

Vehículos autónomos: Innovación en la logística urbana

Autonomous vehicles: Innovation in urban logistics

Yohana Li¹, Marielis Díaz¹, Shantall Morantes¹, Yazmín Dorati^{2*}

¹ Universidad Tecnológica de Panamá. Lic Gestión de la Producción Industrial

² Universidad Latina de Panamá. Instituto Logística y Cadena Suministro. ydcantu@ulatina.edu.pa

Resumen Un vehículo autónomo es aquel capaz de imitar las capacidades humanas de manejo en secuencia y control, mientras percibe el entorno que le rodea. Para la toma de decisiones se apoya en plataformas y sensores electrónicos. Algunas empresas han desarrollado y fabricado varios modelos que prometen ser una alternativa de solución para el tráfico y el medio ambiente. Algunos de los problemas de esta innovación es que carece de reglamentación y se requiere de una alta inversión de equipo e infraestructura vial indispensable para ponerlo en marcha lo que hace casi imposible su instauración en algunos países. Sin embargo, si se comparan los gastos de instalación de esta innovación contra los beneficios que se pueden obtener, estos últimos rebasan por mucho los primeros, ya que mejorará la gestión de la cadena de suministro. Este análisis bibliográfico pretende establecer el funcionamiento de estos vehículos, sus avances tecnológicos, posibles aplicaciones específicamente en el área de logística urbana y al final nos invita a una reflexión acerca de la toma de decisiones en caso de algún accidente.

Palabras clave Autónomo, vehículo, plataforma, sensores.

Abstract An autonomous vehicle is one capable of imitating the human capacities of handling in sequence and control, while perceiving the environment that surrounds it. For decision-making, it relies on electronic platforms and sensors. Some companies have developed and manufactured several models that promise to be an alternative solution for traffic and the environment. Some of the problems of this innovation is that it lacks regulation and requires a high level of equipment and road infrastructure indispensable to put it into operation which makes it almost impossible to install in some countries. However, if the installation costs of this innovation are compared against the benefits that can be obtained, the latter far outweigh the first ones, since it will improve the management of the supply chain. This bibliographic analysis aims to establish the operation of these vehicles, their technological advances, possible applications specifically in the area of urban logistics and at the end invites us to reflect on the decision making in case of an accident.

Keywords Autonomous, vehicle, platform, sensors.

*Corresponding Author: ydcantu@ulatina.edu.pa

1. Introducción

Cualquiera diría que la historia de los coches autónomos está por escribirse, pero, en realidad, inicia en el año 1939, con un coche eléctrico controlado por circuitos integrados en el pavimento de la carretera. Sin embargo, uno de los avances que han marcado una innovación y un hito en la historia y evolución de estas unidades data de 1994, cuando dos coches condujeron de forma autónoma por más de dos mil kilómetros en una autopista de París. Se demostró que los automóviles podían realizar cambios de carril de forma autónoma y la intervención humana era muy reducida.

Los vehículos autónomos prometen numerosas mejoras al tráfico vehicular, al prever un aumento en la capacidad de la carretera y el flujo de tráfico debido al tiempo de respuesta más rápido, y un menor consumo de combustible y de contaminación gracias a una conducción más previsor, y con

suerte, menos accidentes gracias a los sistemas de prevención de colisiones [1], además, los conductores pueden utilizar el tiempo ahorrado para otras actividades. Para que estos vehículos operen con seguridad en el tráfico diario o en entornos hostiles, se deben resolver multitud de problemas de percepción, navegación y control, de infraestructura y reglamentos necesarios. Este documento ofrece una visión general acerca del funcionamiento de los vehículos autónomos, avances y su aplicación en la logística urbana.

2. Antecedentes

La logística urbana [2] también conocido como City Logistics o Urban Freight Distribution, son actividades comerciales y reparto de bienes dentro de un mismo entorno urbano. Como las ciudades están en constante crecimiento la infraestructura va sufriendo el hacinamiento de vehículos,

peatones y viviendas. Por ello es importante aportar innovaciones que coadyuven al desarrollo sostenible que implique cambios en los modelos de transporte y distribución.

Según el Manual de Oslo [3], la innovación se define como “la introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, producto (bien o servicio), de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo”. Los vehículos autónomos representan unidades significativamente mejoradas, ya que permiten remplazar un chofer por la conducción autónoma al que le se ha agregado tecnología de alto nivel.

La conducción autónoma comenzó en la década de 1980, cuando la Universidad Carnegie Mellon (CMU, Pittsburgh, PA) presentó sus vehículos Navlab que operaban en entornos estructurados [4], y cuando la Universidad de la Bundeswehr Munich (UniBw Munich, Neubiberg, Alemania) mostró resultados tempranos en la conducción de autopistas de alta velocidad [5]. En la demostración final del proyecto EUREKA-PROMETHEUS en 1994, UniBw Munich y Daimler-Benz presentaron conducción autónoma en el tráfico de autopista de tres carriles con velocidades de hasta 130 km/h, que incluía el seguimiento de marcas de carriles y otros vehículos. El sistema decidió cuándo cambiar entre carriles por sí mismo, aunque se requirió la aprobación de un conductor humano por razones de seguridad [6].

Hoy en día, algunos aspectos de estos logros iniciales han alcanzado la producción en serie en forma de sistemas de asistencia al conductor para automóviles. La detección de carril se usa para facilitar las advertencias de abandono de carril (Lane departure warnings, LDW) para el conductor y para aumentar el control del encabezado de los conductores en los sistemas de asistencia de mantenimiento de carril (Lane keeping assist systems, LKAS). La detección y el seguimiento de los vehículos que circulan por delante se utilizan en los sistemas adaptativos de control de cruceo (ACC) para mantener una distancia segura y cómoda. Más recientemente, surgieron sistemas de anticollisión que activan la potencia de frenado total para disminuir el daño si el conductor reacciona muy lento.

En la actualidad, diferentes compañías se han unido para realizar inversiones millonarias y desarrollar prototipos de vehículos autónomos que realicen diferentes funciones. Entre estas grandes empresas se encuentran Tesla Motors, Mercedes-Benz y Uber Technologies Inc., las cuales buscan generar una red de servicio de transporte [7]. También General Motor Co. invirtió en Lyft Inc. quinientos millones con la finalidad de comprar la puesta en marcha de vehículos autónomos Cruise. Además Toyota, Jaguar, BMW, Nissan, Renault, Audi están dedicando sus esfuerzos en desarrollar automóviles, taxis, carros de policías y hasta buses de transporte urbano [8].

3. Plataformas y sensores

Tres elementos son comunes a todos los vehículos terrestres autónomos: (1) sensores para percibir el entorno y el movimiento propio, (2) computadoras de a bordo y (3) actuadores para el control del vehículo.



Figura 1. Sensores detectores del entorno y GPS [26].

3.1 Sensor

Es un dispositivo que se encarga de detectar y transformar magnitudes físicas o químicas en señales o pulsos electrónicos [9]. El primer sentido que tuvo un vehículo autónomo, y sin duda el más importante, fue la vista. A día de hoy, las cámaras siguen haciendo las veces de ojos para que estos coches estudien lo que les rodea. Los vehículos semiautónomos de Tesla, disponen de ocho cámaras (tres delanteras y otras cinco alrededor del vehículo) para mirar al exterior y así garantizar la seguridad. Además de las cámaras, otros sensores permiten a los coches autónomos percibir el entorno como un sistema radar con el uso de ondas de radio para medir las distancias. Además, integra una serie de sensores de ultrasonidos para detectar lo que sucede alrededor [10].

3.2 Computadoras a bordo

Son indispensables para saber la ubicación del auto gracias al GPS y a otros sensores como giroscopios, lo que les dota de un extraordinario sentido de orientación y de habilidad para conocer el camino por donde conducen [10]. En la Conferencia Internacional presentada por Bosch Connected World 2017, celebrada en Berlín, esta compañía presentó un computador de a bordo para vehículos automatizados. Gracias a la inteligencia artificial, el computador puede aplicar métodos de aprendizaje automático, mediante un chip que es capaz de generar algoritmos. Se espera que este nuevo dispositivo guíe a los automovilistas a través del tráfico, incluso en situaciones complejas o que sean nuevas para el automóvil [11].

3.3 Actuadores

Tienen como función proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. Su trabajo es convertir las señales eléctricas desde la unidad de control en acción controlada. Los actuadores son una parte esencial en la electromecánica de vehículos y en su mayoría se trata de motores eléctricos y motor-reductores, o válvulas

electromagnéticas que regulan los sistemas de freno y dirección. Los vehículos incorporan un sistema del control del acelerador tipo electrónico que incorpora un sensor en el pedal. Este elemento capta la posición exacta del pedal en cada momento y la comunica al módulo de control del motor que ordena a un actuador que varíe el nivel de apertura o cierre de la mariposa de admisión [9].

4. Percepción del entorno

La capacidad de percibir el entorno local del vehículo es uno de los principales desafíos en el campo de los vehículos terrestres autónomos. Las condiciones ambientales, como la iluminación o los colores, cambian permanentemente, y hay muchos objetos estáticos y dinámicos en la escena que se deben tener en cuenta. Para esta percepción, se utilizan sensores basados en imágenes como cámaras monoculares y estéreo (monocromo y color) y dispositivos de detección de rango como RADAR y LIDAR (Light Detection and Ranging). Velodyne LIDAR de alta definición con una vista de 360°, vista 3-D y una nube de puntos para análisis y visualización fue diseñado especialmente para vehículos autónomos y se usa en muchos sistemas. Los sensores RADAR también son capaces de determinar la velocidad relativa del objeto directamente. Los sensores basados en imágenes que proporcionan distancia se basan principalmente en un principio de tiempo de vuelo.



Figura 2. En DARPA Urban Challenge 2007, seis vehículos terminaron la carrera. Esta imagen muestra a "BOSS" (Tartan Racing Team, Carnegie Mellon University, primer lugar). Los sensores en los techos de estos autos son casi los mismos: LIDAR, cámaras y antenas de GPS [27].

Otro principio llamado codificación de luz se utiliza en el bajo precio de Microsoft Kinect, ahora popular para la robótica de interiores. Sin embargo, ambos principios todavía no son adecuados para el uso al aire libre en vehículos autónomos porque proporcionan solamente un rango limitado.

4.1 Estimación del estado del vehículo y estimación del movimiento de un sistema de cámara (Compensación Movimiento Ego)

Para estimar el movimiento del vehículo, se incorporan mediciones de odometría y sensores de inercia, respaldados principalmente por mediciones de posición global del GPS. Para ello las configuraciones típicas de los sensores deben calibrarse y se debe determinar los parámetros intrínsecos como la distancia focal de la lente de la cámara o la orientación

de los diodos láser. La fusión del sensor adicionalmente requiere una calibración extrínseca de todos los sensores fusionados, describiendo la posición de cada sensor en un marco de referencia común.

Especialmente para marcos y plataformas no rígidas, mantener continuamente la calibración intrínseca y extrínseca actualizándola en línea mientras opera el vehículo autónomo es muy importante [12]. La fusión de sensores se realiza en la mayoría de los sistemas actuales, especialmente cuando hay disponibles sensores complementarios como cámaras a color (buena resolución angular, sin información de distancia) y dispositivos de medición de rango (sin color, mala resolución angular, información de distancia precisa).

Como pre-requisito para los módulos de percepción y control, se necesita una buena estimación del movimiento del vehículo y cuando el vehículo se mueve rápido o en terreno no plano, se produce una rotación relevante a lo largo de los ejes longitudinal y lateral. Al trabajar con mediciones que no se toman en una marca de tiempo única, es importante compensar el movimiento del ego del vehículo en todas las mediciones [13]. Una estimación confiable de la posición también es esencial para el control de la trayectoria [14]. Para una buena estimación del movimiento, se incorporan todas las medidas con respecto al propio vehículo. Las medidas típicas son la velocidad, la odometría, las aceleraciones, las velocidades angulares y la actitud de los sensores de inercia. Además, la información de movimiento de la odometría visual [15] también se puede incorporar.

4.2 Obstáculos estáticos

Para manejar obstáculos estáticos en el medio ambiente, el mapeo de la cuadrícula de ocupación se usa comúnmente. Los datos de las nubes de puntos LIDAR sucesivas o las imágenes del rango de la cámara estéreo se condensan en una cuadrícula métrica regular. Para tareas de mapeo como este, la compensación precisa del propio movimiento del vehículo es importante.

Al moverse en un entorno complejo, es importante no solo clasificar ciertos objetos estáticos, sino también deducir su significado, por ejemplo, mediante el análisis de las características visuales de los semáforos y la señalización.

4.3 Participantes del tráfico y otros obstáculos en movimiento

El conocimiento de la posición tridimensional y el movimiento de los objetos en la escena es esencial para un movimiento seguro del vehículo autónomo en el entorno. El movimiento de las diferentes clases de objetos se describe mejor mediante diferentes modelos de movimiento. Por ejemplo, los vehículos dirigidos por la dirección de geometría de Ackermann se mueven en segmentos de clotoides, que son inserciones de segmentos de rectas y curvas, mientras que los peatones pueden moverse en todas las direcciones. Sus

movimientos también se caracterizan por diferentes velocidades y aceleraciones máximas, y el comportamiento de un objeto puede cambiar con el tiempo. Por lo tanto, es deseable estimar el movimiento de un objeto mediante una mezcla de diferentes modelos de movimiento, donde el que mejor explique las observaciones contribuye más a la estimación del estado del objeto. La estimación del estado se realiza típicamente con alguna instancia de filtros Bayesianos Recursivos (BF), donde el más prominente es el filtro de Kalman Extendido (EKF).

Existen varios métodos para detectar objetos en movimiento en el plano de la imagen. Una posibilidad es segmentar la imagen de acuerdo con el flujo óptico, agrupando los píxeles que muestran movimientos similares [16] (ver figura 2). Otra es utilizar un detector preparado previamente para encontrar una cierta clase de objeto en las imágenes.

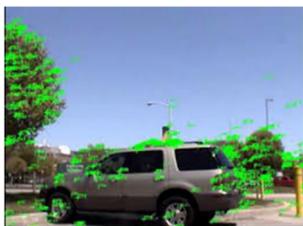


Figura 3. Seguimiento visual de objetos. Detección utilizando vectores de flujo óptico (Color verde) [16].

Para algunos escenarios altamente estructurados y con ciertas suposiciones simplificadoras, la distancia a otros objetos también puede inferirse a partir de una sola imagen de cámara. Por ejemplo, un vehículo que conduce hacia adelante arroja una sombra característica sobre el suelo. Asumiendo un mundo plano, esta sombra puede usarse para estimar la distancia y el tamaño del vehículo [4]. Estas suposiciones se pueden descartar cuando se usa un movimiento monocular estéreo o movimiento monocular estéreo.

4.4 Estimación de la forma de la carretera

La detección de obstáculos estáticos y dinámicos no es suficiente para una conducción autónoma, aunque ayuda con la seguridad. Para conducir en un entorno hecho por el hombre, la capacidad de percibir la forma de las calles es esencial.

Los sistemas reales utilizan principalmente modelos de clotoide [17] o de B-spline [18] (figura 3) para la representación de carril en 3-D.

En los escenarios con menos contraste, como en las pistas de campo y las pistas forestales, es necesario el uso de mediciones basadas en imágenes adicionales como la dirección del borde, el color o la textura, y los obstáculos de una cuadrícula de ocupación [19] (figura 4). En el caso de la siguiente figura 5, las pinturas de imagen en azul y rojo muestran la proyección de la estimación de la posición

tridimensional actual del modelo de vehículo geométrico en el plano de la imagen.

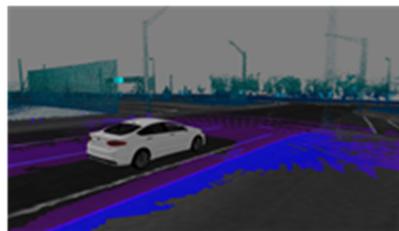


Figura 4. Estimación de la forma del camino. (a) Seguimiento de carril en una carretera marcada que utiliza un modelo de carril B-spline.



Figura 5. Seguimiento visual de objetos. Seguimiento monocromático del vehículo 3-D basado en modelos en un entorno no estructurado relacionado con oclusiones parciales [20].

5. Beneficios potenciales de los vehículos autónomos

Esta sección examina algunos de los beneficios potenciales más grandes que se han identificado en la investigación existente. Aún se desconoce el alcance exacto de estos beneficios, pero este documento intenta hacer estimaciones de estos beneficios para medir la magnitud de su impacto asumiendo niveles variables de penetración en el mercado [21].

5.1 La seguridad

Los vehículos autónomos tienen el potencial de reducir drásticamente los choques. Se cree que el error del conductor es la razón principal detrás de más del 90% de todos los accidentes [22]. Incluso cuando la razón crítica detrás de un accidente se atribuye al vehículo, carretera o entorno, se encuentra que factores humanos adicionales como la falta de atención, la distracción o el exceso de velocidad contribuyen a la ocurrencia del choque y / o severidad de la lesión.

Es importante el perfeccionamiento de esta tecnología en el sentido de que cuando un choque es inevitable, es crucial que los vehículos autónomos reconozcan los objetos en su camino para que puedan actuar en consecuencia lo más rápido y oportuno posible, ya que en marzo de 2018 perdió la vida la ciclista Elaine Herzberg al ser alcanzada por una de estas unidades, propiedad de Uber [23]. En última instancia, algunos analistas predicen que los vehículos autónomos superarán muchos de los obstáculos que les impiden responder con precisión en entornos complejos.

5.2 Beneficios en el comportamiento de viaje

Los beneficios en la seguridad y la reducción de la congestión de los vehículos autónomos tienen el potencial de crear cambios significativos en el comportamiento de los viajes. Por ejemplo, estas unidades pueden proporcionar movilidad para aquellos muy jóvenes para conducir, los ancianos y los discapacitados, generando así nuevas demandas de capacidad vial. Solo hay que imaginar un vehículo autónomo que lleva y recoge a los niños a la escuela en forma segura.

5.3 Transporte de carga

Las mismas tecnologías que se aplican a los automóviles autónomos también pueden aplicarse a la industria del transporte de carga por carretera, lo que aumenta el ahorro de combustible y reduce la necesidad de conductores de camiones y la contaminación ambiental. Si bien es probable que los trabajadores aún necesiten cargar y descargar, se pueden realizar viajes de larga distancia sin conductores, y solo utilizar empleados que manejan los contenidos de los contenedores en cada extremo.

Los camiones que operan de forma autónoma pueden enfrentar una resistencia significativa por parte de los grupos laborales y las industrias competidoras.

5.4 Tráfico

El tráfico no es más que un problema creado por la poca coordinación que existe entre todos los autos que están en las calles. Con vehículos que se manejen solos ni siquiera se tendrán que usar señales de tráfico porque todos se estarán comunicando entre ellos, y por lo tanto, el tráfico será mucho menor. La idea sería manejar a una velocidad más baja, pero con mejor coordinación entre todos para evitar atascos [24]. Esto mejorará los costos en la cadena de suministro al permitir entregas a tiempo y con menos contaminación.

5.5 Inconvenientes

Como en toda innovación, uno de los factores faltantes es el marco legal y sus reglamentos correspondientes, y, es precisamente ello, lo que ha dilatado el lanzamiento de los coches sin conductor [25]. También hay que señalar que para la establecer esta innovación se deben realizar adecuaciones en la infraestructura vial y las estructuras de las calles y aceras lo cual resulta ser muy costoso para muchos países.

6. Conclusiones

Con la evolución hacia la madurez de la tecnología de sensores y de *software*, los futuros años prometen ser aún más determinantes. Los taxis, camiones de carga, vehículos de

transporte masivo y personales con formato autónomos empezarán a proliferar en todo el mundo.

Para implementar esta tecnología se requiere de equipos e infraestructura vial y toda una modernización de calles, espacios, marcaciones que no tienen muchos países.

No obstante, ya hay una gran variedad de plataformas de conducción autónoma lo bastante maduras, lo cual supone un gran cambio. Por el momento, los fabricantes están siendo extremadamente cautos acerca de liberar nueva tecnología al mercado por las grandes implicaciones que tendría hacerlo de forma incorrecta y buscando que sus vehículos respeten todas las reglas, de modo que la responsabilidad por un accidente no se incremente para no afectar a su marca como pasó con Uber, anteriormente mencionado.

Como se pudo apreciar a través de esta investigación se requiere equipo e infraestructura vial indispensable para ponerlo en marcha. Si se confrontan los gastos de instalación contra los beneficios que se pueden obtener para la logística urbana de un país, estos últimos rebasan por mucho los primeros, ya que no solo mejorará la gestión de la cadena de suministro, sino que se reducirá la contaminación ambiental.

Este documento puede servir como base para futuras investigaciones que permitan cuestionar la parte ética. Por ejemplo, en caso de coalición ¿Qué es éticamente correcto? Cuando se debe decidir si la protección debe prevalecer en el ocupante o los otros usuarios de la vía. En ese caso, ¿Qué vida prevalece sobre la otra?. Por último, cuando algún accidente ocurra, ¿A quién se hace responsable?

REFERENCIAS

- [1] Benito Moreno, M. (2017). Plan de empresa para un circuito de test de vehiculos inteligentes (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- [2] O. O. p. e. D. Económico, «Manual de Oslo,» Cienciamerica, p. 90, 2017.
- [3] P. Galiana, «Logística,» 03 marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.iebschool.com/blog/innovaciones-logistica/>. [Último acceso: 27 Mayo 2018].
- [4] C. Thorpe, M. Hebert, T. Kanade, and S. Shafer, BToward autonomous driving: The CMU Navlab. Part II: System and architecture, [IEEE Expert, vol. 6, no. 1, pp. 44–52, Aug. 1991.
- [5] E. D. Dickmanns and A. Zapp, BAutonomous high speed road vehicle guidance by computer vision, in Proc. 10th IFAC World Congr., 1987, vol. 4, pp. 232–237.
- [6] E. D. Dickmanns, Dynamic Vision for Perception and Control of Motion. London, U.K.: Springer-Verlag, 2007.
- [7] Univision Communications Inc. La policía se prepara para la llegada de los vehículos autónomos. Recuperado el día 27 de octubre del 2017 de <http://www.univision.com/temas/vehiculos-autonomos>.
- [8] Univision Communications Inc. Google anuncia servicio de taxi sin chofer. Recuperado el día 8 noviembre del 2017de <http://www.univision.com/temas/vehiculos-autonomos>.
- [9] Compañía Levantina de Reductores S.L. Sensores y actuadores para una conducción más segura. Recuperado el día 11 de abril

- del 2017 de <https://clr.es/blog/es/sensores-y-actuadores-conduccion/>.
- [10] El diario. Del líder a los ultrasonidos: así funcionan los sentidos de un coche sin conductor. Recuperado el día 23 de agosto del 2017 de http://www.eldiario.es/hojaderouter/tecnologia/lidar-ultrasonidos-funcionan-sentidos-conductor_0_678932517.html.
- [11] The Standard IT. Un computador para autos con Inteligencia Artificial. Recuperado el día 16 de marzo del 2017 de <http://www.pcworldenespanol.com/2017/03/16/bosch-presento-computador-autos-inteligencia-artificial/>.
- [12] J. Levinson, J. Askeland, J. Becker, J. Dolson, D. Held, S. Kammel, J. Z. Kolter, D. Langer, O. Pink, V. Pratt, M. Sokolsky, G. Stanek, D. Stavens, A. Teichman, M. Werling, and S. Thrun, BTowards fully autonomous driving: Systems and algorithms, [in Proc. IEEE Intell. Veh. Symp., 2011, pp. 163–168.
- [13] T. Luettel, M. Himmelsbach, F. von Hundelshausen, M. Manz, A. Mueller, and H.-J. Wuensche, BAutonomous offroad navigation under poor GPS conditions, in Proc. 3rd Workshop Planning Perception Navigat. Intell. Veh./Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst., pp. 56–62, 2009.
- [14] S. Thrun, M. Montemerlo, H. Dahlkamp, D. Stavens, A. Aron, J. Diebel, P. Fong, J. Gale, M. Halpenny, G. Hoffmann, K. Lau, C. Oakley, M. Palatucci, V. Pratt, P. Stang, S. Strohband, C. Dupont, L. E. Jendrossek, C. Koelen, C. Markey, C. Rummel, J. van Nieker, E. Jensen, P. Alessandrini, G. Bradski, B. Davies, S. Ettinger, A. Kaehler, A. Nefian, and P. Mahoney, BStanley: The robot that won the DARPA grand challenge: Research articles, J. Robot. Syst., vol. 23, no. 9, pp. 661–692, 2006.
- [15] M. Schweitzer, A. Unterholzner, and H.-J. Wuensche, BReal-time visual odometry for ground moving robots using GPUs, in Proc. Int. Conf. Comput. Vis. Theory Appl., 2010, pp. 20–27.
- [16] J. Klappstein, F. Stein, and U. Franke, BMonocular motion detection using spatial constraints in a unified manner, in Proc. IEEE Intell. Veh. Symp., 2006, pp. 261–267.
- [17] C. Urmson, J. Anhalt, D. Bagnell, C. Baker, R. Bittner, M. N. Clark, J. Dolan, D. Duggins, T. Galatali, C. Geyer, M. Gittleman, S. Harbaugh, M. Hebert, T. M. Howard, S. Kolski, A. Kelly, M. Likhachev, M. McNaughton, N. Miller, K. Peterson, B. Pilnick, R. Rajkumar, P. Rybski, B. Salesky, Y.-W. Seo, S. Singh, J. Snider, A. Stentz, W. Whittaker, Z. Wolkowicki, and J. Ziglar, BAutonomous driving in urban environments: Boss and the urban challenge, [J. Field Robot., vol. 25, no. 1, pp. 425–466, Jun. 2008.
- [18] H. Loose and U. Franke, BB-spline-based road model for 3D lane recognition, in Proc. IEEE Intell. Transp. Syst. Conf., 2010, pp. 91–98.
- [19] M. Manz, M. Himmelsbach, T. Luettel, and H.-J. Wuensche, BDetection and tracking of road networks in rural terrain by fusing vision and LIDAR, in Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst., 2011, pp. 4562–4568.
- [20] M. Manz, T. Luettel, F. von Hundelshausen, and H.-J. Wuensche, BMonocular model-based 3D vehicle tracking for autonomous vehicles in unstructured environment, in Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom. 2011, pp. 2465–2471.
- [21] Luettel, T., Himmelsbach, M., & Wuensche, H. J. (2012). Autonomous ground vehicles—Concepts and a path to the future. *Proceedings of the IEEE, 100*(Special Centennial Issue), 1831-1839.
- [22] National Highway Traffic Safety Administration, 2008. National Motor Vehicle Crash Causation Survey. U.S. Department of Transportation, Report DOT HS 811 059.
- [23] R. J. Cano, «El País,» Primer atropello mortal de un coche sin conductor, 20 Marzo 2018.
- [24] Blogthinkbig. Ventajas y desventajas de los coches autónomos. Recuperado el día 26 de octubre del 2014 de <https://blogthinkbig.com/ventajas-coches-autonomos>.
- [25] Xataka. ¿Está preparado el mundo para el coche autónomo? Debate y situación legal por países. Recuperado el día 23 de diciembre del 2016. <https://www.xataka.com/automovil/esta-preprel-mundopara-el-coche-autonomo-debate->
- [26] Carter, M. (3 de marzo de 2014). Volvo Claims Road Magnets are Safer than Cameras and GPS Systems for Self-Driving Cars .[Blog] . Recuperado de: https://inhabitat.com/mercedes-benz-completes-the-first-autonomous-cross-country-trip-in-the-s-500-intelligent-drive/mercedes-benz-s-500-intelligent-drive_0001/
- [27] 2007 DARPA Urban Challenge. (7 de noviembre de 2007). Driverless Tahoe Conquers Urban Challenge. [Blog] . Recuperado de: <http://www.sportruck.com/news/2007-DARPA-Urban-Challenge-Tahoe/index.htm>