

## Sistema de Alerta al Conductor Basado en Realimentación Vibro-Táctil

Emanuel Slawiński\*, Vicente Mut, Franco Penizzotto

*Instituto de Automática (INAUT). Universidad Nacional de San Juan, Av. Libertador San Martín 1109 (oeste). J5400ARL. San Juan, Argentina*

### Resumen

Este trabajo propone el diseño y desarrollo de un sistema de alerta al conductor basado en la realimentación de estímulos vibrotáctiles de fuerza con el objetivo de prevenir accidentes de tránsito. El sistema posee dos agarres vibro-táctiles, los cuales se pueden montar fácilmente sobre cualquier tipo de vehículo, y un sistema electrónico basado en un sistema de localización y comunicación inalámbrica entre vehículos, que permite calcular en línea una señal de alerta vibro-táctil para avisar al conductor de una posible situación de peligro en los próximos segundos. Un modelo focalizado en factores humanos es propuesto y utilizado para justificar el uso adecuado de estímulos artificiales. Además se describen, el hardware, la comunicación entre vehículos y software embebido. Finalmente, el sistema es probado en un simulador 3D de carrera de código abierto y también utilizando dos vehículos comunes. *Copyright © 2015 CEA. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.*

Palabras Clave: seguridad, sensores e instrumentos virtuales, automoción, estímulos táctiles de fuerza, prevención de accidentes

### 1. Introducción

A pesar de los importantes avances tecnológicos, la cantidad de accidentes viales, incluyendo víctimas fatales es excesivamente alta. Actualmente hay pocos sistemas de bajo costo que puedan ser montados en *cualquier tipo de vehículo* y que ayuden a prevenir posibles situaciones peligrosas en tiempo real. Las causas de accidentes incluyen manejo con exceso de velocidad, fatiga, distracciones cognitivas y visuales, fallas mecánicas, consumo de alcohol, y errores humanos, entre los más comunes. Según datos provistos por la Organización Mundial de la Salud, más de 1.2 millón de personas muere por año en accidentes de tránsito. Bajo esta preocupante realidad, Argentina en particular, posee una de las tasas más alta de accidentes. Los reportes oficiales de Argentina indican que 7596 personas, fallecieron en el año 2010 (21 por día). Otro dato muy importante es que más del 50% de los accidentes ocurrieron en cruces. En los últimos años, posiblemente una de las soluciones con mayor potencial de éxito, es el diseño de sistemas inteligentes dispuestos a bordo del vehículo, que cambian automáticamente el movimiento del vehículo y/o alertan al conductor (Miller, 2009 and Rendon-Velez et. al., 2009). En el último tipo de sistemas, la información táctil posee un alto atractivo para realimentar información al conductor ya que no altera el canal visual ni auditivo del mismo. Además, el sentido táctil tiene un amplio ancho de banda, produce una rápida reacción y puede ser enlazado fácilmente con otro tipo de información en interfaces del

tipo multimodal (Spence and C. Ho, 2008).

Existen diversos sistemas de asistencia al conductor que intentan disminuir la cantidad y gravedad de los accidentes de tránsito, como por ejemplo las propuestas basadas en la detección de los movimientos de ojos y cabeza (Varma, 2012), detección de somnolencia (Flores et. All, 2011) captura de la atención del conductor a partir de una realimentación sonora (Ho y Spence, 2005), sistemas basados en una comunicación entre vehículos (Wellens, 2007) tales como el sistema Sync de la empresa Ford, y últimamente una cantidad relevante de estudios acerca de la estimulación táctil que muestran que el tacto puede ser usado efectivamente para percibir alertas direccionales. Así, la investigación en este tópico incorporando señales de alerta vibrotáctil en vehículos (Ho, 2006), (Sato, 1998), (Beruscha et. all, 2011) tanto como el número de sistemas comerciales disponibles generalmente en algunos modelos de alta gama, remarcan esta tendencia. Solo como ejemplo se puede citar el sistema de aviso de la empresa Citroen, donde sensores infrarrojos detectan si el vehículo se cruza de carril y avisa esta situación al conductor por medio de una vibración transmitida a través del asiento, y el sistema de la automotriz BMW, donde el cruce de carril es detectado por una cámara de video y la señal de alerta computada es realimentada al conductor a través de la vibración del volante. Recientemente, hay trabajos que buscan generar vibraciones direccionales sobre el volante de un vehículo independientemente de la posición de las manos del conductor sobre el volante (Hwang and Ryu, 2010), pero la mayoría de los sistemas vibrotáctiles montados sobre el volante vibran el volante en sí mismo. En general, todas las propuestas para sistemas de alerta de colisión basadas en señales de fuerza consideran las recomendaciones dadas en (Chun et. all, 2011), (NHTSA).

\* Autor en correspondencia.  
Correo electrónico: [slawinski@inaut.unsj.edu.ar](mailto:slawinski@inaut.unsj.edu.ar)  
URL: [www.inaut.unsj.edu.ar](http://www.inaut.unsj.edu.ar)

Bajo este contexto, resultan fundamentales la forma de generar las señales de alerta y el modo de realimentación al conductor que sean útiles en la práctica para prevenir situaciones peligrosas pero también obtener sistemas de fácil uso y que perturben lo menos posible al conductor para evitar un posible rechazo al uso del sistema. Es decir, la consideración de los factores humanos en el diseño de un sistema de asistencia al conductor resulta de vital importancia para lograr un sistema de buen desempeño en la práctica.

Este trabajo propone un sistema de alerta al conductor de bajo costo con el objetivo de prevenir situaciones de peligro. El diseño del sistema utiliza estímulos táctiles del tipo no-reactivo y estímulos táctiles cuasi-reactivos, de manera de causar una rápida percepción y una intuitiva selección de atención visual direccional del conductor. El sistema propone el uso de dos dispositivos flexibles tipo-*grips* con capacidad vibro-táctil que se pueden colocar en cualquier parte del volante y en oposición a la realimentación basada en par aplicado al volante, éste no girará sin la intervención manual del conductor. Asimismo, el sistema considera el conocimiento existente sobre: captura rápida de atención visual ante estímulos táctiles (Ho et. al., 2005), (Ho, 2008), rápidas reacciones ante estímulos táctiles (Ng and Chan, 2012), (Chun et. al., 2010), y factores humanos en sistemas dinámicos (Muhrrer et. al., 2012), (Koustanai et. al., 2012), (Parasuraman et. al., 1997), (Lee et. al., 2000), de forma de alcanzar una adecuada relación de compromiso entre desempeño-utilidad (mejorar la reacción ante situaciones críticas en tiempo, cuando no son percibidas por estímulos naturales) y bienestar del conductor (uso simple e intuitivo). Respecto a la señal de alerta, la localización del vehículo y de los vehículos cercanos al mismo son utilizados a través de una comunicación entre-vehículos para discernir entre diferentes tipos de situaciones tales como vehículos que van en direcciones opuestas, seguimiento de otro por detrás, adelantamiento, y cruce en intersecciones de caminos. A su vez, un nivel de riesgo se computa dependiendo del tiempo estimado hasta posible contacto. Posteriormente, la dirección relativa y nivel de riesgo del peor caso se cuantifica y luego es alertado al conductor a través de diferentes estímulos táctiles sobre sus manos, que son transmitidos mediante el par de dispositivos flexibles montados sobre el volante del vehículo. Cada combinación de tipo de situación y nivel de riesgo es asociado a una señal vibro-táctil de fácil y rápido reconocimiento e interpretación. Por otra parte, el *hardware* y el *software* del sistema desarrollado son descritos en este trabajo. Finalmente, el dispositivo propuesto es evaluado a través de experimentos en un simulador 3D de código abierto de autos de carrera y también usando dos vehículos reales.

El manuscrito está organizado de la siguiente manera: la Sección 2 presenta el sistema de alerta propuesto incluyendo el modelo de la situación bajo estudio, el dispositivo desarrollado describiendo sus partes, componentes y comportamiento general tanto como el computo de la métrica de alerta utilizado para realimentar información al conductor. La Sección 3 describe la implementación del sistema, incluyendo el software y hardware. Posteriormente, la Sección 4 muestra los resultados experimentales obtenidos. Finalmente, las Secciones 5 y 6 presentan una discusión del tema y las conclusiones de este trabajo, respectivamente.

## 2. Sistema de alerta propuesto

El sistema de alerta vibro-táctil diseñado y desarrollado se denomina sistema VVI (volante vibro-táctil). El mismo fue ideado para prevenir principalmente los accidentes de tránsito que ocurren en intersecciones de calles o caminos debido a cruces entre vehículos. Actualmente, este caso representa el 53% de los accidentes en Argentina, de acuerdo a los últimos reportes de la Agencia Nacional de Seguridad Vial (<http://www.seguridadvial.gov.ar>). En estas situaciones, la causa más común de accidentes, involucra a uno o los dos vehículos acercándose al cruce a una elevada velocidad y posiblemente podría incluir también: (a) al menos un conductor distraído (b) línea de vista entre vehículos obstruida por algún objeto, (c) errores humanos tales como violación de normas de tránsito, debido a una sobre-confianza de la situación. La estadística en choques en cruces, refleja que la mayoría de los accidentes no se debió a situaciones climáticas desfavorables, tales como la presencia de niebla o lluvia. Tampoco es importante la cantidad de accidentes debido a fallas mecánicas, tales como rotura de cubiertas o problemas de frenos. Es decir, la mayoría de las veces los accidentes en cruces ocurren por fallas humanas incluyendo muchas veces imprudencia en la forma de manejo. Por lo tanto, la inclusión de factores humanos es de gran relevancia para el diseño de sistemas de alerta y/o control de sistemas hombre-máquina lo cual se manifiesta en la gran cantidad de investigaciones en éste área donde uno de los principales inconvenientes es la modelación de dichos factores.

### 2.1. Factores humanos

En muchos sistemas, el hombre debe trasladar la información que percibe acerca del entorno hacia una acción, la cual a veces requiere una respuesta inmediata ante un evento percibido. Desde el punto de vista del conductor, un obstáculo podría estar a su izquierda, a su derecha, por detrás, o adelante de él, lo cual requerirá una inmediata atención visual y acción de respuesta, como por ejemplo frenar rápidamente. En estos sistemas de tiempo crítico es valioso tener en cuenta los factores que influyen en el tiempo de reacción (RT *reaction time*) o en general en el tiempo de respuesta en la acción (Sternberg, 1969 y 1975), que el conductor toma ante un evento o situación de potencial peligro. El RT de una simple tarea de selección de una acción es influenciado por algunas variables importantes tales como la *Modalidad e Intensidad* del estímulo, y la *Incertidumbre temporal* entre una secuencia de estímulos. Además, los conceptos provenientes de la teoría de la información aplicada a factores humanos, tales como la *Compatibilidad Estimulo-Respuesta*, se deberían considerar en el diseño del sistema. La modalidad se refiere a la velocidad del procesamiento de los canales sensoriales del ser humano, por ejemplo la respuesta ante un estímulo sonoro es más rápida que frente a un estímulo visual. Por otra parte, generalmente el RT disminuye asintóticamente a medida que la intensidad del estímulo aumenta. Bajo este contexto, el grado de previsibilidad de cuándo ocurrirá el estímulo es llamado incertidumbre temporal, es decir una mayor incertidumbre aumentará el RT. Otro aspecto importante es el uso de señales de alerta de tipo imperativo, donde se instruye a la persona a responder de una única forma ante ellas, lo cual generalmente disminuye el RT. Además, si el estímulo es difícil de discernir o discriminar entonces el RT también aumentará. Finalmente, la compatibilidad

espacial Estímulo-Respuesta se refiere a la tendencia intrínseca del ser humano a orientarse o dirigir su atención hacia la fuente de estimulación. Los conceptos recién mencionados pueden ser profundizados en (Wickens, 2000). Estos factores se consideran en la siguiente sección en el diseño de las señales vibro-táctiles que serán realimentadas hacia el conductor y su relación con las señales de alerta.

La adición de estímulos a los naturales ha sido adoptado por muchos trabajos científicos sobre todo cuando la señal natural no es percibida en todo momento o detectada pobremente en algunos instantes de tiempo por el hombre/mujer por alguna razón. Por ejemplo en (Carbonneau, 2012), se utiliza la integración de diminutos procesadores digitales dentro de los dispositivos de protección auditiva para informar a los trabajadores acerca de situaciones peligrosas. En el contexto de este trabajo el estímulo visual inducido por potenciales situaciones de choque o accidente, posee algunas limitaciones que impiden al conductor ser inmune a errores (por ejemplo no ver un vehículo que se acerca a alta velocidad debido a que hay un objeto obstaculizando la línea de vista), y las cuales podrían ser mitigadas por estímulos artificiales a través del uso de señales vibro-táctiles.

## 2.2. Modelo del sistema

En este trabajo, se propone un modelo simplificado con el conductor en el lazo (*driver-in-the-loop speed dynamics model*) focalizado en factores humanos para representar conceptualmente nuestro tema de estudio dentro de un sistema conductor-vehículo-entorno incluyendo un sistema de alerta basado en la generación de estímulos artificiales. Es decir, el planteo contempla el control de velocidad y reacciones ante fuentes de peligro y no el control de dirección. El modelo propuesto es visualizado en la figura 1, donde el conductor es representado por un controlador  $G_{PD}$ , su sistema neuro-muscular  $G_{NM}$ , las funciones  $H_V$  y  $H_T$  que producen señales percibidas frente a estímulos visuales y táctiles, respectivamente y una fusión de señales  $H_S$ , la cual integra las señales de percepción visual y táctil para producir un cambio de la referencia actual de velocidad. El sistema de alerta  $H_A$  representa la generación de estímulos vibro-táctiles artificiales a partir de la detección mediante un sistema de medición y cómputo del nivel y localización de una fuente de riesgo que surge a partir de la interacción de un vehículo con su entorno que incluye objetos estáticos y dinámicos.

A continuación, describiremos las ecuaciones del modelo propuesto. El error de velocidad  $\tilde{v}$  interno del conductor se define como:

$$\tilde{v}(t) = v_0(t) - \Delta v(t) - v(t) \quad (1)$$

donde  $v_0$  representa la referencia actual de velocidad establecida por el conductor considerando los obstáculos estáticos de su entorno,  $v$  es la velocidad actual del vehículo y  $\Delta v$  representa una disminución de velocidad ocasionada por la reacción del conductor ante objetos dinámicos tales como otros vehículos. Dicho error es utilizado para controlar el sistema de aceleración y freno del vehículo de la siguiente manera:

$$G_{PD} : u_h(t) = k_p \tilde{v}(t) + k_d \frac{d}{dt} \tilde{v}(t) \quad (2)$$

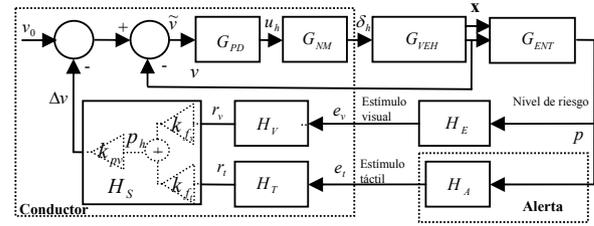


Figura 1: Modelo del sistema focalizado en factores humanos.

donde  $k_p$  y  $k_d$  son constantes de un controlador interno PD de velocidad y  $u_h$  representa una señal interna de control que el conductor aplica al vehículo a través de su sistema neuromuscular  $G_{NM}$  representado por:

$$G_{NM} : \frac{d^2}{dt^2} \delta_h(t) + 2\xi\omega_n \frac{d}{dt} \delta_h(t) + \omega_n^2 \delta_h(t) = \omega_n^2 u_h(t) \quad (3)$$

donde  $\omega_n$  es la frecuencia natural del sistema neuromuscular,  $\xi$  es el coeficiente de fricción viscosa del sistema neuromuscular y  $\delta_h$  representa la fuerza del conductor aplicada a los pedales acelerador y freno. Las ecuaciones (1), (2) y (3) están basadas en (Ravani et. al., 2011) pero aplicadas en este caso al control de velocidad y no al control de dirección. El bloque  $G_{VEH}$  representa el vehículo el cual es modelado generalmente por un sistema dinámico no lineal (Hans. B. Pacejka, 2006). El estado del vehículo dado por su velocidad  $v$  y su localización  $x$ , interactúa con el entorno  $G_{ENT}$  produciéndose un determinado nivel de riesgo o peligro actual  $p(t)$  que en nuestro caso, representa la probabilidad de colisión del vehículo, donde  $p \in [0, 1]$ .

Este trabajo se focaliza sobre la percepción del conductor ante una situación de riesgo (probabilidad de colisión). Por ello, se analiza a continuación la relación entre  $p$  y el riesgo percibido por el humano  $p_h$  (ver Figura 1).

Primero, el riesgo real genera una fuente externa (al conductor) de estimulación visual  $e_v$ , establecido como:

$$H_E : e_v(t) = k_e(t)p(t) \quad (4)$$

donde  $0 \leq k_e \leq 1$  es un parámetro variante en el tiempo que disminuye la cantidad de información visual hacia el conductor, para un nivel de peligro  $p$  dado. Por ejemplo la oclusión de un edificio en un cruce o el nivel de neblina pueden provocar que la fuente de estimulación se degrade estimulando así parcialmente al conductor a pesar que el peligro siga existiendo.

Luego, el sistema vibro-táctil de alerta  $H_A$  también produce una fuente externa de estimulación  $e_t$ , dependiendo de  $p$ , representada por:

$$H_A : e_t(t) = f_q(k_a(t)p(t)) \quad (5)$$

donde  $k_a \geq 0$  es un parámetro variable, cuyo valor depende de la fidelidad del sistema de alerta para estimar el valor  $p$ . A medida que el sistema estima mejor el riesgo  $p(t)$ ,  $k_a(t)$  tiende a uno. Finalmente, la función  $f_q$  cuantifica la salida en  $N$  señales vibro-táctiles que en la práctica sean discernibles por el conductor. La cantidad máxima de niveles depende del sistema de

realimentación utilizado. Por otra parte, el conductor percibe los estímulos visuales y vibro-táctiles de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} H_V : r_v(t) &= k_{h_v}(t)e_v(t-d_{h_v}) \\ H_T : r_t(t) &= k_{h_t}e_t(t-d_{h_t}) \end{aligned} \quad (6)$$

donde  $d_{h_v}$  y  $d_{h_t}$  son los retardos de tiempo respecto a un estímulo visual y a un estímulo vibro-táctil respectivamente, la ganancia  $0 \leq k_{h_v} \leq \bar{k}_{h_v}$  depende del nivel de atención visual del conductor hacia el estímulo visual y  $k_{h_t} > 0$  representa la ganancia del conductor ante un estímulo vibro-táctil. Los retardos de tiempo  $d_{h_v}$  y  $d_{h_t}$  son diferentes y por lo tanto provocan una diferencia de fase que no es tratada en este trabajo. Sin embargo, la señal de peligro  $p(t)$  es una señal de baja frecuencia y en la práctica posee muchos intervalos nulos lo cual evita una desincronización de fase en estado estacionario.

Además, es importante remarcar que la información contenida en un estímulo visual es mayor que la información incluida en un estímulo vibro-táctil, lo que conlleva a que la percepción visual de la probabilidad de colisión real  $p$ , sea más fiable que la percepción táctil de  $p$ . Esta característica es considerada en la política de fusión realizada por el conductor (bloque  $H_S$  de la figura 1). El conductor fusiona las señales  $r_v$  y  $r_t$  para producir un cambio de velocidad  $\Delta v$  aplicado sobre la velocidad de referencia actual  $v_0$ , como sigue:

$$H_S : \Delta v(t) = k_{pv} p_h = k_{pv} [k_{f_v}(t)r_v(t) + k_{f_t}(t)r_t(t)] \quad (7)$$

donde  $k_{pv}$  es una ganancia del conductor que relaciona una señal de error de velocidad causado por el riesgo percibido por el conductor  $p_h$ . Por otro lado, los coeficientes de fusión  $k_{f_v}$  y  $k_{f_t}$  se modelan asumiendo que el conductor prioriza la percepción visual sobre la percepción táctil. Es decir, a medida que la respuesta ante estímulos visuales es mayor, entonces el conductor tenderá a inhibir u omitir la respuesta a estímulos vibro-táctiles (menos peso en una función de fusión). Así, la situación descrita se representa como:

$$\begin{aligned} k_{f_v}(t) &= k_{h_v}(t)k_e(t) \\ k_{f_t}(t) &= 1 - k_{f_v}(t) \end{aligned} \quad (8)$$

Finalmente, la ganancia a lazo abierto  $k_{GH}$  considerando como entrada un nivel de riesgo o peligro  $p$  y como salida la componente de la respuesta del conductor  $\delta_h$  ante dicha entrada (omitiendo la componente de respuesta debida a la referencia de velocidad  $v_0$ ), se puede escribir como:

$$\begin{aligned} k_{GH} &= k_{pv} [k_{f_v}(t)k_v(t) + k_{f_t}(t)k_t] \\ &= k_{pv} [k_v(t)^2 - k_t k_v(t) + k_t] \end{aligned} \quad (9)$$

A partir de (9), se remarca que si el sistema de alerta vibro-táctil no está presente, entonces la ganancia  $k_{GH}$  de respuesta ante fuentes de peligro se degrada directamente con la falta de atención, oclusiones, etc. Sin embargo, cuando el sistema de alerta está activo dicha ganancia disminuye menos con la variación de  $k_{f_v}$  y por lo tanto su valor se aproxima al caso que

tiene una máxima ganancia de respuesta ante una fuente de peligro de entrada.

A continuación se simula el riesgo percibido por el conductor ( $p_h$ ) para una señal simulada de riesgo  $p$ , considerando distintos parámetros del conductor y variación de las condiciones del entorno en el tiempo. La figura 2 muestra el resultado obtenido de  $p_h$  para  $k_{h_v}=k_{h_t}=i$  con  $i=1, 0.66, 0.33$  (marrón oscuro, intermedio y claro respectivamente) considerando las siguientes señales de  $p$  (celeste) y parámetros del modelo  $k_e(t)$  (verde oscuro) y  $k_a(t)$  (rojo):

$$p(t) = 0.5 \sin(2(\pi/5)t - \pi/2) + 0.5; \quad (10)$$

$$k_e(t) = 0.5 \sin(2(\pi/30)t + \pi/2) + 0.5; \text{ si } 0 < t < 15 \quad (11)$$

$$= 0.5 \sin(2(\pi/30)t - \pi/2) + 0.5; \text{ si } 15 < t < 30; \quad (12)$$

$$k_a(t) = 0; \text{ si } 0 < t < 15$$

$$= 1; \text{ si } 15 < t < 30$$

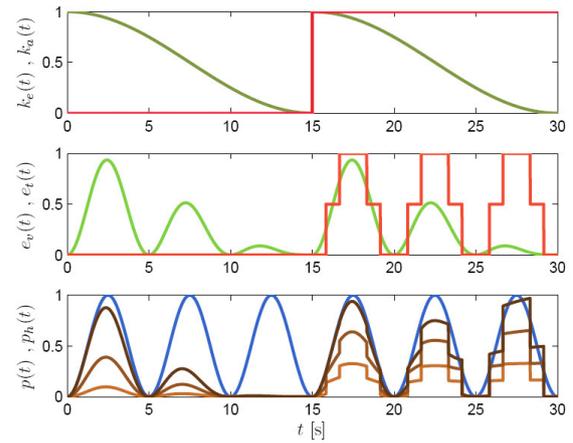


Figura 2: Señales del modelo de percepción humana simulado con entrada  $p$  y salida  $p_h$  (ver Figura 1).

En la figura 2 también se muestran las señales internas  $e_v(t)$  (verde claro) y  $e_t(t)$  (rojo claro). La primera de ellas visualiza cómo se degrada el estímulo visual frente al empobrecimiento de la cantidad de información visual representado por la variación de  $k_e$ , y  $e_t(t)$  muestra el estímulo táctil artificial generado por  $f_q$  (Ec. 5) con  $N=3$  considerando  $k_a=0$  (sistema de alerta desactivado) y  $k_a=1$  (sistema de alerta activado, considerando un cálculo exacto de la probabilidad de colisión  $p$ ). Puede notarse para  $t < 15$ , que la percepción visual del riesgo se degrada a medida que la atención visual disminuye (decremento de  $k_{h_v}$ ). Dicha percepción también decrece a medida que la información visual externa disminuye (decremento de  $k_e$ ), estimulando menos el canal visual humano.

La tabla I expone cómo varía el valor del error cuadrático medio  $e_p$  entre  $p$  y  $p_h$  a medida que  $k_{h_v}$  y  $k_{h_t}$  disminuyen en la misma proporción, considerando una evolución del riesgo, entorno, y sistema de alerta descritos por (10), (11) y (12). Se puede observar que el uso del sistema vibro-táctil de alerta,  $k_a = 1$ , causa menores errores.

Tabla 1: Error cuadrático medio  $e_p$  entre  $p$  y  $p_h$

$k_{h_t} = k_{h_v}$	1	0.8	0.6	0.4	0.2
$k_a = 0$	0.4430	0.4868	0.5358	0.5767	0.6033
$k_a = 1$	0.1148	0.1779	0.2701	0.3753	0.4897

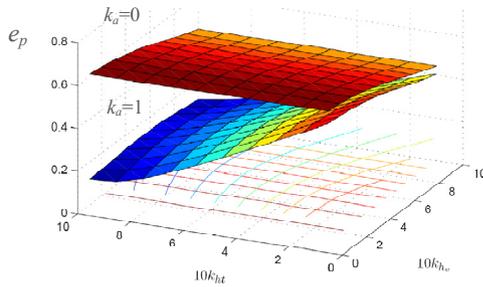


Figura 3: Error cuadrático medio  $e_p$  para  $k_a=0$  y  $k_a=1$  en función de los parámetros de atención visual y táctil del conductor.

La figura 2 muestra la comparación de dos superficies 3D de error cuadrático medio  $e_p$  en función de  $k_{hv}$  y  $k_{ht}$  (parámetros del conductor) computadas sin y con el uso del sistema de alerta, es decir  $k_a=0$  y  $k_a=1$ , respectivamente. Es importante remarcar que cuando  $k_a=0$ , no influye el nivel de atención táctil  $k_{ht}$  en la percepción del riesgo ya que el conductor no recibe estímulos táctiles de riesgo. El error  $e_p$  es menor (mejor percepción del riesgo) si el sistema de alerta es utilizado independientemente de los parámetros del conductor.

Como conclusión se tiene que el sistema vibro-táctil de alerta no necesariamente debe utilizar los valores de los parámetros intrínsecos y variables de cada conductor para complementar positivamente las posibles falencias que ocurran en el sistema de estimulación-respuesta del canal visual de un conductor mientras maneja un vehículo, mejorando así la respuesta del conductor ante la aparición de fuentes de riesgo.

### 2.3. Sistema vibro-táctil de alerta

El sistema propuesto alerta al conductor de situaciones peligrosas usando señales vibro-táctiles direccionales. El sistema está compuesto por tres partes principales, como muestra la Figura 4(a): un par de dispositivos flexibles de fácil montaje sobre el volante de un vehículo, con capacidad de vibrar, un módulo con Bluetooth basada en microcontrolador, que controla la magnitud e intermitencia de la vibración de cada dispositivo tipo-mango (*grips*), y un módulo electrónico de medición, comunicación y cómputo.

¿Cómo funciona el sistema propuesto de alerta al conductor? Primero, se detecta el tipo de situación, luego se computa el nivel de riesgo y posteriormente se generan señales vibro-táctiles para alertar al conductor de una situación con potencial peligro. En la figura 4(b), se muestra un ejemplo ilustrativo del comportamiento del sistema propuesto. Allí, a pesar que el conductor no ve al otro vehículo que está acercándose peligrosamente hacia la intersección de calles, él/ella puede percibir el riesgo y de dónde proviene (vibración sobre su mano izquierda en este caso).

La Figura 5 muestra un diagrama de flujo general del sistema propuesto, donde la localización del vehículo  $i$  y de los vehículos cercanos a él (descritos por el índice  $j$ ) son utilizados por el sistema. Primero, para evitar una posible alta tasa de falsas alarmas en situaciones de alto tráfico, el sistema no se activa si se detecta mediante el sistema de comunicación entre-vehículos una gran cantidad de vehículos  $j$  cercanos al mismo. Si el sistema está activo (cantidad de vehículos  $j$  menor a un umbral pre-establecido), entonces se estima el tiempo de contacto entre el vehículo  $i$  y todos los vehículos  $j$  detectados utilizando la localización (posición y orientación) y velocidades

correspondientes, las cuales son intercambiadas por el sistema de comunicación. Empleando el menor tiempo estimado de colisión, se computa una señal de riesgo 2D incluyendo su nivel y su ubicación relativa respecto a la dirección de avance actual del vehículo  $i$ .



Figura 4: (a) Sistema montado en un vehículo común; b) Ilustración del comportamiento del sistema.

Empleando el menor tiempo estimado de colisión, se computa una señal de riesgo 2D incluyendo su nivel y su ubicación relativa respecto a la dirección de avance actual del vehículo  $i$ . El nivel de riesgo es codificado en uno de tres niveles: situación normal (ningún riesgo, es decir tiempo de contacto alto), situación de precaución (bajo riesgo, lo cual implica un tiempo de contacto medio) o situación de peligro (alto riesgo, es decir bajo tiempo de contacto). Luego, la situación más crítica representada por el menor tiempo de contacto y por el ángulo relativo correspondiente, tal como ilustra la Figura 6 son seleccionados para su posterior procesamiento. Luego, el ángulo relativo  $\theta_c \in [-180^\circ, 180^\circ]$  correspondiente al caso más crítico es cuantificado en magnitud, de manera de señalar solamente la zona en la que el vehículo  $j$  más riesgoso está. Aquí, las siguientes situaciones son definidas de acuerdo a  $\theta_c$ : frontal (valor absoluto menor que  $10^\circ$ ), a izquierda (abarcando desde  $-10^\circ$  a  $-170^\circ$ ), a derecha (de  $10^\circ$  a  $170^\circ$ ), o por detrás (valor absoluto mayor que  $170^\circ$ ). Con respecto a los ángulos relativos que indican la presencia de la fuente de peligro respecto al vehículo  $i$ , cuatro zonas son establecidas para alertar al conductor de donde proviene la fuente de peligro (vehículo  $j$ ): Izquierda derecha atrás o adelante.

El primer caso no es tratado en este trabajo y es filtrado (representará un posible choque frontal). Para evitar oscilaciones entre niveles o efectos indeseables de muestras aisladas erróneas, las señales de nivel y localización de riesgo son procesadas por

una función basada en histéresis en magnitud y tiempo. Esto es, la señal procesada pasará de un nivel a otro solamente si la correspondiente entrada excede el umbral una cierta magnitud y permanece en el nuevo nivel durante un intervalo de tiempo determinado.

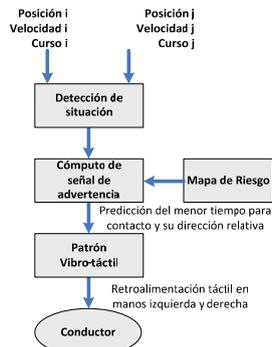


Figura 5: Diagrama en bloques del comportamiento global del sistema.

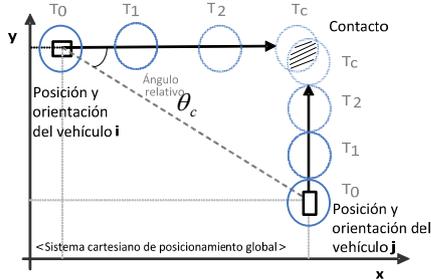


Figura 6: Tiempo de contacto y ángulo relativo

Además, se detecta también el acercamiento a zonas peligrosas a través de la búsqueda en línea sobre una base de datos construida fuera de línea y compuesta de puntos geo-referenciados que forman un área determinada y velocidad máxima dentro de la misma. Así, se detecta si el vehículo se encuentra cerca de una zona marcada como peligrosa (curva abrupta, cruce con alto índice de accidentes, pobre visibilidad por zonas montañosas, entre otros) excediendo la velocidad máxima recomendada para la misma. Esta última característica no requiere de una comunicación entre-vehículos. En la práctica, solamente el peor caso es aplicado cuando aparece más de una señal de alerta (alerta debida a objetos dinámicos y alerta debida a la búsqueda en el mapa). Finalmente, la señal de alerta 2D cuantificada es convertida en formas de onda específicas a través del conjunto de señales de realimentación propuesto (Tabla II). El conjunto de señales de realimentación incluye pocos tipos de señales donde el nivel e intermitencia de la vibración de cada dispositivo montado sobre el volante del vehículo (izquierdo y derecho) son controlados dependiendo de la situación, como es mostrado en la Tabla II junto con el efecto esperado en el conductor.

Las señales de alerta 2D (nivel de riesgo y dirección relativa), el conjunto de señales vibro-táctiles y la vinculación entre ellos, se diseñan con la premisa que el conductor pueda interpretar las señales de alerta, en una forma intuitiva y natural, y sin alterar su manera común y habitual de conducir pero ayudado permanentemente con estímulos artificiales que mejorarán su respuesta ante situaciones de riesgo, tal como se expuso en la sección 3.2.

Tabla 2. Síntesis del sistema de alerta

Situación	Fuente de riesgo	Nivel de riesgo	Señal vibro-táctil de alerta	Efecto pretendido
Normal	Ninguna	Ninguno	Nula	Ninguno
Precaución	Vehículo a izquierda	Bajo	Vibración baja y const. en grip izquierdo	Mirar a la izquierda
Precaución	Vehículo a derecha	Bajo	Vibración baja y const. en grip derecho	Mirar a la derecha
Precaución	Vehículo detrás	Bajo o alto	Vibración baja e intermitente en ambos grips	Mirar al retrovisor
Precaución	Vehículo delante	Bajo	Vibración baja y constante en ambos grips	Tener cuidado
Precaución	Mapa de riesgo	Medio	Vibración baja y constante en ambos grips	Tener cuidado
Peligro	Probable colisión	Alto	Vibración alta y constante en ambos grips	Tener cuidado y frenar

La Figura 7 ilustra la propagación de la señal de alerta. Es posible apreciar la generación, dependiendo de la situación actual y su nivel de riesgo (ninguno, bajo o alto), de estímulos táctiles suaves (denominados no-reactivos) y fuertes (denominados quasi-reactivos). A pesar que ambos estímulos son táctiles, ellos siguen diferentes caminos dentro del ser humano. El primer estímulo alerta al conductor de una situación de peligro sugiriendo disminuir rápidamente la velocidad del vehículo mientras el segundo estímulo recomienda al conductor focalizar su atención hacia una dirección en particular (izquierda, derecha, detrás o frontal). Este último considera el principio de compatibilidad entre estímulo y respuesta (SRC *stimulus-response compatibility*), el cual establece que las reacciones son más rápidas y con menos errores cuando los estímulos y respuestas se corresponden espacialmente (Beruscha, 2010). Por lo tanto, generalmente las reacciones en o hacia la dirección del estímulo, son más rápidas que las reacciones en la dirección opuesta al estímulo.

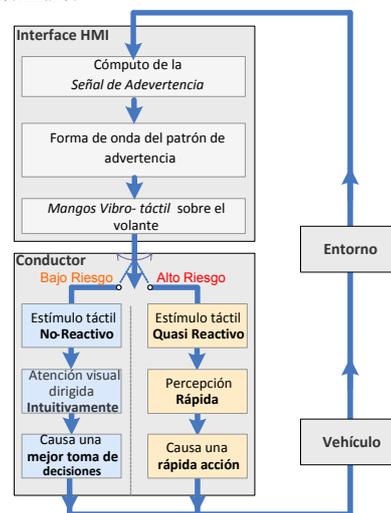


Figura 7: Propagación de la señal de alerta

El primer tipo de estímulo (fuerte) es llamado estímulo táctil cuasi-reactivo y se puede vincular con una rápida percepción de un alto peligro. El mismo es un estímulo basado en instrucciones (se instruye al conductor que es aconsejable disminuir rápidamente su velocidad si percibe dicho estímulo) y por supuesto no produce una reacción natural o intrínseca tal como un reflejo humano, pero su alta compatibilidad con el comportamiento interno del conductor podría causar con algún entrenamiento una respuesta similar a un estímulo reactivo (estímulo que produce una rápida reacción espontánea o natural). Así, el estímulo fuerte involucra vibraciones de alta amplitud que causan que la respuesta a las mismas sea más rápida, que ante los estímulos suaves. Asimismo, la diferencia entre los niveles de amplitud entre ambos estímulos es significativa de forma que la detección de cada evento tenga menos errores, es decir, sea más fácil de discernir. Por otro parte, el uso de señales vibro-táctiles de alerta, permite que el conductor focalice su atención visual y auditiva hacia la fuente de peligro sin perturbar estos canales sensoriales. Finalmente, debido a cómo la información de alerta es codificada, existe una aceptable compatibilidad espacial direccional entre las alertas y los comandos y/o acciones que el conductor debería tomar considerando que el sistema puede vibrar el agarre izquierdo, derecho o ambos y además variar la amplitud de la vibración.

### 3. Implementación del sistema

#### 3.1 Grips

El par de dispositivos vibro-táctiles son mostrados en la Figura 8. Cada uno, posee cuatro pequeños motores vibradores tipo-botón sin eje (10 mm de diámetro y 2.0 mm de espesor) fabricados por Precision Microdrives. Es importante remarcar que estos pequeños motores pueden estar en contacto directo con las manos del conductor sin modificar su funcionamiento normal.

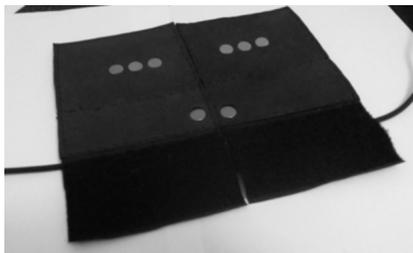


Figura 8: Grips diseñados con capacidad de vibración.

La disposición de estos motores considera cómo en general, las personas toman el volante de un vehículo, de manera de transmitir una vibración controlada sobre la palma y dedos de cada mano del conductor siempre y cuando el mismo decida apoyar sus manos sobre el sistema. Es importante remarcar que los dispositivos tipo-agarres son flexibles y poseen abrojos lo que permite que sean colocados fácilmente en cualquier parte del volante para ser adaptados a la posición más habitual de las manos de cada conductor. Otro aspecto de interés es que el sistema propuesto no hace vibrar el volante, sino que transmite pequeñas vibraciones controladas en amplitud y frecuencia directamente sobre las manos del conductor. Como estos estímulos son básicamente captados en la piel de la palma y dedos de la mano, la persona no reacciona naturalmente ante ellos, sino

que la persona siente una señal de vibración más allá de una señal tipo si-no que puede interpretar mientras conduce.

Un simple circuito electrónico de potencia basado en un transistor NPN Darlington BC517 es usado para energizar cada conjunto de motores vibro-táctiles a partir de señales tipo-PWM (modulación por ancho de pulso) generados por un micro-controlador.

#### 3.2 Hardware y comunicación

En esta sección se describen el hardware y el modo de comunicación utilizado por el sistema propuesto. La Figura 9 muestra los componentes empleados para construir el sistema vibro-táctil. Se utilizó un sensor GPS basado en el chip receptor Locosys LS20031 el cual integra un chip MediaTek MT3329 66-channel GPS con una antena de cerámica. El sensor GPS envía un paquete NMEA cada 200 milisegundos a una tasa de 115200 bits por segundo. En nuestro caso, se utiliza la trama RMC (*Recommended Minimum Specific Data GNSS*). El sistema es independiente del método de localización que se utilice, por ejemplo generalmente se utiliza la combinación de un GPS con unidades de medición inercial IMU para estimar también la localización en zonas donde la señal GPS es débil o nula. Además, se usa un enlace Bluetooth entre el dispositivo vibro-táctil y la unidad de cómputo, la cual además dispone de un GPS y comunicación inalámbrica por RF con otros vehículos. Esta última comunicación trabaja con un chip *transceiver* Xbee-pro (66mW) de 2.4 Ghz el cual posee un alcance de aproximadamente 100 metros en zonas urbanas. La tasa de comunicación es de 57600 bits por segundo. Estos módulos usan el protocolo estándar IEEE 802.15.4, y poseen 12 canales como opción que nosotros seleccionaremos y modificaremos en línea. Es importante remarcar que el sistema tipo-prototipo propuesto es independiente de la tecnología de comunicación utilizada, por ejemplo son conocidos los esfuerzos realizadas por diferentes compañías y comunidad científica en pos de estandarizar un adecuado protocolo de comunicación entre vehículos para asegurar conectividad, bajas interferencias y pequeño retardo, tales como los protocolos IEEE 802.11n y 802.11p (Seungbae and Lim, 2012), (Jiang and Delgrossi, 2008). Respecto a los componentes electrónicos para procesamiento y cómputo, se utiliza el micro-controlador de bajo costo PIC16F876 de Microchip de 20 Mhz para generar señales PWM para los motores, y un microprocesador ARM de 32 bits conectado al sensor GPS y chip de comunicación RF.

La Figura 10 ilustra el modo de comunicación utilizado. Básicamente, la red entre vehículos cercanos entre sí es formada usando una transmisión tipo *broadcast* junto con un esquema basado en prioridades establecidas en línea. El criterio utilizado da una mayor prioridad a los vehículos que tienen mayor velocidad. Luego de recibir un paquete del GPS, el intervalo de tiempo entre dos lecturas consecutivas del sensor se divide en segmentos de tiempo para disminuir el nivel de interferencia entre los diferentes vehículos. El valor del intervalo de tiempo mínimo se establece de acuerdo con el intervalo de tiempo mínimo

necesario para transmitir un paquete de difusión a la red (2 milisegundos con la tecnología de bajo costo utilizado). El paquete de red incluye un número de identificación, los datos de latitud, longitud, orientación y velocidad, una suma de comprobación (*checksum*), y un código que describe el tipo de vehículo (moto, camión, coche, coche grande, etc.) El último ítem es útil para saber el tamaño aproximado del vehículo.

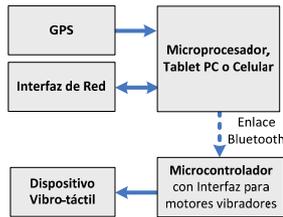


Figura 9: Sistema electrónico simple y de bajo coste.

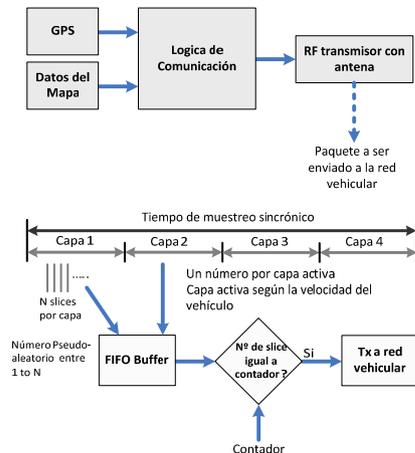


Figura 10. Comunicación entre vehículos.

Además, los mapas abiertos de la base de datos Open Street (formato .osm), web [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org) fueron procesados fuera línea para obtener dos bases de datos. Una que incluye solamente la latitud, longitud and máxima velocidad recomendada en las cercanías de puntos de potencial peligro. En nuestro caso, la ciudad de San Juan, Argentina es tomada para la evaluación del sistema. La velocidad máxima aconsejada se define fuera de línea teniendo en cuenta las recomendaciones formuladas por las instituciones nacionales sobre seguridad vial, y también considerando las estadísticas de accidentes. La segunda base de datos incluye la latitud y longitud de cada punto de cruce entre caminos y/o calles, a los cuales se asignó un número de canal. Esto se usa en línea para transmitir los paquetes de datos por diferentes canales, de acuerdo a la posición actual del vehículo, filtrando así los paquetes recibidos, es decir se intenta evitar una saturación de paquetes recibidos por cada vehículo, disminuyendo así la interferencia entre vehículos. Además, cada vehículo no transmite datos por un pequeño intervalo de tiempo si situaciones de alto tráfico de datos son detectados a partir de la evaluación de la tasa de incorrectos chequeos de datos (*checksum*) y/o si la

energía detectada sobre el canal es mayor que un umbral preestablecido (característica conocida como CCA *clear channel assessment*).

### 3.3 Software

En esta sección se describe brevemente el software desarrollado. El software está basado en una estructura multi-hilo (*multi-thread*), combinando operaciones asincrónicas y operaciones sincrónicas (para lectura y escritura de datos). Además, objetos de tipo-evento son usados para sincronización. La Figura 11 muestra un diagrama de flujo par ilustrar como trabaja el software, desarrollado que fue programado en el lenguaje C++.

El hilo llamado GPS lee asincrónicamente (usando funciones de espera *wait functions*) los paquetes NMEA enviados por el hardware OEM GPS. Dependiendo de la velocidad del vehículo se establece una lógica pseudo-aleatoria para enviar por RF (radio frecuencia) su estado a los vehículos cercanos al mismo. Por otro lado, el hilo de red Rx, lee los paquetes que ingresan provenientes de los otros vehículos y computa la señal de alerta dependiendo de los datos actuales del GPS local, la información de los otros vehículos y los mapas. Dicho resultado se coloca en un buffer temporal.

El hilo temporizador (*timer*) posee un período de actualización de 2 milisegundos. Este hilo sincrónico maneja contadores de alta resolución para establecer los eventos asociados con la transmisión por la red y habilitar la búsqueda en el buffer temporal, desde donde el peor caso es extraído y asociado con una forma de onda de realimentación, la cual será enviada hacia los dispositivos vibro-táctil del sistema. Ambos, el hilo de red Tx y el hilo del enlace vía Bluetooth, permanecen en un estado de espera hasta que el hilo temporizador genera los eventos denominados *haptico* y Tx. En nuestro caso, la variable PERIOD (Figura 9) es establecida en 50 (equivalente a 100 milisegundos).

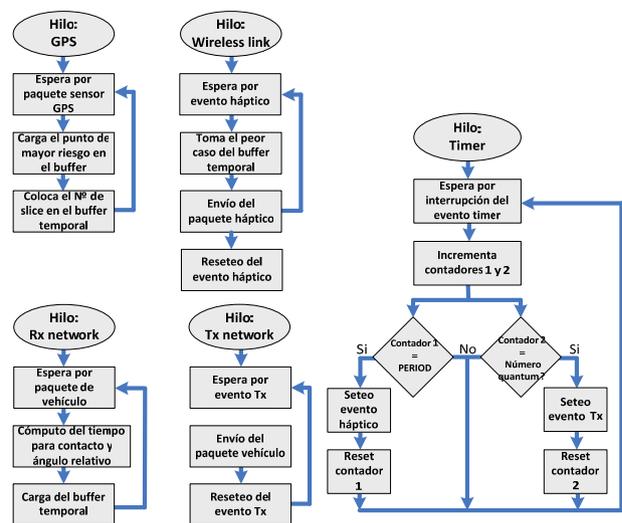


Figura 11: Estructura multi-hilos

#### 4. Resultados

En esta sección, se han llevado a cabo varios experimentos con dos autos comunes analizando el comportamiento del sistema frente a situaciones reales. Los vehículos usados son una Ford Ecosport y un Fiat Uno. Tres casos típicos fueron probados: cruce, adelantamiento y vehículos que van en sentido opuesto, con el fin de evaluar el comportamiento del sistema de alerta propuesto.

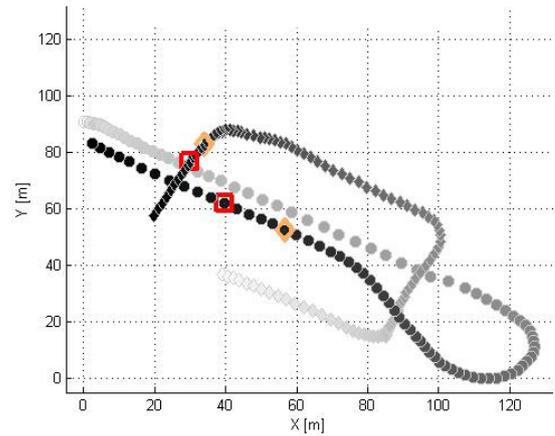
La Figura 12 muestra las trayectorias seguidas por los vehículos durante las experiencias, en la que es posible identificar la trayectoria seguida por el vehículo Ecosport (círculos) y la ruta recorrida por el vehículo Uno (rectángulos). El tiempo se codificó variando gradualmente el color de blanco (iniciación del experimento) a negro (final del experimento). La distancia mínima se establece en 10 m, mientras que los umbrales de tiempo de contacto se fijan en 2 y 4 s, lo cual es compatible con los tiempos utilizados en los dispositivos de frenado automático (Momani, 2012). La figura 13(a) muestra la velocidad de los dos coches, la distancia entre ellos, los ángulos relativos, el tiempo de contacto entre los vehículos virtuales y la respuesta del sistema a las dos situaciones de cruce. Es importante destacar que el sistema no actúa en todas las situaciones de cruce, sino sólo en aquellas que involucran un peligro potencial. Por ejemplo, el primer paso no es peligroso, mientras que en el segundo se alertó a los dos conductores.

La Figura 13(b) muestra la situación a los 35 y 37 s, en donde el sistema alerta al conductor sobre estados de precaución y situaciones de peligro, respectivamente. Por ejemplo, el sistema situado en el vehículo rojo (Ford), recomienda al conductor mirar a la derecha cuando  $t=35s$ , y dos segundos después  $t=37s$ , la posición de los dos vehículos en dichos instantes de tiempo se señaló con naranja (35 s) y el color rojo (37 s). En la Figura 12(c), se indica la posición de los vehículos cuando se activa la señal de aviso, lo cual se señala con color naranja (situación de precaución).

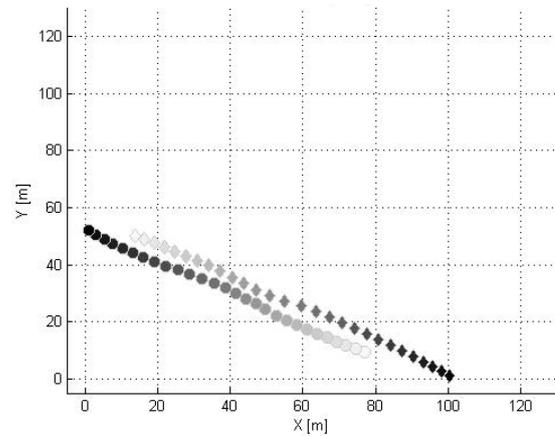
Por otro lado, la Figura 14(a) muestra (similar a la Figura 13 (a)) las principales señales adquiridas y calculadas en una situación de adelantamiento (Figura 12(b)). Cuando dos vehículos se encuentran en carriles distintos y en sentidos contrarios, el sistema detecta correctamente la situación y no genera vibraciones a los conductores, a pesar que el tiempo de contacto de los vehículos virtuales está en la zona de precaución. Este criterio se toma para evitar una posible alta tasa de falsas alarmas. Aunque esta situación no ha sido tratada en este trabajo, esto no afecta el comportamiento del sistema frente a los demás tipos de situaciones.

Por último, la figura 13(b) muestra cómo funciona el sistema cuando hay una situación de adelantamiento. En este caso, el sistema sobre vehículo Ford avisa al conductor que otro auto se acerca rápidamente desde atrás, por medio de pequeñas vibraciones intermitentes de baja frecuencia sobre las dos empuñaduras. Al mismo tiempo, el conductor del vehículo Fiat es alertado por su sistema a través de pequeñas vibraciones constantes en ambas empuñaduras que hay un vehículo delante de él. Podemos ver como una situación de precaución se informó a los dos pilotos de una manera amigable y sin perturbar la forma común de la conducción.

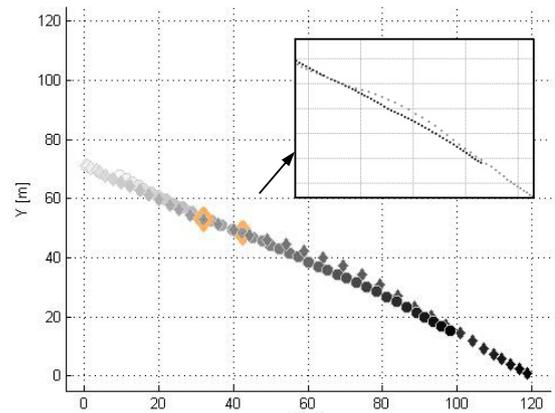
El sistema propuesto también se colocó en un volante para videojuegos de computadora. Se utilizó el simulador 3D de carrera de autos llamado *Speed Dreams* de código abierto. Las



(a)



(b)



(c)

Figura 12: Trayectorias seguidas por los dos vehículos, en situaciones típicas de riesgo: (a) cruce, (b) encuentro paralelo frontal y (c) adelantamiento.

variables de estado de automóvil del conductor y de los demás vehículos se leen en la línea, se computa la señal de advertencia y se envía al equipo electrónico que comanda los *grips* colocados sobre el volante.

Más de cien usuarios diferentes (hombres y mujeres entre 16

y 60 años de edad) experimentaron y afirmaron ser ayudados por el sistema durante la conducción, ver Figura 15. Después de la prueba, más del 80% expresaron una sensación satisfactoria respecto de la *facilidad de uso* y *utilidad* del sistema, aunque también se registró la necesidad de un período corto de adaptación con el fin de interpretar correctamente en línea el significado de las señales vibratorias.

## 5. Discusión

En el contexto expuesto, cuando hay una situación de bajo riesgo, el sistema ayuda al conductor a tomar una mejor decisión, ya que éste tiene mayor información predictiva sobre la posición espacial de dicho riesgo. Por otro lado, si se produce una situación de alto riesgo, el estímulo cuasi-reactivo causará una rápida acción para soltar el pedal del acelerador y, a continuación para detener el vehículo con el freno. Por lo tanto, las acciones realizadas por el conductor cambian el movimiento del vehículo reduciendo el nivel de riesgo de la situación actual, a pesar de no tener línea de vista con el otro vehículo, tal como el caso donde un objeto ocluye la línea de vista entre vehículos llegando a un cruce de caminos.

Aunque las personas pueden detectar un amplio rango de frecuencias de vibración y/o amplitudes, (Ryu et. Todo, 2010), (Jensen et. Todo, 2011), (Nimmagadda et. Todo, 2009), el sistema utiliza sólo dos niveles de vibración (fuerte y suave) para facilitar una comprensión rápida y sin ambigüedades por parte del conductor. Luego, ante una situación de precaución, el sistema brinda una sugerencia al conductor sobre donde debe centrar su atención visual, a fin de tomar una buena decisión-acción. Esta propuesta se realiza a través de una vibración direccional de baja magnitud que indica si la fuente de riesgo (otro vehículo) viene desde la izquierda, la derecha o la parte trasera, como por ejemplo en la situación de cruce con bajo riesgo (figura 11 (b), 35s) o en situación de adelantamiento (figura 11 (b)). Si esta condición pasa a un nivel de peligro alto, entonces el sistema genera un estímulo táctil cuasi-reactivo que hará que él/ella rápidamente comience a reducir la velocidad del vehículo. En este caso, la percepción del usuario se mejora con una fuerte vibración que indica reducir rápidamente la velocidad. Por lo tanto, el diseño considera como premisa, que el conductor pueda utilizar el sistema de alerta de una manera intuitiva y natural.

En nuestro caso, el conductor se encargó de interpretar y actuar ante las señales de alarma codificadas en los estímulos táctiles. Sin embargo, aunque se puede lograr una reacción rápida, el sentido común y criterio debe ser la prioridad. Esto es, una mayor estimulación para el conductor no necesariamente mejora sus acciones, pero si esos estímulos se incorporan de una manera natural, el conductor podría aumentar su rapidez y capacidad de percepción, reacción y acción, además de aumentar las posibilidades de aceptar su uso en la práctica. Además, el ensayo del sistema en el simulador con varios usuarios diferentes indica que la conducción normal no es perturbada y que también presenta un proceso de aprendizaje simple y rápido.

Es importante remarcar que el hardware del sistema fue diseñado con la intención de disminuir el coste, pero el esquema es independiente de la tecnología utilizada (por ejemplo, un sistema de localización más robusto, una mejor tecnología para la comunicación entre vehículos, y posiblemente peatones siendo incluidos en la red mediante sus teléfonos celulares), lo que mejora día a día y que se acoplará al sistema, así como más

sensores (acelerómetros, medidores de distancia basado en radar, cámaras, etc.) sin cambiar el comportamiento conceptual de la propuesta.

En trabajos futuros se realizará un análisis estadístico sobre la mejora en la respuesta del conductor debido a la utilización del sistema de alerta (interfaz) propuesto. Además, la retroalimentación táctil podría complementarse con retroalimentación de sonido 3D durante intervalos de tiempo en los que el conductor no toma alguno de los grips (siendo esto detectado por ejemplo por sensores de fuerza). Además, el sistema podría tener en cuenta otras causas de accidentes, tales como la detección de un conductor cansado o dormido. Además, la frecuencia y amplitud podrían combinarse para generar más información para el conductor, codificado en un conjunto *amigable* de señales vibro-táctiles.

## 6. Conclusión

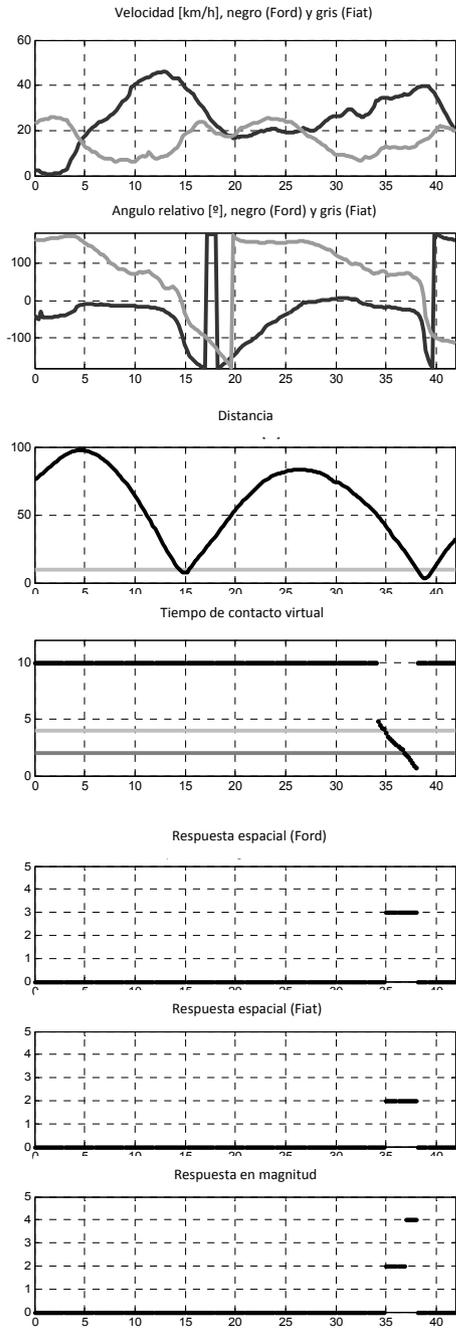
En este trabajo se presentó el diseño y desarrollo de un sistema de bajo costo, centrado en el conductor, de uso fácil e intuitivo, que tiene como finalidad la prevención de accidentes de tráfico. El sistema se basa en un dispositivo de agarre vibro-táctil montado sobre el volante del automóvil, de un sistema de computación con un sistema de localización y de comunicación entre vehículos. El sistema es sencillo y los conductores lo han utilizado con facilidad, de forma intuitiva y natural. Por otra parte, el sistema se puede montar en cualquier tipo de vehículo independientemente de su modelo y año de fabricación, así también como en distintos tipos de vehículo (motocicleta, camiones, automóviles, autobuses). El esquema utilizado es totalmente independiente del sistema eléctrico del vehículo, por lo que no requiere una instalación compleja. Los resultados muestran un buen desempeño de la señal de alerta, para experimentos utilizando dos autos comunes, detectando situaciones típicas y alertando al conductor si hay peligro además de inducir una acción recomendada tales como por ejemplo, mirar hacia la izquierda o derecha.

### English Summary

#### Car accidents prevention warning system based on vibro-tactile steering wheels

### Abstract

This paper proposes the design and build of a driver warning system, based on vibro-tactile feedback for preventing accidents through the generation of tactile stimuli. The system has two vibro-tactile grips devices which are easily mounted on the steering wheel of any vehicle and an electronic system based on location sensing as well as inter-vehicles communication, from which a risk level is computed on line in order to warn the driver about dangerous situations and risk zones. A model focalized on human factors is proposed and it is employed to justify the advantages of using artificial stimuli. Besides, the hardware, communication between vehicles and embedded software, are described too. Finally, experiences using the device in a racing car simulator and tests using two ordinary cars are shown.



(a)



t=35 s

t=37 s



(b)

Figura 13 (a): Velocidad, ángulo relativo, distancia, tiempo de contacto y señal de realimentación a cada conductor en un cruce; (b) Situación de precaución para t=35 s. Situación de peligro for t=37 s.

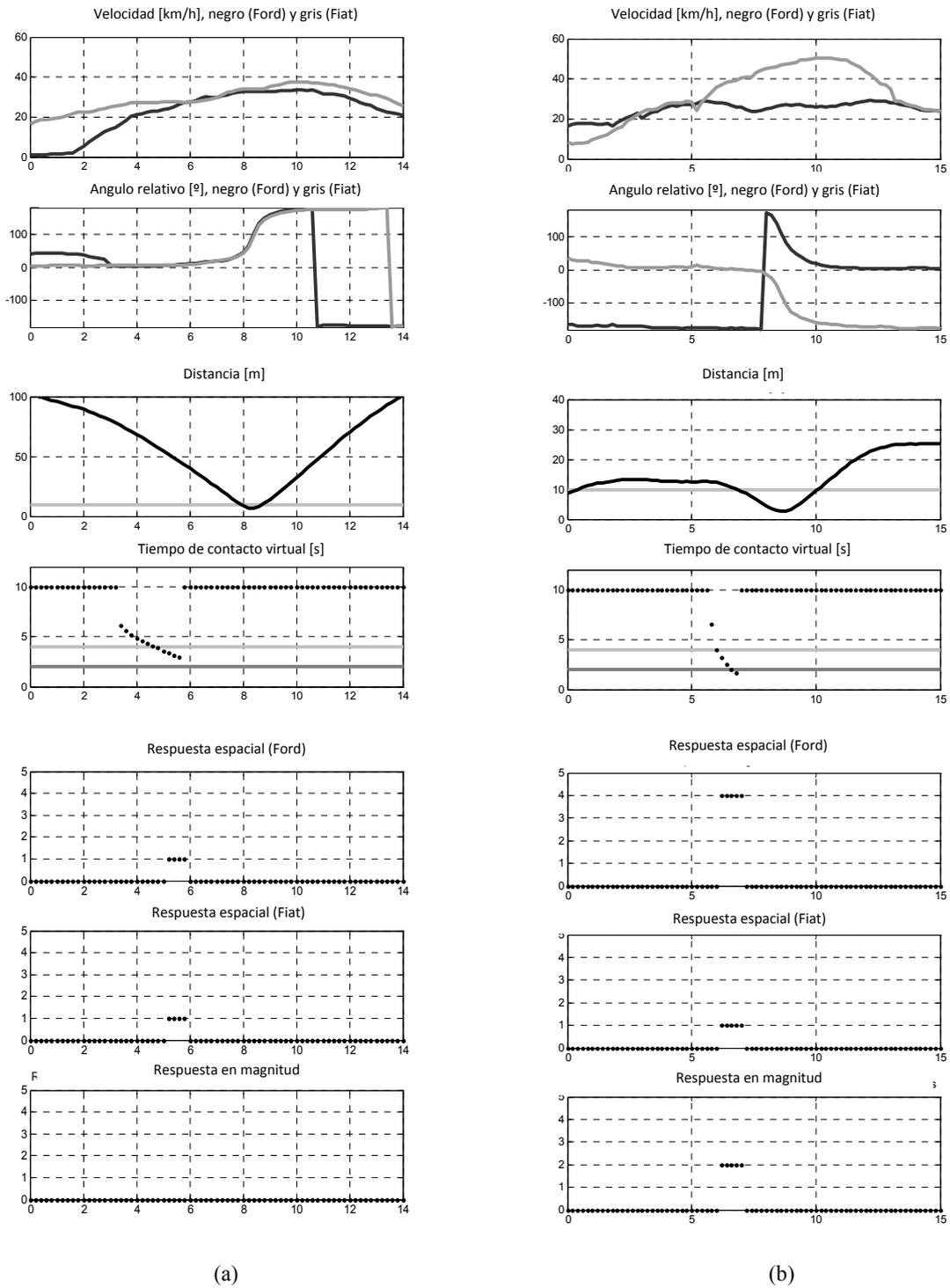


Figura 14: Velocidad, ángulo relativo, distancia, tiempo de contacto y señal de realimentación a cada conductor en: (a) encuentro paralelo frontal; (b) Adelantamiento



Figura 15: Sistema adaptado a un simulador de autos de carrera, el cual fue expuesto en la feria de innovaciones Innovar 2012 donde fue probado por usuarios de diferentes edades y sexo.

#### Keywords:

Safety, sensors and virtual instrument, automotive, vibro-tactile stimuli, accidents prevention.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), y la Universidad Nacional de San Juan.

#### Referencias

- Beruscha, F., Wang, L., Augsburg, K., Wandke, H., Do drivers steer toward or away from lateral directional vibrations at the steering wheel? Proc. 2nd European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems, 227-236, 2010.
- Beruscha, F., Augsburg, K., Manstetten, D., "Haptic warning signals at the steering wheel: A literature survey regarding lane departure warning systems", *Haptics-e, the electronic journal of haptic research*, Vol 4, No. 5, 28-Mar-2011.
- Chun, J., S. Oh, S. H. Han, G. Park, J. Seo, S. Choi, K. Han, W. Park. Evaluating the effectiveness of haptic feedback on a steering wheel for FCW. Proceedings of the 9th Pan-Pacific Conference on Ergonomics November 7-10, 2010 Kaohsiung Taiwan.
- Chun, J., G. Park, S. Oh, J. Seo, I. Lee, S. Choi, S. H. Han, W. Park, "Development of Human Factors Design Guidelines for Haptic Collision Warning Systems," In Proceedings of the IIE Asian Conference, pp. 249-254, 2011.
- Final report NHTSA January 2007 N° HS 810 697. Crash Warning System Interfaces: Human Factors Insights and Lessons Learned.
- Hans. B. Pacejka, *Tire and Vehicle Dynamics*, second edition, ISBN-13: 980-0-7506-6918-4, Editorial Elsevier, 2006.
- Flores, M., Armingol J. and Escalera, A., "Sistema Avanzado de Asistencia a la Conducción para la Detección de la Somnolencia", *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol 08, Num. 03, doi: 10.1016/j.riai.2011.06.009, 2011.
- Ho, C. and C. Spence, "Assessing the Effectiveness of Various Auditory Cues in Capturing a Driver's Visual Attention," *J. Experimental Psychology: Applied*, vol. 11, pp. 157-174, 2005.
- Ho, C., H. Z. Tan, C. Spence. Using spatial vibrotactile cues to direct visual attention in driving scenes. *Transportation Research Part F* 8 (2005) 397–412.
- Ho, C., N.J. Reed, and C. Spence, "Assessing the Effectiveness of Intuitive Vibrotactile Warning Signals in Preventing Front-to-Rear-End Collisions in a Driving Simulator," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 38, pp. 989-997, 2006.
- Ho, C. Haptic Interface for the Distracted Drivers. SICE Annual Conference 2008 August 20-22, 2008, The University Electro-Communications, Japan. Pages 890-893
- Hwang, S.; J. Ryu, "The Haptic steering Wheel: Vibro-tactile based navigation for the driving environment," *Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops)*, 2010 8th IEEE International Conference on , pp.660-665, March 29-April 2, 2010.
- Jensen, J., A. M. Tolbert, J. R. Wagner, F. S. Switzer, and J. W. Finn. "A Customizable Automotive Steering System With a Haptic Feedback Control Strategy for Obstacle Avoidance Notification". *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 60, N° 9, November 2011.
- Jiang, D.; Delgrossi, L.; "IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments," *Vehicular Technology Conference*, 2008. VTC Spring 2008. IEEE , vol., no., pp.2036-2040, 11-14 May 2008
- Koustanai, A., V. Cavallo, P. Delhomme and A. Mas. Simulator Training with a Forward Collision Warning System: Effects on Driver-System Interactions and Driver Trust. doi:10.1177/0018720812441796. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* April 3, 2012.
- Lee, J. D. , M. L. Ries, D. V. McGehee, and T. L. Brown. "Can Collision Warning Systems Mitigate Distraction Due to In-Vehicle Devices?" May 2000, NHTSA.
- Miller, S., "Social implications of automotive collision avoidance systems," *Technology and Society*, 2009. ISTAS '09. IEEE Int. Symposium on , vol., no., pp.1-4, 18-20 May 2009.
- Momani, M.. Collision Avoiding System (CAS). *Contemporary Engineering Sciences*, Vol. 5, 2012, no. 7, 341 – 354
- Muhrer, Elke, Klaus Reinprecht and Mark Vollrath. *Driving With a Partially Autonomous Forward Collision Warning System: How Do Drivers React?* Human Factors and Ergonomics Society, SAGE journals, 2012.
- Ng, Annie W.Y. and Alan H.S. Chan. Finger Response Times to Visual, Auditory and Tactile Modality Stimuli. *IMECS 2012*. Pages, March 14-16, 2012, Hong Kong.
- Nimmagadda, P., Tkacik, P.T., Merrill, Z. A., and Kadire, N. R., Human Sensitivity in Forced Feedback Systems as a Function of Frequency and Amplitude of Steering Wheel Vibrations. *SAE International*, Technical paper N°09CV-0117, 2009.
- Parasuraman, R., P.A. Hancock and O. Olofinboba. Alarm effectiveness in driver-centered collision-warning systems. *Ergonomics* 1997, vol. 40 N°3, pp. 390-399.
- Ravani, B.; Gabibulayev, M.; Lasky, T. A., "Improvement of a Human-Machine Interface (HMI) for Driver Assistance Using an Event-Driven Prompting Display," *Control Systems Technology*, IEEE Transactions on , vol.19, no.3, pp.622,627, May 2011.
- Rendon-Velez, E., I. Horvath, and E. Z. Opiyo. Progress with Situation Assessment and Risk Prediction in Advanced Driver Assistance Systems: A Survey. *Proceedings of the 16th ITS World Congress*, 2009.
- Ryu, J., J. Chun, G. Park, S. Choi, Member, and S. H. Han. Vibrotactile Feedback for Information Delivery in the Vehicle *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 3, N° 2, April-June 2010.
- Sato, K., T. Goto, Y. Kubota, Y. Amano, and K. Fukui, "A Study on a Lane Departure Warning System Using a Steering Torque as a Warning Signal", *Proc. Int'l Symp. Advanced Vehicle Control (AVEC '98)*, pp. 479-484, 1998.
- Seungbae Lee; Lim, A. "Reliability and performance of IEEE 802.11n for vehicle networks with multiple nodes." *Computing, Networking and Communications (ICNC)*, 2012 International Conference on , vol., no., pp.252-256, Jan. 30 2012-Feb. 2 2012
- Spence, C. and C. Ho, Tactile and Multisensory Spatial Warning Signals for Drivers, *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 1, N° 2, July-December 2008.
- Sternberg, S., The discovery of processing stages: Extension of Donders method. *Acta Psychologica*, 30, 276-315, 1969.
- Sternberg, S., Memory scanning: New finding and current controversies, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1975.
- Wellens, M.; Westphal, B.; Mahonen, P. "Performance Evaluation of IEEE 802.11-based WLANs in Vehicular Scenarios," *Vehicular Technology Conference*, 2007. VTC2007-Spring. IEEE 65th , vol., no., pp.1167-1171, 22-25 April 2007.
- Wickens, C. D., Hollands, J. G. Selection of an Action. (EDS) *Engineering Psychology and Human Performance –3rd edition*. Vol. 1, 2000, Prentice Hall, New Jersey 07458.
- Varma, Abhi R., S. V. Arote, C. Bharti and K. Singh. "Accident Prevention Using Eye Blinking and Head Movement". *Emerging Trends in Computer Science and Information Technology (ETCSIT2012)*. Proceedings published in *International Journal of Computer Applications (IJCA)*. Pages 18-22, 2012.