

Protección del ocupante en vehículos autónomos

Marta Ingelmo-Gómez¹, Jorge Velasco-Manrique², Javier Romo-García³, Julio Abajo-Alonso⁴,
Esteban Cañibano-Alvarez⁵

¹Fundación CIDAUT, Boecillo (Valladolid), España. Email: maring@cidaut.es

²Fundación CIDAUT, Boecillo (Valladolid), España. Email: jorvel@cidaut.es

³Fundación CIDAUT, Boecillo (Valladolid), España. Email: javrom@cidaut.es

⁴Fundación CIDAUT, Boecillo (Valladolid), España. Email: julaba@cidaut.es

⁵Fundación CIDAUT, Boecillo (Valladolid), España. Email: estcan@cidaut.es

Resumen

Resultado de la mayor libertad de movimiento que implica el aumento de la automatización de la conducción, el presente trabajo aborda la problemática de la seguridad del ocupante en lo que a esto se refiere con el estudio de los riesgos asociados a las nuevas posiciones que se podrán adoptar y el desarrollo e implementación de un algoritmo para monitorizar la posición del conductor. El análisis realizado permite identificar los límites de los actuales sistemas de seguridad en conducción autónoma y la necesidad de contar con sistemas inteligentes para mejorar su respuesta. En este aspecto, la robustez y fiabilidad mostradas al final del documento prueban la efectividad del método de monitorización de la posición del conductor para su aplicación a sistemas de retención inteligentes.

Palabras clave: conducción autónoma; monitorización del conductor; seguridad; sistemas de retención.

Abstract

As a result of the greater freedom of movement that comes with increasing the level of automation of driving, this work addresses the issue of occupant safety in this respect through the analysis of the risks associated with the new positions that can be adopted and the development and implementation of an algorithm for monitoring the driver's position. The analysis carried out identifies the limits of current safety systems in autonomous driving and the need for intelligent systems to improve their response. In this aspect, the robustness and reliability of the results, which are shown at the end of the paper, prove the effectiveness of the driver position monitoring method for its application to intelligent restraint systems.

Keywords: autonomous driving; occupant monitoring; safety; restraint systems.

1. Introducción

Con el rápido desarrollo de los sistemas avanzados de asistencia a la conducción, los conductores han pasado a no tener que hacer frente a tantas exigencias como se les exigía hace 60 o 70 años [1]. La conectividad y el desarrollo del 5G han abierto las puertas a una conducción más segura y llena de posibilidades. Tanto, que se ve más cerca la implantación de la conducción autónoma [2].

En este aspecto, está previsto que para 2023 salgan al mercado los primeros vehículos con un nivel 4 de

automatización, siendo el 5 de la automatización completa [3]. Este hito supone varios desafíos, el más importante desde el punto de vista de la seguridad del ocupante. Ante la capacidad del vehículo de tomar decisiones sin la intervención del conductor, se suprimen las únicas restricciones que obligaban a los ocupantes a sentarse en una posición concreta. Resultado de ello, aparecen riesgos relacionados con posibles contactos y diferentes posiciones relativas entre el ocupante y los sistemas de retención. Y es que, aunque con el desarrollo de la conducción autónoma los accidentes se reducen, la seguridad no debe dejarse de lado.

Desde este enfoque, el objetivo del presente trabajo pasa por adelantarse a las futuras normativas y protocolos de seguridad de obligado cumplimiento para vehículos autónomos, identificando por un lado los criterios de daño que han de ser superados y por otro, minimizando los riesgos asociados a su futura entrada en el mercado. Para ello, y con base en un estudio de la normativa actual, investiga la cinemática del ocupante para 5 escenarios críticos; a la par que también plantea una metodología de reconocimiento automática de la posición del conductor basada en técnicas de visión artificial. El desarrollo de ambas líneas puede verse en los apartados que se presentan a continuación.

2. Métodos

2.1. Definición casos de carga

Relacionado con los criterios de daño que los futuros vehículos autónomos deberán superar, resulta necesario analizar antes las normas y protocolos de ensayo que tienen que ver con la seguridad pasiva de los vehículos actuales. Pese al avance que suponen los coches autónomos, no hay que olvidar que deberán seguir cumpliendo con todas las normativas actuales y las previstas a corto plazo. En este aspecto, el presente apartado presenta un estudio detallado de varios procedimientos de ensayo utilizados en Europa para evaluar la seguridad del ocupante a distintos niveles (véase la lista a continuación).

A nivel frontal:

- Atendiendo a los reglamentos europeos de obligado cumplimiento:
 - UN R137 [4]: Choque frontal contra muro rígido a $V=50\text{km/h}$, impacto a 0° .
 - UN R94 [5]: Choque frontal contra barrera deformable con un solape del 40% a $V=56\text{km/h}$, impacto a 0° .
- Según el organismo EuroNCAP:
 - Full Width [6]: Mismas especificaciones que UN R137 pero con un dummy 5% en lugar de con uno Hybrid-III 50% en la plaza del conductor.
 - MPDB [7]: Choque frontal contra barrera a 50km/h y solape del 50% a $V=50\text{km/h}$. Se destaca la incorporación del criterio biomecánico Brain Injury Criteria (BRIC) para evaluar los daños sufridos por el ocupante en la cabeza.
- Atendiendo a la normativa americana:
 - FMVSS 208 [8]: Evalúa el comportamiento del sistema de retención en situaciones con y sin

cinturón de seguridad, tanto frente a choque contra muro rígido como contra barrera deformable.

A nivel lateral:

- Atendiendo a los reglamentos europeos de obligado cumplimiento:
 - UN R135 [9]: Choque lateral contra poste (pole) a $V=32\text{km/h}$, impacto a 75° .
 - UN R95 [10]: Choque lateral contra barrera deformable (masa carro= 950kg) a $V=50\text{km/h}$ e impacto a 90° .
- Según el organismo EuroNCAP:
 - Barrera [11]: Mismas especificaciones que UN R95 pero con un carro de 1.400kg y a una $V=60\text{km/h}$.
 - POLE [12]: Basado en UN R135, tiene previsto la inclusión de un segundo dummy en la plaza del ocupante.
- Atendiendo a la normativa americana:
 - FMVSS 214 [13]: Evalúa el comportamiento del sistema de retención en situaciones de impacto contra poste y contra barrera deformable, pero utilizando otras dimensiones de barrera, velocidades y dummies.

Nótese, que pese a la criticidad de la posición del ocupante comentada en el apartado de introducción, no existe ninguna normativa o actualización futura, desde el punto de vista de la seguridad pasiva, que tenga en cuenta otras además de la convencional. Con la vista puesta en los vehículos autónomos y que el cliente va a demandar un nivel de seguridad similar en cualquier posición que pueda adoptar, es objeto de este trabajo definir varios casos de carga, en base a las regulaciones presentadas, sobre los que evaluar la seguridad de los vehículos en caso de impacto para distintas posiciones del ocupante.

En esta línea, y teniendo en cuenta la influencia histórica y actual de EuroNCAP sobre los reglamentos de obligado cumplimiento, a nivel de impacto frontal, se selecciona la configuración de EuroNCAP MPDB como procedimiento sobre el que basar la evaluación de la seguridad del ocupante. Por otra parte, para el caso del impacto lateral, se definen dos casos de carga sobre los que evaluar el comportamiento del vehículo y sus sistemas de retención; caso de impacto contra poste a 75° y caso de impacto contra barrera deformable a 90° . Para ello se seleccionan los protocolos más exigentes, que en este caso también coinciden con los de EuroNCAP y cuya configuración puede verse en la Figura 1 para dos posiciones diferentes.

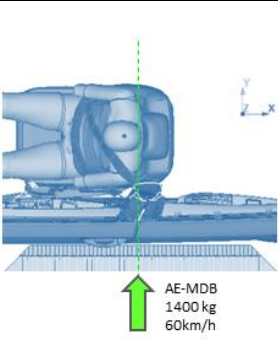
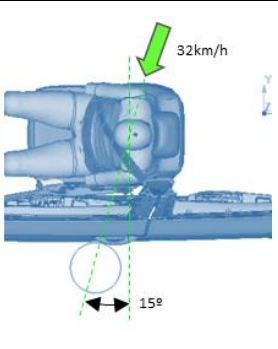
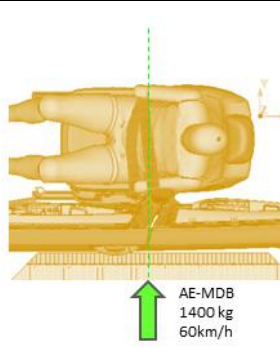
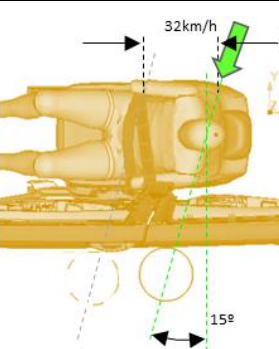
Posición NOMINAL		Posición AUTOMATED DRIVING (AD)	
BARRERA	POSTE	BARRERA	POSTE
			

Figura 1. Casos de carga de impacto lateral

2.2. Definición escenarios

Definidos los casos de carga en el apartado anterior y abierta la cuestión de las muchas posiciones posibles del ocupante con el aumento del grado de automatización, las futuras normativas estarán obligadas a fijar varias configuraciones de ensayo para evaluar la seguridad de los vehículos. La flexibilidad que otorga la conducción autónoma a conductores y pasajeros les forzará a elegir de entre un sinfín de configuraciones, tal y como muestra la Figura 2. Ante esta situación, y de cara adelantarse a su entrada en vigor, es de interés definir cuáles son las posiciones que los ocupantes adoptarán con mayor frecuencia.

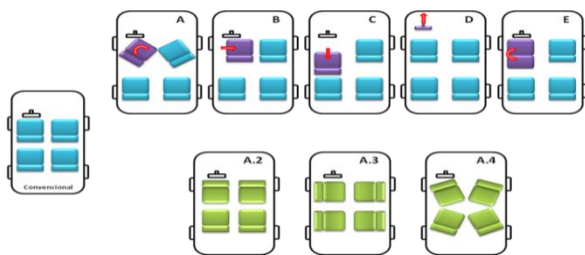


Figura 2. Vista superior de diferentes posiciones de asiento en vehículos automatizados

Discretizando entre movimientos posibles a corto-medio y largo plazo, los más probables y por tanto de interés, serán aquellos que no impliquen grandes cambios en el diseño del vehículo. Estos son; movimiento del volante hacia posiciones más adelantadas, para dejar más espacio en el habitáculo; movimiento hacia atrás de la butaca y reclinación del respaldo para alcanzar posiciones de confort o relax. En base a ello, resultan interesantes las siguientes posiciones de cara a evaluar el nivel de protección de los sistemas de retención en escenarios de conducción autónoma:

- Nominal: Según normativas actuales (brazo en el volante + respaldo a 19°)
- AD3-relax: Volante -50mm y brazo apoyado en el lateral del asiento
- AD3-ocio: Volante -50mm, asiento +60mm con giro del respaldo igual a 30° y brazo portando objeto
- AD4-trabajo: Volante -50mm, asiento +120mm con giro del respaldo igual a 35° y brazo apoyado en el lateral del asiento
- AD4-descanso: Volante -50mm, asiento +180mm con giro del respaldo igual a 35° y brazo relajado.

A modo de resumen, la Figura 3 muestra estos escenarios en eventos de impacto lateral.

2.3. Monitorización de la posición del conductor

Analizada la cantidad de escenarios que se presentan en el interior del vehículo autónomo, resulta imposible definir un conjunto representativo que abarque todos, aunque sí los más habituales. Más allá de esta constatación, si se mantienen los elementos de seguridad convencionales en escenarios de conducción autónoma, será necesario contar con sistemas inteligentes capaces de evaluar la severidad del choque para ampliar su rango de protección. De no ser así, la amplitud de configuraciones posibles implicará tener que contar con sistemas adicionales, en muchos casos redundantes, y por consiguiente, en un aumento del peso total del vehículo; con la correspondiente penalización en lo que se refiere a la normativa de emisiones que eso conlleva.

Partiendo de este punto de vista, de entre todos los parámetros concretos que rigen el comportamiento de los sistemas de seguridad, la posición de los ocupantes es una de las variables que más influyen en el correcto funcionamiento de los elementos de

protección en caso de impacto. Para abordarlo, las técnicas de visión e inteligencia artificial (IA) ofrecen, sin duda, grandes oportunidades. Este trabajo se apoya en ellas y utiliza el método desarrollado por Google de visión computacional para conocer la posición del conductor en todo momento.

Enfocada en el reconocimiento de patrones, MediaPipe Pose es la solución de Google para estimar la posición de las personas [14]. Para su seguimiento, el algoritmo identifica varios puntos de referencia, 33 en total, y a partir de ellos realiza la estimación de la postura en movimiento. Los puntos que utiliza se encuentran distribuidos de manera simétrica y bilateral por todo el cuerpo. Concretamente, 11 en la cara, en articulaciones principales como hombros, codos, muñecas, caderas, rodillas y tobillos; 3 en las manos y 2 en los pies.

A la vista de que estos puntos pueden no estar siempre visibles debido a las muchas opciones posibles que se presentan para el conductor, el algoritmo los predice en base al modelo de persona “Hombre de Vitruvio” de Leonardo da Vinci. Así, el detector estima primero dos puntos virtuales que describen el centro del cuerpo humano, la rotación y la escala como un círculo. Sobre estos, realiza una circunferencia alrededor de la persona que le permite estimar el punto medio de las caderas y el ángulo de inclinación

de la línea que conecta el punto medio entre las caderas y los hombros. Definidos ambos, el algoritmo predice los 33 puntos clave con tres grados de libertad cada uno dentro de la región de interés de la persona, que previamente ha localizado.

Teniendo en cuenta la complejidad y, por tanto, la capacidad computacional que el proceso anterior conlleva, el detector sólo se ejecuta en el primer fotograma y cuando el rastreador no puede identificar la presencia de la pose del cuerpo en la imagen anterior. Para el resto de fotogramas, simplemente se deriva a la región de interés del fotograma anterior a partir de los puntos de referencia de la pose. Este enfoque le permite trabajar en streaming, logrando un alto rendimiento en tiempo real.

Por otra parte, al estar implementado para su uso en Android, iOS, Python, JavaScript y C++ es compatible con la mayoría de sistemas operativos. Para este trabajo concreto, se tomó como base el código fuente publicado por sus autores en Python [15] y se ejecutó en un PC 2.4 GHz Intel Core i5 sistema operativo Windows 10 Pro. Asimismo, con el fin de validar la metodología, su respuesta se comparó con la de otro método del estado del arte sobre estimación de la pose. Concretamente, el de la biblioteca OpenPose creada por G. Hidalgo [16].

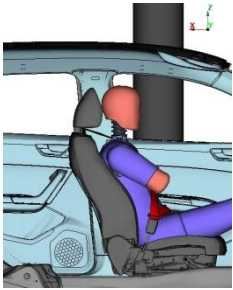
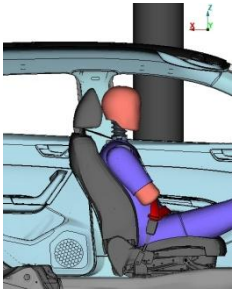
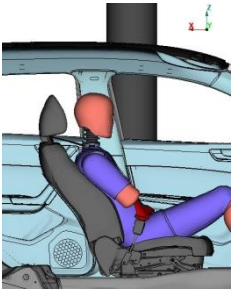
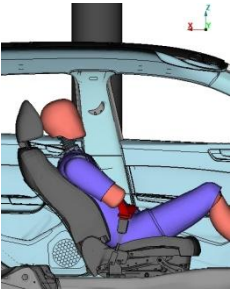
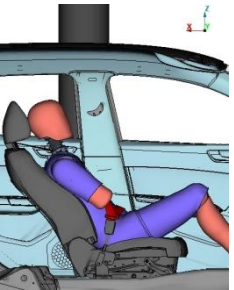
NOMINAL	AD3 – relax	AD3 – ocio	AD4 – trabajo	AD4 – descanso
				
<ul style="list-style-type: none"> • Respaldo, 19° • Asiento, posición media-abajo • Brazo, click 1 • Cabeza horizontal 	<ul style="list-style-type: none"> • Respaldo, 19° • Asiento, posición media-abajo • Brazo, click 0 • Cabeza horizontal 	<ul style="list-style-type: none"> • Respaldo, 30° • Asiento, nominal + 60 mm • Brazo, click 0 • Cabeza ergida 	<ul style="list-style-type: none"> • Respaldo, 35° • Asiento, nominal + 120 mm • Brazo, click 0 • Cabeza apoyada 	<ul style="list-style-type: none"> • Respaldo, 35° • Asiento, nominal + 180 mm • Brazo, click 0 • Cabeza apoyada

Figura 3. Resumen escenarios a considerar

3. Experimentación y resultados

Tomando en cuenta la teoría, el presente apartado muestra el comportamiento ante impacto de los elementos de retención actuales en los escenarios de conducción definidos y con los criterios de daño expuestos; y la respuesta del método para estimar la pose del conductor.

3.1. Simulaciones de impacto

En lo que se refiere a la primera cuestión, se llevaron a cabo varias simulaciones de impacto para evaluar la respuesta de los elementos de protección en las condiciones definidas. Para realizarlas, fue necesario establecer un modelado de las manos del ocupante

más complejo que los existentes. En cuanto a la metodología, en todas las simulaciones se optimizó el sistema de retención tomando como referencia la posición nominal, y a partir de ahí se realizaron cambios de cara a alcanzar el mayor grado de protección posible en todos los escenarios. Véase en la Figura 4 una vista del modelo de simulación generado para ello.

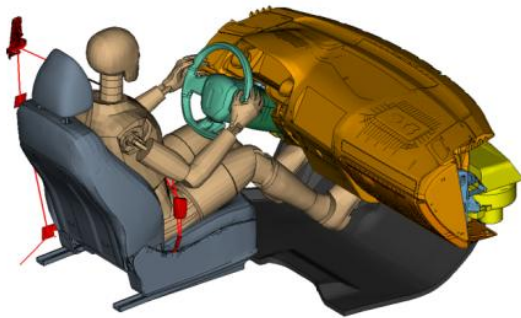


Figura 4. Vista del modelo de simulación generado en posición nominal

Considerados los aspectos anteriores, los resultados alcanzados para cada escenario, distinto al nominal, se muestran a continuación, empezando por el caso de impacto frontal.

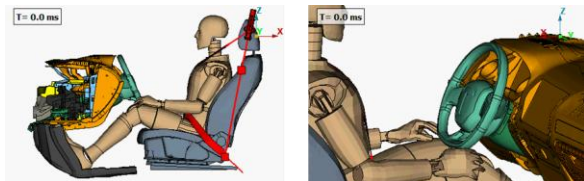


Figura 5. Simulación escenario AD3 - relax

Tomando el escenario AD3 – relax planteado en el apartado 2.2 en primer lugar, los principales riesgos que se presentan en él se deben a que el volante se puede enganchar con las piernas y el pecho al no tener el dummy las manos sobre él. Esto origina que se registren valores elevados en cabeza, pese a que el cinturón de seguridad funcione; siendo menos significativos en el resto del cuerpo. A fin de contrarrestarlo, la potencial contramedida para limitar este riesgo recaería en un rediseño de la forma del volante en su parte inferior y/o que este se desplazara también hacia arriba en caso de impacto.

Continuando con el escenario AD3 – ocio, en vista a que sus características son muy semejantes a las del anterior, al riesgo expuesto con anterioridad debe sumarse el del impacto del objeto que porta el dummy contra su abdomen o piernas. Aunque el vuelo del objeto no supone un riesgo en sí, este sí influye en el despliegue del saco. Al estar el dummy cerca del volante, el objeto interfiere claramente en su

despliegue y es importante controlar el rebote con el pecho del objeto. Por otra parte, si en el momento del impacto el ocupante tiene una mano sujetando el móvil, y la otra, por ejemplo, tocando la pantalla existe el riesgo de que esa mano quede atrapada entre el saco y el pecho. Ante este escenario, además de la anterior contramedida resultaría necesario ajustar los tiempos de disparo a la posición del conductor.

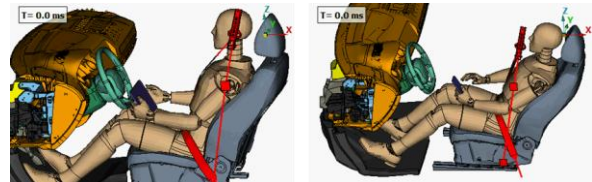


Figura 6. Simulación escenario AD3 – ocio

Yendo hacia posiciones ya más propias de niveles 4 y 5 de automatización, el escenario AD4 – trabajo muestra las consecuencias de abatir el respaldo hasta 35°. Debido, en parte, a que los pies del dummy siguen apoyados en los pedales en este escenario, en lo que respecta al comportamiento de los sistemas de retención su respuesta es correcta. Todos los valores biomecánicos se encuentran dentro de los objetivos del protocolo. No obstante, se observa que a mayor giro del respaldo, se van incrementando los valores en cabeza, pero disminuyendo los de pecho. Asimismo, debido al mayor vuelo libre, la cabeza se aleja del centro del volante y se dirige hacia el pilar A, por lo que existe el riesgo de agotamiento del saco.

En este aspecto, los riesgos potenciales de este escenario se deben a esta tendencia. Para contrarrestarlos, el cinto tendría que cargar mucho lateralmente sobre el cuello. Atendiendo a los valores registrados de la fuerza medida en el hombro, esto sería posible; luego, la medida a adoptar pasaría por subir la limitación del cinturón para frenar más al dummy antes de que se produzca su contacto con el saco.

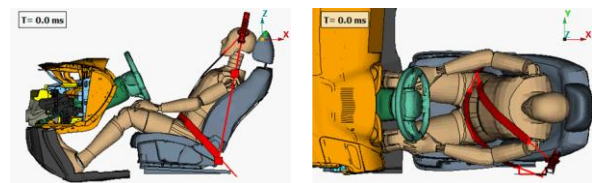


Figura 7. Simulación escenario AD4 - trabajo

Para terminar ya con el caso de impacto frontal, el escenario AD4 – descanso contempla las consecuencias de combinar el abatimiento de respaldo anterior con el desplazamiento longitudinal del asiento. A diferencia del precedente, en esta posición el comportamiento del sistema de retención no es adecuado. Concretamente, se observa que deja de

funcionar a partir del abatimiento a 35° y desplazamientos de 120mm.

Con este precedente, se observa que debido al vuelo libre de la cabeza que tiene lugar, la cabeza incide en una zona del saco con menor espesor que provoca que llegue a golpear con el volante. Asimismo, las piernas también golpean con él, colapsando la columna y separando aún más el saco. Al tener más capacidad de vuelo libre, las piernas adquieren mayor velocidad y el impacto es más brusco. En consecuencia, la fuerza en tibias, y también en lumbares y pelvis es considerable. Por otra parte, se han detectado posiciones límites en las que el cinto roza con el cuello.

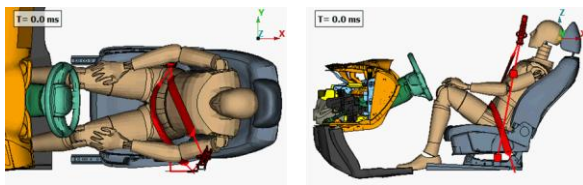


Figura 8. Simulación escenario AD4 - descanso

Como para el resto de los casos, las potenciales contramedidas para limitar estos riesgos serían las siguientes:

- Cinturón embarcado
- Mayor volumen de saco en el contorno del volante
- Rediseño de volante
- Ajuste específico de los tiempo de disparo

Terminados de analizar los escenarios en caso de impacto frontal, se repitió lo mismo para los casos de impacto lateral. Viendo el conjunto de resultados ya desarrollados y la totalidad de escenarios para el caso anterior, para estos dos se optó por analizar sólo los aspectos comunes a todos ellos, los cuales resultan ser los más interesantes.

En esta línea, entre los aspectos a destacar, se observa que tanto para el impacto de barrera como de poste, el cinturón de seguridad deja de aportar protección a medida que nos desplazamos hacia atrás; debido principalmente a su posición con respecto al dummy y el pilar B. Por otra parte, otro componente que deja de tener eficacia tal cual está diseñado actualmente es el airbag de cabeza, al poder variar la posición el ocupante. Para concluir, y más específico del caso de poste, se observa que a medida que la cabeza se alinea con el poste y el pilar B, el espacio disponible para los airbag puede verse comprometido, resultando en una mala respuesta; ya que las intrusiones son más rápidas.

Igual que para el caso de impacto frontal, las potenciales contramedidas para limitar estos riesgos, en el mismo orden, serían las siguientes:

- Cinturón de 4 puntos
- Rediseño del airbag lateral para que cubra prácticamente todo el lateral del vehículo
- Modificación de los tiempos de disparo de airbags

3.2. Monitorización de la pose

Yendo un paso más del apartado anterior, la propuesta de este trabajo sobre estimación de la pose humana se validó sobre varios vídeos monoculares de distintos conductores.

Relacionado con los resultados obtenidos de las simulaciones, y con propósito de evaluar su contribución a la mejora de la respuesta de los sistemas de retención, las pruebas se realizaron con usuarios de diferente género y edad; y en posiciones extremas. Por otra parte, y para permitir que los resultados fueran comparables, se definieron particiones disjuntas en el conjunto de secuencias de vídeo. Los resultados alcanzados, junto con los del otro método del estado del arte sobre estimación de la pose mencionado en el apartado 2.3 se muestran a continuación.



Figura 9. Resultados estimación de la pose humana. (a) Poses estimadas por el modelo de Mediapipe Pose. (b) Poses estimadas con el método OpenPose.

Como demuestra la Figura 9, los resultados alcanzados con el algoritmo descrito en este documento son mejores en todos los casos que los obtenidos con OpenPose. Pese a contar con una gran popularidad, para el conjunto de sujetos, debido fundamentalmente a su posición, el algoritmo OpenPose es incapaz de detectar la totalidad de puntos de referencia visibles. Mientras, la solución de Google consigue localizar con gran precisión todas las coordenadas, sea cual sea la posición del ocupante.

Constatada su validez como herramienta para conocer la posición del conductor en todo momento, en promedio el procesamiento de cada imagen (con un tamaño de imagen de 1365 x 768 píxeles) lleva al algoritmo MediaPipe Pose 138 milisegundos. Con esta media supera el reto de detectar la pose en tiempo real, demostrando además que no son necesarios unos altos requerimientos computacionales para su ejecución.

4. Conclusiones

Resumiendo todo lo visto, en este trabajo se ha presentado una metodología que prueba los límites de los actuales sistemas de retención en escenarios de conducción automatizada, así como una solución para abordarlos. Sobre este aspecto, se demuestra la viabilidad de aplicar técnicas de visión artificial para estimar la postura humana, de cara a aplicarlo a sistemas de retención inteligentes. La particularidad del conjunto reside en los aspectos siguientes.

Por un lado, para determinar la respuesta de los elementos de seguridad no se considera un único caso de impacto, asumiendo que puede haber diferencias entre impacto frontal y lateral; y entre lateral contra poste y contra barrera. Este hecho supone analizar cada escenario por tres y tener una visión de por donde puede evolucionar la norma.

Adicionalmente, y en vista de la mayor libertad de movimiento derivada de la automatización de la conducción, la definición de las posibles posiciones del ocupante es realizada en base a la prospección de cómo va a evolucionar el panorama a corto plazo. En este sentido, se definen 5 posiciones habituales de las cuales es preciso destacar la representatividad de todos los escenarios posibles en términos de seguridad. Esto obliga a multiplicar las simulaciones para analizar la respuesta de los sistemas de retención por cinco. Ante tal número, el método se ha mostrado efectivo con resultados comunes entre escenarios similares.

Los resultados alcanzados han permitido observar que en la gran mayoría de los casos contemplados los sistemas de retención tradicionales no se ajustan a las nuevas necesidades. Esta determinación pone en riesgo la salida al mercado de vehículos más

avanzados. Fruto de ello, se establece la necesidad de integrar información sobre el ocupante en las funciones de seguridad del vehículo, de cara a intentar minimizar los efectos de un posible accidente.

Por último conviene enfatizar que el desarrollo de un sistema para monitorizar la posición del conductor permite solventar los problemas identificados en las simulaciones, mediante la integración de esa información en las funciones de seguridad. Más concretamente, pensando en su aplicación a estrategias de disparo de los elementos de seguridad tradicionales ad hoc. Con ello, resulta factible conseguir una mejor protección del ocupante en escenarios autónomos; pues en base a los resultados obtenidos en las simulaciones con la metodología propuesta, se observa que es posible mejorar la respuesta de los elementos de protección modificando su tiempo de disparo. Es decir, el trabajo desarrollado ofrece una herramienta para los vehículos más automatizados que le facilita tomar decisiones en base a criterios robustos, fundamentado en los resultados mostrados a lo largo del documento.

5. Agradecimientos

Mediante este apartado se expresa el agradecimiento público al Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) por financiar el proyecto INTEGRA (CER-20211031), dentro del cual se engloba todo este trabajo.

6. Referencias

- [1] M. Nogales (2018). El factor humano ante el nuevo paradigma de la conducción [en línea]. Disponible en: <https://es.linkedin.com/pulse/el-factor-humano-ante-nuevo-paradigma-de-la-manual-nogales-romero>
- [2] Observatorio de la Movilidad Sostenible (2021). La nueva movilidad: revolución y desafíos [en línea]. Disponible en: <https://www.grantthornton.es/globalassets/1.-member-firms/spain/pdf/varios/ii-observatorio-movilidad-sostenible-fundacion-ibercaja-grant-thornton-2021.pdf>
- [3] IDTechEx (2021). Autonomous Cars, Robotaxis & Sensors 2022-2042 [en línea]. Disponible en: <https://www.idtechex.com/en/research-report/autonomous-cars-robotaxis-and-sensors-2022-2042/832>
- [4] UNECE (2020). UN Regulation No. 137 - Frontal Impact (Rigid Wall) [en línea]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:42020X0576&from=EN>

- [5] UNECE (2012). UN Regulation No. 94 Frontal Impact (Barrier) [en línea]. Disponible en: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:42012X0920\(02\)&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:42012X0920(02)&from=EN)
- [6] Euro NCAP (2019). Full Width Frontal Impact Testing Protocol v 1.2 [en línea]. Disponible en: <https://cdn.euroncap.com/media/53141/euro-ncap-frontal-fw-test-protocol-v12.pdf>
- [7] Euro NCAP (2019). MPDB Frontal Impact Testing Protocol v 1.1.1 [en línea]. Disponible en: <https://cdn.euroncap.com/media/55858/euro-ncap-mpdb-testing-protocol-v111.pdf>
- [8] eCFR (2022). Federal Motor Vehicle Safety Standard 208 (FMVSS 208) [en línea]. Disponible en: <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-V/part-571/subpart-B/section-571.208>
- [9] UNECE (2020). UN Regulation No. 135 - Rev.1 + Amendements- Pole Side Impact (PSI) [en línea]. Disponible en: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2016/R135r1e.pdf>
- [10] UNECE (2019). UN Regulation No. 95 - Rev.2 + Amendements - Lateral collision protection [en línea]. Disponible en: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2015/R095r2e.pdf>
- [11] Euro NCAP (2020). Side AE-MDB Test Protocol v8.1.2 [en línea]. Disponible en: <https://cdn.euroncap.com/media/58234/euro-ncap-side-protocol-ae-mdb-v812.pdf>
- [12] Euro NCAP (2019). Side Oblique Pole Test Protocol v7.1.1 [en línea]. Disponible en: <https://cdn.euroncap.com/media/55860/euro-ncap-pole-protocol-oblique-impact-v711.pdf>
- [13] National Highway Traffic Safety Administration (2007). 49 CFR Parts 571 and 585; standard No. 214; Side Impact Protection. [en línea]. Disponible en: https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/fmvss/214_Side_Impact_final_Aug_30_2007.pdf
- [14] V. Bazarevsky, I. Grishchenko, K. Raveendran, T. Zhu. “Blazepose: On-device real-time body pose tracking”. arXiv preprint arXiv:2006.10204, 2020.
- [15] Google LLC (2020). MediaPipe Pose [en línea]. Disponible en: <https://google.github.io/mediapipe/solutions/pose.html>
- [16] G. Hidalgo, Y. Raaj, H. Idress, D. Xiang, H. Joo, T. Simon. “Single-network whole-body pose estimation”. International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 6982-6991, 2019.