

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

GRADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS AUDIOVISUALES



RESUMEN EXTENDIDO DEL TRABAJO FIN DE GRADO

*CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES DE TRÁFICO PARA UN SISTEMA
INTELIGENTE DE TRANSPORTE*

AUTORA: ESTER BEJERANO MORALES

TUTOR: MARCELINO LÁZARO

JULIO DE 2012

Índice General

1. Motivación y objetivos	1
1.1. Motivación del trabajo	1
1.2. Objetivos	5
2. Estado del arte y planteamiento del problema	6
3. Requisitos y diseño de la solución	6
3.1. Requisitos y especificaciones para la solución	6
3.2. Esquema básico	7
4. Resultados y evaluación	8
5. Presupuesto y planificación del trabajo	8
6. Conclusiones	9

En este documento se presenta un resumen extendido de los contenidos que aparecen en cada uno de los capítulos de la memoria de este Trabajo Fin de Grado. En este resumen se presta especial atención a los apartados de motivación, objetivos, solución propuesta, y conclusiones del trabajo, por considerarlos los más relevantes.

1. Motivación y objetivos

1.1. Motivación del trabajo

En el presente trabajo se trata de resolver un problema relacionado con el perfil de la titulación, de interés actual, como es la clasificación de patrones en imágenes, aplicada en el marco de los Sistemas Inteligentes de Transporte. Se entiende por Sistema Inteligente de Transporte o ITS (*Intelligent Transport System*) un sistema basado en un conjunto de soluciones tecnológicas que tratan de solventar los diferentes problemas ocasionados por el aumento de desplazamientos de los vehículos en el sistema de transporte considerado. Este tipo de sistemas se han ido desarrollando como consecuencia de la evolución de la informática, electrónica y la comunicación, y aplican por tanto los avances en las conocidas como Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs) [[Unión Europea, 2012](#)]. Debido a que algunas de las soluciones utilizadas están relacionadas con la Telemática, en ocasiones estos sistemas responden a las siglas ATT (*Advanced Transport Telematics*).

Los ITS se han ido desarrollando para múltiples medios de transporte: marítimo, aéreo, ferrocarril, por carretera, etc. Este trabajo en concreto, se centrará en el medio destinado al transporte en carretera, puesto que es el medio más común y empleado en la actualidad por un mayor número de usuarios. Gracias a los ITS es posible disminuir el número de accidentes producidos en carretera, mejorar la seguridad vial, reducir la congestión o el consumo energético, e incluso reducir la contaminación en las grandes ciudades, que se debe en gran parte a las emisiones de los automóviles.

A medida que la tecnología avanza, las posibilidades para incluir aplicaciones y funcionalidades en los sistemas aumentan y los resultados son cada vez más completos y precisos. Para cumplir los objetivos básicos de un ITS es necesario desarrollar múltiples sub-sistemas, cada uno con su función específica, que se integren en un sistema global de transporte inteligente por carretera. Sistemas como el control de crucero, los sistemas de detección automática de matrículas o señales de tráfico, los sistemas de gestión de aparcamiento, el sistema de ayuda a la frenada de emergencia, o el piloto automático, son solo algunos ejemplos de las funcionalidades requeridas. Además, los ITS permitirán la comunicación en tiempo real entre vehículo-infraestructura (V2I: *vehicle-to-infrastructure communication*) o vehículo-vehículo (V2V: *vehicle-to-vehicle communication*), intercambiando información que facilitará la gestión del tráfico.

Los distintos sub-sistemas que se van a integrar en un ITS se encuentran en la actualidad en distintas fases de investigación y desarrollo. El desarrollo e implementación de distintas soluciones y funcionalidades requieren una gran inversión en este marco por parte de las administraciones y de las empresas privadas. Existen diferentes iniciativas a nivel privado llevadas a cabo por distintas marcas de automóvil para desarrollar estos sistemas [[BMW España, 2012](#)], [[Volvo Cars, 2012](#)], [[Diario ABC, 2012b](#)],

[Diario Motor, 2008]. Y también las administraciones están realizando una importante inversión para mejorar las infraestructuras con la introducción de este tipo de soluciones. Por ejemplo, en Estados Unidos el Plan Estratégico de Investigación en ITS (*ITS Research Strategic Plan*) prevé la inversión para el período de 2010-2014 de una cantidad de 100 millones de dólares anuales para investigación y transferencia tecnológica. Para el año 2010, algunas de las cantidades asignadas para distintos conceptos fueron las siguientes: hasta 11,5 millones de dólares en comunicaciones vehículo-vehículo, \$9,3 millones en comunicaciones vehículo-infraestructura o \$1,995 millones en la captura y gestión de datos en tiempo real [U.S. Department of Transportation, 2012]. En Finlandia el presupuesto para carreteras públicas en el año 2001 fue de 778 millones de euros [Instituto Español de Comercio Exterior, 2012]. En el Reino Unido existe un programa de cámaras de seguridad con una inversión de 96 millones de libras. En Francia, un sistema para evitar las colisiones con árboles requiere la inversión de 1 millón de euros, y un programa para el control automático de la velocidad basado en radares tiene un presupuesto de aproximadamente 100 millones de euros [Comisión Europea, 2007].

En general la implantación de los ITS en los distintos estados se ha ido haciendo de forma fragmentaria y poco coordinada, sin continuidad geográfica de los servicios proporcionados, que se restringen al ámbito nacional o incluso regional. A nivel europeo, para intentar resolver este problema el Parlamento Europeo y el Consejo adoptaron el 7 de julio de 2010 la Directiva 2010/40/UE [Parlamento Europeo y Comisión, 2010]. Esta directiva establece el marco para la implantación de los sistemas de transporte inteligentes en el sector del transporte por carretera y para las interfaces con otros modos de transporte. El objetivo es contar con una normativa común que asegure una implantación coordinada y eficaz en su conjunto de las soluciones que puedan implementarse en el sector del transporte por carretera en todo el territorio de la Unión Europea. Uno de los aspectos críticos es la definición de las especificaciones necesarias para garantizar la compatibilidad, interoperabilidad y continuidad de la implantación. En la directiva se especifica como objetivo para la Comisión adoptar antes del 27 de febrero de 2013 las especificaciones a través de las cuales se establezcan los requisitos, procedimientos o cualquier otra exigencia necesaria para proceder a la implantación y uso de los ITS. A nivel nacional, el recientemente aprobado Real Decreto 662/2012 de 13 de abril incorpora la Directiva 2010/40/UE al ordenamiento interno español, estableciendo el marco normativo general para la implantación y uso coordinados y coherentes de los ITS en España [Ministerio de la Presidencia, 2012].

Aunque como se ha dicho los ITS están en fase de desarrollo, muchas de las funciones de estos sistemas son ya una realidad, y nuevas funcionalidades se van presentando día a día, algunas de las cuales se incluyen en el marco normativo de forma progresiva. Por citar un ejemplo, a partir de 2013 la Unión Europea hará obligatoria la instalación de serie de un sistema de frenado automático de emergencia en camiones y autobuses de nueva fabricación [Diario Motor, 2011]. Además, existen ya algunos desarrollos pioneros de sistemas de piloto automático que permiten, a distintos niveles, la circulación de vehículos sin conductor. Por ejemplo, el estado de Nevada es el primero en expedir la licencia para que los vehículos circulen solos sin un conductor [El Mundo, 2012], y ya se han realizado pruebas con un vehículo fabricado por Google [Wikipedia, 2012] (ver Figura 1). También otros fabricantes, como Volvo [Diario ABC, 2011] o BMW [Diario ABC, 2012a], [BMW España, 2012] han realizado pruebas recientemente de sistemas de piloto automático en sus vehículos, de forma autónoma, o formando parte de los denominados *Tre-*



Figura 1: Vehículo del programa *Google Driverless Car* (fotografía de la agencia REUTERS) y conductor del mismo en una prueba de conducción en el estado de Nevada (You Tube).

nes de Carretera, donde una caravana de coches conectados únicamente por sus sistemas electrónicos siguen a un vehículo *locomotora* que sería el único con conductor [Diario ABC, 2012b] (ver Figura 2).



Figura 2: Tres coches del fabricante Volvo siguen a un camión en un tren de carretera y siguen la misma ruta que este sin necesidad de conductor (fotografía de la agencia EFE publicada en el diario ABC).

A nivel de componentes, un sistema ITS está formado por un conjunto de elementos hardware y software que emplean tecnología actual. Los principales componentes se podrían clasificar, teniendo en cuenta su función, en los siguientes tipos: sensores, sistemas de comunicaciones, sistemas de procesado, y actuadores.

Los sensores son dispositivos que detectan una acción, externa o interna, y la transmiten adecuadamente. Cada vez es más común ver a los automóviles dotados de sensores distribuidos en distintos lugares del coche no sólo para monitorizar sus movimientos sino también, para controlar la conducta de la persona que está a cargo del vehículo. Por ejemplo, existen sensores para obtener la velocidad, aceleración y frenado de los vehículos, la distancia de seguridad, e incluso sensores que detectan cuando se produce un accidente para permitir disparar los airbags como medida de seguridad.

Desde el punto de vista de la comunicación, un sistema inteligente está basado principalmente en redes vehiculares, redes VANET (*Vehicular Ad Hoc Network*). Estas son redes ad-hoc móviles que emplean el medio inalámbrico para comunicarse. Poseen las mismas limitaciones que las comunicaciones inalámbricas en cuanto al rango de transmisión. Estas redes persiguen el intercambio de mensajes con otros vehículos (V2V) e infraestructura de red de la carretera (V2R: *vehicle-to-roadside communication*) [Arndt, 2008], [Motsinger y Hubing, 2007]. En [Galaviz Mosqueda et al., 2011] se puede consultar la taxonomía de los sistemas de comunicación vehiculares.

El procesado de información es un elemento fundamental para un ITS. Es necesario realizar un procesado de señal en cuanto a comunicaciones, y también en lo que se refiere a la información proporcionada por los distintos sensores para dar una cierta funcionalidad a partir de la información proveniente de los mismos. Toda información recibida debe ser procesada, ya sea debida al intercambio de mensajes entre vehículos, a sistemas de posicionamiento global (GPS), a las medidas de los sensores de a bordo o a la información proporcionada por las infraestructuras situadas en la carretera como pueden ser balizas.

Finalmente, los actuadores son los elementos encargados de tomar acciones, tales como avisos, frenada o control de la velocidad a partir de la información obtenida por el sistema de procesado.

Dentro del procesado de información, un problema que es necesario tratar en varias aplicaciones es el reconocimiento de patrones en imágenes. Es necesario dar solución a este problema por ejemplo para la detección de señales de tráfico, o la identificación de vehículos mediante reconocimiento de sus matrículas, por citar sólo un par de ejemplos. Este Trabajo Fin de Grado se centrará en el reconocimiento de patrones en imágenes con aplicación a los Sistemas Inteligentes de Transporte. En concreto, se va a llevar a cabo el diseño de clasificadores en imágenes aplicado al reconocimiento de señales de tráfico [Maldonado-Bascón et al., 2007], ya que éstas son de gran importancia de cara a la señalización en carretera para alertar de peligros, proporcionar información o regular el tráfico. Hoy en día algunas marcas, como Opel [Diario Motor, 2008] o BMW [BMW España, 2012], ofrecen ya un sistema de detección de imágenes basado en cámaras, que reconoce señales de tráfico y controla a una cierta distancia de qué tipo de señal se trata indicándoselo al conductor por medio de una pantalla, o proyectándolas sobre el parabrisas (ver Figura 3). La cámara suele estar situada en el parabrisas junto al retrovisor interior del vehículo.



Figura 3: Esquema con el monitor del Opel Insignia para la monitorización del límite de velocidad (imagen de la izquierda) y fotografía con la proyección sobre el parabrisas de la información de limitación de velocidad, prohibición de adelantar, e información del navegador en un vehículo del fabricante BMW (imagen de la derecha). Ambas imágenes se han obtenido de la página del correspondiente fabricante.

En cualquier caso, la detección de señales de tráfico no sólo es útil para proporcionar ayudas en la conducción, sino que también se están investigando otras posibles aplicaciones como el mantenimiento de señales en autopistas o el inventario de señales en ciudades [Collado et al., 2003]. Además, existen otras aplicaciones que emplean un sistema de detección de patrones en imágenes como son el sistema anti-colisión [Cisneros, 2009b], que se encarga de avisar al conductor cuando detecta la presencia de un objeto, el sistema de

aviso de fatiga [Navarrete et al., 2004], que se encarga de advertir al conductor cuando los movimientos del vehículo son sospechosos, el sistema de detección de ángulos muertos [Cisneros, 2009a], que alerta al conductor de la presencia de coches que realizan un adelantamiento o sistemas de detección de peatones [Cisneros, 2011], [Volvo Cars, 2012]. Las técnicas utilizadas para la detección de estos eventos son en muchos casos similares a las necesarias para la clasificación de señales de tráfico.

1.2. Objetivos

Este trabajo se centra en un módulo pequeño pero importante de los Sistemas Inteligentes de Transporte como es la detección de patrones en imágenes y su aplicación a la clasificación de señales de tráfico. La elección del módulo a desarrollar se hizo, por un lado, considerando las limitaciones temporales impuestas en un trabajo como este, y por otro lado, la influencia tecnológica que está suponiendo a día de hoy en el mercado automovilístico. Este módulo estaría integrado con otros subsistemas, como el de segmentación de imágenes [Gonzalez et al., 2009], cuyo proceso consiste en dividir la imagen en regiones u objetos con características similares, y con los distintos actuadores que se utilizarán para monitorizar señales o para tomar medidas a partir de la detección de las mismas (frenado si se excede la máxima velocidad permitida y así se ha requerido previamente por el conductor, por ejemplo). En este trabajo, por las limitaciones propias de un Trabajo Fin de Grado, se considerará el módulo de clasificación de señales de tráfico de forma aislada. Se supondrá que este recibe imágenes ya segmentadas por un módulo previo de segmentación, y se ignorarán las posibles acciones posteriores a la clasificación de una cierta señal.

En el ámbito del problema general de clasificación de señales de tráfico, los objetivos fundamentales de este Trabajo Fin de Grado son los siguientes:

- Diseñar un clasificador de señales de tráfico basado en métodos de aprendizaje máquina, como son las redes neuronales o las máquinas de vectores soporte, con unos requisitos mínimos esperables en un sistema de estas características para su aplicación dentro de un sistema inteligente de transporte.
- Evaluar las prestaciones, en cuanto a probabilidades de error de clasificación, que se pueden obtener con este tipo de clasificadores en la aplicación objeto del Trabajo Fin de Grado.

Además de estos dos objetivos básicos, existen también otros objetivos secundarios que se citan a continuación:

- La generación de una base de datos con imágenes en el ámbito del problema planteado, donde estén presentes algunas de las distorsiones o variaciones que pueden aparecer típicamente en un sistema de estas características. Esta base de datos será utilizada para la evaluación inicial de prestaciones obtenidas con los clasificadores máquina que se diseñen durante el trabajo.
- Comparación de las prestaciones obtenidas para la aplicación de este trabajo de distintas técnicas relacionadas con cada uno de los módulos funcionales necesarios en un clasificador de patrones en imágenes. En particular, se analizarán:

- Varios métodos de preprocesado y normalización de datos, necesarios para homogeneizar los datos antes de que estos sean presentados al clasificador máquina.
- Varios tipos de técnicas de extracción de características. La extracción de características es necesaria para reducir la dimensión del espacio de entrada del clasificador (que en este caso viene dada por el número total de píxeles de la imagen), ya que los métodos máquina aplicados a clasificación sufren de la llamada *maldición de la dimensionalidad*, que básicamente significa que su complejidad aumenta de forma exponencial con la dimensión de los datos a clasificar. Se evaluarán tanto técnicas supervisadas como no supervisadas. Aunque es conocido que las técnicas supervisadas proporcionan en general mejores prestaciones para una complejidad dada, se incluirán en el estudio también técnicas no supervisadas con el objetivo *académico* de evaluar la mejora ofrecida por las técnicas supervisadas frente a las no supervisadas en términos de la relación entre prestaciones y complejidad.
- Varios métodos de aprendizaje máquina como clasificador básico de patrones. En particular, se compararán las máquinas de vectores soporte y las redes de funciones de base radial generalizada, ambas con funciones de activación gaussianas. La comparación se realizará tanto en cuanto a prestaciones (probabilidad de error), como a complejidad (número de parámetros requerido).

A la hora de evaluar todos estos métodos, dadas las limitaciones temporales y de recursos de computación presentes en el desarrollo de un Trabajo Fin de Grado, no será posible realizar la evaluación de todas las posibles combinaciones de técnicas en cada uno de los módulos. Por tanto, se evaluará un subconjunto de las mismas, que se elegirá para que los resultados obtenidos permitan dentro de lo posible obtener información útil de las tendencias que aparecen para esta aplicación con un clasificador basado en métodos de aprendizaje máquina como el que se diseñará.

2. Estado del arte y planteamiento del problema

En este capítulo se realiza una revisión del estado del arte de los módulos funcionales del clasificador. Por un lado, se presentan algunas de las técnicas de preprocesado de imagen más habituales en el ámbito del trabajo (suavizado, detección de bordes o filtro de mediana), se describen diferentes técnicas de extracción de características (PCA, ICA ML o LDA, entre otras) y los clasificadores basados en aprendizaje máquina más habituales (máquinas de vectores soporte y redes neuronales).

3. Requisitos y diseño de la solución

3.1. Requisitos y especificaciones para la solución

Se quiere un clasificador que sea capaz de distinguir y clasificar lo mejor posible imágenes que pertenecen a diferentes clases. Teniendo en cuenta la función que debe desempeñar

dicho clasificador se definen una serie de requisitos y especificaciones que debe cumplir el sistema a implementar:

- El aprendizaje tendrá lugar a partir de ejemplos mediante *métodos máquina* como máquinas de vectores soporte o redes neuronales.
- El clasificador deberá ser un *clasificador multiclase*, de tal forma que se puedan distinguir entre imágenes de diferentes clases (más de dos).
- Las tasas de clasificación deberán ser lo suficientemente elevadas como para proporcionar unas prestaciones adecuadas.
- El coste computacional de la implementación deberá ser acorde con las restricciones de tiempo (aplicación en tiempo real) empleando las tecnologías actuales.
- El sistema debe de ser capaz inicialmente de trabajar partiendo de imágenes de distinta resolución que provendrán del módulo de segmentación y deberán soportar la recepción de imágenes tanto en color como en blanco y negro.
- Deberá ser un sistema robusto frente al ruido y frente a distorsiones típicas como desplazamientos, desenfoque o cambios de iluminación. Es decir, las prestaciones deben mantenerse a pesar de que puedan variar ciertas condiciones.

3.2. Esquema básico

Teniendo en cuenta los requisitos presentados anteriormente, la Figura 4 muestra el diagrama de bloques que representa los distintos módulos funcionales del clasificador que se va a diseñar y evaluar.

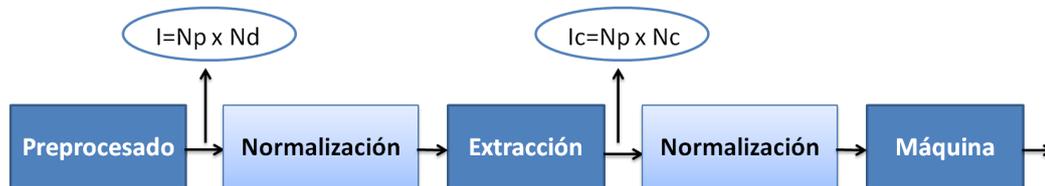


Figura 4: Representación del esquema básico del clasificador.

Como se puede observar en la figura existen cuatro módulos bien diferenciados: el módulo de preprocesado, extracción de características, normalización y el módulo máquina. A continuación se presentarán las principales características de cada módulo.

- **Preprocesado.** Se corresponde con el primer bloque del esquema de clasificación. En él se llevan a cabo dos operaciones principalmente. Una de ellas consiste en transformar las imágenes en color a escala de grises para tratar de reducir así la dimensión del problema. La otra operación está basada en la resolución de las imágenes, ya que después del módulo de segmentación previo, llegan imágenes de cualquier resolución, por lo que es necesario convertir estas imágenes a una resolución fija a través de la cual trabajará el resto del sistema. Para ello, se estudiará a partir de una serie de resoluciones qué tamaño proporciona la menor probabilidad de error de los datos de entrenamiento. Sin embargo, dependiendo del problema, a veces es necesario también llevar a cabo otras operaciones, como por ejemplo aplicar un filtro de mediana

para eliminar las deficiencias que presentan las imágenes u otras posibilidades que ofrece la literatura como la detección de bordes entre otras.

- **Extracción de características.** El objetivo de este módulo es obtener características que describan de la mejor manera posible el contenido de las imágenes. Dicha información deberá ser suficiente para distinguir unas imágenes de otras. Se evalúan distintos métodos de extracción de características, entre ellos, técnicas no supervisadas como PCA e ICA, en concreto el modelo ICA-ML y el algoritmo FastICA, y técnicas supervisadas como la de mínimos cuadrados y LDA.
- **Normalización.** Es un proceso que va a tener lugar en diferentes puntos, en concreto, tras los módulos de preprocesado y extracción de características. Mejora el funcionamiento tanto de la extracción de características (cuando la propia técnica no implica una normalización específica) como del clasificador máquina, ya que, al normalizar los datos, se transforman en otros valores que pertenecen a una escala predeterminada.

En el presente trabajo se probarán tres normalizaciones distintas y se verá cómo varían los resultados obtenidos. En particular, los datos serán normalizados por un lado en un rango de 0 a 1, de -1 a 1 y por varianza.

- **Clasificador máquina.** Una vez que la máquina ha sido entrenada, el clasificador debe ser capaz de clasificar de forma correcta imágenes nuevas que no habían participado en dicho entrenamiento. Se van a emplear clasificadores de dos tipos. Se estudiarán las prestaciones del sistema empleando por un lado máquinas de vectores soporte, y por otro redes neuronales de tipo GRBF. En ambos casos, las funciones de activación empleadas son gaussianas.

4. Resultados y evaluación

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos con los distintos métodos a partir de simulaciones. Se trata de analizar el funcionamiento en esta aplicación de los distintos métodos que se pueden implementar en cada módulo, con los respectivos parámetros generales que aparecen en el mismo. Sin embargo, el número de posibles configuraciones es muy elevado y por ello no ha sido posible simular todas las posibles configuraciones. En lugar de esto se ha realizado la simulación de un subconjunto de configuraciones que se ha seleccionado para poder extraer información suficientemente fiable sobre las principales tendencias de prestaciones que aparecen en cada módulo y en cada parámetro básico del mismo. Se presentan resultados empleando tanto imágenes sin ruido como imágenes con ruido, obteniendo la resolución de imagen, el número de características y el número de neuronas óptimo para distintas configuraciones pre-establecidas.

5. Presupuesto y planificación del trabajo

En este capítulo se presenta por un lado la planificación y el seguimiento del trabajo mostrando para ello el *diagrama de Gantt*¹ correspondiente según las tareas realizadas, y

¹El diagrama de Gantt es una herramienta de planificación y programación de proyectos de diversa índole, cuyo objetivo es mostrar el tiempo de dedicación previsto para las diferentes tareas.

una estimación del presupuesto del trabajo teniendo en cuenta las condiciones necesarias para llevar a cabo un trabajo como este.

6. Conclusiones

En este Trabajo Fin de Grado se ha diseñado un clasificador para el reconocimiento de señales de tráfico formado por los 4 módulos citados anteriormente. En cada uno de ellos se han probado diferentes métodos para ver sus prestaciones. Como técnicas de preprocesado se han utilizado el filtro de mediana y la detección de bordes. Se han probado varios tipos de normalización, de 0 a 1, de -1 a 1 y por varianza. Por otro lado, se han empleado las técnicas de extracción de características no supervisadas PCA, ICA-ML y Fast-ICA, y las técnicas supervisadas LS y LDA. Por último, en cuanto a métodos de aprendizaje máquina se han utilizado SVM y GRBF. Para evaluar los clasificadores propuestos, se ha generado una base de datos con imágenes de señales de tráfico.

En este capítulo se hablará de mejores prestaciones o de que un método funciona mejor que otro. En ese caso, nos referimos a que la probabilidad de acierto promedio es superior que a la que se obtiene con el resto de técnicas, es decir, el sistema comete menos fallos a la hora de clasificar a qué clase pertenecen cada una de las imágenes. A la vista de los resultados proporcionados en el Capítulo 4 (versión extendida de la memoria) se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Hay que elegir de forma correcta la base de datos con la que se va a trabajar. Esta debe representar efectos que puedan presentarse en una aplicación real como la considerada a escala en este trabajo.
- Es importante elegir bien los parámetros de la máquina para que no deriven en problemas de sobreajuste o subajuste. En nuestro caso al limitar el número de características y de neuronas a emplear, y al utilizar validación cruzada para la selección de la mejor máquina en la fase de entrenamiento se está controlando que no se produzcan situaciones de ese tipo.
- Como era de esperar, las técnicas de extracción de características supervisadas proporcionan mejores prestaciones que las no supervisadas con una complejidad más reducida (menor número de características).
- Para imágenes sin fuentes de ruido, las técnicas supervisadas presentan mejores prestaciones para SVM que para GRBF. Sin embargo, con las no supervisadas sucede al contrario, funciona mejor la red neuronal que la máquina de vectores soporte.
- A igualdad de condiciones empleando una única característica y una única neurona, si se comparan técnicas supervisadas, el método LDA proporciona prestaciones superiores al de mínimos cuadrados. En general, LDA presenta muy buenas prestaciones frente al resto de técnicas.
- Se puede decir que emplear como técnica de preprocesado un filtro de mediana mejora las prestaciones tanto para imágenes limpias como para imágenes con ruido sal y pimienta.
- Si se comparan las dos técnicas de preprocesado empleadas, filtro de mediana y detección de bordes, el filtro de mediana presenta elevadas prestaciones con respecto a las que se obtienen con detección de bordes.

- En este caso y para la base de datos empleada, el método de normalización que mejor funciona es la normalización de los datos de 0 a 1.
- En cuanto a técnicas no supervisadas, el método Fast ICA proporciona resultados ligeramente superiores al resto.
- La técnica no supervisada que menor número de parámetros requiere es ICA ML, mientras que como técnica supervisada LDA es la que menor memoria requiere con diferencia.
- Para imágenes con ruido, en este caso concreto, se necesita una resolución ligeramente superior (16×16 frente a 12×12 píxeles para imágenes sin ruido).
- Además, en imágenes ruidosas la SVM funciona siempre ligeramente mejor que la GRBF, aunque requiere una mayor complejidad.
- En imágenes ruidosas, las prestaciones obtenidas sin utilizar un filtro de mediana en la etapa de preprocesado no caen drásticamente. Esto puede deberse al filtrado implícito que supone bajar la resolución a 12×12 o 16×16 .
- Se ha comprobado que según aumenta la densidad de ruido en las imágenes, las prestaciones decaen ligeramente. Aunque hay que señalar que la degradación visual es mucho mayor que la disminución que sufren dichas prestaciones.
- Las clases más conflictivas y que requieren por tanto un mayor número de características y de neuronas, según los estudios realizados, son las clases 2, 4, 7 y 8.
- Es más conveniente a igualdad de prestaciones, realizar la extracción de características general, ya que la extracción por parejas es mucho más compleja computacionalmente, es decir, se obtiene un conjunto de parámetros únicos para cada par de clases (parámetros de normalización, matriz de proyección y parámetros de la máquina). Sin embargo, la extracción de características general conlleva una menor carga computacional, ya que los clasificadores comparten los mismos parámetros de normalización y la misma matriz de proyección, a excepción de los parámetros de la máquina (parámetros distintos para cada pareja de clases).

Finalmente, después de todo el análisis realizado se ha de elegir cuál es la solución propuesta para el clasificador. Para ello hay que tener en cuenta diferentes condiciones y ciertas restricciones. Por un lado, hay que considerar la calidad general de las imágenes a clasificar, considerando, por ejemplo, el nivel de ruido de las mismas. Para imágenes con alta calidad, como se ha visto en el análisis de imágenes sin ruido, utilizar la SVM con técnicas de extracción supervisadas, LDA, sería la mejor alternativa. En cambio, para imágenes con una degradación más notable, como se ha visto en los resultados presentados en el Capítulo 4 de la memoria para imágenes ruidosas, la SVM proporciona mejores prestaciones que la GRBF. Por otro lado, hay que cotejar también lo restrictiva que sea la complejidad del clasificador, es decir, si existen restricciones sobre la complejidad del mismo para su implementación. En este caso, lo más conveniente es usar la GRBF ya que presenta menor coste computacional que la SVM. Sin embargo, si la complejidad del sistema es algo secundario, y con la tecnología empleada se puede implementar esta solución en tiempo real, es más apropiado emplear la SVM puesto que garantiza mejores prestaciones en esas condiciones. Por tanto, en general la decisión sobre qué propuesta es la que se va a llevar a cabo va a depender de las restricciones impuestas ante el sistema por el cliente y de las condiciones específicas de la aplicación.

Referencias

- [Arndt, 2008] M. ARNDT. “ITS in ETSI standards for road transport”. En *7th European Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services*, Ginebra. Junio 2008.
- [BMW España, 2012] BMW ESPAÑA. “BMW Connected Drive”. <http://www.bmw.es/connecteddrive>. 2012.
- [Cisneros, 2009a] O. CISNEROS. “El sistema de detección de ángulos muertos y asistencia para cambio de carril”. Informe Técnico 40, Mecánica y electrónica. Instituto de Investigación sobre Reparación de Vehículos. 2009. e-Safety: Nuevas tecnologías al servicio de la seguridad vial.
- [Cisneros, 2009b] O. CISNEROS. “Los sistemas anticolidión (cas, collision avoidance systems)”. Informe Técnico 41, Mecánica y electrónica. Instituto de Investigación sobre Reparación de Vehículos. 2009. e-Safety: Nuevas tecnologías al servicio de la seguridad vial.
- [Cisneros, 2011] O. CISNEROS. “Nuevos sistemas de detección de peatones y frenado automático”. Informe Técnico 49, Mecánica y electrónica. Instituto de Investigación sobre Reparación de Vehículos. 2011. e-Safety: Nuevas tecnologías al servicio de la seguridad vial.
- [Collado et al., 2003] J. M. COLLADO, C. HILARIO, J. ARMINGOL, y A. DE LA ESCALERA. “Visión por computador para vehículos inteligentes”. *Ceautomática*, 2003.
- [Comisión Europea, 2007] COMISIÓN EUROPEA. “Resumen y publicación de mejores prácticas de seguridad vial en los estados miembros”. http://ec.europa.eu/transport/roadsafety_library/publications/supreme_c_es.pdf. 2007.
- [Diario ABC, 2011] DIARIO ABC. “El coche sin conductor, probado con éxito en Suecia”. <http://www.abc.es/20110119/tecnologia/abci-video-coche-conductor-probado-201101191025.html>. 2011. Publicado el 25 de enero de 2011.
- [Diario ABC, 2012a] DIARIO ABC. “El coche de BMW que se conduce solo”. <http://www.abc.es/20120124/ciencia/abci-coche-conduce-solo-201201240910.html>. 2012. Publicado el 24 de enero de 2012.
- [Diario ABC, 2012b] DIARIO ABC. “Volvo prueba en España su sistema de piloto automático para coches”. <http://www.abc.es/20120529/tecnologia/abci-coche-piloto-automatico-201205290811.html>. 2012. Publicado el 29 de mayo de 2012.
- [Diario Motor, 2008] DIARIO MOTOR. “Sistema de detección de señales y de salida de carril para el Insignia: Opel Eye”. <http://www.diariomotor.com>. 2008. Publicado el 19 de junio de 2008.
- [Diario Motor, 2011] DIARIO MOTOR. “Frenada automática de emergencia, obligatoria en camiones y autobuses a partir de 2013”. <http://www.diariomotor.com>. 2011. Publicado el 16 de mayo de 2011.

- [El Mundo, 2012] EL MUNDO. “Los vehículos sin conductor de Google obtienen licencia para circular en Nevada”. <http://www.elmundo.es/elmundo/2012/05/08/navegante/1336476861.html>. 2012.
- [Galaviz Mosqueda et al., 2011] G. A. GALAVIZ MOSQUEDA, R. AQUINO SANTOS, L. A. VILLASEÑOR GONZÁLEZ, A. EDWARDS BLOCK, y V. RANGEL LICEA. “Survey on multi-hop vehicular ad hoc networks under IEEE 802.16 technology”. *Intech*, Enero 2011.
- [Gonzalez et al., 2009] R. C. GONZALEZ, R. E. WOODS, y S. L. EDDINS. *Digital Image Processing Using MATLAB, 2nd edition*. Gatesmark Publishing. 2009.
- [Instituto Español de Comercio Exterior, 2012] INSTITUTO ESPAÑOL DE COMERCIO EXTERIOR. “El sector de transporte en finlandia”. <http://www.icex.es/servicios/documentacion/documentoselaborados/icex/pdfs/nota%20transporte%20finlandia.pdf>. 2012.
- [Maldonado-Bascón et al., 2007] S. MALDONADO-BASCÓN, S. LAFUENTE-ARROYO, P. GIL-JIMÉNEZ, H. GÓMEZ-MORENO, y F. LÓPEZ-FERRERAS. “Road-sign detection and recognition based on support vector machines”. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 8(2):264–278, junio 2007.
- [Ministerio de la Presidencia, 2012] MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA. “Real Decreto 662/2012 de 13 de abril, por el que se establece el marco para la implantación de los sistemas inteligentes de transporte (SIT) en el sector del transporte por carretera y para las interfaces con otros modos de transporte”. Boletín Oficial del Estado. 2012. Número de 14 de abril, Sección I, páginas 29524–29530.
- [Motsinger y Hubing, 2007] C. MOTSINGER y T. HUBING. “A review of vehicle-to-vehicle and vehicle-to-infrastructure initiatives”. Informe técnico, The Clemson University Vehicular Electronics Laboratory. 2007.
- [Navarrete et al., 2004] J. A. R. NAVARRETE, M. M. MADRID, E. B. QUEZADA, O. R. CANO, y J. M. F. ROMERO. “Aspectos de la fatiga del conductor y estudios de las tecnologías para detectarla y prevenirla”. Informe Técnico 241, Instituto Mexicano del Transporte. 2004.
- [Parlamento Europeo y Comisión, 2010] PARLAMENTO EUROPEO Y COMISIÓN. “Directiva 2010/40/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 7 de julio de 2010, por la que se establece el marco para la implantación de los sistemas de transporte inteligentes en el sector del transporte por carretera y para las interfaces con otros modos de transporte”. Diario Oficial de la Unión Europea. 2010. Número de 6 de agosto, páginas L207-1 a L207-13.
- [Unión Europea, 2012] UNIÓN EUROPEA. “Análisis de las tecnologías inalámbricas de comunicaciones (TIC) emergentes en el ámbito transfronterizo dentro del marco del proyecto I+E”. http://www.ipulse.eu/IMG/pdf/I_E_Poctefa_Estudio_A1_sectorTICs_Jun10.pdf, OPThote="Unión Europea. 2012.

- [U.S. Department of Transportation, 2012] U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. “Intelligent transportation systems - joint program office”. <http://www.its.dot.gov>. 2012.
- [Volvo Cars, 2012] VOLVO CARS. “Pedestrian detection with full auto brake - unique technology in the all-new Volvo S60”. <http://www.volvocars.com/en-ca/top/about/news-events/pages/default.aspx?itemid=17>. 2012.
- [Wikipedia, 2012] WIKIPEDIA. “Google’s driverless car”. http://en.wikipedia.org/wiki/Google_driverless_car. 2012.