AUTONOMOUS DRIVING ELECTRIC CAR SENSOR FUSION ARCHITECTURE

ARQUITECTURA DE UN SISTEMA DE FUSIÓN DE SENSORES PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO CON CONDUCCIÓN AUTÓNOMA

Msc Fabian Jimenez Lopez*. Es. Álvaro Fernandez Acevedo, Joseph Gonzalez Niño*****

*** UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA**
Escuela de Ingeniería Electrónica. Facultad Seccional Sogamoso. Grupo de Investigación en Ingeniería Electrónica I2E. Calle 4 Sur No.15 -134, Sogamoso Boyacá Colombia
Email: fabian.jimenez02@uptc.edu.co

**** UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA**
Escuela de Posgrados Sogamoso. Facultad Seccional Sogamoso. Grupo de Investigación de Robótica y Automatización GIRA
Calle 4 Sur No.15 -134, Sogamoso Boyacá Colombia
Email: alvaro.fernandez@uptc.edu.co

*****SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE, SENA**
Centro Industrial de Mantenimiento y Manufactura Grupo de Investigación Innovación y Conocimiento Aplicado de Boyacá GICAB
Carrera 12 # 55a-51 Sogamoso Boyacá Colombia
Email:jjtapias7@misena.edu.co

Abstract: Abstract: Autonomous driving system are made by data acquisition unit, data processing unit and communication system with electric powertrain or engine control unit, among others. In this paper, electric vehicle autonomous signal acquisition and fusion architecture is described, the data acquisition a fusion is make with Raspberry pi and a kalman filter, also it reads obstacle detection reading by RPLIDAR. The system uses an inertial measure unit (IMU), Light detection a ranging (LIDAR) lite V3 and anti-lock brake system (ABS); all these are connected to prototyping kit PSoC5LP MCU 32-Bit ARM® Cortex®-M3, it reads and packages its signals and sends to raspberry. At this work end presents obtained results from sensor testing.

Keywords: Autonomous driving, Kalman Filters, IMU, LIDAR.

Resumen:
Los sistemas de conducción autónoma están compuestos por una unidad de adquisición de señales, una unidad que toma decisiones y un sistema de comunicación con el tren motriz y el computador del vehículo, entre otros. El presente trabajo describe la arquitectura de una unidad de adquisición y fusión de señales para un vehículo eléctrico con conducción autónoma, la cual está compuesta por una Raspberry Pi encargada de realizar el procesamiento digital de las señales mediante un Filtro de Kalman, así como leer datos de presencia de obstáculos provenientes del sensor laser RPLIDAR. El sistema también cuenta con un unidad de sensores inerciales (IMU), un sensor laser LIDAR (Light Detection and Ranging) Lite V3 y un encoder basado en las señales de los sensores

ABS; estos son conectados a un sistema de desarrollo PSoC 5LP MCU 32-Bit ARM® Cortex®-M3 que lee y empaqueta las señales para ser enviadas a la unidad de procesamiento Raspberry Pi. En la última sección del trabajo se presentan resultados obtenidos a partir de pruebas realizadas a algunos sensores.

Palabras clave: Conducción autónoma, Filtros Kalman, IMU, LIDAR, Raspberry Pi, Unidad de Fusión

1. INTRODUCCIÓN

Un sistema de conducción autónoma basa su funcionamiento en la interacción de una red de sensores inteligentes, un sistema central de procesamiento y los subsistemas electrónicos del vehículo tales como dirección electro-asistida, frenos antibloqueo, unidad de control electrónico del motor (ECU – Engine Control Unit) o controlador del motor (caso eléctrico) según el caso e iluminación inteligente entre otros.

El conjunto de sensores es uno de los componentes más importantes en un vehículo autónomo, pues determinan el éxito del seguimiento de la ruta y la detección de obstáculos; en el primer caso deben poseer una elevada exactitud, para tener la capacidad de indicar su posición instantánea con tan solo unos centímetros de error, y así mismo, tener un sistema secundario capaz de compensar estos errores.

En el segundo caso, el conjunto de sensores deben poseer tiempos de respuesta muy rápidos y trabajar en un amplio rango de operación con alta inmunidad a las condiciones medioambientales. Finalmente todos los sensores deben ser capaces de reportar información de una forma eficiente y utilizando un protocolo de comunicación compatible con el sistema central. La fusión de las señales provenientes de los sensores mediante Filtros de Kalman es una técnica que permite compensar las debilidades y errores propios de cada principio de medición. Los sensores tipo encoder ubicados en las ruedas por lo general presentan errores en situaciones donde alguna de las ruedas pierde tracción e incluso en las curvas que cambian de velocidad de giro las ruedas (A.K., Aijazi, P., Checchin, L. Trassoudaine. 2017), y los sensores inerciales deben ser calibrados con frecuencia para evitar desviaciones debidas a reinicios inesperados y fallas de sistema. Los sensores de laser pulsante (LIDAR) 2D de bajo costo solo pueden detectar obstáculos en un plano detectando la distancia y el ángulo haciendo un barrido en los 360 grados (H, Deilamsalehy 2017). El desarrollo de un algoritmo para la fusión de las señales provenientes de este conjunto de sensores permitirá obtener una medición confiable y robusta inmune a las condiciones medioambientales y de tracción del vehículo. Una vez integrado el algoritmo de fusión en una plataforma embebida, ésta deber ser capaz de comunicarse con el sistema central de navegación mediante un protocolo de comunicación vehicular, compatible con el sistema de control del tren motriz eléctrico en este caso un controlador Curtis 1236-7601.

2. SISTEMAS DE CONDUCCIÓN AUTÓNOMA

Los sistemas de conducción autónoma son utilizados para un sin número de aplicaciones vehiculares. Pueden ser implementados en vehículos agrícolas los cuales poseen capacidades tanto de navegación autónoma, seguimiento de ruta y/o evasión de obstáculos (E. Kayacan, E. Kayacan, H. Ramon, O. Kaynak, and W. 2015). Estas características son fundamentales en el futuro cercano de la tecnología automotriz.

La conducción autónoma basa su funcionamiento en los sistemas de asistencia avanzada a conducción (ADAS - Advanced Driver Assistance Ssystems) los cuales de acuerdo a su tecnología pueden facilitar el manejo de un vehículo hasta el punto de poder reemplazar el conductor (Paul, Chauhan, Srivastava and Baruah, 2016). A continuación, se describen los diferentes niveles de automatización según la tecnología utilizada por los ADAS y los componentes que permiten realizar cada una de sus funcionalidades

2.1 Niveles de Conducción Autónoma

Los niveles de la autonomía (García 2018) abarcan desde el nivel 0, automatización nula, hasta el nivel 5 automatización total. A continuación, se expone cada uno de los niveles de automatización.

Nivel 0: Ninguna automatización: El conductor tendrá el mando total de vehículo y de su entorno.

Nivel 1: Asistencia a la conducción: El vehículo podrá asumir el control de ciertas tareas como el asistente de seguimiento de carril, a pesar de que es capaz de captar la información del entorno. El sistema siempre permite que el conductor tome la decisión final.

Nivel 2: Automatización parcial: El vehículo podrá realizar una o varias tareas de forma simultánea, contará con un control de movimiento longitudinal y lateral (parqueo autónomo) aunque sin detección y respuesta ante obstáculos. Es necesario el conductor, aunque no será necesario que realice ciertas tareas.

Nivel 3: Automatización condicionada: El vehículo tendrá la capacidad de tener el control de movimiento longitudinal y lateral, detección y respuesta ante obstáculos. Esto quiere decir que el vehículo podrá decidir acciones como cambiar de carril o frenar en un escenario controlado, la presencia de un conductor es necesaria, ya que deberá estar atento porque el sistema puede necesitar de su intervención.

Nivel 4: Automatización elevada: El vehículo tendrá la capacidad de definir la ruta o alternativas dependiendo de las condiciones del entorno, en este nivel el conductor es opcional, ya que si el sistema tiene una falla cuenta con un respaldo para seguir con el recorrido.

Nivel 5: Automatización total: El vehículo no necesitara de volante, pedales o mandos, ya que en este nivel el conductor solo deberá informarle al sistema mediante una interfaz de usuario el destino y podrá disfrutar del viaje. Si se presenta algún fallo, cuanta con un respaldo, con lo cual, el mismo sistema lo solucionara (García 2018).

2.2 Medición de Desplazamiento

En cuanto al seguimiento de rutas, es posible utilizar algunos sensores instalados de fábrica en la mayoría de los vehículos, tal es el caso de los sensores tipo Encoder ubicados en las ruedas para los sistemas ABS (Anti-lock Braking Systems) y los sensores de rotación presentes en algunos tipos de dirección asistida (Fleming 2001). La información suministrada por estos sensores permite alimentar modelos cinemáticos y mediante técnicas como la de mínimos cuadrados, determinar las ecuaciones características del movimiento utilizadas para identificar la ubicación espacial y seguir una ruta (Antonelli and Chiaverini 2006). Esta técnica también es utilizada para realizar la calibración de los sensores, en (Antonelli, Chiaverini, and Fusco. 2005) se presentan resultados experimentales de dicho proceso.

2.3 Detección de obstáculos

Otra característica que determina el éxito de un vehículo autónomo es la capacidad de detectar obstáculos u otros móviles que impliquen un peligro de colisión: Un tipo de sensores que proveen información acerca del medio basan su funcionamiento en la proyección de un haz de luz infrarroja y detectan la interacción del mismo con el entorno, este es el principio de funcionamiento del LIDAR. La versión lite V3 fabricado por Garmin es un sensor de bajo costo, que utiliza esta tecnología para medir la distancia hasta el objeto más cercano. En (Catapang and Ramos, 2016), se logró detectar un objeto de un metro de altura a una distancia de diez metros, donde el procesamiento de datos es hecho mediante combinación y segmentación de datos.

El LIDAR lite requiere un dispositivo motriz que le permita hacer un barrido en varias direcciones. Esta limitación se puede suplir mediante el acople de un servomotor y la ubicación de más de un sensor de este tipo, distribuyendo el área de medición para cada uno. En (Singh, Negi, and Mudali, 2017) se integran tres sensores de este tipo con un tren motriz eléctrico y un sistema central de procesamiento basado en un microcontrolador ATMEL. Es posible utilizar sistemas embebidos con mayor capacidad de procesamiento tal es el caso de la tarjeta compact RIO, la cual es utilizada en (Pavelka and Jirovsky, 2017) para realizar la lectura de tres sensores LIDAR lite ubicados en el frente del vehículo como se observa en la figura 1. Estos poseen un servomotor que permite su orientación de acuerdo a los ángulos de medición requeridos. Una vez adquiridos los datos se convierten en una nube que debe ser analizada mediante algoritmos



Fig 1. Ubicación y lectura de sensores LIDAR lite

2.4 Fusión de Señales

Dadas las condiciones extremas en las que deben trabajar estos tipos de sensores, así como la presencia de múltiples fuentes de interferencia entre las cuales se destacan el sistema de generación eléctrica y las conmutaciones de los elementos de potencia, se requiere la implementación de filtros adaptativos y altamente selectivos con el fin de obtener datos confiables (Hernandez. 2005). La fusión de las señales de un sensor de rotación de la dirección, los sensores de rotación de las ruedas (ABS), un

sensor tipo laser y un detector de marcas magnéticas ubicadas en la ruta a seguir mediante ecuaciones de estado determinadas por un filtro Kalman extendido es una técnica utilizada para obtener valores precisos de posición (Bento, Nunes, Moita, and Surrecio. 2005).

Los modelos matemáticos de los sensores rara vez son lineales, esto se observa más notoriamente a medida que se realizan mediciones sucesivas, los filtros Kalman no centrados (UKF – Unscented Kalman Filter) permiten compensar los errores generados mediante la inclusión del modelo no lineal en sus ecuaciones de estado. En la figura 2 se observa una implementación de un sistema de posicionamiento basado en UKF que integra sensores inerciales y encoder de rueda y dirección, junto con un GPS y un sensor magnético.

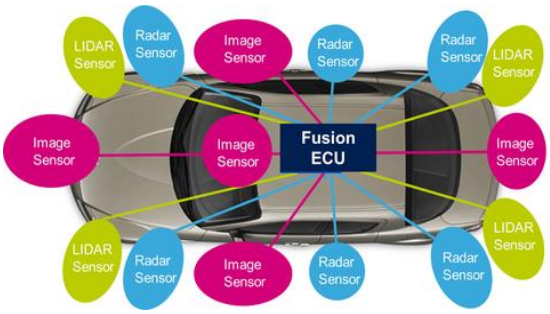


Fig 2. Conjunto de sensores utilizados en un vehículo autónomo
Tomado de (Jeon, Choi, and Kim. 2016).

El sistema se divide en tres subsistemas: el subsistema A está compuesto por sensores tipo encoder que suministran el avance y el desplazamiento de la dirección junto con el GPS y el giróscopo que validaran los resultados del UKF. El subsistema B compara los datos de un sensor magnético con los registrados en un mapa predeterminado. Finalmente se obtienen los datos de varios sensores fusionados, con un error mínimo en el subsistema (Jeon, Choi, and Kim. 2016).

3. ARQUITECTURA DE SISTEMA

En este apartado se tratara los componentes que hacen parte de la propuesta de arquitectura del sistema de fusión de señales, tanto sensores como actuadores y sistemas de procesamiento

3.1 Sensores de obstáculos

RPLIDAR A2 360º: sensor infrarrojo desarrollado por SLAMTEC, su funcionamiento consiste en enviar una señal a partir de un haz de luz, de esta manera crea un plano en 2D entre el objeto detectado y el sensor, como se puede apreciar en la figura 3, este sensor puede tomar hasta 4000 muestras por segundo gracias a que tiene una rotación constante de 360º, con un alcance máximo de 6 metros confiables, esto varía dependiendo de la condición de clima, funciona con una frecuencia de 10Hz (600 rpm).

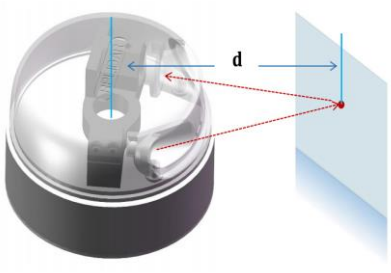


Fig. 3 Funcionamiento RPLIDAR (RobotShop)

SLAMTEC ofrece un programa SDK, este es compatible con distintas plataformas como los son Windows, Linux. MacOS, entre otros. A través de dicho programa es posible controlar el arranque, la parada y la velocidad de rotación, ya que RPLIDAR cuenta con un motor que funciona con señal PWM (modulación por ancho de pulsos). En la figura 4 se muestra un mapeo del entorno en tiempo real usando este programa

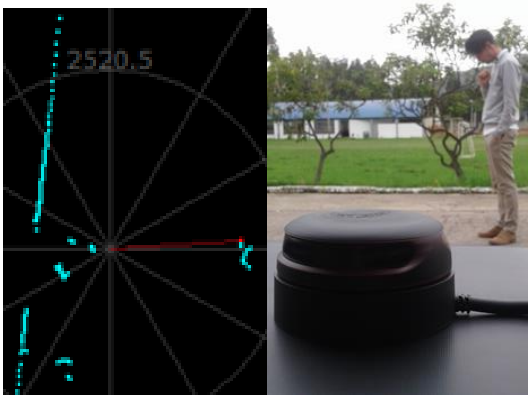


Fig. 4 Mapa entorno con RPLIDAR Scanning

LITAR LITE V3: Sensor óptico de distancia desarrollado por GARMIN, posee la capacidad de detectar distancias de hasta 60 metros, su alcance es fiable en cualquier entorno, trabaja con un voltaje de 4.75 a 6v máximo, su interfaz de comunicación puede ser I^2C (circuito inter-integrado) o PWM (modulación por ancho de pulso), permite la detección de un único punto, para hacer mapeo de un plano requiere de un actuador electromecánico (servomotor).

Para la lectura y procesamiento de las señales enviadas por el LIDAR LITE V3 se utiliza un sistema embebido PSoC 4 del fabricante Cypress, se desarrolló una aplicación sencilla con el fin de poner a prueba las capacidades de medición del dispositivo en el software PSoC

creator, en la figura 5 es posible observar parte del código desarrollado así como las conexiones realizadas.

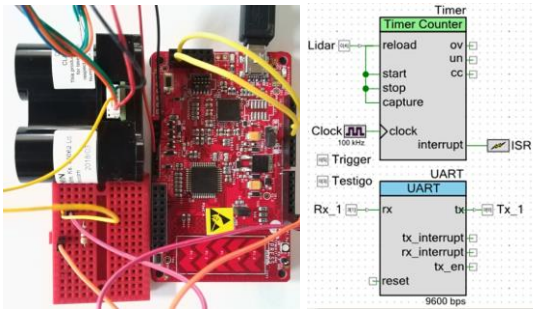


Fig. 5 Conexión LIDAR LITE V3

3.2 Sensores inerciales

TARJETA GY-85 IMU 9DOF: Esta tarjeta funciona con un voltaje de 3v a 5v y cuenta con una interfaz I^2C, está compuesta por 3 sensores: un acelerómetro ADXL345, un giroscopio ITG3205 y un magnetómetro HMC5883L cada uno posee la capacidad de medir en tres ejes independientes, funciona a través de una interfaz SPI (interfaz periférica serial) o I^2C (circuito inter-integrado), la unión de estos dispositivos permite obtener medidas de aceleración, inclinación y orientación por campo magnético en los tres ejes. La integración de esta señales se realiza mediante un filtro adaptativo kalman extendido el cual calcula la orientación a partir de una matriz de dirección de cosenos(DCM) corrigiendo asi los errores generados por las desviaciones de calibración de estos sensores de bajo costo (Heikki & Visala, 2015).



Fig. 6 Tarjeta IMU 9150

Para la conexión con el sistema PSoC es necesario utilizar la librería EZ-PsoC, que permite incluir dentro del software el algoritmo DCM descrito con anterioridad, obteniendo un único dato de los ángulos de Euler para : yaw, roll y pitch.

3.3 Sensores de desplazamiento

ENCODER ABS: sensores utilizados por el sistema de seguridad de frenos antibloqueo, pueden ser de dos tipos: Pasivos que no tienen una fuente de alimentación son más grandes y menos precisos; Activos son compactos y pueden detectar velocidades bajas; estos últimos se dividen en dos tipo: sensores activos Hall, estos detectan la velocidad de la rueda mediante un codificador dentado o magnético llamado anillo de ABS; y los sensores activos magneto-resistivos usan un anillo similar al de los Hall pero posee segmentos de arco magnético permitiéndole tener una detección más precisa con la diferencia de que son más costosos en el mercado. En la figura 7 se puede observar el conjunto de rueda dentada y sensor ABS que conforman el encoder.



Fig. 7 Sensor encoder de ABS

3.4 Unidad de procesamiento

PsoC5LP: es un System on chip fabricado por cypress, basa su funcionamiento en un núcleo Arm Cortex-M3 de bajo consumo, posee un bloque de filtrado digital, procesamiento paralelo y bloque de acceso directo a memoria DMA, posee bloques configurables tanto analógicos como digitales. El entorno de programación utilizado es PsoC creator el cual posee dos plantillas para la programación, la primera donde se seleccionan y configuran los bloques analógicos y digitales así como los pines de entrada y salida, la segunda es donde se realiza el ingreso del código en lenguaje C, posee la posibilidad de depuración en tiempo real.

RASPBERRY PI 3: Es un mini-computador basado en un System on chip que posee un chip Broadcom BCM2837 de 64 bits, posee 1GB de memoria RAM, 4 puertos usb, conectividad Ethernet y WIFI, tiene un slot para micro SD, el sistema operativo es alojado en esta y es fácilmente descargable de la página del fabricante; para la presente aplicación se requiere agregarle el sistema operativo para robótica (ROS), el cual es necesario para realizar la lectura de las señales provenientes del RPLIDAR A2, mediante los puertos USB se conecta con al menos dos sistemas PsoC con el fin de adquirir las señales filtradas de desplazamiento y orientación así como para enviar señales de control al tren motriz

3.5 Integración de dispositivos

La integración de los dispositivos mostrados en el apartado anterior se puede observar en la figura 7, donde se tiene la unidad de fusión (Rasberry pi3) con la implementación de filtros kalman sobre ROS, dos PSoC, el primero encargado de la lectura del lidar lite V3, la captura y procesamiento de datos provenientes de la IMU y la lectura y procesamiento de las señales generadas por los encoders del freno ABS; el segundo PSoC está encargado de enviar señales de control para el motor eléctrico tanto de aceleración como de frenado regenerativo.

La unidad de fusión igualmente se conecta vía USB con el sensor RPLIDAR A2 utilizado para detectar objetos ubicados a distancias inferiores a cinco metros pero con un rango de 360 grados, finalmente existe un constante intercambio de información con la unidad de conducción autónoma, tanto para el envió de datos sobre sensores como recepción de señales de control para el motor eléctrico.

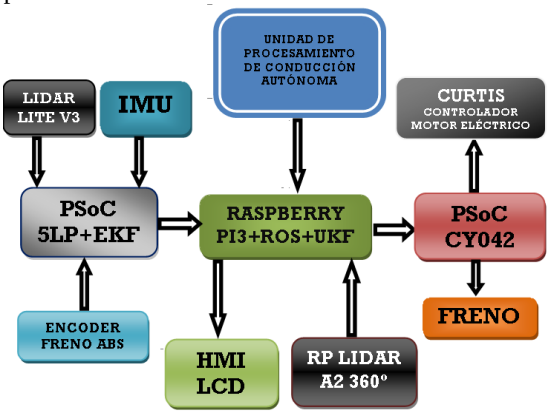


Fig. 7 Diagrama de bloques sistema de fusión de sensores

4. CONCLUSIONES

Los sensores utilizados para sistemas de conducción autónoma deben tener un tiempo de respuesta lo suficientemente bajo para permitir la reacción de la unidad de procesamiento.

El SoC de cypress utilizado en el proyecto es una excelente opción para la implementación de los filtros pues posee bloques de filtraje paralelo permitiendo utilizar el mismo dispositivo para varias tareas con una gran confiabilidad

La unidad de fusión de sensores permite obtener mediciones confiables de distancia a obstáculos, desplazamiento y orientación gracias a que existen varios sensores midiendo la misma variable mediante diferentes principios.

La unión de la raspberry pi y el SoC de Cypress crea una interfaz de fusión robusta que aprovecha la flexibilidad de la primera y los modulos de hardware de la segunda

REFERENCIAS

Aijazi A.K., Checchin P., Trassoudaine L. (2017). *Multi sensorial data fusion for efficient detection and tracking of road obstacles for inter-distance and anti-colision safety management*, 2017, 2017 3rd International Conference on Control, Automation and Robotics, ICCAR, art. no. 7942771, pp. 617-621

Antonelli G. and S. (2006). Chiaverini, "Linear Estimation of the Odometric Parameters for Differential-Drive Mobile Robots," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2006, pp. 3287–3292.

Antonelli G., Chiaverini S., and Fusco G. (2005). "A calibration method for odometry of mobile robots based on the least-squares technique: theory and experimental validation," IEEE Trans. Robot., vol. 21, no. 5, pp. 994–1004.

Bento L, C., Nunes U., Moita F. and Surrecio A. (2005). "Sensor fusion for precise autonomous vehicle navigation in outdoor semi-structured environments," in Proceedings. 2005 IEEE Intelligent Transportation Systems, pp. 245–250.

Catapang A. N. and Ramos M. (2016), "Obstacle detection using a 2D LIDAR system for an Autonomous Vehicle," in 2016 6th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE), pp. 441–445.

Deilamsalehy H, T.C. (2017), Havens, *Sensor fused three-dimensional localization using IMU, camera and LiDAR*, , Proceedings of IEEE Sensors, art. No. 7808523.

Fleming W, J. "Overview of automotive sensors," IEEE Sens. J., vol. 1, no. 4, pp. 296–308, 2001.

García Á. R, M. Directora de Comunicación de CEA (2018). Los niveles de conducción autónoma.

Heikki & Visala, Arto. (2015). A DCM Based Attitude Estimation Algorithm for Low-Cost MEMS IMUs. International Journal of Navigation and Observation. 2015. 1-18. 10.1155/2015/503814.

Hernandez W. (2005). "Improving the response of wheel speed sensors by using robust and

optimal signal processing techniques," in Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp. 1049–1053 vol. 3.

Jeon D., Choi H. and Kim J. (2016). "UKF data fusion of odometry and magnetic sensor for a precise indoor localization system of an autonomous vehicle," International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), 2016, pp. 47–52.

Kayacan E., Ramon H., Kaynak O., and (2015). Saeys W., "Towards Agrobots: Trajectory Control of an Autonomous Tractor Using Type-2 Fuzzy Logic Controllers," IEEE/ASME Trans. Mechatronics, vol. 20, no. 1, pp. 287–298.

Paul, A., Chauhan, R., Srivastava, R., and Baruah, M. (2016), "Advanced Driver Assistance Systems," SAE Technical Paper 2016-28-0223, 2016, https://doi.org/10.4271/2016-28-0223.

Pavelka M., and Jirovsky V. (2017), "Lidar based object detection near vehicle," in 2017 Smart City Symposium Prague (SCSP), 2017, pp. 1–6.

Singh S. A. A. K., Negi A. and Mudali S. (2017), "Analysis of automatic sensing model of an autonomous vehicle," in 2017 International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC), pp. 1–5