

Nom et prénom	Etablissement	Grade	Qualité
LOQMAN Chakir	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, USMBA, Fès	PES	Président
SABBANE Mohamed	Faculté des Sciences, UMI, Meknès	PES	Rapporteur
MERRAS Mostafa	Ecole Supérieure de Technologie, UMI, Meknès	PES	Rapporteur
SATORI Hassan	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, USMBA, Fès	PES	Rapporteur
BEN YAKHLEF Majid	Faculté Polydisciplinaire, USMBA, Taza	PES	Examineur
NFAOUI El Habib	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, USMBA, Fès	PES	Examineur
BOUMHIDI Jaouad	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, USMBA, Fès	PES	Directeur de thèse



Résumé :

La détection rapide et précise des incidents de circulation routière constitue un élément essentiel de la gestion des systèmes de transport intelligents (ITS). Les approches traditionnelles, souvent basées sur des règles heuristiques ou des analyses statistiques, souffrent de limitations en matière de scalabilité, d'adaptabilité aux environnements dynamiques et de précision de détection. Ces dernières années, les techniques d'apprentissage automatique (Machine Learning - ML) et d'apprentissage profond (Deep Learning - DL) ont montré un fort potentiel en exploitant les données issues des capteurs (par exemple, vitesse, volume, taux d'occupation) pour identifier et prédire les anomalies de trafic avec une grande précision.

Cette thèse vise à développer des méthodes automatisées et intelligentes pour la détection précoce des incidents de circulation en milieu urbain. La première approche propose une méthode automatique pour la détection des incidents, en utilisant l'Extrême Learning Machine (ELM), une architecture de réseau de neurones rapide, particulièrement adaptée aux tâches de classification en temps réel. Bien que l'ELM soit reconnue pour sa vitesse d'apprentissage élevée et sa capacité de généralisation, elle est souvent sensible à l'initialisation aléatoire des poids d'entrée et des biais. Pour surmonter cette limitation, le modèle est optimisé à l'aide de l'algorithme Particle Swarm Optimization (PSO), une métaheuristique inspirée du comportement collectif dans la nature. Le PSO permet au modèle de converger vers un espace de solutions plus performant en ajustant intelligemment les paramètres du réseau, ce qui améliore à la fois la précision de détection et la stabilité du modèle. La seconde contribution consiste à concevoir un modèle hybride d'apprentissage profond combinant les réseaux de neurones convolutifs (CNN) avec les réseaux de mémoire à long et court terme (LSTM). Cette architecture est conçue pour exploiter les atouts des deux modèles : les CNN sont efficaces pour apprendre les corrélations spatiales et les caractéristiques locales à partir des matrices de trafic, tandis que les LSTM sont capables de capturer les dépendances temporelles et les motifs séquentiels. La fusion de ces deux architectures permet au système d'interpréter des schémas spatiotemporels complexes du trafic, améliorant ainsi les performances de détection d'incidents, notamment dans des conditions dynamiques. Enfin, la troisième contribution propose une nouvelle architecture intégrant les CNN avec des mécanismes d'attention basés sur les Transformers. Initialement développés pour le traitement du langage naturel, les Transformers ont démontré une performance remarquable dans la modélisation des dépendances à long terme dans les données séquentielles, grâce à leur mécanisme d'auto-attention. En couplant les CNN pour l'extraction des caractéristiques spatiales avec les Transformers pour la modélisation temporelle, l'architecture proposée vise à offrir une compréhension plus globale des dynamiques du trafic, en capturant à la fois les variations locales et les tendances globales au fil du temps.

Mots clés :

Extreme learning machine (ELM), incident detection, urban roads, Particle Swarm Optimization (PSO), convolutional neural networks (CNNs), long short-term memory (LSTM), Transformer.



INTELLIGENT MODELS FOR SUSTAINABLE URBAN TRAFFIC MANAGEMENT

Abstract :

Fast and accurate detection of traffic incidents is a critical component of intelligent transportation systems (ITS) management. Traditional approaches, often based on heuristic rules or statistical analyses, suffer from limitations in scalability, adaptability to dynamic environments, and detection accuracy. In recent years, machine learning (ML) and deep learning (DL) techniques have shown significant potential in leveraging sensor data (e.g., speed, volume, occupancy rate) to identify and predict traffic anomalies with high accuracy.

This thesis aims to develop automated and intelligent methods for the early detection of traffic incidents in urban environments. The first approach proposes an automatic method for incident detection using the Extreme Learning Machine (ELM), a fast neural network architecture particularly suited for real-time classification tasks. Although ELM is known for its high learning speed and generalization ability, it is often sensitive to random initialization of input weights and biases. To overcome this limitation, the model is optimized using the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm, a metaheuristic inspired by collective behavior in nature. PSO allows the model to converge to a more performant solution space by intelligently adjusting network parameters, improving detection accuracy and model stability. The second contribution is to design a hybrid deep learning model combining convolutional neural networks (CNNs) with long short-term memory (LSTM) networks. This architecture is designed to exploit the strengths of both models: CNNs are effective at learning spatial correlations and local features from traffic matrices, while LSTMs can capture temporal dependencies and sequential patterns. The fusion of these two architectures allows the system to interpret complex spatiotemporal patterns of traffic, thus improving incident detection performance, especially in dynamic conditions. Finally, the third contribution proposes a new architecture integrating CNNs with Transformer-based attention mechanisms. Initially developed for natural language processing, Transformers have demonstrated remarkable performance in modeling long-term dependencies in sequential data, thanks to their self-attention mechanism. By coupling CNNs for spatial feature extraction with Transformers for temporal modeling, the proposed architecture aims to provide a more comprehensive understanding of traffic dynamics, capturing both local variations and global trends over time.

Key Words :

Extreme learning machine (ELM), incident detection, urban roads, Particle Swarm Optimization (PSO), convolutional neural networks (CNNs), long short-term memory (LSTM), Transformer.