

Proyecto SAFEBUS: Sistemas Avanzados de Seguridad Integral en Autobuses

Leopoldo Armesto^a, Laura Arnal^a, Juan Dols^a, Vicent Gírbés^a, Juan Carlos Peris^b

^aInstituto de Diseño y Fabricación (IDF), Universidad Politécnica de Valencia, C/Camino de Vera s/n, 46022 (Valencia)

^bCognitive Robots S.L., Ed. Españet 1, Parque científico, tecnológico y empresarial de la U. Jaume I, Av. Vicente Sos Baina s/n, 12071 (Castellón de la Plana)

Resumen

Es bien conocido a partir de estudios previamente realizados, la elevada accidentabilidad de los autobuses urbanos en situaciones de baja velocidad que hacen más necesarios sistemas de asistencia a la conducción. En este sentido, el artículo describe los resultados obtenidos como consecuencia del desarrollo del proyecto “Sistemas Avanzados de Seguridad Integral en Autobuses” (SAFEBUS). Concretamente, se centra en los aspectos de seguridad exterior del autobús, proponiendo un sistema para las situaciones de baja velocidad, paradas o arrancadas del autobús. En él se describen las ideas conceptuales del proyecto y los subsistemas que lo conforman: sistema de detección de personas y sistema avanzado de asistencia al conductor, incluyendo el diseño de dispositivos de realimentación háptica y audio-visual. Así mismo, se detallan los experimentos y validaciones realizados tras la implantación del mismo en autobuses de la compañía Castrosua S.A., los cuales demuestran la capacidad de alertar al conductor y en caso necesario detenerlo en situaciones de peligro.

Palabras Clave: Sistemas de Seguridad Avanzados; dispositivos ADAS; detección de personas; seguridad autobús.

1. Introducción

El transporte de pasajeros constituye actualmente un sector económico de una importancia estratégica creciente, que contribuye a la mejora de la competitividad y al desarrollo de otros sectores como la industria, el comercio y el turismo en todos los países industrializados. Los autobuses y autocares son componentes fundamentales de los sistemas de transporte público, y contribuyen socioeconómicamente al fomento del turismo, el ahorro energético, la conservación del medio ambiente, la seguridad vial, la movilidad y la economía. Ningún otro medio de transporte colectivo de pasajeros juega un papel tan importante en todos estos sectores a la vez.

La Organización Mundial de la Salud, en su informe sobre la situación mundial de la seguridad vial y su apoyo a la iniciativa del decenio en acción (2011-2020), establece en sus conclusiones la necesidad de que los gobiernos velen por que los sistemas de transporte público sean seguros, accesibles y asequibles, habida cuenta de la necesidad de aumentar la seguridad en los desplazamientos en zonas urbanas, donde el tráfico está cada vez más congestionado OMS (2013).

Los autobuses y autocares representan el 55 % del transporte público en Europa, mientras que el resto de modos de

transporte terrestre – ferrocarril, tranvías y metro– constituyen conjuntamente el 45 % restante ASCABUS (2013). El hecho de tratarse de un transporte colectivo, en gran parte público, hace que la búsqueda de soluciones para la mejora de la seguridad activa y pasiva sea continua, siendo ésta una prioridad absoluta de todos los operadores de transporte de pasajeros.

Actualmente, el transporte de pasajeros en autobuses y autocares por carretera es el más seguro en Europa, igualando en nivel de seguridad a los ferrocarriles, a pesar de compartir infraestructuras con otros usuarios y medios de transporte. Entre 2007 y 2008, los pasajeros de autobuses y autocares representaron sólo el 0,57 % de las muertes registradas en la Unión europea CARE (2004). En España, en el año 2012 hubo 1726 accidentes con víctimas (mortales, heridos graves y leves) en los que estuvo involucrado un autobús, siendo un 83 % de éstos en vías urbanas y el 17 % restante en vías interurbanas. Así y todo, el porcentaje de accidentes con víctimas en autobuses y autocares en 2012 constituye sólo el 2 % del total, en comparación con el 57 % de los turismos, el 20 % de las motocicletas o el 5 % de las furgonetas Seguí (2013).

Kirk et al. (2001) concluyen en un estudio realizado en Gran Bretaña entre 1994-1998 que el 63 % de los fallecidos o heridos graves ocurridos en accidentes con autobuses y autocares se producen en incidentes sin impacto, y el 94 % de estos incidentes tienen lugar en zonas urbanas (con velocidad limitada a 30 mph). En Berntman et al. (2010) analizan la seguridad en autobuses a partir de datos de la policía y partes de lesiones

Correos electrónicos: leoaran@isa.upv.es (Leopoldo Armesto), lauarbe@alumni.upv.es (Laura Arnal), jdols@mcm.upv.es (Juan Dols), vgirbes@idf.upv.es (Vicent Gírbés), jcperis@c-robots.com (Juan Carlos Peris)

hospitalarias, incluyendo en el estudio los desplazamientos hacia/desde la parada del autobús, además de la subida y bajada del mismo, concluyendo que la mayoría de lesiones a bordo se producen como consecuencia de un cambio brusco de velocidad del vehículo (60 % en el frenado y un 25 % en la aceleración), afectando fundamentalmente a personas mayores y discapacitadas. Este colectivo se muestra como el más vulnerable ya que representa más del 50 % de accidentados, tanto como pasajeros (mayor lesividad al bajar del vehículo que al subir), como peatones (al acceder a la parada).

Precisamente, uno de los problemas más difíciles de resolver, cuando se desea reducir la accidentabilidad de los vehículos de transporte público de pasajeros es aquel que se produce cuando los usuarios, por su baja estatura, quedan fuera del alcance de visión del conductor y tratan de cruzar la carretera por delante o por detrás del vehículo, justo cuando éste reinicia la marcha. Es el caso de los menores, o personas que se desplazan en sillas de ruedas. Una de las pocas recomendaciones que existen al respecto la podemos encontrar en la norma alemana StVZO 34^a, en la que se obliga a todos los autobuses destinados al transporte de niños, a que desde el puesto del conductor se pueda ver a un menor de 1,2 m de altura a una distancia de 1 m del frontal, extendiéndose también a los laterales desde el pilar hasta la mitad del vehículo García et al. (2003). El uso de espejos es en la gran mayoría de ocasiones insuficiente, ya que la ubicación de un niño puede cambiar rápidamente y el conductor puede no estar mirando en ese preciso instante. Por tanto, el uso de sistemas de seguridad en la periferia del autobús se hace cada vez más indispensable y necesario.

Durante la última década se han venido desarrollando sensores que advierten al conductor del autobús de los objetos o peatones que se encuentran próximos al mismo. Habitualmente a estos sistemas se les denomina ODS (*Object detection system*), y permiten, una vez detectado el obstáculo en el área que circunda al vehículo (hasta 3 metros), avisar visual y acústicamente al conductor Dunn et al. (2007). Habitualmente los sistemas de seguridad activa ODS suelen utilizar tecnologías basadas en LIDAR, RADAR, Ultrasonidos, Visión por Computador, etc.

Según García et al. (2013), los sistemas de seguridad activos que mayor efectividad presentarán en entornos urbanos son aquellos basados en sistemas de aviso de colisión frontal, lateral, atropellos o frenadas de emergencia. Este conjunto de dispositivos de ayuda se engloban en lo que se conoce como sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS o *Advanced Driving Assistance Systems*), que permiten la intervención sobre el estado de atención de éste mediante el uso de dispositivos visuales, hápticos y auditivos, con el objetivo de contribuir a la reducción del número de accidentes y su gravedad. De entre todos los ADAS posibles de ser utilizados en entornos urbanos, resultan de especial relevancia aquellos que actúan a baja velocidad para detectar la presencia de peatones en las inmediaciones del vehículo, caso del transporte en autobús, y modifican el comportamiento del conductor mediante estímulos reactivos que condicionan la toma de decisiones para mejorar la seguridad en el tráfico, evitando por ejemplo un atropello, o ayudando al conductor a realizar la maniobra de cambio de carril o a

la realización de una frenada de emergencia Gandhi y Trivedi (2006); Geronimo et al. (2010).

Así pues, la monitorización del entorno del vehículo también tiene un papel importante en los ADAS, demandando una gran cantidad de sensores, dando pie a trabajos de fusión sensorial, como por ejemplo de escáner láser García et al. (2011) y vídeo para la detección de peatones Kaempchen y K. (2004); Geronimo et al. (2010); Dalal y Triggs (2005); Schneider y Gavrilu (2013). También, hay un esfuerzo en cuanto a los elementos de realimentación con el conductor, donde van ganando cada vez más terreno las interfaces hápticas, como pedales para controlar la desaceleración Mulder et al. (2009). Por otra parte, muchos de los estudios se enfocan en el ámbito de desarrollo de métodos de simulación para evaluar y verificar la calidad, seguridad y funcionalidad de estos sistemas, así como el análisis de los efectos que éstos provocan en relación con la seguridad en términos de distancia y velocidad Adell et al. (2011).

En los ADAS, el conductor tiene un papel importante a la hora de definir los requerimientos de diseño. Esto genera investigaciones orientadas a la interacción de las personas con estos sistemas, como es el caso de la conducción basada en maniobras seleccionables por el usuario Kauer et al. (2010). Otros estudios se centran en el diseño de interfaces dedicadas a satisfacer las necesidades los conductores, desarrollo de componentes de interacción hombre-máquina, tanto audiovisual como háptica, dentro de los conceptos de velocidad y distancia seguras Adell et al. (2008a), combinación de preferencias de conducción de los usuarios y márgenes de seguridad para generar maniobras óptimas Biral et al. (2005).

En la actualidad ya existen sistemas con adaptación de velocidad y realimentación háptica en el pedal. Algunos estudios realizados demuestran los beneficios que conlleva la inclusión de estos sistemas en la cadena de control de un vehículo Nilsson (2002); Adell et al. (2008a,b, 2011). Mientras que otras líneas de investigación tratan de analizar la adaptación del conductor al nuevo dispositivo, demostrando que después de un cierto tiempo es capaz de mejorar su conducción haciéndola más segura Várhelyi et al. (2004); Hjalmdahl y Várhelyi (2004); Adell y Várhelyi (2008).

Por tanto, si bien las cifras de siniestralidad del autobús son notablemente inferiores a otros medios de transporte y presenta valores similares a las del tren, la mejora continua de la seguridad de los autobuses representa el principal campo de desarrollo tecnológico dentro del sector.

En el presente artículo se presentan los resultados parciales obtenidos en el proyecto Sistemas Avanzados de Seguridad Integral en Autobuses (SAFEBUS) correspondientes a la implementación de sistemas ADAS hápticos y audio-visuales, que permiten asistir al conductor del autobús en la detección de peatones en las maniobras a baja velocidad en entornos urbanos. Estos resultados son consecuencia de los desarrollos realizados para la implantación de un prototipo en un autobús (modelo TEMPUS) de Castrosua S.A. durante la fase de validación del mismo.

2. Sistema de Seguridad Exterior del proyecto SAFEBUS

El proyecto SAFEBUS tiene como objetivos el desarrollo de sistemas avanzados de seguridad integral en autobuses, tanto activos como pasivos, que ofrezcan a los usuarios una mayor seguridad en sus desplazamientos. Con el desarrollo de estos nuevos sistemas de seguridad se busca la reducción de la frecuencia y gravedad de los accidentes ocurridos en relación con los autobuses (accidentes y las lesiones asociadas a las caídas de los pasajeros que viajan de pie, así como los atropellos producidos en las zonas de carga y descarga de los pasajeros) a través de soluciones tecnológicamente avanzadas que puedan integrarse en los autobuses urbanos.

El proyecto SAFEBUS contempla los siguientes objetivos específicos¹:

- Identificar los tipos de sucesos ocurridos en los momentos de carga y descarga de pasajeros y su incidencia.
- Contribuir a la prevención de lesiones de los usuarios de autobuses mediante el diseño de nuevos conceptos de seguridad activa y pasiva.
- Desarrollar un sistema integral de asistencia a la conducción para detección de personas a bajas velocidades.
- Mejorar la seguridad del entorno del vehículo en momentos de paradas, arrancadas y circulación a baja velocidad.
- Implementar un vehículo con los nuevos sistemas de seguridad activa y pasiva.

Concretamente, el artículo se centra en la detección de personas con sistemas de visión en las proximidades de un autobús (modelo TEMPUS) de Castrosua S.A., focalizando la problemática a las situaciones de parada y arrancada del mismo (por debajo de 15 km/h). El sistema desarrollado detecta personas desde una vista cenital, por la proximidad a la que éstas se encuentran con respecto al autobús, si bien una cámara frontal permite detectar personas de frente a una distancia mayor. Como se describe a continuación, en el proyecto se ha desarrollado de un conjunto de dispositivos de alerta al conductor: realimentación audio-visual mediante una pantalla instalada en el propio panel del autobús y dispositivos hápticos con objeto de hacer consciente al conductor del peligro. Merece la pena remarcar que en ningún caso estos dispositivos garantizan la ausencia de colisiones, ya que intencionadamente la solución adoptada actúa de forma preventiva permitiendo que el conductor tenga el manejo del autobús en todo momento. Así pues, se pretende evitar que el conductor sienta una falta de control sobre el vehículo, que pudiera resultar molesta. En cualquier caso, si el autobús circula a muy baja velocidad (< 5 km/h) se puede activar una señal de emergencia que provoca el bloqueo del motor del mismo, con objeto de garantizar la ausencia de colisiones si las medidas preventivas anteriores fueran insuficientes.



Figura 1: Idea conceptual del Proyecto SAFEBUS.

En este sentido, la solución propuesta consiste en el desarrollo de un conjunto de cámaras inteligentes con capacidad de detectar personas. Dichas cámaras están ubicadas en puntos ciegos del conductor, como la parte frontal del autobús y en los accesos de las puertas. En la Figura 1 se muestran las ubicaciones escogidas para validar los resultados del proyecto que cubre el lateral derecho (1); frontal (cenital) más próximo a la periferia del autobús (2); frontal cubriendo una distancia a partir de los 2 m (3). Dado que el sistema es modular, las cámaras pueden ubicarse en otros puntos ciegos, como la parte trasera del autobús o el lateral izquierdo. No obstante, dichas zonas no fueron cubiertas porque la experimentación realizada se ha focalizado en la evitación de atropellos en la parte frontal y lateral, aunque en los desarrollos previos fueron contempladas. En la Figura 2 se muestra la vista cenital con las zonas cubiertas por las cámaras.

Además, tal y como se ha mencionado anteriormente, la solución propuesta incluye un conjunto de sistemas audio-visuales y hápticos para el aviso al conductor, también mostrados en la

¹El proyecto SAFEBUS también contempla objetivos específicos en relación a la seguridad interior del autobús, desarrollando nuevos sistemas de segu-

ridad pasiva, adaptados a la ergonomía del usuario. También persigue establecer nuevos protocolos y ensayos por simulación con objeto de evaluar la eficacia de los nuevos diseños. Si bien, estos otros objetivos quedan fuera del alcance de este artículo.

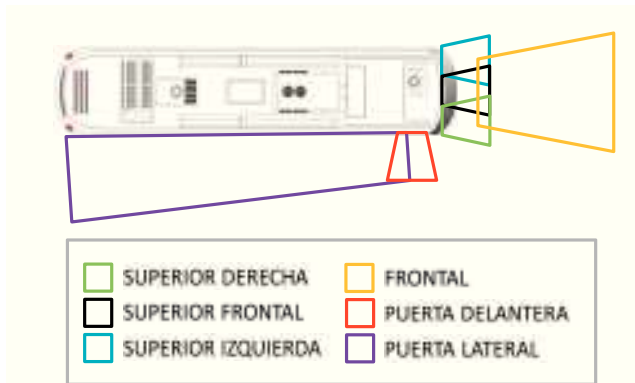


Figura 2: Zonas de detección.

Figura 1. Concretamente estos sistemas son: sistema de monitorización o realimentación audio-visual (4) en el que se muestra el conjunto de imágenes capturadas por las cámaras junto a regiones de interés (ROI o *region of interest*) por cada persona detectada y que genera avisos sonoros en función de la situación detectada; pedal de aceleración con realimentación háptica (5), que consiste en un pedal con palanca de bloqueo para expulsar el pie del acelerador, alertando al conductor de esta manera que la maniobra de arranque es potencialmente peligrosa; sistema de frenado de la columna de dirección (6), que sin ser bloqueante consigue hacer “consciente” al conductor que determinada dirección de movimiento no es recomendable.

En la Figura 3 se muestra un diagrama con las relaciones de los diferentes procesadores instalados en el autobús, aquí denotados por nodos. Los nodos están basados en la tarjeta embebida “Odroid-U2”, que utiliza un procesador ARM de cuatro núcleos Samsung Exynos4412 Prime (Cortex-A9) a 1.7 Ghz. Además incorporan la distribución Linaro 12.11 (kernel 3.8.13.14-rt30 armv7l) basada en Ubuntu como S.O., y para la comunicación entre las diferentes aplicaciones de los nodos se ha adoptado una arquitectura de *software* de agentes basada en ROS Groovy Quigley et al. (2009). El nodo “Master” de la Figura 3 es responsable de diferentes funcionalidades de la aplicación desarrollada: monitorización de la comunicación CAN del subsistema DICO (*drive control unit*) del autobús, que publica a través del bus CAN, entre otra información, las velocidades de las ruedas y eje motor, posición del los pedales de aceleración y freno y modo de marcha DNR (*Direct-Neutral-Reverse*); gestión la comunicación serie con un procesador digital de señales (DSP) encargado del control de los dispositivos hápticos y la señal de parada de emergencia (se detallará más en la sección 4); construcción de un mapa de ocupación de los obstáculos (personas) detectadas a partir de la información recibida por los nodos “Cámara Inteligente”; servidor web de las imágenes capturadas por las cámaras debidamente combinadas. La pantalla, donde dichas imágenes son mostradas, es en realidad un Panel-PC táctil, con el único requisito de ser capaz de ejecutar un navegador web para la visualización de las imágenes y disponer de una salida audio estéreo para el aviso sonoro. Los nodos “Cámaras inteligentes” son capaces de capturar imágenes

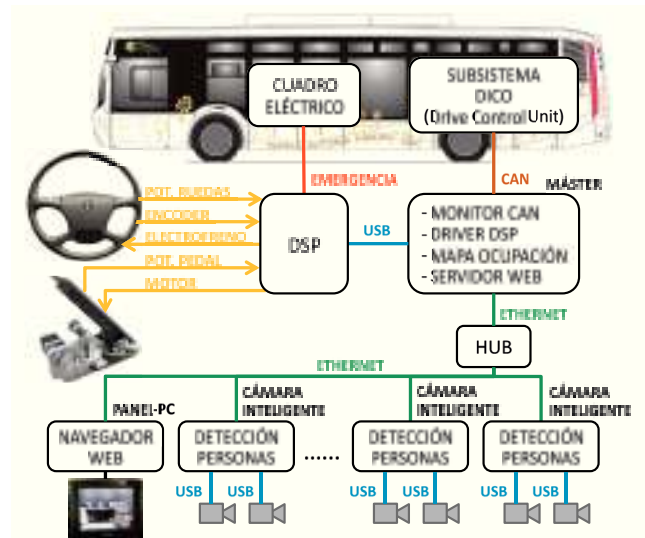


Figura 3: Relación entre nodos, dispositivos y vehículo del sistema de detección de personas, realimentación háptica y audio-visual.

nes de cámaras digitales, procesarlas y enviar los resultados de procesamiento al nodo “Master”.

3. Sistema de Detección de Personas

El sistema de detección de personas utiliza unas cámaras estéreo que permiten obtener imágenes para detectar personas por su apariencia, así como información 3D al respecto del entorno para detectarlas por su volumen. En la Figura 4 se muestran las etapas de procesamiento:

Adquisición y Rectificado. Adquiere imágenes a 15 FPS (*Frames* por segundo) y aplica una transformación homogénea, obtenida en la calibración del sistema, que las hace coplanares. Esto permite que los objetos aparezcan en la misma fila en ambas imágenes, pudiendo acelerar así el cálculo de la disparidad. Esta etapa genera dos imágenes (izquierda y derecha) rectificadas, ver Figura 5(a) para la imagen de la cámara izquierda. Para la rectificación de la imagen se ha implementado una LUT (*Look-Up-Table*) con objeto de acelerar el cálculo de la transformación homogénea.

Disparidad. Calcula la disparidad entre las imágenes de la cámara izquierda y derecha basado en la técnica de la suma de diferencias absolutas (SAD) Richardson (2004). Genera una imagen de disparidad a partir de las imágenes rectificadas, ver Figura 5(b). Utiliza la función de OpenCV “StereoBM” cuya parametrización incluye un filtrado Sobel previo, un tamaño de ventana de 15 píxeles, un rango de disparidad de $[-50, 46]$ píxeles, entre otros.

Proyección 3D. Obtiene una nube de puntos 3D basado en la geometría epipolar del sistema estéreo Hartley y Zisserman (2004). Genera una lista de puntos correspondientes a todos los objetos de la escena, ver Figura 5(c). Los puntos próximos al plano del suelo son filtrados sistemáticamente.

Segmentación. Extrae de forma robusta objetos cilíndricos a partir de la nube de puntos 3D basándose en la técnica de RAN-SAC (*Random Sampling Consensus*) Fischler y Bolles (1981). En este sentido, las personas se aproximan a objetos cilíndricos. Además, se han aplicado diversos filtros de relaciones geométricas de verticalidad y tamaño de radio del cilindro. Esta etapa genera regiones de interés (en el plano de la imagen) con los objetos que se asemejan a un cilindro con las regiones a utilizar en la detección de personas por apariencia, ver Figura 5(d).

Clasificación HOG. Detecta personas por apariencia basándose en la técnica de HOG (*Histogram of Oriented Gradients*) Dalal y Triggs (2005). Utiliza un clasificador en cascada (tipo *boost*) para discriminar personas en la imagen Zhu et al. (2006). Genera regiones de interés (en el plano de la imagen) con la posición y tamaño de las personas, ver Figura 5(e). El tamaño de ventana es de 96×96 utilizando un total de 21 etapas de clasificación. Con objeto de detectar personas con diferentes tamaños, el proceso se repite iterativamente con un ratio de reducción de 1.1 con respecto a la imagen anterior.

Flujo Óptico. Obtiene la velocidad de las regiones de interés a partir del vídeo (secuencia consecutiva de imágenes) que permite estimar el desplazamiento en píxeles de las regiones Lucas y Kanade (1981). Para el cálculo del desplazamiento medio de todos los píxeles de una región, se utiliza la técnica de RAN-SAC con objeto de filtrar datos espúreos (píxeles que se mueven en una dirección diferente con respecto a la de la mayoría de los píxeles), ver Figura 5(f). Para la parametrización de esta etapa se utiliza un máximo de 200 características de la imágenes basadas en las esquinas de Harris Harris y Stephens (1988) con una distancia mínima entre características de 5 píxeles y un tamaño de ventana de 21×21 para las regiones ya existentes y de 31×31 para la inicialización.

Tracking. Permite fusionar la posición de las regiones de interés devueltas por el clasificador HOG junto a las velocidades de dichas regiones estimadas mediante el flujo óptico basado Kalman Kalman (1960), ver Figura 5(g) (el resultado puede parecer idéntico al de la Figura 5(e), pero la ventana está ligeramente desplazada). El vector de estados del filtro de Kalman contiene la posición y velocidad del centro de la región. Como mediciones del filtro se tienen la posición de la región obtenida a través de HOG y la velocidad de la misma a través del flujo óptico. La correspondencia de las regiones maximiza el área común a las mismas Enzweiler y Gavrilu (2009).

Con objeto de distribuir la carga computacional de los algoritmos, la implementación utiliza 3 hilos de ejecución, tal y como se aprecia en la Figura 4, para aprovechar la computación paralela en los diferentes núcleos del procesador. Para el procesamiento de las imágenes los nodos utilizan las librerías OpenCV (versión 2.4.2) Bradski (2000) y PCL (versión 1.7) Rusu y Cousins (2011) mejoradas mediante la paralelización con TBB (versión 4.1) y OpenMP (versión 3.0) e instrucciones SIMD basadas en NEON. También se han realizado optimizaciones de la memoria que incluyen el uso de la memoria

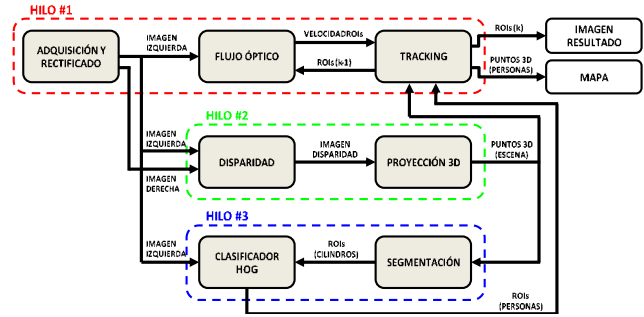


Figura 4: Estructura general del sistema de detección de personas mediante visión artificial estéreo.

Tabla 1: Tiempos de procesamiento por hilo.

Hilo	Original		
	T_{max} [ms]	TR [%]	Proc. [%]
#1	112	99.05	100
#2	74	99.84	100
#3	279	58.86	90.6
Hilo	Optimizado		
	T_{max} [ms]	TR [%]	Proc. [%]
#1	66	100	100
#2	64	100	100
#3	230	68.19	94

caché (32Kb L1 por núcleo y 1MB L2 común), técnicas *anti-aliasing* garantizando el no solapamiento en memoria de determinadas variables, mejora de la localidad temporal y espacial de variables y código, entre otras.

La Figura 6 muestra el histograma de tiempos empleado por los diferentes hilos de ejecución, tanto para la versión original² como para la versión optimizada. Los resultados han sido obtenidos para una parte del repositorio descrito en la sección 3.1 grabadas en la Estació Nord. Concretamente se ha escogido una secuencia en la que circulan personas con frecuencia de paso media de 23 personas por minuto. Por otro lado, la Tabla 1 muestra los tiempos máximos de ejecución por cada hilo, así como el porcentaje de imágenes que han sido procesadas a tiempo-real dentro de los 15 FPS (columna TR) como el porcentaje de imágenes total procesadas (columna “Proc.”). La discrepancia entre ambos valores se debe al uso de unos *buffers* de almacenamiento que permiten almacenar temporalmente una imagen mientras otra está siendo procesada. La Tabla 2 muestra los tiempos medios de procesamiento por cada una de las etapas (no se incluye la etapa de Tracking por ser insignificativa frente al resto de etapas).

3.1. Entrenamiento

Para la detección de personas con HOG, se requiere de un clasificador debidamente ajustado con el propósito específico

²En la versión de código original se incluyen todo tipo de optimizaciones que permite el compilador incluso se habilita el uso de la librería TBB en aquellas partes de código que están preparadas para ello.

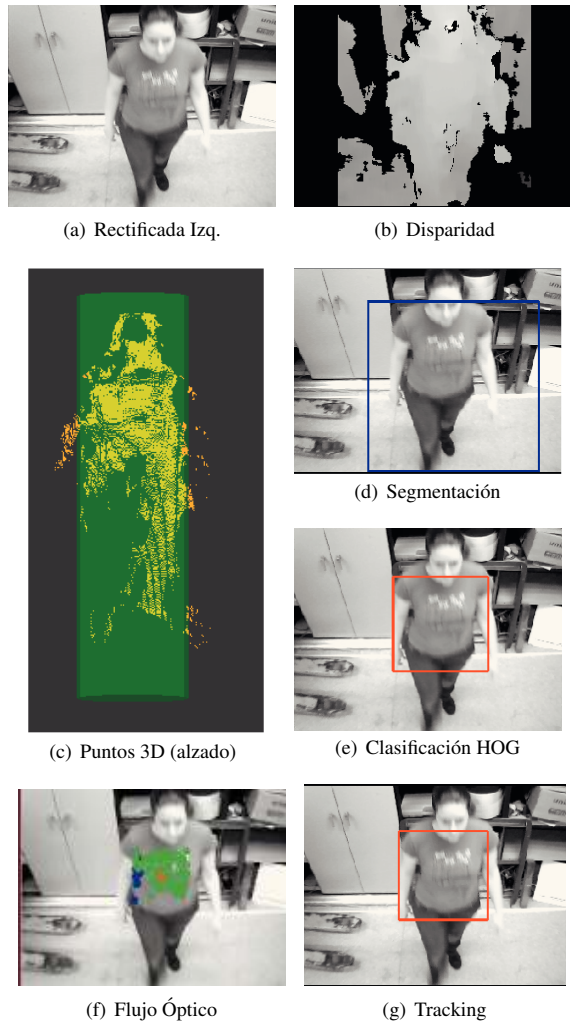


Figura 5: Etapas de procesamiento del algoritmo de detección de personas.

de la aplicación. En nuestro caso, cuatro de las cámaras (las tres superiores y la de la puerta delantera de la Figura 2) están orientadas con una fuerte inclinación hacia abajo (apuntando hacia el suelo). Desde esta posición el aspecto de una persona es significativamente diferente al utilizado por la gran mayoría de repositorios. Para un detallado estudio de diferentes técnicas para la detección de personas con diversos repositorios véase Dollár et al. (2009, 2012) y sus referencias. Por este motivo, en el contexto del proyecto se realizaron un conjunto de grabaciones en diferentes lugares de la ciudad de Valencia y alrededores con el propósito de adquirir imágenes de muestra que representen a una persona desde la perspectiva de las cámaras anteriormente mencionadas, para así poder entrenar el clasificador en casada basado en HOG.

Concretamente, en los alrededores de un autobús pueden encontrarse diferentes tipos de personas, particularmente personas con maletas, bolsas y de diferentes edades, personas con movilidad reducida y niños. En este sentido, se buscaron lugares en los que hubiera un tránsito elevado de personas y cuya

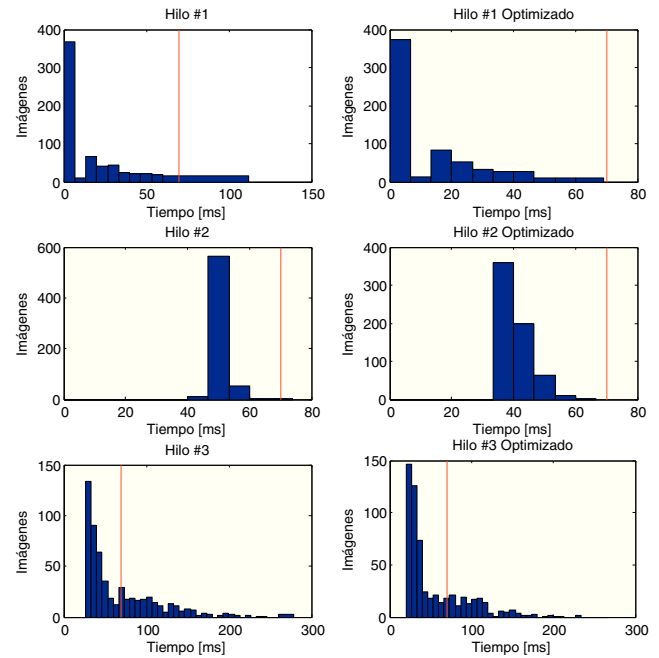


Figura 6: Histograma de tiempos de ejecución por hilo.

Tabla 2: Tiempos medios de procesamiento por etapas.

Etapas	Tiempo medio [ms]	
	Original	Optimizado
Rectificado	6.76	4.24
Disparidad	61.61	31.08
Proyección 3D	13.19	3.00
Segmentación ³	45.68	36.8
Clasificador HOG ⁴	126.07	49.39
Flujo Óptico ⁵	33.73	29.29

variación y riqueza fuera significativa, tanto en aspecto, edades y posiciones que pudieran adoptar. Así pues, se adquirieron imágenes tanto de la propia Universidad Politécnica de Valencia, con un tránsito de personas por lo general joven, con y sin mochilas ya sea de espalda o de mano; en la Estació del Nord de RENFE (estación de trenes), con un gran número de pasajeros con y sin maletas y de diferentes edades; el Hospital Universitario Politécnico “La Fe”, con un amplio abanico de personas de diferentes edades y principalmente con restricciones a la movilidad como el caso de personas con muletas o sillas de rueda; el Colegio Mas Camarena (Bétera), con objeto de adquirir imágenes cenitales de niños desde 3 años hasta 11 años.

Las cámaras fueron colocadas a una altura de entre 2,3 m y 2,7 m en los accesos a edificios. Las imágenes resultantes de las grabaciones se filtraron mediante un proceso automático de extracción del fondo y detección de movimiento. Esto configuró un gran repositorio de imágenes, de las cuales se seleccionaron manualmente unas 12.000 como imágenes positivas con regiones de 96×96 para el entrenamiento del clasificador que



Figura 7: Imágenes utilizadas en el entrenamiento

incluyen imágenes de personas completas, pero también imágenes de partes de personas como pies o brazos con una gran variedad de posiciones y aspecto. Para el conjunto de imágenes que representan negativos (imágenes que no contienen personas) se ha utilizado un total de hasta 9.000 imágenes tomadas de vídeos de conducción del autobús en ruta durante aproximadamente 42 minutos de grabación. Las imágenes utilizadas son de 320×240 píxeles adquiridas a una frecuencia de 15 FPS.

Para la evaluación del clasificador HOG se ha realizado un estudio utilizando un conjunto de imágenes que no fueron utilizadas para el proceso de entrenamiento, sólo para la validación. De entre las imágenes extraídas se clasificaron un total de 2996 personas completas o parciales, 445 de ellas corresponden a personas completas y 2551 a personas parcialmente visibles (personas que aparecen de cintura para arriba). Sobre estas imágenes se clasifica como verdadero positivo aquellos casos que el sistema detecta persona siguiendo un criterio de ratio área común de Enzweiler y Gavrila (2009), mientras que se clasifica como falso negativo aquellos casos en los que el sistema no detecta a la persona. Para el caso de personas completas, los porcentajes de detección son claramente elevados pues se consigue detectar personas en el 97.3 % de los casos. La detección de personas parciales es en ocasiones muy compleja de detectar pues la variabilidad en la apariencia es notoriamente superior, aún así, el sistema es capaz de detectar satisfactoriamente en el 78.28 % de los casos.

Por otro lado, de un subconjunto aleatorio de 1000 imágenes del repositorio de las 9000 imágenes clasificadas como negativas, se ha observado que en el 9.6 % de los casos el sistema detecta incorrectamente, confundiendo cualquier otro objeto con una persona (falso positivo), típicamente sombras, manchas, bordillos, etc. No obstante, cabe destacar que de entre todas las imágenes, sólo un 5 % de los casos podrían haber sido considerados como falsos positivos, dado que el 4.6 % restante hubiera sido filtrado por el criterio establecido en la etapa de “Proyección 3D” por estar cerca del suelo. Quedaría por incluir otros criterios que filtran el falso positivo por el volumen, pero esto no ha sido analizado.

4. Sistema Avanzado de Asistencia a la Conducción

El sistema de asistencia a la conducción está compuesto por: un sistema de evaluación del riesgo de la conducción; un pedal háptico mediante un sistema motorizado de palanca de bloqueo; un sistema de bloqueo de la columna de dirección mediante un mecanismo de frenado por electroimán y pastilla de freno; una pantalla para la visualización de las imágenes captadas por las cámaras en las diferentes zonas de monitorización; y un sistema de aviso acústico estéreo.

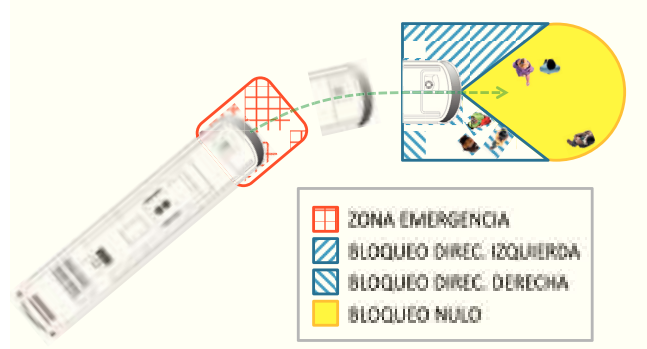


Figura 8: Evaluación del riesgo de colisión.

4.1. Sistema de Evaluación del Riesgo de Colisión

Este sistema utiliza la información de la posición de los objetos (o personas) detectadas por las cámaras. La Figura 8 muestra la ubicación de la zona de emergencia que ocupa un espacio de $4 \times 3m^2$ en la parte delantera del autobús, llegando a cubrir parte de la zona de la puerta delantera. Si un objeto es detectado en la zona de emergencia y el conductor tiene intención de arrancar presionando el pedal del acelerador, se genera una parada de emergencia a partir de la activación de una señal eléctrica (véase Figura 3), siempre y cuando la velocidad sea menor a 5 km/h.

En caso contrario, se calcula un coeficiente de riesgo de colisión en función de la distancia del objeto más cercano que potencialmente colisionaría antes con el autobús. A partir de la intención del conductor, estimada con la posición del pedal del acelerador y el volante, se calcula la trayectoria virtual que describiría el autobús. La Figura 8 muestra en color azul oscuro la zona de Aviso utilizada para evaluar las colisiones potenciales a lo largo de dicha trayectoria. El bloqueo del pedal de aceleración es proporcional a la distancia a la que se ha detectado una posible colisión, mientras que el bloqueo en el volante es función del lado en el que colisiona. Si el objeto está en una zona amarilla de la Figura 8 se desactiva el bloqueo de dirección, pero esto no afecta al cálculo del bloqueo del pedal de aceleración.

Además, el sistema incorpora un mapa de ocupación que combina y fusiona la información de las personas detectadas por las diferentes cámaras. El mapa de ocupación \mathcal{L} es un mapa 2D, de tamaño $X \times Y$ en metros, que indica la probabilidad de ocupación de sus celdas, de tamaño c , utilizando la representación *log-ratio*. El algoritmo de detección de personas descrito en la sección 3 permite obtener una nube de puntos \mathcal{P} de las personas. Así pues, cada punto $p_n = [x_n \ y_n \ h_n]^T \in \mathcal{P}$ actualiza la celda $\mathcal{L}_{i,j}$ del mapa de ocupación de la siguiente forma:

$$i = \left\lfloor \frac{2X - x_n}{2c} \right\rfloor \quad (1)$$

$$j = \left\lfloor \frac{2Y - y_n}{2c} \right\rfloor \quad (2)$$

$$\mathcal{L}_{i,j} \leftarrow \mathcal{L}_{i,j} + \mathcal{L}_{min} + \frac{(\mathcal{L}_{max} - \mathcal{L}_{min})(h_n - h_{min})}{h_{max} - h_{min}} \quad (3)$$

siendo \mathcal{L}_{max} y \mathcal{L}_{min} los valores de probabilidad cuando está ocupado y cuando no está ocupado (en representación *log-odd*); h_{max} y h_{min} valores de alturas que devuelven las probabilidades anteriores, respectivamente. Las variables anteriores se han ajustado para que alturas superiores a 1.2 m aumenten el tamaño de $\mathcal{L}_{i,j}$ correspondiente a la altura esperada de un niño, aumentando así la probabilidad de la celda de estar ocupada. Antes del ciclo de actualización del mapa, se resta una constante a todas las celdas que representa un factor de olvido. Al final del ciclo de actualización del mapa, se umbraliza con objeto de obtener una imagen binaria que posteriormente se procesa con el algoritmo de detección de contornos de Suzuki y Abe (1985) y sobre el resultado de éste se obtiene el círculo envolvente Bradski (2000). Sólo los centros de aquellos círculos cuyos radios están dentro de unos umbrales esperados para el tamaño de una persona son utilizados para el cálculo del factor de riesgo.

La trayectoria con la intención de movimiento del conductor se calcula a partir de la posición x_k , y_k y orientación θ_k :

$$x_{k+1} \leftarrow x_k + K \cdot a_t \cos(\theta_k) \cos(\alpha_t) \cdot T \quad (4)$$

$$y_{k+1} \leftarrow y_k + K \cdot a_t \sin(\theta_k) \cos(\alpha_t) \cdot T \quad (5)$$

$$\theta_{k+1} \leftarrow \theta_k - \frac{K}{l} \cdot a_t \sin(\alpha_t) \cdot T \quad (6)$$

siendo K una constante que relaciona la velocidad de la trayectoria con la posición del acelerador a_t . El ángulo de la rueda es α_t , l es la longitud entre los ejes de las ruedas del autobús y T es el tiempo de discretización de la trayectoria. Las ecuaciones anteriores se aplican recursivamente durante un determinado horizonte de predicción H , siendo la inicialización $x_0 = 0$, $y_0 = 0$ y $\theta_0 = 0$. Nótese que se ha utilizado un doble sub-índice: k para representar las iteraciones recursivas de la trayectoria y t para representar el instante de tiempo de las variables medidas.

Si una persona está, localmente a la posición y orientación x_k , y_k y θ_k , dentro de algunas de las zonas de aviso definidas en la Figura 8, dicha condición interrumpe el cálculo recursivo de (4)-(6) y se considera al instante k_c el instante de tiempo en el que se produce dicha colisión. El riesgo de colisión $c_t \in [0 \%, 100 \ %]$ se determina a partir de dicho instante:

$$c_t = \begin{cases} 100 & \text{si } k_c < k_{min} \\ 100 \cdot \frac{H - k_c}{H - k_{min}} & \text{si } k_c \geq k_{min} \end{cases} \quad (7)$$

siendo k_{min} un valor que representa el número mínimo de instantes de la trayectoria para que el riesgo de colisión varíe de forma lineal. Para valores de k_c por debajo de k_{min} el pedal es expulsado al 100 %.

4.2. Sistemas de realimentación háptica

En la Figura 9(a) se muestra el pedal del acelerador del autobús TEMPUS utilizado en la experimentación del proyecto que incorpora un mecanismo de cuatro barras motorizado para el bloqueo y expulsión del pedal mediante la palanca de bloqueo. Además incorpora dos potenciómetros, el primero para cerrar el lazo de control de posición de la palanca de bloqueo b_t y el segundo, a_t , para medir la posición del pedal de aceleración

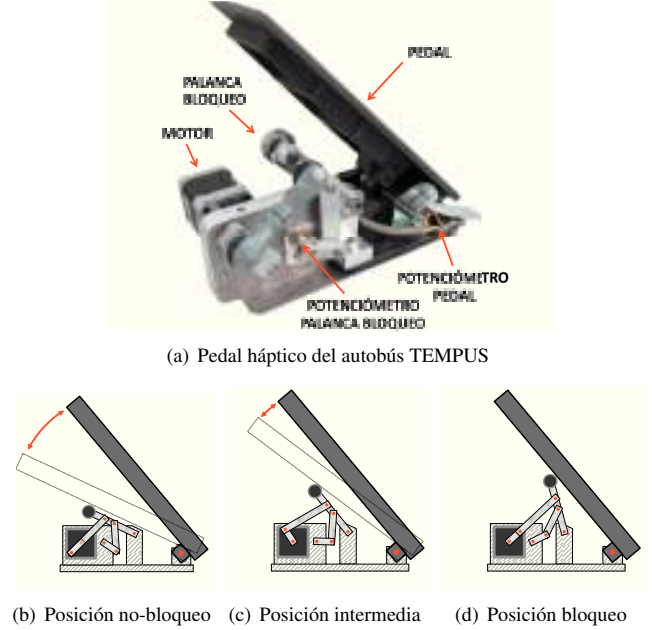


Figura 9: Pedal háptico con bloqueo de palanca.

⁶. El control, implementado en un procesador digital de señales (DSP) de Texas Instruments TMS320F28069 a una frecuencia de 2 kHz, consiste en un control proporcional que calcula por un lado la señal de pulso modulada $PWM \in [0 \ %, 100 \ %]$ aplicada al motor con una tensión de máxima de 12 V y el sentido de giro DIR :

$$PWM = |K_p(c_t - b_t)| \quad (8)$$

$$DIR = \text{signo}(c_t - b_t) \quad (9)$$

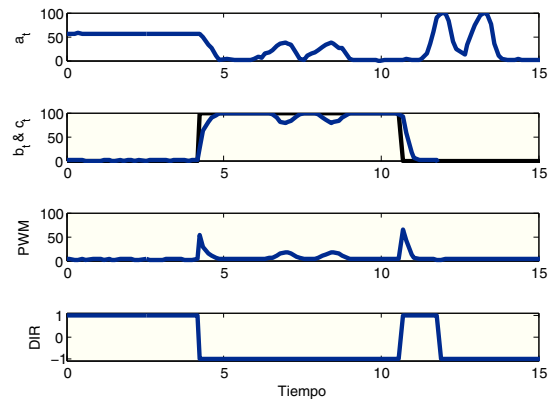


Figura 10: Experimento con pedal háptico.

En las Figuras 9(b), 9(c) y 9(d) se muestran las posiciones de no-bloqueo, posición intermedia y posición de bloqueo respectivamente. En la posición de no-bloqueo el conductor puede

⁶La posición de dicho pedal se puede obtener también a través de mensajes CAN, pero a una resolución más baja y con un periodo de mensaje de 100 ms, con lo que se decidió instalar un potenciómetro específico para la aplicación.

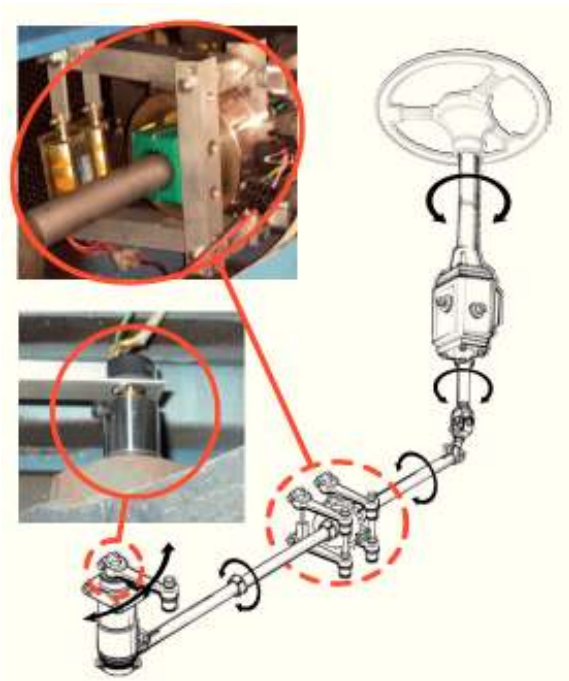


Figura 11: Columna de dirección con sistema de bloqueo activo.

libremente empujar el pedal hasta la posición máxima del mismo, mientras que en la posición de bloqueo el conductor debe aplicar una fuerza superior a 5.7 kg en el pedal del acelerador para vencer el mecanismo de bloqueo ⁷

Por otro lado, la Figura 10 muestra un experimento en el que el mecanismo de bloqueo del pedal es controlado manualmente, es decir, c_t se modifica arbitrariamente (línea de color negro en la Figura 10). En esta Figura, la señal del potenciómetro del pedal se ha ajustado a la escala de 0 % a 100 %, siendo un 0 % la acción de no pisar el pedal y 100 % la acción de pisarlo al máximo. Así mismo, se ha ajustado la señal del potenciómetro del bloqueo del pedal indicando 0 % la situación de no-bloqueo y 100 % la situación de bloqueo. Las señales restantes representan voltaje aplicado al motor (8) y sentido de giro del motor (9) de la palanca de bloqueo. En el ejemplo mostrado, el pedal está inicialmente en una posición intermedia y tras activar la señal de bloqueo del pedal, la reacción natural del conductor es retraer el pedal del acelerador (que ocurre en el instante $t = 5$ s); a partir del instante $t = 6$ s el conductor hace dos intentos de presionar el pedal de aceleración con fuerza suficiente para vencer el par de oposición de la palanca de bloqueo (se hace con objeto de mostrar que es posible actuar sobre el pedal del acelerador si así lo determinara el conductor); a partir del instante $t = 11$ s el pedal es retraído y el conductor puede libremente volver a presionar el pedal del acelerador hasta su valor máximo (tal y como se observa lo hace en dos ocasiones).

El sistema de realimentación háptica incluye además un sistema de bloqueo de la columna de dirección. Tal y como se muestra en la Figura 11 dicho mecanismo consiste en una pastilla de freno que hace contacto con un disco de freno a través



Figura 12: Interfaz del sistema de realimentación visual.

de la acción de un electroimán (el sistema incluye un muelle que retrae la pastilla en caso de desactivación del electroimán). Dos sensores infrarrojos cuyos haces son cortados por una rueda dentada en el propio tambor de freno permiten determinar el sentido de giro del volante a modo de codificador óptico. De esta forma, el conductor percibe una resistencia constante en el caso de mover el volante en la dirección bloqueada con una fuerza de 2.3 kg. Esta fuerza desaparece en el momento en el que el conductor mueve el volante en sentido contrario.

Un potenciómetro ubicado en la salida del eje de la servodirección sirve para medir el ángulo α_r de las ruedas del autobús, que se utiliza para conocer la dirección de movimiento que pretende realizar el conductor. Por dificultades en la mecanización del eje de dirección, la solución adoptada consiste en utilizar un imán con un tornillo prisionero que gira solidariamente al eje de la servodirección, tal y como se aprecia en la Figura 11.

4.3. Sistema de realimentación audio-visual

Se ha instalado una pantalla de 8" para la visualización de las imágenes de las cámaras, tal y como se muestra en la Figura 12. Dicha pantalla es un Panel PC AFL-08A con un procesador Intel Atom N270 a 1.6 Ghz Fanless. Lleva como sistema operativo una distribución Linux Ubuntu 12.04.

Para el funcionamiento del sistema de realimentación audio-visual solo es necesaria la ejecución en la pantalla de un navegador web con capacidad de interpretar HTML5 y javascript. Un reducido servidor web, diseñado íntegramente en javascript, se ejecuta en el nodo "Master", sirviendo el flujo de los vídeos de las cámaras en formato MJPEG, además de gestionar dinámicamente la activación de los avisos sonoros y *overlays* visuales para indicar estados de emergencia o aviso.

Como muestra la Figura 12, en la interfaz de la pantalla se muestran en la parte superior las cámaras de la parte superior central, izquierda y derecha; en la esquina inferior izquierda con un tamaño cuatro veces superior se muestra la cámara frontal; en el lateral derecho se muestran las cámaras correspondientes a las dos puertas. La interfaz también reconoce las pulsaciones táctiles sobre la pantalla, pudiendo el conductor elegir que cámara se visualiza en grande en la parte central, ayudándole así en determinadas maniobras. Cuando se activa el modo de emergencia se indica correspondientemente en la parte central de cada imagen.

⁷Este dato ha sido obtenido experimentalmente.

La realimentación auditiva consiste en la reproducción de un pitido en los altavoces (estéreo) integrados en la propia pantalla y cuyo volumen se regula en relación al factor de riesgo c_r . Dicho factor se reproduce por igual en ambos altavoces si la persona detectada está en la parte central y por tanto la dirección no está bloqueada. Por otro lado se reproduce sólo en el altavoz izquierdo o derecho si el bloqueo se activa en la dirección correspondiente.

5. Resultados Experimentales

Con el propósito de validar el sistema descrito en este artículo, a continuación se describen dos experimentos realizados en las instalaciones de Castrosua S.A. Mencionar que en dichas instalaciones se podían encontrar elementos diversos como elevadores, bancos de trabajo, armarios, etc. que aunque no representan las condiciones reales de un entorno urbano, sí que permiten caracterizar el funcionamiento del sistema ante la presencia de otros objetos, además de personas. En este entorno, se detectaron falsos positivos en el sistema de detección de personas en las etapas de procesamiento por separado, es decir, la apariencia de personas mediante (HOG) y el volumen de objetos verticales (procesamiento estéreo). Si bien, al combinar estos sistemas, dichos falsos positivos eran filtrados. Por ejemplo, el caso de manchas en el suelo podrían parecer la cabeza de una persona vista desde arriba y HOG pudiera generar un falso positivo, pero que no trascende por ser haber sido previamente filtrado por el sistema de detección de objetos verticales.

Comentar además que, aunque no se muestra en imágenes, el sistema fue validado también ante la precesencia de una persona agachada, representando así el caso de la detección de una persona de baja estatura como lo sería un niño.

5.1. Aviso y parada de emergencia con persona en la parte frontal

En este experimento, la persona está situada a unos 3 metros justo en frente del autobús, véase Figura ???. Las cámaras superior-central y frontal detectan a la persona de forma simultánea. Se observa, en los datos extraídos del propio experimento representados en la Figura 13, que el conductor acelera suavemente durante aproximadamente un segundo, lo que permite adquirir una velocidad pequeña que progresivamente acerca el autobús a la persona. Durante ese instante de tiempo, el mecanismo de bloqueo de pedal se activa y se retrae justo después de que el conductor deja de acelerar. Los avisos acústicos son por igual generados en el Panel-PC. Debido a la propia inercia del autobús, el autobús sigue acercándose a la persona incluso después de dejar de acelerar. Cuando el autobús se acerca a la persona a una distancia de 1.5 m se activa la parada de emergencia que hace detener el autobús de forma inmediata. Esto sucede unos 6 s después de que el conductor deja de pisar el pedal del acelerador.

5.2. Aviso con bloqueo de dirección con persona en la puerta lateral

En el experimento mostrado en las Figuras 14 y 15, se busca demostrar la eficacia del sistema de aviso de personas en la par-

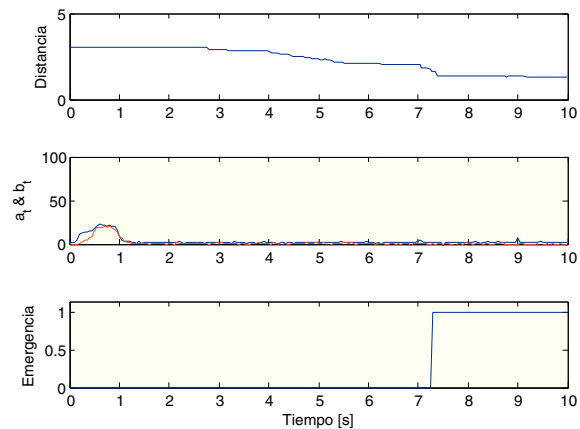


Figura 13: Experimento de parada de emergencia frontal.



(a) Cámara puerta delantera

(b) Cámara puerta lateral



(c) Vista exterior

Figura 14: Experimento de aviso y parada de emergencia en puerta delantera.

te lateral del autobús, junto a la activación del bloqueo de dirección. La cámara que registra y detecta la persona es la cámara de la puerta delantera. En el experimento se observa que el conductor gira las ruedas aproximadamente unos 40° , para realizar un giro. Cada vez que el conductor intenta acelerar se activa el mecanismo de aviso mediante la expulsión del pedal del acelerador, así como el bloqueo en sentido derecho. En esta ocasión se muestra también el valor del altavoz derecho, mientras que el altavoz izquierdo no emite sonido alguno.

5.3. Aceptación de usuarios

Se ha realizado un estudio para analizar la usabilidad del sistema en condiciones normales de conducción, así como su aceptación por parte de los usuarios. Para ello se realizaron pruebas a 25 conductores habituales utilizando un simulador

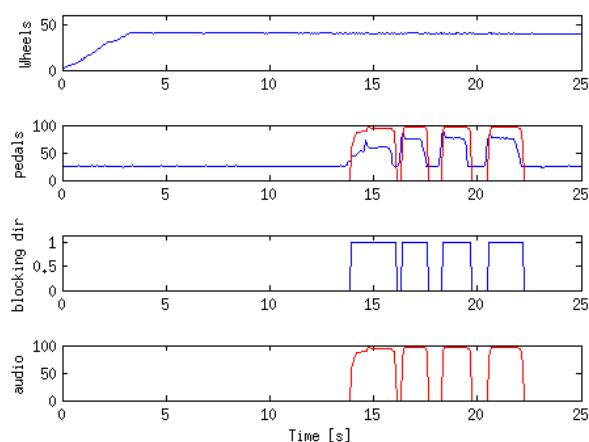


Figura 15: Experimento de aviso y parada de emergencia en puerta delantera.

de conducción. Durante los tests cada usuario debía dar cuatro vueltas a un recorrido dentro de un entorno urbano. Dicho recorrido constaba de 6 paradas de autobús en las que cada usuario debía detenerse durante 10 segundos. La prueba tenía una duración aproximada de 20 minutos. A lo largo del recorrido se producían situaciones de riesgo de forma aleatoria e impredecible, de modo que un peatón se interponía en la trayectoria del autobús, bien en la maniobra de parada o bien en la reincorporación a la circulación. Además, con tal de poder comparar su efectividad, el sistema de seguridad se habilitaba o deshabilitaba en cada situación de riesgo, también de forma aleatoria.

Tras las pruebas se realizó una encuesta que contenía preguntas sobre la usabilidad y confortabilidad del sistema. Los usuarios debían contestar en una escala del 1 al 5 (siendo 5 la máxima puntuación) el grado de cumplimiento de cada afirmación. A la pregunta “El sistema actúa sin ser molesto en situaciones de conducción normal” los usuarios contestaron un 4.65 de media sobre 5, mientras que para éstos el aviso de peligrosidad mediante expulsión del pedal de aceleración era intuitivo y de ayuda, con un valor medio de 4.59. Con respecto a la parada de emergencia, los usuarios opinaron que ésta actuaba en situaciones que ellos consideraban peligrosas, con 4.58 de puntuación media. Finalmente, a la pregunta “La fuerza necesaria para vencer el bloqueo del sistema háptico es adecuada” los usuarios dieron un 3.88 de media, lo que verifica que tanto la funcionalidad como la fuerza percibida es subjetivamente buena en términos medios.

6. Conclusiones

En el presente artículo se han detallado los desarrollos realizados en el proyecto SAFEBUS. Dicho proyecto contempla el desarrollo de sistemas avanzados de seguridad interior y exterior, si bien los resultados del artículo se han centrado en la seguridad exterior. El proyecto ha involucrado a cinco socios, siendo uno de los socios la empresa Castrosua S.A. que ha cedido un autobús TEMPUS para la realización de diversas pruebas de campo en el proyecto.

En primer lugar, se ha implantado un sistema formado por una red de cámaras inteligentes capaces de detectar peatones

que circulan alrededor del autobús. Para ello se han utilizado técnicas de procesamiento de imágenes que contemplan aspectos diversos tales como la detección de personas por apariencia y por volumen, con objeto de aumentar la robustez y fiabilidad del sistema. Dicho procesamiento ha sido implementado en dispositivos embebidos de bajo coste y cuyas optimizaciones de código han permitido el procesamiento a 15 FPS.

A partir de las personas detectadas por las cámaras instaladas en el autobús, se ha desarrollado un método para la evaluación del riesgo de determinadas maniobras. Con este propósito se ha construido un mapa de ocupación local al autobús que permite combinar la información de todas las cámaras bajo un mismo sistema de referencia.

Por otro lado, se han desarrollado un conjunto de dispositivos para la realimentación háptica y audio-visual. Este tipo de sistemas permite alertar y hacer consciente al conductor del autobús de la peligrosidad de determinadas maniobras. Concretamente, la implementación ha consistido en el desarrollo de un pedal háptico, un mecanismo de bloqueo de la dirección y el desarrollo de una interfaz audio-visual.

En el artículo se demuestra la efectividad de los sistemas de seguridad desarrollados a través de dos experimentos llevados a cabo en las instalaciones de Castrosua S.A. En estos experimentos se puede apreciar el hecho de que el sistema de aviso y alerta al conductor actúa justo en el momento en el que éste efectúa una maniobra de arranque con peligro de atropello. Si dicha maniobra persiste, entonces el sistema de parada de emergencia se activa.

Merece la pena destacar que los desarrollos realizados en el artículo están todavía en fase de prototipo. Por tanto su implantación en sistemas reales no es inmediata, ya que requiere del cumplimiento de la normativa vigente y de las homologaciones correspondientes. Esta fase de desarrollo queda fuera del alcance del artículo. Aún así, los autores quisieran destacar la difusión de los resultados del proyecto en diferentes medios de comunicación, de entre los cuales queremos resaltar el reportaje de RTVE y el grupo MediaSet S.A. en Junio-Julio de 2014.

English Summary

SAFEBUS Project: Advanced Safety Systems in Buses

Abstract

It is well known from previous studies, that accidents of buses in urban scenarios, with low speed profiles, make necessary to introduce driving assistance systems. In this sense, this paper describes the results of the SAFEBUS research project “Sistemas Avanzados de Seguridad Integral en Autobuses”. It focuses in safety aspects proposing a system valid at low speed profiles, basically at bus stops. Here, we describe the main ideas exploited in the project and their results, that is, a people detection system together with a driving assistance system with audio-visual and haptic feedback. We also show some experiments and validations carried out at the facilities of Castrosua S.A. company.

Keywords: Advance driving assistance systems; people detection; bus safety

Agradecimientos

Este artículo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación español mediante el Proyecto Sistemas Avanzados de Seguridad Integral en Autobuses (SAFEBUS) (IPT-2011-1165-370000). El proyecto fue desarrollado por un consorcio de empresas tecnológicas y universidades, coordinadas por Cognitive Robots, S.L., y participado por la Universidad Politécnica de Valencia, Centro Zaragoza, Castrosua S.A. y el Instituto de Biomecánica de Valencia.

Los autores quieren agradecer a José Luís Sánchez Carrasosa por su inestimable dedicación y entrega en el proyecto.

Referencias

- Adell, E., Várhelyi, A., 2008. Driver comprehension and acceptance of the active accelerator pedal after long-term use. *Transportation Research Part F* 11 (1), 37–51.
- Adell, E., Várhelyi, A., Alonso, M., Plaza, J., 2008a. Developing human-machine interaction components for a driver assistance system for safe speed and safe distance. *Intelligent Transport Systems, IET* 2 (1), 1–14.
- Adell, E., Várhelyi, A., dalla Fontana, M., 2011. The effects of a driver assistance system for safe speed and safe distance - a real-life field study. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 19 (1), 145 – 155.
- Adell, E., Várhelyi, A., Hjalmdahl, M., 2008b. Auditory and haptic systems for in-car speed management - a comparative real life study. *Transportation Research Part F* 11 (1), 445 – 458.
- ASCABUS, 2013. El sector carrocero de autobuses y autocares y el transporte de viajeros en cifras. Tech. rep., Asociación Española de Carroceros de Autobuses y Autocares.
- Berntman, M., Wretstrand, A., Holmberg, B., 2010. Bus travel safety - a travel chain perspective. En: *International conference on Mobility and Transport for Elderly and disabled Persons*. p. 10.
- Biral, F., Da Lio, M., Bertolazzi, E., 2005. Combining safety margins and user preferences into a driving criterion for optimal control-based computation of reference maneuvers for an adas of the next generation. En: *Intelligent Vehicles Symposium, 2005. Proceedings. IEEE*. pp. 36–41.
- Bradski, G., 2000. The OpenCV Library. Dr. Dobb's Journal of Software Tools.
- CARE, March 2004. Community road accident database. Interoperable Delivery of European eGovernment Services to public Administrations (IDABC). URL: <http://ec.europa.eu/idabc/en/document/2281/5926.html>
- Dalal, N., Triggs, B., 2005. Histograms of oriented gradients for human detection. En: *In CVPR*. pp. 886–893.
- Dollár, P., Wojek, C., Schiele, B., Perona, P., 2009. Pedestrian detection: A benchmark. En: *Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. CVPR 2009. IEEE Conference on*. IEEE, pp. 304–311.
- Dollár, P., Wojek, C., Schiele, B., Perona, P., 2012. Pedestrian detection: An evaluation of the state of the art. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on* 34 (4), 743–761.
- Dunn, T., Laver, R., Skorupski, D., Zyrowski, D., 2007. Assessing the business case for integrated collision avoidance systems on transit buses. fta-omb no. 0704-0188. Tech. rep., US Department of Transportation.
- Enzweiler, M., Gavrila, D., Dec 2009. Monocular pedestrian detection: Survey and experiments. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on* 31 (12), 2179–2195.
- Fischler, M. A., Bolles, R. C., 1981. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Commun. ACM* 24 (6), 381–395.
- Gandhi, T., Trivedi, M., Sept 2006. Pedestrian collision avoidance systems: a survey of computer vision based recent studies. En: *Intelligent Transportation Systems Conference, 2006. ITSC '06. IEEE*. pp. 976–981.
- García, A., Sánchez, M., Martín, A., López, S., Valdepeñas, J., 2003. Estudio para la mejora de las condiciones de seguridad y ergonomía del puesto de conducción en autocares. Tech. rep., Instituto Universitario de Investigación del Automóvil (INSIA).
- García, F., Jiménez, F., Naranjo, J., Zato, J., Aparicio, F., de la Escalera, A., 2011. Laser scanner como sistema de detección de entornos viales. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial {RIAI}* 8 (1), 44 – 53.
- García, F., Jiménez, F., Puertas, E., Naranjo, J., Armingol, J., Fernández, J., 2013. Pre-collision systems for urban environment accidents avoidance. *Securitas Vialis*, 1–9.
- Geronimo, D., Lopez, A., Sappa, A., Graf, T., July 2010. Survey of pedestrian detection for advanced driver assistance systems. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on* 32 (7), 1239–1258.
- Harris, C., Stephens, M., 1988. A combined corner and edge detector. En: *In Proc. of Fourth Alvey Vision Conference*. pp. 147–151.
- Hartley, R. I., Zisserman, A., 2004. *Multiple View Geometry in Computer Vision*, 2nd Edición. Cambridge University Press, ISBN: 0521540518.
- Hjalmdahl, M., Várhelyi, A., 2004. Speed regulation by in-car active accelerator pedal. effects on driver behaviour. *Transportation Research Part F* 7 (1), 77–94.
- Kaempchen, N., K., D., 2004. Fusion of laserscanner and video for advanced driver assistance systems. En: *11th World Congress on Intelligent Transportation Systems (ITS)*, Japan. pp. 1–5.
- Kalman, R. E., 1960. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. *Transactions of the ASME – Journal of Basic Engineering*, 35–45.
- Kauer, M., Schreiber, M., Bruder, R., 2010. How to conduct a car? a design example for maneuver based driver-vehicle interaction. En: *Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2010 IEEE. pp. 1214–1221.
- Kirk, A., Grant, R., Bird, R., 2001. Bus and coach passenger casualties in non-collision incidents. vehicle safety research centre & ice ergonomics. Tech. rep., Loughborough University, UK.
- Lucas, B. D., Kanade, T., 1981. An iterative image registration technique with an application to stereo vision. En: *International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*. pp. 674–679.
- Mulder, M., van Paassen, M., Mulder, M., Pauwelussen, J., Abbink, D., 2009. Haptic car-following support with deceleration control. En: *Systems, Man and Cybernetics, 2009. SMC 2009. IEEE International Conference on*. pp. 1686–1691.
- Nilsson, R., 2002. Evaluation of a combined brake-accelerator pedal. *Accident Analysis and Prevention* 34 (1), 175–183.
- OMS, 2013. Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2013. Tech. rep., Organización Mundial de la Salud.
- Quigley, M., Conley, K., Gerkey, B. P., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., Wheeler, R., Ng, A. Y., 2009. Ros: an open-source robot operating system. En: *ICRA Workshop on Open Source Software*. Vol. 3. p. 5.
- Richardson, I., 2004. H.264 and MPEG-4 Video Compression: Video Coding for Next-generation Multimedia. H.264 and MPEG-4 Video Compression: Video Coding for Next-generation Multimedia. Wiley.
- Rusu, R. B., Cousins, S., 2011. 3D is here: Point Cloud Library (PCL). En: *2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. IEEE, pp. 1–4.
- Schneider, N., Gavrila, D., 2013. Pedestrian path prediction with recursive bayesian filters: A comparative study. En: *Weickert, J., Hein, M., Schiele, B. (Eds.), Pattern Recognition*. Vol. 8142 of Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg, pp. 174–183.
- Seguí, M., 2013. Las principales cifras de la siniestralidad vial. España 2012. Dirección General de Tráfico (DGT).
- Suzuki, S., Abe, K., 1985. Topological structural analysis of digitized binary images by border following. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* 30 (1), 32–46.
- Várhelyi, A., Hjalmdahl, M., Hydén, C., Draskóczy, M., 2004. Effects of an active accelerator pedal on driver behaviour and traffic safety after long-term use in urban areas. *Accident Analysis and Prevention* 36 (1), 729–737.
- Zhu, Q., Yeh, M.-C., Cheng, K.-T., Avidan, S., 2006. Fast human detection using a cascade of histograms of oriented gradients. En: *Computer Vision and Pattern Recognition, 2006 IEEE Computer Society Conference on*. Vol. 2. pp. 1491–1498.

DOI: 10.1109/CVPR.2006.119