicho punto fuese estático.

De estos puntos no estacionarios, los más comunes son los peatones y los vehículos en movimiento. Por lo que se podría utilizar información de otros sistemas basados en visión como detección de peatones o ACC (basado en detección de vehículos) que se están desarrollando o refinando en el grupo de investigación de Vehículos Inteligentes de la Universidad de Alcalá.

Debe marcarse como uno de los objetivos para futuros desarrollos, la mejora de la estimación en los giros del vehículo (ángulo “yaw”) para conseguir obtener una trayectoria de bucle cerrado. Puesto que el sistema se caracteriza por un error acumulativo, se tiene pensado evaluar estrategias que permitan disminuir esa deriva a largo plazo.

2. Originalidad

Para conseguir un sistema de odometría visual que proporcione unos resultados con precisión elevada es necesario utilizar algoritmos de estimación robusta altamente complejos, que provocan un coste computacional lo suficientemente elevado como para impedir su funcionamiento en *tiempo real*. Por esta razón, en la actualidad *no existe* en el mercado *sistema comercial* alguno de odometría visual aplicado a Vehículos Inteligentes.

El desarrollo de métodos de *odometría visual*, ha supuesto y supone actualmente un reto para los investigadores dentro del campo de la Visión Artificial. Este interés ha generado una serie de publicaciones en revistas y congresos especializados. Con objeto de resaltar las aportaciones que realiza este proyecto, se describen las principales características del estado del arte en este tipo de sistemas.

La idea de estimar desplazamientos a partir imágenes usando visión estereoscópica ha sido previamente expuesta en [8] y [9]. En el primer artículo se propone una solución teórica al problema pero sin aportar resultados que muestren la capacidad de implementación del método en tiempo real. En el segundo, se presenta un sistema de odometría visual utilizando un sistema monocular o un sistema estéreo. La versión monocular debe ser mejorada para alcanzar resultados en tiempo real. Por su parte, el sistema estéreo funciona en tiempo real con bajo retardo. Eso sí, debido a la gran carga computacional, se limitó la velocidad de adquisición a 13 imágenes por segundo.

En [10] se presenta un sistema para localizar robots móviles en entornos exteriores que funciona en tiempo real. El sistema utiliza un par estéreo de cámaras, junto con sensores de navegación de bajo coste para realizar una estimación robusta del movimiento. El desarrollo y las pruebas se realizaron con robots móviles, no con vehículos comerciales como en nuestro caso.

Los dos robots gemelos de exploración de Marte (MER -.Mars Exploration Rovers.-) propiedad de la NASA, el Spirit y el Opportunity incorporan un sistema de odometría visual [11] que ha sido una herramienta muy efectiva para mantener la seguridad del vehículo cuando éste navega sobre obstáculos cercanos o a través pendientes, asegurando una adquisición de imágenes científicas segura. La mejora en el conocimiento de la posición proporciona más capacidad autónoma al robot y mejor retorno científico durante las operaciones planetarias. Sin embargo, el sistema de odometría visual no se utiliza en todo el trayecto puesto que cada paso requiere 2-3 minutos de cálculo en la CPU utilizada. Esto provoca que se utilice únicamente en trayectos relativamente cortos (típicamente menos de 15 m) para corregir los errores del sistema de odometría clásico, que ocurren cuando las ruedas pierden tracción en grandes rocas y pendientes excesivas.

A continuación, se enumeran las contribuciones originales aportadas por este proyecto fin de carrera, en cada uno de los procesos que forman parte del algoritmo implementado:

1. La búsqueda de puntos de interés (esquinas de Harris) se restringe a un par de regiones rectangulares localizadas en ambos laterales de la imagen por debajo de la línea del horizonte. De esta forma, se favorece la selección de puntos estacionarios, evitando

tomar un gran número de puntos falsos correspondientes a vehículos que preceden al nuestro. A su vez, esta estrategia favorece la elección de puntos de la escena cercanos al par de cámaras, donde la incertidumbre en la obtención de la profundidad es menor.

2. Se ha realizado una exhaustiva experimentación para seleccionar los parámetros y la región de búsqueda del emparejamiento de puntos de interés en los procesos de “matching” estéreo y temporal. La región de búsqueda es una ventana rectangular cuyas dimensiones se han optimizado para alcanzar un compromiso entre el tiempo de ejecución y la minimización de errores. Dichas dimensiones se han adaptado a la máxima velocidad que debiera alcanzar el vehículo en zonas urbanas (50 km/h). Este aspecto es clave, puesto que se debe minimizar las dimensiones de la ventana para evitar que los procesos de emparejamiento se conviertan en el cuello de botella del algoritmo.
3. Se presenta un algoritmo robusto de estimación del movimiento del vehículo basado en un método de regresión no lineal complementado con el método RANSAC, que permite ignorar un gran número de “outliers” que forman parte de las escenas de tráfico. Una vez más, con el objetivo de minimizar la carga computacional, se ha realizado una selección empírica de los parámetros que caracterizan este método iterativo.
4. Como última etapa del algoritmo, se implementa un post-procesamiento que realiza un descarte inteligente de estimaciones parciales erróneas. Se siguen los criterios de alto error cuadrático medio y estimaciones con ángulos de rotación sin sentido físico. Esta es una contribución destacable de este trabajo, ya que se disminuye considerablemente el error acumulativo total.

Con respecto al sistema global, los experimentos realizados con escenas de tráfico urbano real y utilizando un vehículo comercial son muy satisfactorios. En la literatura, como se ha citado anteriormente, únicamente se han realizado pruebas con robots móviles, siendo las restricciones temporales sensiblemente inferiores, ya que su velocidad es muy inferior a la alcanzada con un vehículo comercial. Además, el trabajo presentado está capacitado para funcionar en tiempo real para unas velocidades de adquisición mayores que las presentadas en los artículos citados (30 imágenes/s frente a las 13 imágenes/s de [9]). Por ello, se puede afirmar que el sistema descrito tiene una destacable relevancia dentro del estado actual de los métodos de odometría visual dentro de la línea de investigación de Vehículos Inteligentes.

3. Resultados

Los resultados del sistema implementado se presentan para secuencias de imágenes estéreo grabadas en Alcalá de Henares (Madrid) sin conocimiento previo del entorno o del movimiento. Todas ellas se grabaron bajo condiciones de tráfico real en un entorno urbano.

En primer lugar, las figuras 5, 6 y 7 muestran las trayectorias “a vista de pájaro” estimadas por el sistema de odometría bidimensional junto con el movimiento real descrito por el vehículo o “ground truth” (tomado de [12]). Como se dijo anteriormente, el sistema bidimensional estima únicamente el ángulo de giro o ángulo *yaw*. Por su parte, en la figura 8 se muestra la trayectoria 3D correspondiente a una de las secuencias grabadas obtenida por el sistema de odometría visual tridimensional. En este caso, el sistema estima los tres ángulos de rotación. Las gráficas se dibujan con dos colores para diferenciar los tramos rectos, en rojo; de las curvas, en color azul. En la tabla 1 se reflejan los datos relevantes relativos a los resultados obtenidos.

Cabe señalar que pese a la incertidumbre en la estimación de la profundidad de los puntos que caracteriza al sistema (sobre todo para puntos de interés que están más alejados de la cámara), las distancias estimadas se acercan con una precisión aceptable a las distancias reales recorridas. Las gráficas muestran que la versión bidimensional tiene capacidad para discriminar tramos rectos de tramos curvos, además de estimar correctamente el sentido de giro. Para las tres secuencias 2D, se desechan un número de estimaciones por debajo del 20 % y el sistema puede funcionar en tiempo real, al ser el tiempo de ejecución del algoritmo menor que la duración del vídeo.

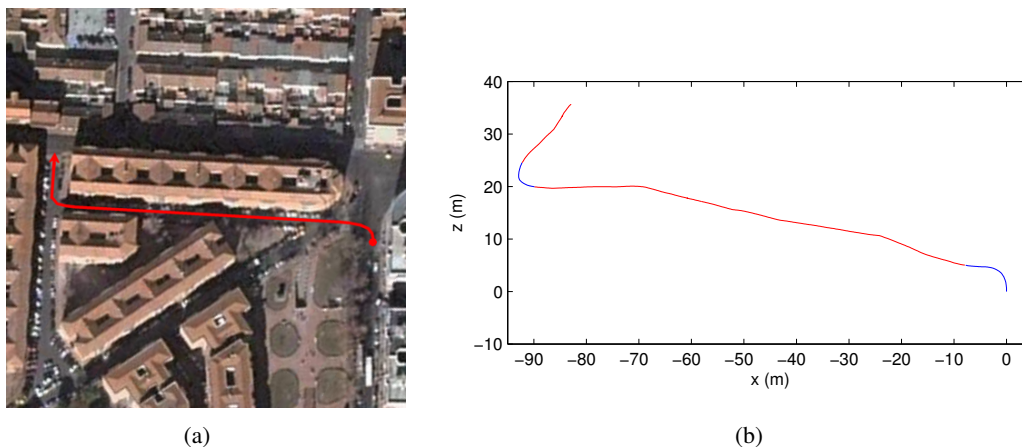


Figura 5: (a) Vista aérea del trayecto realizado (“ground truth”). (b) Trayectoria estimada (secuencia 1).

	Secuencia 1	Secuencia 2	Secuencia 3	Secuencia 4
Tiempo de ejecución	37,56 s	48,66 s	35,04 s	53,19 s
Duración del vídeo	39,60 s	51,33 s	35,33 s	50,83 s
Frames descartados	12,21 %	17,99 %	18,14 %	27,01 %

Tabla 1: Resultados.

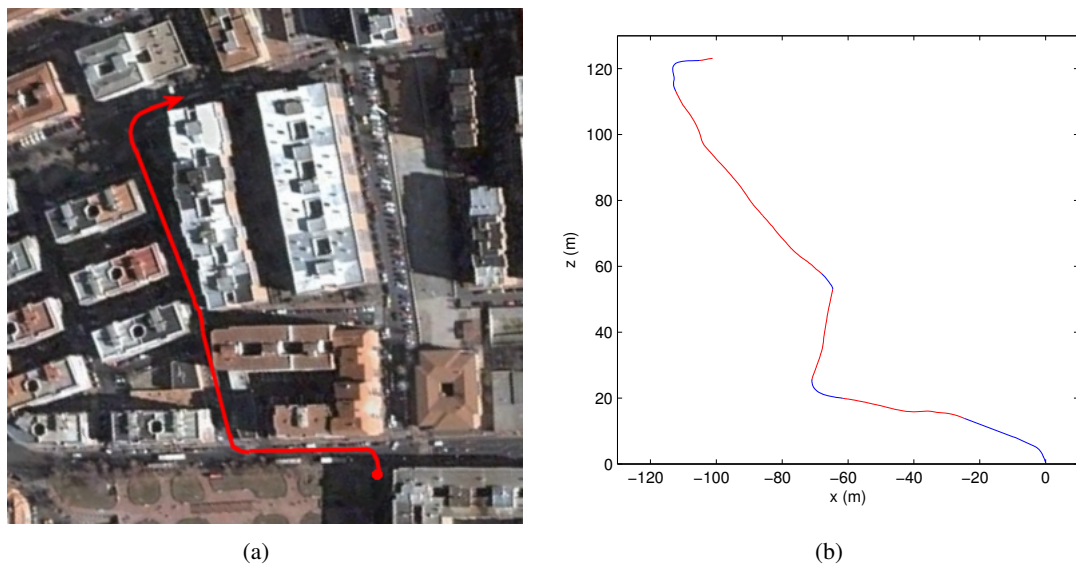


Figura 6: (a) Vista aérea del trayecto realizado (“ground truth”). (b) Trayectoria estimada (secuencia 2).

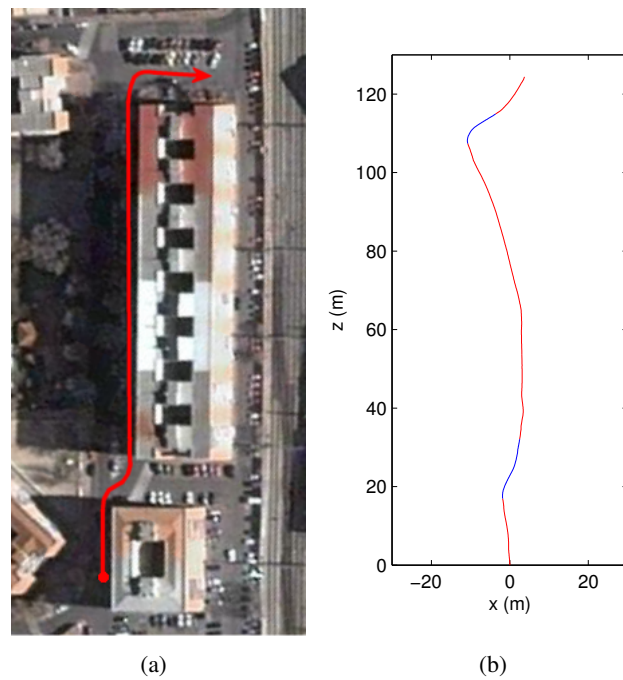


Figura 7: (a) Vista aérea del trayecto realizado (“ground truth”). (b) Trayectoria estimada (secuencia 3).

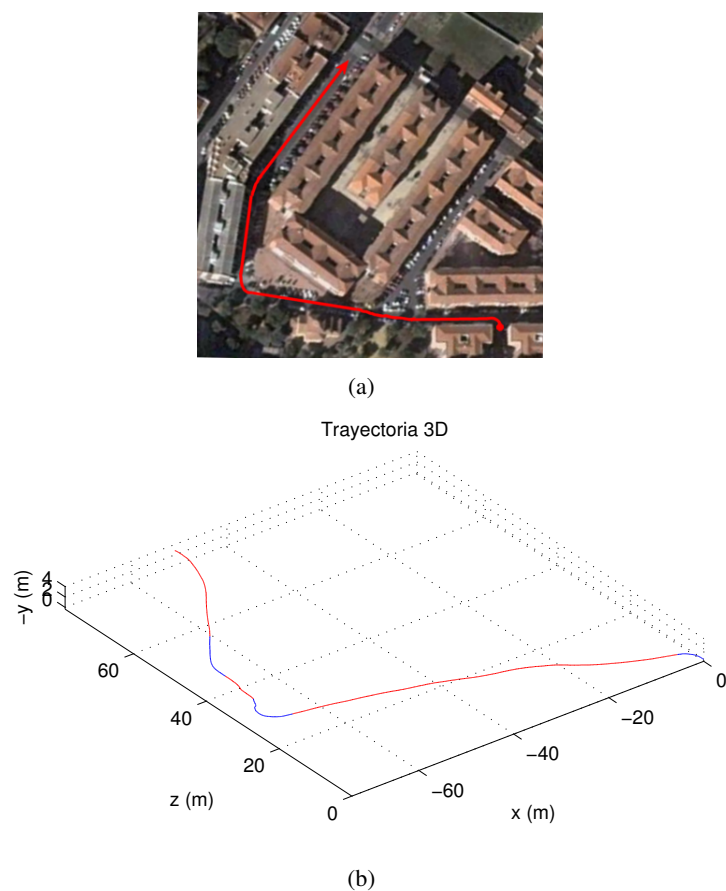


Figura 8: (a) Vista aérea del trayecto realizado (“ground truth”). (b) Trayectoria 3D estimada (secuencia 4).

Para facilitar la evaluación de los pruebas realizadas se adjuntan los vídeos correspondientes a la ejecución del algoritmo para las tres secuencias bidimensionales.

En la trayectoria tridimensional queda patente la dificultad para estimar los ángulos “pitch” y “roll” mediante un sistema de odometría visual. Esta dificultad se refleja en la aparición de una pendiente no deseada en la trayectoria 3D estimada debido a una mala estimación de estos ángulos auxiliares (ver figura 8.b). Téngase en cuenta que la secuencia utilizada se corresponde con un trayecto con una pendiente despreciable. La dificultad se debe fundamentalmente a la poca variación a corto plazo de estos ángulos que se produce en un movimiento normal de un vehículo, lo que implica una variación difícil de apreciar en la imagen captada por la cámara. Como se muestra en la tabla 1, el tiempo de ejecución aumenta con respecto al obtenido en los resultados bidimensionales, ya que el método de regresión es más complejo al tener que estimar los tres ángulos de rotación. Este aumento provoca que el sistema tridimensional, por poco, no cumpla las exigencias de tiempo real.

Los inconvenientes que presenta el sistema tridimensional hacen que el *sistema bidimensional sea el candidato elegido para una futura implementación comercial del sistema*. De hecho, en la actualidad los sistemas de odometría visual o “ego-motion” descritos en artículos académicos únicamente producen trayectorias bidimensionales.

4. Aplicabilidad

Una aplicación directa del sistema descrito es proporcionar asistencia al conductor en tareas de navegación y formar parte de un sistema de mayor complejidad que permita alcanzar el objetivo de una navegación autónoma del vehículo.

En primer lugar, el sistema de odometría podría beneficiarse de la información procedente de otras aplicaciones de Visión Artificial como la detección de peatones y la técnica de detección de vehículos ACC (“Adaptative Cruise Control”) que se están desarrollando en nuestro grupo de investigación. Esto permitiría realizar un rechazo previo de puntos falsos (no estacionarios), alcanzando una mayor precisión en la estimación del movimiento propio del vehículo y mejorando la robustez del sistema de posicionamiento.

Para alcanzar la navegación autónoma, sería necesario fusionar el sistema de visión con un receptor GPS convencional. El receptor GPS para realizar la localización necesita recibir la señal radio proveniente de al menos cuatro satélites; algo que no es posible en zonas sin cobertura. En estas zonas, el sistema de posicionamiento basado en visión permanecería activo, y por tanto no habría pérdida de información sobre la trayectoria seguida por el vehículo.

Además, para dar consistencia global al sistema, la estimación obtenida por odometría visual puede ser modificada utilizando los datos del GPS. Se debe tener en cuenta que el sistema de odometría visual proporciona información localmente consistente, pero al caracterizarse por un error acumulativo, su comportamiento empeora a largo plazo. Sin embargo, el GPS convencional cuando está disponible proporciona una estimación con un error acotado de 3 metros, pero está sujeto a saltos o desviaciones en plazos cortos.

Por tanto, la integración de la odometría visual con un sistema GPS relativamente barato permitiría prevenir derivas a largo plazo permitiendo la localización del vehículo sobre largas distancias.

Dentro del campo de la robótica, este tipo de sistemas se podrían utilizar en entornos interiores (“indoor”) complementando a técnicas SLAM de localización simultánea y generación de mapas. Por supuesto el sistema de odometría visual implementado podría ser utilizado para mejorar la seguridad de robots de exploración tanto terrestres como espaciales (como se hace en los rovers de Marte).

En definitiva, la odometría visual se puede utilizar para proporcionar una localización precisa tanto en entornos interiores (“indoor”) como exteriores (“outdoor”) de robots móviles y vehículos comerciales. Este tipo de sistemas de visión proporcionan una mayor capacidad autónoma al vehículo o robot y una asistencia al conductor en tareas de navegación para vehículos comerciales.

5. Anexos

5.1. Publicaciones relacionadas con el trabajo

Publicaciones en revistas internacionales

1. **R. García-García**, M. A. Sotelo, I. Parra, D. F. Llorca, J. E. Naranjo, M. Gavilán. “3D Visual Odometry for Road Vehicles”. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. Vol. 51: 113-134. Springer Verlag. Noviembre 2007.
2. M. A. Sotelo, **R. García-García**, I. Parra, D. F. Llorca, J. E. Naranjo, M. Gavilán, S. Álvarez. “Visual Odometry for Road Vehicles - Feasibility Analysis”. *Journal of Zhejiang University Science - Part A*. Vol. 8, No.12: 2017-2020. Springer Verlag. China, Diciembre 2007.
3. M. A. Sotelo, R. Flores, **R. García-García**, M. Ocaña, M. A. García, I. Parra, D. Fernández, M. Gavilán, J. E. Naranjo. “Ego-motion computing for vehicle velocity estimation”. *Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 4739: 1119-1125. Springer. Febrero 2007.

Publicaciones en congresos internacionales

1. **R. García-García**, M. A. Sotelo, I. Parra, D. Fernández, M. Gavilán. “3D Visual Odometry for GPS Navigation Assistance”. *Proceedings of the 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV'07)*, pp: 1162-1167. Estambul, Turquía, Junio 2007.
2. **R. García-García**, M. A. Sotelo, I. Parra, D. Fernández, M. Gavilán. “2D Visual Odometry for GPS Navigation Assistance”. *Proceedings of the 2007 IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing (WISP'2007)*. pp: 395-400. Alcalá de Henares, España. Octubre 2007.

5.2. Financiación y proyectos de investigación

1. Título del proyecto: Sistema de mejora del posicionamiento global en vehículos de carretera para el incremento de la seguridad de los navegadores automáticos. Entidad financiadora: CAM-UAH. Referencia: CCG06-UAH/DPI-0411. Entidades participantes: Universidad de Alcalá. Duración: desde el 1/1/2007 hasta el 31/12/2007. Investigador principal: Miguel Ángel Sotelo. Número de investigadores participantes: 7. Cuantía total del proyecto: 15.116 €.
2. Título del proyecto: Cooperación con China y Australia en el desarrollo de Sistemas Inteligentes de Transportes. Entidad financiadora: Ministerio de Educación y Ciencia - Acciones Complementarias Internacionales. Referencia: PCI2005-A7-0046. Entidades participantes: Universidad de Alcalá, Universidad de Shanghai (China), Universidad

de Griffith (Australia). Duración: desde el 1/1/2006 hasta el 31/12/2008. Investigador principal: Miguel Ángel Sotelo. Número de investigadores participantes: 10. Cuantía total del proyecto: 12.000 €.

5.3. Documentación entregada

Además de este resumen, se aporta:

- Copia de la memoria del Proyecto Fin de Carrera en formato electrónico (PFC.pdf en la carpeta de archivos PFC)
- Publicaciones en revistas y congresos en formato electrónico (carpeta de archivos PUBLICACIONES).
- Vídeos con resultados de las pruebas realizadas en entornos reales de tráfico (carpeta VIDEOS).

6. Referencias

1. Unibrain, 2007. http://www.unibrain.com/Products/VisionImg/Fire_i_DC.htm
2. C. Harris and M. Stephens. "A combined corner and edge detector". Proc. Fourth Alvey Vision Conference, pp. 147-151, 1988.
3. C. Schmid, R. Mohr and C. Bauckhage. "Evaluation of Interest Point Detectors". International Journal of Computer Vision. 37(2): pp. 151-172, 2000.
4. G. Xu and Z. Zhang. "Epipolar Geometry in Stereo, Motion, and Object Recognition: A Unified Approach". Kluwer Academic Publishers Norwell, MA, USA. 1996
5. M. A. Fischler and R. C. Bolles. "Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography". Communications of the ACM, 24(6): pp. 381-395, Jun. 1981.
6. R. Hartley and A. Zisserman. "Multiple View Geometry in Computer Vision". Cambridge University Press, 2004.
7. Open Computer Vision Library, 2007. <http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary>
8. Z. Zhang and O. D. Faugeras. "Estimation of displacements from two 3-D frames obtained from stereo". IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 14(12): pp. 1141-1156, Dec. 1992.
9. D. Nister, O. Naroditsky and J. Bergen. "Visual Odometry". Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Volume 1, pp. 652-659, 2004

10. M. Agrawal and K. Konolige. "Real-time Localization in Outdoor Environments using Stereo Vision and Inexpensive GPS". 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06), pp. 1063-1068, 2006.
11. Y. Cheng, M. W. Maimone, L. Matthies. "Visual Odometry on the Mars Exploration Rovers". IEEE Robotics and Automation Magazine. Vol 8 (6): pp. 54-62. Jun. 2006.
12. Google Maps 2007. <http://maps.google.com>