

OASIS: USO DE ESCÁNERES LÁSER EN INFRAESTRUCTURAS ITS PARA MODELIZACIÓN DE TRÁFICO

Daniel Sastre García

Ingeniero de Telecomunicación. Investigador. Universidad Politécnica de Madrid.

dsg@gatv.ssr.upm.es

Grupo de Aplicación de Telecomunicaciones Visuales (G@TV)

E.T.S.I. de Telecomunicación (Laboratorio C304-1) Avenida Complutense 30 Madrid-28040

Telf.: +34 91 336 73 44

Mercedes Badillo López

Ingeniero de Telecomunicación. Responsable técnico en el área de I+D de INDRA

Dpto Tráfico Vial y Marítimo

mlbadillo@indra.es

Telf: +34 91 334 91 91

José Manuel Menéndez García

Doctor Ingeniero de Telecomunicación. Profesor Titular de Universidad. Universidad Politécnica de Madrid.

jmm@gatv.ssr.upm.es

RESUMEN: Detectar, predecir y gestionar el tráfico a lo largo de una autopista con herramientas inteligentes lo más automatizadas posibles y con el fin de obtener un tráfico uniforme, es uno de los principales objetivos del proyecto CENIT OASIS (Operación de autopistas seguras inteligentes y sostenibles).

Dentro del ámbito de la movilidad, es fundamental establecer un modelo de sensorización óptimo que extraiga la máxima información y de la mayor calidad posible. Para ello, la visión artificial se propone como solución en numerosas aplicaciones de tráfico mediante la utilización de cámaras de vídeo y algoritmos específicos, sin embargo a pesar de su extendida implantación presenta ciertas limitaciones. La combinación de las tecnologías de visión artificial con sensores basados en tecnología LIDAR puede paliar parte de dichas limitaciones y permitir el desarrollo de un sistema mixto robusto y preciso.

Desde OASIS se plantea una solución híbrida, complementaria, basada en la fusión de técnicas de visión artificial y tecnologías LIDAR para la detección y monitorización de tráfico a nivel microscópico de tráfico.

1 INTRODUCCIÓN

El proyecto OASIS nace a partir del consorcio formado por nueve empresas líderes en el sector del transporte (IRIDIUM, OHLC, Abertis, SICE, INDRA, GMV, DRAGADOS, GEOCISA y OHL), siete pequeñas y medianas empresas y quince universidades y centros de investigación. El proyecto está enmarcado dentro del programa CENIT de proyectos de investigación subvencionado por el organismo CDTI.

OASIS tiene el objetivo del diseño y definición de la autopista del futuro. Todas las fases de la autopista son analizadas (planificación, diseño, construcción y explotación) desde diferentes ámbitos entre los que destacan la seguridad, la movilidad y la sostenibilidad.

En el ámbito de la movilidad se busca proporcionar herramientas para la gestión del tráfico y difusión de información al usuario de forma inteligente, así como para generar nuevas metodologías en la detección y predicción de tráfico. Se están investigando diferentes métodos de gestión de tráfico, entre los que cabe destacar la planificación de itinerarios, el establecimiento de límite de velocidad variable o la tarificación dinámica. Adicionalmente se están planteando nuevas formas de detectar y predecir situaciones de congestión y paradas intermitentes en el tráfico.

En la autopista existen tramos de especial interés para el operador, principalmente debido a que la probabilidad de generación de colas o situaciones de congestión en dichos puntos es alta. En OASIS se plantea una solución para detectar colas de vehículos e informar al operador del estado de las mismas. Para ello se está investigando una solución híbrida que combina cámaras de visión artificial y sensores láser. La complementariedad planteada ya ha sido utilizada en ámbitos diferentes al transporte y por ello se ha considerado de uso potencial para la monitorización del tráfico. Las cámaras ya habían sido utilizadas para aplicaciones de este tipo. La principal novedad de esta comunicación es la utilización de escáneres láser para aportar robustez y precisión al sistema completo.

El artículo se organiza como sigue. En el punto 2 del documento se realizará un planteamiento general de la situación actual para resolver la problemática planteada de detección de tráfico en puntos singulares. En el punto 3 se desarrollará de modo más concreto la solución planteada en OASIS. Se finalizará el artículo con una serie de conclusiones extraídas de los trabajos llevados a cabo.

2 PLANTEAMIENTO

La monitorización de tráfico tiene aplicaciones en escenarios muy variados, siendo de particular interés en los llamados puntos singulares, como pueden ser los accesos a autopistas, las playas de peaje o las intersecciones (urbanas e interurbanas). En este apartado se analizarán, en primer lugar, los sistemas de monitorización de tráfico de manera general. A continuación se analizarán algunos esquemas propuestos en los que se emplean escáneres láser y se finalizará la sección extrayendo una serie de conclusiones que sirven de base para el sistema innovador que se propondrá en la siguiente sección.

2.1 Revisión de tecnologías de monitorización de puntos singulares

Las tecnologías de monitorización se pueden dividir en dos grandes grupos, tecnologías intrusivas y no intrusivas: las intrusivas están instaladas en o a lo largo del pavimento, y las no intrusivas se encuentran por encima o a los lados de la carretera causando el mínimo efecto sobre el flujo de tráfico.

2.1.1 Monitorización intrusiva

Dentro de los sensores intrusivos existen multitud de tipos: el lazo inductivo, el tubo neumático, los sensores piezo-eléctricos, los sensores de fibra óptica y los sensores geomagnéticos.

Los sensores intrusivos son, en general, más económicos y muy útiles para aplicaciones simples, en las que no se necesite excesiva información, sin embargo presentan una serie de inconvenientes:

- Tanto la instalación como cualquier tipo de reparación exige la realización de obra pesada y el corte del tráfico en la vía.
- Proporcionan información muy limitada; únicamente acerca de los vehículos que pasan por encima del sensor (número, velocidad individual...)
- Por supuesto, no es posible realizar un seguimiento individualizado de los vehículos.

2.1.2 Monitorización no intrusiva

A diferencia de los intrusivos, este tipo de detectores no interfieren directamente sobre el tráfico durante su funcionamiento, en general proporcionan mayor cantidad de información que los intrusivos y son capaces de monitorizar una zona más amplia de la vía (en particular los sensores láser y las cámaras de vídeo). Como inconveniente cabe destacar que son, en general, más costosos económicamente, tanto los sensores en sí como la instalación de los mismos.

Los detectores no intrusivos empleados en la actualidad son, principalmente de dos tipos:

- Sensores activos, emiten una señal y captan la respuesta reflejada. De este tipo son los radares de microondas, los sensores ultrasónicos y los escáneres láser de los que se hablará en profundidad más adelante.
- Sensores pasivos: captan variaciones producidas, en ciertos parámetros, por el paso de un vehículo. Dentro de este tipo se encuentran los sensores infrarrojos, los sensores acústicos y las cámaras de vídeo.

2.2 Estudio del estado del arte: escáneres láser en entornos de tráfico

Una vez vistas, brevemente, las principales tecnologías de monitorización este apartado se centrará en los escáneres láser. Como ya se ha comentado existe multitud de aplicaciones en el ámbito de los ITS que emplean escáneres láser, desde sensores embarcados en vehículos para detección de obstáculos (otros vehículos o peatones), a sensores situados en la infraestructura para la clasificación automática de vehículos (de acuerdo a sus dimensiones). En el primer caso el haz del láser está enfocado paralelamente al pavimento mientras que en la segunda de las aplicaciones está situado transversal o longitudinalmente. La figura de la página siguiente refleja los dos casos a los que se ha hecho referencia.

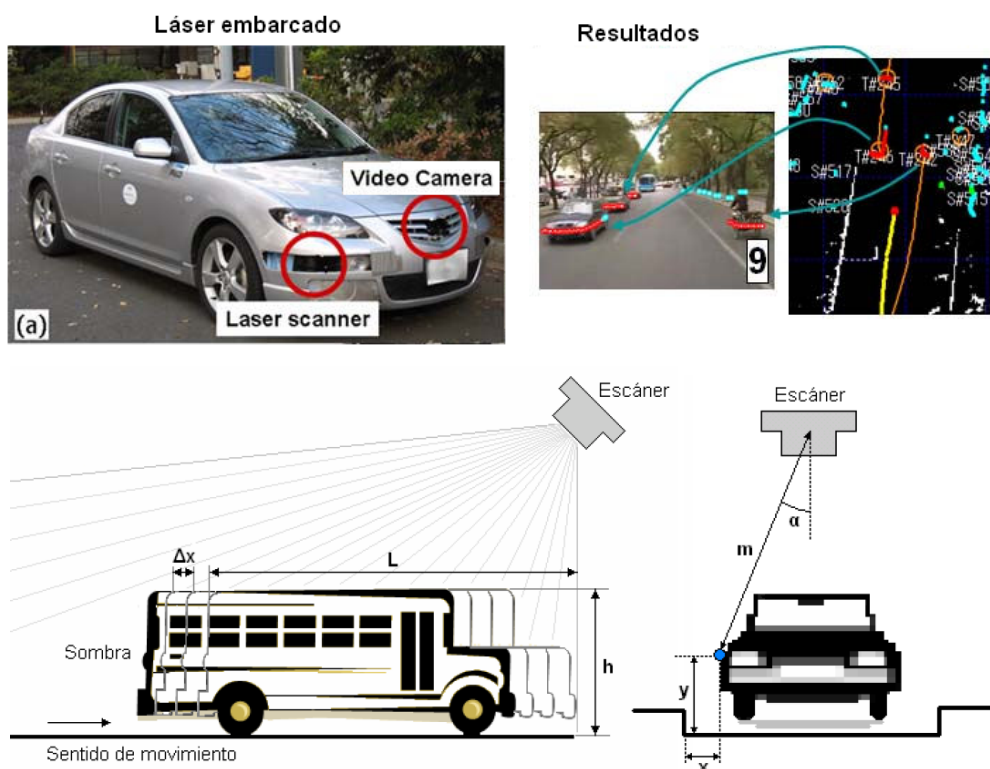


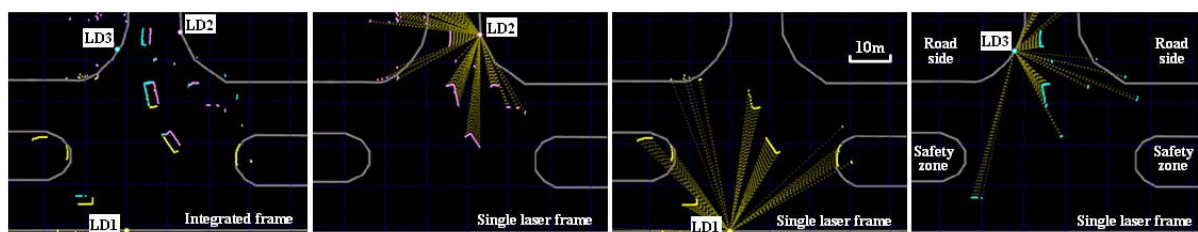
Figura 1. Utilización de escáneres láser en los ITS. Arriba sistema embarcado en el vehículo extraído de [10]. Abajo sistema en la infraestructura (Fuente: Tecsidel).

El sistema que se propondrá más adelante pretende realizar una mezcla entre ambas aproximaciones, situar el sensor en la infraestructura y el haz en paralelo al suelo. Esta idea se ha aplicado en sistemas de supervisión de intersecciones como el *Minnesota Mobile Intersection Surveillance System* presentado en [9], que utiliza hasta 6 sensores láser (además de radares y otros tipos de sensores).



Figura 2. Configuración de los escáneres láser para la monitorización de intersecciones en [9]

Además la universidad de Tokio y la de Pekín, trabajan conjuntamente en otro sistema de monitorización de intersecciones, explicado en [10] y [11], en este caso en vías urbanas que empezó empleando un único escáner y ha ido evolucionando hasta emplear 3 escáneres y actualmente trabajan en la fusión con cámaras de vídeo y sistemas de visión artificial, dentro de la línea que se propone en esta comunicación. En la figura inferior pueden verse algunos resultados.



Monitorización de una intersección urbana con 3 escáneres láser

Figura 3. Resultados obtenidos en el sistema de monitorización presentado en [11]

2.3 Conclusiones sobre los sistemas actuales

Después del breve repaso al estado actual de los sistemas de monitorización se pueden extraer una serie de conclusiones:

- Los *sensores intrusivos* son baratos, se ven poco afectados por condiciones de iluminación, lluvia o nieve, pero ofrecen muy poca información y muy localizada. Además su instalación y reparación resulta costosa y requiere la realización de obras en la calzada.
- Los *sensores no intrusivos*, aunque son más costosos, obtienen mayor cantidad de información del entorno pudiendo conseguir datos de la carretera más completos.
- En particular, las *cámaras de vídeo* son uno de los sensores más empleados en las carreteras y quizá el que más información del entorno ofrece (al menos a nivel visual, no tanto a nivel de distancias precisas). La aplicación de algoritmos de visión artificial a una secuencia de vídeo puede proporcionar información individualizada de cada vehículo, su velocidad, el número de su matrícula, la trayectoria que sigue...Sin embargo, condiciones del entorno como cambios de iluminación u otros factores

atmosféricos como la lluvia y la niebla pueden hacer disminuir la fiabilidad de los sistemas.

- Por su parte, *los sensores láser*, utilizados con la configuración planteada al final del apartado previo, ofrecen información muy precisa y fiable del entorno (en términos de localización de los objetos) y son poco sensibles a las condiciones ambientales.
- Finalmente, conviene destacar que tanto las cámaras de vídeo como los escáneres láser padecen el problema de la oclusión en el que un objeto oculta la existencia de otro tapando el “campo de vista” del sensor. Este problema aparece siempre, si bien una posible solución es la utilización de varios sensores colocados de manera inteligente.

A partir de las conclusiones extraídas es prácticamente inmediato reparar en la complementariedad que presentan los escáneres láser y las cámaras de vídeo. Los primeros consiguen información espacial precisa y fiable que permitirá situar los objetos en las coordenadas correctas mientras que las segundas consiguen gran cantidad de información visual que permitirá identificar de manera unívoca cada objeto y determinar si son vehículos o no, el tipo de vehículo, su color, su matrícula...

Debido a esta característica en el siguiente apartado se presentará el sistema híbrido propuesto para la monitorización de puntos singulares (accesos, playas de peaje, intersecciones...). En primer lugar se explicarán brevemente algunos de los algoritmos empleados en el tratamiento de datos láser, seguidamente se hará referencia a los métodos de visión artificial y se terminará exponiendo el sistema completo propuesto.

3 RESOLUCIÓN

3.1 Algoritmos para el procesado de datos de escáner láser

3.1.1 Segmentación

El proceso de segmentación consiste en agrupar el conjunto de datos iniciales en segmentos diferenciados, de manera que cada punto pertenezca de manera unívoca a un segmento. La obtención de los segmentos permite una mejor comprensión del conjunto de datos iniciales y ayuda en el análisis posterior. El esquema muestra los diferentes pasos seguidos en el proceso.

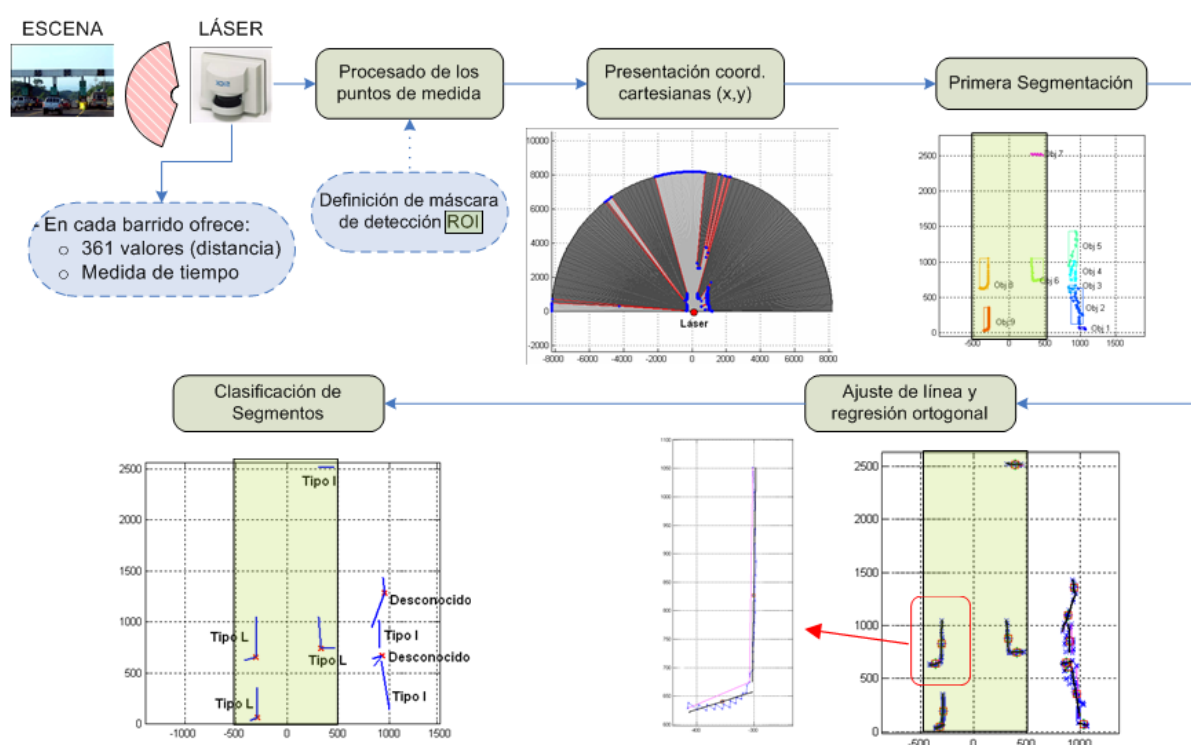


Figura 4. Algoritmo general de segmentación de datos provenientes de escáner láser

La *segmentación inicial* se llevará a cabo recorriendo cada punto medido y calculando la distancia de separación entre puntos adyacentes. Si la distancia supera un UMBRAL determinado se considera que los puntos pertenecen a segmentos diferentes, en caso contrario se considera que pertenecen al mismo segmento. Esta técnica de segmentación es la empleada en la mayoría de los artículos consultados, como en [7] y en [8].

Tras la segmentación inicial se llevan a cabo dos procesos consecutivos, el ajuste de línea (linefitting) por el que cada segmento se aproxima por líneas rectas, y la regresión ortogonal, en el que se ajustan las líneas obtenidas a los puntos de medida para minimizar el error cuadrático medio. El proceso es similar al empleado en [7].

Como parte final del proceso se clasifican los objetos obtenidos de acuerdo a los parámetros de las rectas que los componen. Existen tres tipos: tipo I para segmentos formados por una sola línea, tipo L para objetos formados por dos líneas aproximadamente perpendiculares entre sí y tipo Desconocido para el resto.

3.1.2 Seguimiento

Los algoritmos de seguimiento tienen como objetivo conocer la trayectoria seguida por cada uno de los objetos a lo largo del tiempo. El proceso se divide en tres fases principales que se explicarán a continuación; Inicialización del seguimiento, seguimiento, fin del seguimiento. Para el proceso de seguimiento se puede emplear técnicas predictivas como el filtro de Kalman [1] o los filtros de partículas [3].

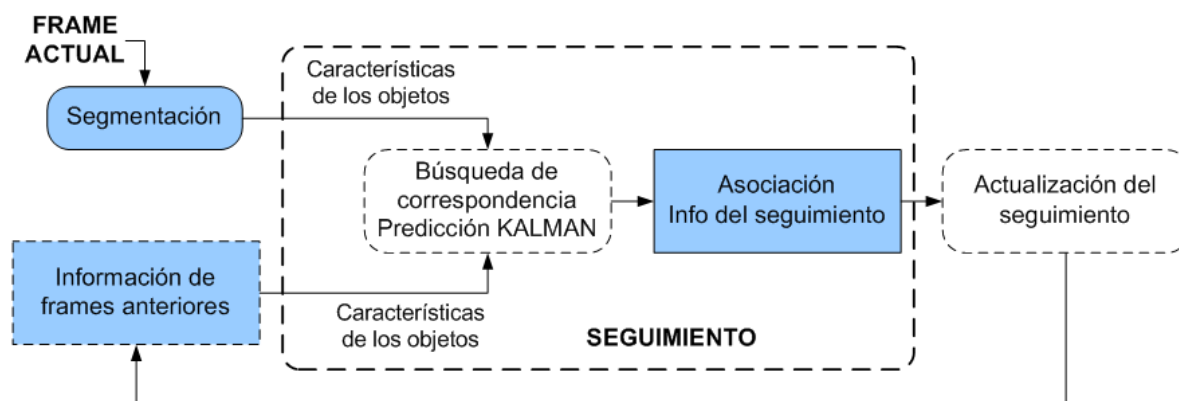


Figura 5. Esquema general del proceso de seguimiento

La inicialización se lleva a cabo cuando aparece un nuevo objeto. Se analiza el tipo de objeto que es (tras la segmentación) y la dirección de su movimiento. A partir de ahí se realiza un modelado del objeto por medio de un rectángulo (dependiendo del tamaño del segmento detectado se puede decidir el tipo de vehículo del que se trata) y el seguimiento se lleva a cabo sobre el punto central de dicho rectángulo. El seguimiento se finaliza cuando el objeto desaparece de la escena. La siguiente figura muestra un ejemplo de seguimiento sobre tres vehículos.

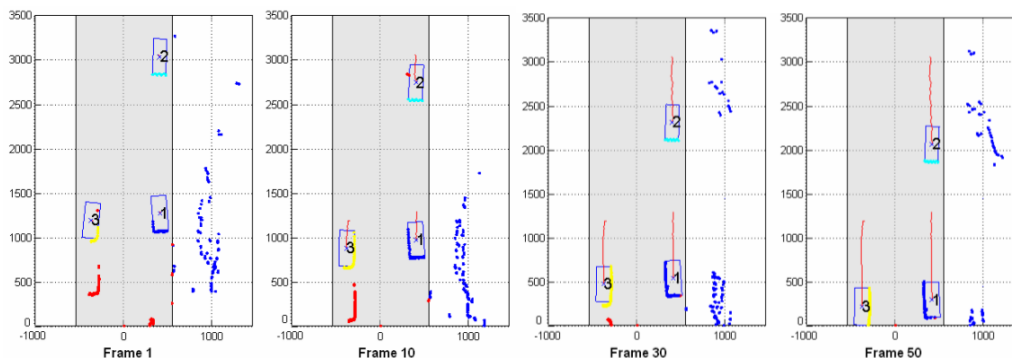


Figura 6. Resultados obtenidos en un entorno de tráfico

El principal problema de los datos láser es la falta de información. Su precisión y fiabilidad en cuanto a las medidas es del orden de milímetros, pero no poseen información suficiente para decidir si un segmento es la parte frontal de un camión, el lateral de un turismo o el lateral de una motocicleta. La visión artificial, como ya se ha comentado, puede ayudar a paliar esta falta de información.

3.2 Algoritmos de visión artificial

Los algoritmos de visión artificial se pueden resumir en cuatro pasos principales: calibración, filtrado (o modelado de fondo), segmentación y seguimiento.

La calibración es una fase fundamental en todo algoritmo de visión artificial y permite obtener las coordenadas espaciales tridimensionales de los objetos presentes en la imagen a partir de las coordenadas 2D propias de la imagen.

Una vez calibrada la escena y si se conoce la situación de los elementos fijos de la misma, resultará sencillo localizar los objetos móviles (es decir, los vehículos) como la diferencia entre el fondo y la imagen actual. El módulo de modelado de fondo es el encargado de generar dicho modelo con los elementos fijos. Existen infinidad de algoritmos para el modelado de fondo, desde los más sencillos basados en la diferencia de frames adyacentes [6], hasta técnicas más complejas como la mezcla de gaussianas [4]. Posteriormente la parte de segmentación se encarga de localizar los objetos móviles y caracterizarlos (clasificación).

Cuando se han segmentado los vehículos y están correctamente caracterizados (por características de color, puntos característicos como esquinas o bordes, etc) se puede llevar

a cabo la fase de seguimiento de vehículos en la que se determina la trayectoria llevada por un determinado vehículo a lo largo del tiempo. El seguimiento, como en el caso de los datos láser, se puede realizar empleando el filtro de Kalman o filtros de partículas, aunque en el caso de visión artificial se emplean mucho las características KLT [2] .

En la siguiente imagen se presenta un ejemplo de modelado de fondo (empleando el algoritmo de *Mixture of Gaussians*, uno de los más comunes) y segmentación de la imagen. De izquierda a derecha se presentan la imagen original segmentada, la imagen modelo de fondo y la imagen de movimiento (en blanco las regiones de movimiento en negro las zonas de fondo).



Figura 7. Ejemplo de segmentación de imágenes basada en movimiento

3.3 Sistema mixto propuesto: escáneres láser + visión artificial.

Como ya se ha comentado los sistemas de visión presentan una serie de problemas y limitaciones que pueden resolverse en parte gracias a los escáneres láser:

- La falta de precisión en las medidas.
- Problemas con los cambios de iluminación o en situaciones de poca luminosidad y ante situaciones meteorológicas adversas.
- Oclusiones entre vehículos.

Por su parte los sensores láser presentan otros problemas que se podrían resolver con la utilización simultánea de sistemas de visión artificial:

- La falta de información acerca de la escena.
- Oclusiones entre vehículos.

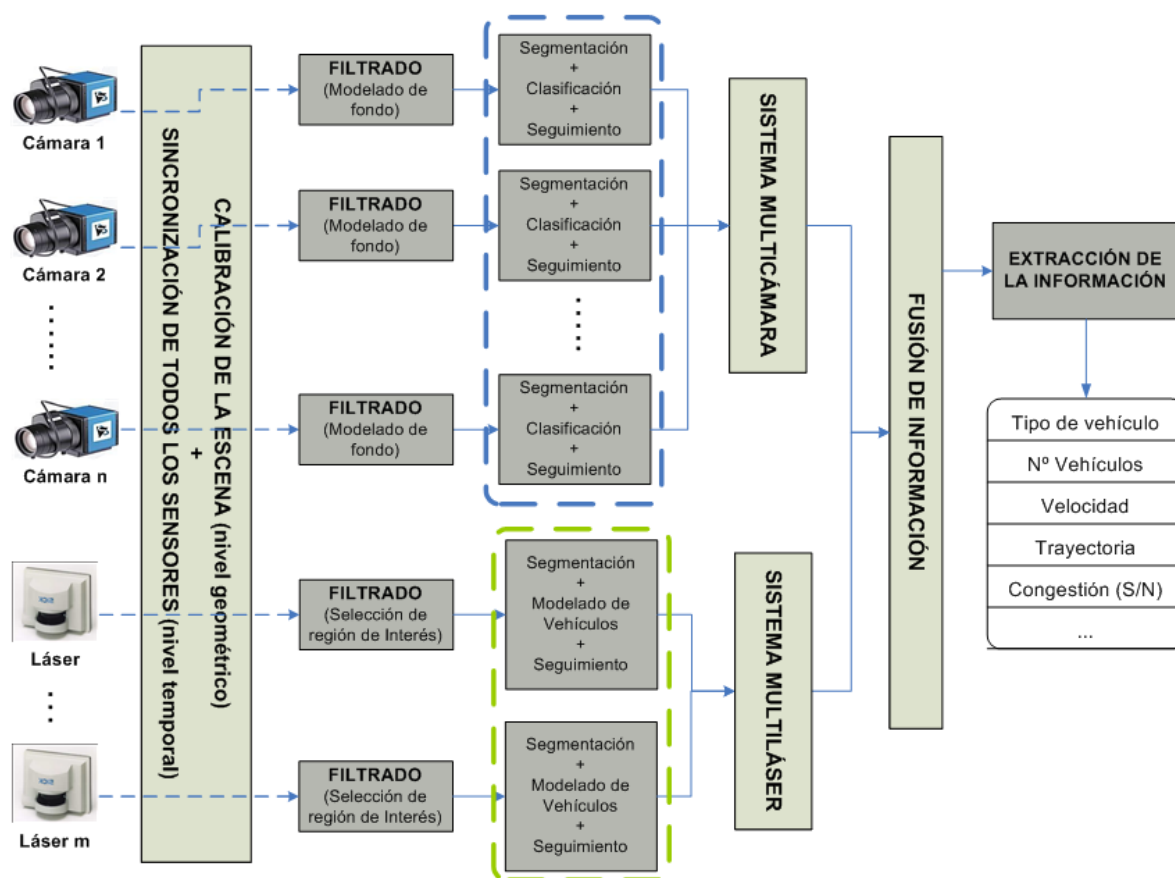


Figura 8. Esquema general del sistema multisensor propuesto

El sistema que se propone en esta comunicación consigue paliar los problemas típicos de las dos tecnologías combinándolas para obtener una solución robusta y fiable para los sistemas de monitorización de puntos singulares. El esquema general se representa en la figura anterior y tiene dos módulos fundamentales, donde radica la robustez e innovación del sistema:

- *Módulo de calibración y sincronización:* este módulo es el encargado de que las medidas de todos los sensores se tomen en el mismo instante de tiempo y estén referenciadas al mismo sistema de coordenadas.
- *Módulo de fusión de información:* a nivel de sistema multicámara, a nivel de sistema multiláser y a nivel de fusión global. Es el encargado de combinar la información extraída por cada sensor de manera individual para obtener una visión global del escenario.

Una posible configuración de los sensores en un escenario de monitorización para un acceso a una autopista se representa en la siguiente figura. Donde se emplearán dos sensores láser y una cámara de vídeo. Como se puede observar todo el acceso queda cubierto por el sistema y con redundancia en ciertas regiones, lo que permite disminuir el efecto negativo de las oclusiones.

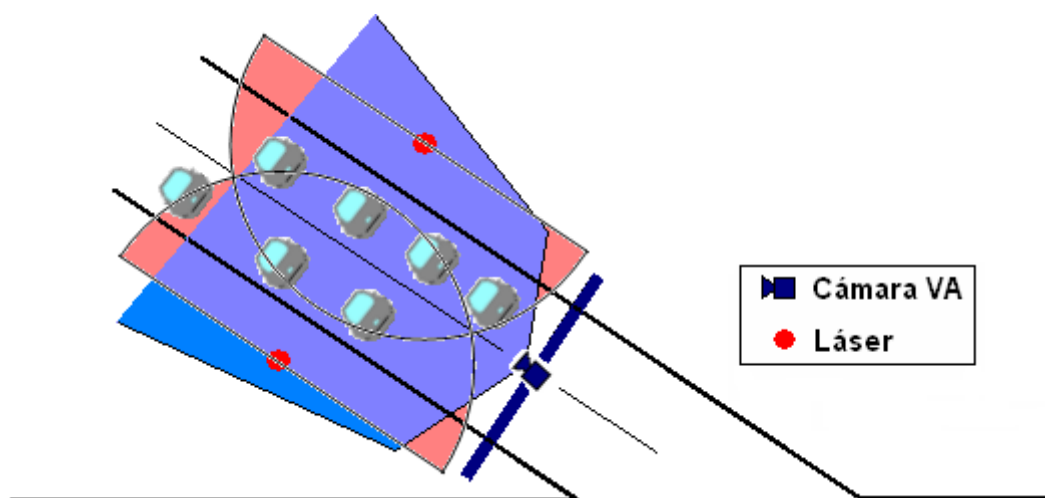


Figura 9. Escenario de aplicación del sistema multisensor propuesto.

4 CONCLUSIONES

El trabajo realizado permite extraer una serie de conclusiones principales:

- El estudio del estado del arte en cuanto a sensorización de tráfico permite concluir que la dirección seguida en el desarrollo de sistemas de monitorización pasa por la fusión inteligente de información proveniente de múltiples sensores.
- Además, si la información de los sensores respectivos es complementaria (como en el caso del sistema propuesto) los resultados obtenidos serán más fiables y el sistema completo más robusto.
- Para terminar conviene destacar que el ámbito de aplicación de la solución propuesta no se restringe a autopistas y podría emplearse en entornos urbanos, entradas a aparcamientos, accesos a lugares de interés, etc.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. E. KALMAN (1960) "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems," Transaction of the ASME—Journal of Basic Engineering, pp. 35-45.
- [2] C. TOMASI, T. KANADE (1991) "Detection and Tracking of Point Features" International Journal of Computer Vision
- [3] M. ISARD AND A. BLAKE (1998), "Condensation—Conditional Density Propagation for Visual Tracking," International Journal of Computer Vision, vol. 29, nº 1, 1998.
- [4] C. STAUFFER.;W.E.L. GRIMSON (1999) "Adaptive background mixture models for real-time tracking," Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE Computer Society Conference on. , vol.2, no., pp.246-252 Vol. 2,
- [5] K. C. J. DIETMAYER.; J. SPABERT; D. STRELLER (2001) "Model based Object Classification and Object Tracking in Traffic scenes from Range Images". Proceedings of IV 2001, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, IV Tokyo, Paper 2-1.
- [6] R. EWERT, B. FREISLEBEN (2003) "Frame difference normalization: an approach to reduce error rates cut detection algorithms for MPEG videos" ICIP. pp. 1009-1012.
- [7] A. MENDES; L. C. BENTO; U. NUNES (2004) "Multi-target detection and tracking with a laserscanner" IEEE intelligent vehicles symposium, Parma,Italy pp. 796-801.
- [8] L. A. KLEIN, M.K. MILLS and D.R.P. GIBSON (2006) "Traffic Detector Handbook Third Edition - Vol I and Vol II", Federal Highway Administration and Turner-Fairbank Highway Research Center
- [9] L. ALEXANDER ET AL (2006) "The Minnesota Mobile Intersection Surveillance System" IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, 139-144.
- [10] H. ZHAO, ET AL (2008) "Driving Safety and Traffic Data Collection: A Laser Scanner Based Approach" IEEE Intelligent Vehicle Symposium, 329-336.
- [11] H. ZHAO ET AL (2009) "Sensing an intersection using a network of laser scanners and video cameras," Intelligent Transportation Systems Magazine, IEEE , vol.1, no.2, pp.31-37.