

DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PEATONES Y VEHÍCULOS MEDIANTE RADAR PARA AYUDA A LA CONDUCCIÓN

F. Viadero Monasterio

Grupo de Ingeniería de Control, dpto. TEISA, Universidad de Cantabria, fvm53@alumnos.unican.es

J. Pérez Oria

Grupo de Ingeniería de Control, dpto. TEISA, Universidad de Cantabria, juan.perezoria@unican.es

L. Alonso Rentería

Grupo de Ingeniería de Control, dpto. TEISA, Universidad de Cantabria, luciano.alonso@unican.es

Resumen

El desarrollo de sistemas de ayuda a la conducción, ADAS (Advanced Driver Assistance Systems), ha dado lugar a un significativo descenso en el número de accidentes. Los fabricantes de automóviles han desarrollado sistemas para facilitar la labor al conductor en circulación a altas velocidades o avisar al conductor de situaciones de inminente peligro, bien mediante señales visuales o sonoras. Estos sistemas presentan el inconveniente de la dependencia de la respuesta al estímulo por parte del conductor.

El objetivo básico del trabajo ha consistido en la detección automática, mediante técnicas de radar y redes neuronales, de cuerpos que se encuentren delante de un vehículo, tanto vehículos como peatones, para aumentar la seguridad.

Puede señalarse que aproximadamente el 85% de las mediciones realizadas son identificadas correctamente por la red neuronal. La información será utilizada para avisar al conductor o para la actuación automática sobre el freno y la dirección del vehículo, para evitar la colisión.

Palabras Clave: radar, ADAS, tráfico urbano, redes neuronales.

1 SENSOR RADAR

Tesla en el año 1917 estableció los principios teóricos del futuro radar. En el año 1934, gracias a un estudio sistemático del magnetrón, se realizaron ensayos sobre sistemas de detección de onda corta, siguiendo los principios de Tesla. Posteriormente, muchos inventores, científicos e ingenieros contribuyeron al desarrollo del radar, especialmente en los años treinta y cuarenta, impulsados por la Segunda Guerra Mundial. Los grandes países que participaron en ella fueron desarrollando de forma paralela distintos sistemas radar, aportando grandes

avances cada uno de ellos para llegar a los sistemas radar actuales.

La tecnología de radar se usa cada vez más para detectar tanto objetos móviles como estacionarios. En la actualidad, la tecnología de radar ha perdido esa fama de costosa que le precedía, ya que en nuestros días los sensores de radar se fabrican en grandes cantidades, y a precios relativamente asequibles.

La palabra "RADAR", del inglés "RADio Detection And Ranging", significa no solo la detección de objetos, sino también la evaluación de ciertos parámetros de dichos objetos al mismo tiempo. En los comienzos sus principales aplicaciones estuvieron orientadas al ámbito de la defensa. Sin embargo, con el paso del tiempo han ido surgiendo una gran variedad de aplicaciones comerciales e industriales.

La reflexión de las ondas del radar varía en función de su longitud de onda y de la forma del blanco. Si la longitud de onda es mucho menor que el tamaño del blanco, la onda rebotará del mismo modo que la luz contra un espejo. Si por el contrario es mucho más grande que el tamaño del blanco, lo que ocurre es que éste se polariza (separación física de las cargas positivas y negativas) como en un dipolo. Cuando las dos escalas son similares pueden darse efectos de resonancia.

Los primeros radares utilizaban longitudes de onda muy elevadas, mayores que los objetivos, lo que provocaba señales de eco débiles. Los radares actuales emplean longitudes de onda pequeñas (de pocos centímetros o inferiores) que permiten detectar objetos del tamaño de un brazo humano. Las señales de onda corta (3 kHz-30 MHz) se reflejan en las curvas y aristas, del mismo modo que la luz produce destellos en un trozo de cristal curvo.

La potencia P_r reflejada a la antena de recepción del radar está dada por la expresión:

$$P_r = \frac{P_t G_t A_r \sigma F^4}{(4\pi)^2 R_t^2 R_r^2} \quad (1)$$

donde: P_t potencia transmitida, G_t ganancia de la antena de transmisión, A_r apertura efectiva (área) de la antena de recepción, σ sección transversal del radar, F factor de propagación del patrón, R_t distancia del transmisor al objetivo, R_r distancia del objetivo al receptor. En el caso común donde el transmisor y el receptor están en el mismo lugar, el término $R_t^2 \cdot R_r^2$ puede ser reemplazado por R^4 .

El campo eléctrico de la señal que emite un radar es perpendicular a la dirección de propagación. La dirección de dicho campo determina la polarización de la onda. Los radares usan polarizaciones horizontales, verticales, lineales o circulares, en función de la aplicación. Por ejemplo, la polarización circular es adecuada para minimizar la interferencia causada por la lluvia (pero debe evitarse para radares meteorológicos que lo que buscan es cuantificar las precipitaciones). La lineal permite detectar superficies de metal, mientras que la polarización aleatoria es adecuada para detectar superficies irregulares como rocas.

Los sistemas radar deben hacer frente a la presencia de diferentes tipos de señales indeseadas, que pueden tener su origen en fuentes tanto internas como externas y pueden ser de naturaleza pasiva o activa. La capacidad del sistema radar de sobreponerse a la presencia de estas señales define su relación señal/ruido (SNR). Cuanto mayor sea la SNR del sistema, tanto mejor podrá aislar los objetivos reales de las señales de ruido del entorno.

Cuanta menor sea la potencia con que llega la señal de interés, más difícil será diferenciarla del fondo de ruido. Por tanto, la más importante fuente de ruido aparece en el receptor, por lo que debe dedicarse un gran esfuerzo a tratar de minimizar estos factores. La figura de ruido es una medida del ruido producido por el receptor en comparación con un receptor ideal, y debe ser minimizada.

Una forma de medir la distancia entre el radar y un objeto es transmitir un pequeño pulso electromagnético y medir el tiempo que tarda el eco ir y en volver. La distancia será la mitad del tiempo de tránsito multiplicado por la velocidad de propagación del pulso. Una estimación precisa de la distancia exige una electrónica de elevado rendimiento. La mayor parte los radares usan la misma antena para enviar y recibir. Mientras se está transmitiendo el pulso no se puede recibir ningún eco. Esto determina la llamada "distancia ciega" del radar, por debajo de la cual éste es inútil.

Otra forma de estimar distancias en un radar se basa en la modulación en frecuencia. La comparación de la frecuencia de señales es más precisa y sencilla que la comparación de tiempos. Para ello se emite una señal sinusoidal a una frecuencia que va variando de forma constante en el tiempo, de modo que cuando llega el eco, su frecuencia será diferente de la de la señal original. Comparándolas se puede saber cuánto tiempo ha transcurrido y por tanto cuánta distancia hay hasta el blanco. A mayor desvío en frecuencia mayor distancia.

Para que llegue una potencia razonable al blanco se requieren antenas direccionales. Generalmente el mismo reflector se utiliza también como receptor. En el radar de onda continua con modulación (CW-FM, CW-PM) se le añade a la señal modulación de fase o frecuencia con objeto de determinar cuándo se transmitió la señal correspondiente a un eco y medir distancias. El radar de onda pulsada es el funcionamiento habitual. Se transmite de forma periódica un pulso, que puede estar modulado o no. Si aparecen ecos de pulsos anteriores al último transmitido, se interpretarán como pertenecientes a este último, de modo que aparecerán trazas de blancos inexistentes.

Para la detección de vehículos y personas, se ha utilizado el radar modelo ISYS-4004 de InnoSent que aporta las características necesarias para el objetivo buscado. Este dispositivo obtiene medidas de distancia trabajando a 24Ghz. Su uso está orientado a la detección de objetos estacionarios, sin embargo, con los debidos ajustes, puede ser utilizado para detectar objetos en movimiento.

La precisión de la medida depende del ancho de banda que se utilice. Además, se debe tener en cuenta que las leyes de cada país definen qué frecuencias están permitidas y cuales prohibidas. En Europa este radar puede detectar objetos en un rango de 1.1 a 35 metros, con una precisión de ± 3 centímetros y el ancho de banda a utilizar es de 350Mhz.

El sensor posee salida programable con una amplia gama de configuraciones para ajustar el sensor a las necesidades. La programación se puede hacer mediante una (Interfaz gráfica del usuario (GUI). Debido a la tecnología MMIC utilizada, casi no hay influencia de la temperatura en la precisión de la medición. La comunicación del radar con los equipos se realiza mediante una interfaz RS232 en el caso de señales de salida PWM o salida digital.

El cálculo de la distancia de un objeto detectado implica la solución de un sistema de ecuaciones con dos incógnitas. Para obtener soluciones simples, se requieren dos ecuaciones diferentes.

El movimiento de un objetivo desplaza la frecuencia de la señal de recepción hacia abajo o hacia arriba, mientras que la distancia de un objetivo desplaza la señal en paralelo al eje del tiempo debido a un retraso de tiempo resultante, Figura 1. Parece lógico combinar ambos efectos seleccionando la forma de la frecuencia de transmisión, de manera, que después de la recepción, la velocidad y distancia pueden ser obtenidos con una simple matemática adicional.

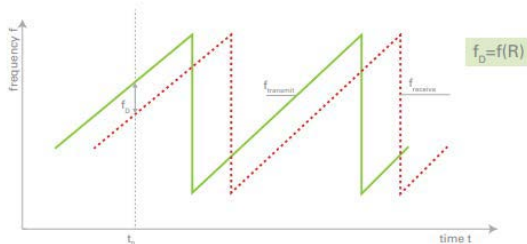


Figura 1. Señal transmitida y recibida en el radar FCMW con modulación diente de sierra.

El principio de radar FMCW ofrece esta posibilidad y proporciona información en el caso de objetos en movimiento de velocidad instantánea y dirección del movimiento. En caso de objetos estacionarios la distancia desde el sensor y ángulo con una cierta disposición del receptor (Figura 2).

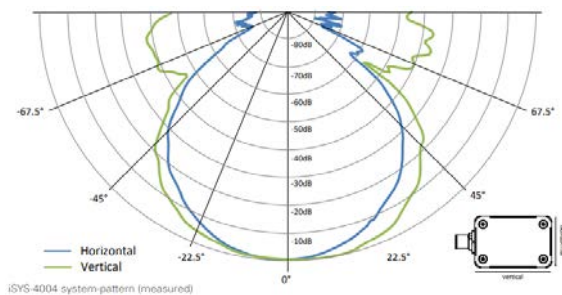


Figura 2. Diagrama de radiación del ISYS-4004.

En nuestro caso, el radar a usar está diseñado para obtener sólo distancia e intensidad reflejada. Con el procesamiento adecuado de las señales de recepción de baja frecuencia, el FMCW puede distinguir entre objetos con diferente alcance.

2 ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN

El fabricante del radar ofrece un kit de desarrollo de software (SDK) para el lenguaje C++ que permite realizar programas acordes a cada necesidad.

Se ha incorporado una cámara para grabar el trayecto realizado (Figura 3) y posteriormente saber qué tipo de objetivo se estaba detectando en cada instante. Su función es meramente informativa y ha supuesto una ayuda a la hora de esclarecer qué medidas utilizar para entrenar la red neuronal.



Figura 3. Información en pantalla de los datos de radar y de tiempo.

3 IDENTIFICACIÓN MEDIANTE RED NEURONAL

Como es conocido, las redes neuronales artificiales son sistemas de computación inspirados por las redes neuronales biológicas. Estos sistemas "aprenden" a realizar tareas. En el reconocimiento de imágenes, pueden aprender a identificar imágenes que tienen ciertas propiedades. Lo hacen sin ningún conocimiento previo sobre tal elemento y generan automáticamente características de identificación del material de aprendizaje que procesan.

En la Tabla 1 se ve una muestra de los datos de entrada-salida utilizados para el entrenamiento de la red. Las dos primeras columnas son los vectores de entrada, formados por la distancia al objeto y la intensidad de la señal reflejada por dicho objeto. Las tres últimas columnas son los vectores de salida deseados, formados por tres valores binarios que representan el tipo de objeto detectado (peatón, vehículo o ninguno de los anteriores).

Tabla 1: Muestra de los datos entrada-salida de la red neuronal.

Distancia	Intensidad de la señal	Nada	Persona	Vehículo
2.69	82.5199	0	1	0
2.82	54.57	0	1	0
3.09	82.16999	0	1	0
4.94	82.3099	0	1	0
5.07	79.04	0	1	0
5.1	77.5199	0	1	0
5.17	81.48	0	1	0
5.3	77.55	0	1	0
5.34	78.08	0	1	0
4.19	84.08999	0	0	1
5.75	91.48	0	0	1
5.92	88.2	0	0	1
6.09	89.5	0	0	1
6.2	89.0899	0	0	1
6.38	86.01	0	0	1
6.82	73.8099	0	0	1

Para la sintonización de la red se han empleado cerca de 200 pares entrada-salida, de los cuales el 60% se

han utilizado para el entrenamiento, el 20% para la validación y el 20% para el test.

En la Figura 4 se observa la arquitectura de la red neuronal utilizada: una red feedforward con dos entradas, una capa oculta con diez neuronas con función de activación sigmoide, y una capa de salida con tres neuronas con función de activación binaria.

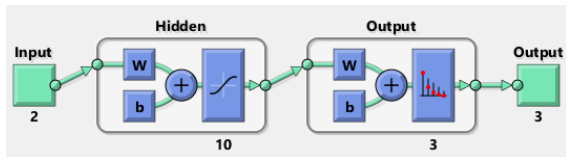


Figura 4. Red neuronal utilizada para la identificación.

4 RESULTADOS

La figura 5 muestra la matriz de confusión de los resultados obtenidos.

Confusion Matrix				
1	17 94.44%	1 1.75%	2 1.91%	85.0%
2	0 0%	46 80.7%	14 13.33%	76.7%
3	1 5.56%	10 17.55%	89 84.76%	89.0%
total	94.4%	80.7%	84.8%	84.4%
	1	2	3	total

Figura 5. Matriz de confusión con los resultados: 1-objetos no relevantes, 2-peatones, 3-vehículos.

En cada cuadrícula se muestra el número de ocurrencias y el porcentaje sobre el total. Los porcentajes de acierto en la clasificación (verde) han sido del 94.44, 80.7 y 84.76 para objetos no relevantes, peatones y vehículos respectivamente. El mayor porcentaje de clasificaciones incorrectas (rojo) corresponde a peatones identificados como vehículos, lo que supone el 17.5% de los casos.

5 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Se ha desarrollado un sistema de identificación de peatones y vehículos basado en un radar de onda continua y una red neuronal. El radar proporciona la distancia e intensidad de la señal reflejada por el objeto más cercano, que constituyen el vector de entrada a la red. Esta proporciona un vector de tres

componentes binarias, cada una de las cuales se corresponde con una de las posibles clases (peatón, vehículo o nada).

Aunque se ha conseguido un alto porcentaje de aciertos en la identificación, se considera que no es suficiente para su implementación comercial, y que aún hay un amplio margen de mejora. Por ejemplo, se podría modificar la estructura de la red aumentando el número de capas y/o neuronas por capa. Incluso se podrían utilizar técnicas de aprendizaje profundo para procesar la señal en bruto proporcionada por el radar (con el consiguiente coste computacional), lo que mejoraría notablemente la capacidad de identificación.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado bajo el patrocinio del Ministerio de Economía y Competitividad. (Proyecto DPI-36959)

English summary

DETECTION AND IDENTIFICATION OF PEDESTRIANS AND VEHICLES USING RADAR FOR DRIVING ASSISTANCE

Abstract

The development of systems for driving assistance, ADAS (Advanced Driver Assistance Systems), has led to a significant decrease in the number of accidents. Car manufacturers have developed systems to facilitate the work to the driver in circulation at high speeds or warn the driver of situations of imminent danger, either by visual or audible signals. These systems have the drawback of the dependence of the response to the stimulus by the driver.

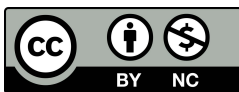
The basic objective of the work has been the automatic detection, by radar techniques and neural networks, of bodies that are in front of a vehicle, both vehicles and pedestrians, to increase safety.

It can be noted that approximately 85% of the measurements made are correctly identified by the neural network. The information will be used to warn the driver or for the automatic action on the brake and the direction of the vehicle, to avoid the collision.

Keywords: radar, ADAS, urban traffic, neural networks.

Referencias

- [1] Alonso L., Milanés V., Torre-Ferrero C., Godoy J., Oria J.P., de Pedro T. (2011) “Ultrasonic sensors in urban traffic driving-aid systems”, *Sensors (Basel)*, 11(1):661-73.
- [2] L. Alonso Rentería; J.M. Pérez Oria; V.M. Becerra; A. Jiménez Avello; Basil M. Al-Hadithi (2016) “Modeling, Simulation, and Control of Pedestrian Avoidance Maneuver for an Urban Electric Vehicle”, *International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology*, 17(33), pp. 8.1-8.8.
- [3] Arenado, M.I., Oria, J.M.P., Torre-Ferrero, C., Rentería, L.A. (2014) “Monovision-based vehicle detection, distance and relative speed measurement in urban traffic” *IET Intelligent Transport Systems*, 8(8), pp. 655-664.
- [4] Ibarra-Arenado, M., Tjahjadi, T., Pérez-Oria, J., Robla-Gómez, S., Jiménez-Avello, A. (2017) “Shadow-based vehicle detection in urban traffic” *Sensors*, Volume 17, Issue 5.
- [5] Vicente Milanés, Luciano Alonso, Jorge Villagrà, Jorge Godoy, Teresa de Pedro, Juan P. Oria (2012) “Traffic jam driving with NMV avoidance”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Volume 31, pp. 332-344.
- [6] C. Sturm and W. Wiesbeck (2011), “Waveform Design and Signal Processing Aspects for Fusion of Wireless Communications and Radar Sensing” *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, pp. 1236-1259.



© 2018 by the authors.
Submitted for possible
open access publication
under the terms and conditions of the Creative
Commons Attribution CC-BY-NC 3.0 license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>).