Resumen

Los sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS) requieren mecanismos confiables para clasificar objetivos ante condiciones climáticas adversas, donde los sensores ópticos tradicionales, como cámaras, disminuyen notablemente su precisión. Este proyecto desarrolla un sistema automatizado para clasificar con precisión tres tipos de objetivos viales (peatones, bicicletas y vehículos) mediante el análisis espectral de señales capturadas con un radar de onda continua modulada en frecuencia (FMCW) operando a 24 GHz. Las firmas micro-doppler características de cada clase se obtuvieron transformando las series temporales en espectrogramas mediante la Transformada de Fourier de Tiempo Corto (STFT), permitiendo capturar el movimiento dinámico intrínseco de cada blanco. Para mitigar el desbalance, evitar el sobreajuste y robustecer el entrenamiento, se amplió el conjunto de datos aplicando aumento artificial con Ruido Blanco Gaussiano Aditivo (AWGN) bajo tres niveles controlados de relación señal a ruido (SNR). Posteriormente, se entrenaron y evaluaron tres redes neuronales convolucionales preentrenadas (AlexNet, SqueezeNet y ResNet-18) empleando técnicas de aprendizaje por transferencia y un esquema riguroso de validación cruzada para medir su capacidad de generalización. Finalmente, se aplicaron pruebas estadísticas no paramétricas, específicamente los tests de Friedman y Wilcoxon con corrección de Holm para validar con significancia estadística el modelo con el mejor desempeño global. Esta metodología propone una solución robusta y eficiente para fortalecer los sistemas de percepción en futuras tecnologías de conducción asistida.

Palabras clave: Clasificación de objetivos, Radar de onda continua modulada en frecuencia, Firmas micro Doppler, Redes neuronales convolucionales, Sistemas avanzados de asistencia al conductor.

Abstract

Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) require reliable target classification mechanisms in adverse weather environments, such as dense fog, rain, or low lighting, where conventional optical sensors like cameras experience substantial degradation in accuracy. This research develops a robust, automated framework to classify three vulnerable and common road targets (pedestrians, bicycles, and vehicles) using spectral representations derived from a 24 GHz Frequency-Modulated Continuous-Wave (FMCW) radar. Distinctive micro-Doppler signatures corresponding to the kinematics and structural motion of each target category were systematically extracted by converting raw radar beat signals into high-resolution time-frequency spectrograms via the Short-Time Fourier Transform (STFT). To alleviate data scarcity, mitigate overfitting, and enhance classification resilience against environmental interference, synthetic data augmentation was implemented using Additive White Gaussian Noise (AWGN) across three controlled Signal-to-Noise Ratio (SNR) profiles. Three prominent pretrained deep convolutional neural network architectures AlexNet, SqueezeNet, and ResNet-18 were fine-tuned using transfer learning and benchmarked via a stratified k-fold cross-validation scheme. Comprehensive performance metrics, including classification accuracy, confusion matrices, and computational efficiency, were evaluated, followed by non-parametric statistical hypothesis testing through the Friedman and Wilcoxon signed-rank tests with Holm corrections to rigorously confirm model superiority. Ultimately, this methodology delivers an accurate, computationally feasible perception solution tailored for integration into next-generation intelligent transportation and autonomous vehicle architectures.

Keywords: Target classification, Frequency modulated continuous wave radar, Micro Doppler signatures, Convolutional neural networks, Advanced driver assistance systems.