



Université  
Paris Cité

ÉCOLE DOCTORALE INFORMATIQUE, TÉLÉCOMMUNICATION ET ÉLECTRONIQUE (EDITE DE PARIS: ED130)  
UNIVERSITÉ PARIS CITÉ

# DISTRIBUTED EDGE COMPUTING FOR ENHANCED IOT DEVICES AND NEW GENERATION NETWORK EFFICIENCY

M<sup>r</sup>. Mohammed Laroui

THÈSE DE DOCTORAT EN INFORMATIQUE (RÉSEAUX)

Directeur de thèse: M<sup>r</sup>. Hassine Mouncla

## Contents

<b>1</b>	<b>Contexte de la thèse</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Contribution . . . . .	1
<b>2</b>	<b>État de l'art</b>	<b>2</b>
2.1	Service Offloading . . . . .	2
2.2	Vehicular Edge Computing . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Résultats scientifiques obtenus</b>	<b>4</b>
3.1	Service Offloading dans Edge Computing . . . . .	4
3.2	Vehicular Edge Computing . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Listes des publications et des soumissions</b>	<b>5</b>
4.1	<u>Journals</u> . . . . .	5
4.2	<u>Submitted Journals (Under Review)</u> . . . . .	5
4.3	<u>Conferences</u> . . . . .	5

# 1 Contexte de la thèse

## 1.1 Motivation

L'Internet des objets (IoT) a été un facteur déterminant dans le développement de l'industrie de la haute technologie. Avec le grand nombre d'appareils et de profits à réaliser au cours des prochaines années, L'IoT aura un impact profond et dominant sur l'industrie de la haute technologie en général et sur l'industrie des semi-conducteurs en particulier. Les appareils IoT peuvent en fait être n'importe quel type de capteurs et de puces avec différentes capacités fabriqués par différents fabricants, et il existe de nombreuses applications qui peuvent être conçues pour permettre les villes intelligentes, les transports intelligents, les maisons intelligentes et les soins de santé intelligents.

Dans l'IoT, les appareils connectés peuvent générer une énorme quantité de données à très haut débit et certaines applications peuvent nécessiter une très faible latence. Les données sont directement envoyées dans le cloud pour être stockées et traitées dans les centres de données. L'infrastructure cloud traditionnelle sera confrontée à une série de défis en raison de la centralisation du stockage, calcul, et de la longue distance entre les appareils connectés et les centres de données.

Pour relever ce défi, edge computing semble être une technologie prometteuse qui fournit des ressources de calcul plus proches des appareils IoT.

Dans cette thèse, nous sommes motivés pour identifier et résoudre les problèmes d'architecture edge computing et l'intégration de cette architecture avec les applications IoT. De plus, la littérature manque d'architectures générales edge-IoT, ce qui nous amène à concevoir des architectures récentes, en particulier pour le service offloading et vehicular edge computing.

De plus, malgré l'importance des tâches d'optimisation, de telles fonctions efficaces manquent dans les architectures globales edge-IoT.

## 1.2 Contribution

Notre contribution présente de nouveaux modèles d'optimisation différents (algorithmes exacts et à grande échelle) au niveau de la couche edge qui résolvent à la fois les problèmes de service offloading liés au placement dans le edge de réseau et les problèmes de vehicular edge computing qui utilisent les véhicules comme des serveurs edge mobile pour fournir des services aux utilisateurs tels que le calcul et le online streaming.

Tout d'abord, pour le service offloading, nous proposons des modèles de placement optimaux dans le edge du réseau pour les tâches des utilisateurs. Ensuite, pour vehicular edge computing, nous proposons des modèles exact pour la couverture des véhicules utilisant des serveurs edge mobile (Taxis et UAV), et la conduite autonome basé sur le edge computing.

De plus, pour faire face aux problèmes de haute complexité des algorithmes optimaux dans les réseaux denses, nous proposons des algorithmes à grande échelle pour les cas d'utilisation du service offloading et vehicular edge computing.

Pour évaluer l'efficacité des algorithmes proposés pour les réseaux à petite et grande échelle, nous utilisons différents outils, notamment, des plates-formes pour les modèles d'intelligence artificielle et des simulateurs pour les réseaux edge.

## 2 État de l'art

L'intégration de l'edge computing avec l'Internet des objets (Edge-IoT) fait face à de nombreux problèmes et défis liés à la QoS. Pour cela, différentes axes de recherche liées à Edge-IoT ont été étudiées pour couvrir tous les modèles de communication afin de satisfaire les exigences des applications et fournir des services efficaces aux utilisateurs. Cette partie présente l'état de l'art pour deux axes de recherche pour Edge-IoT; service offloading et vehicular edge computing.

### 2.1 Service Offloading

Service offloading fait référence au déplacé certains services à forte intensité de calcul vers les serveurs edge pour traitement. L'allocation de ressources pour cette procédure fait référence à l'allocation de certaines ressources de calcul sur des serveurs edge en fonction des exigences du service. Le déplacement des services vers le edge du réseau facilite le stockage, la prestation de services, la mise en cache du contenu et la gestion de l'IoT, ce qui permet d'améliorer les temps de réponse et les taux de transfert, garantissant ainsi aux utilisateurs le service le plus rapide et le meilleur possible.

Le tableau 1 affiche le résumé des travaux de recherche existants pour le service offloading dans l'environnement edge computing.

<i>Article de recherche</i>	<i>Idee principale</i>	<i>Formulation du problème</i>	<i>Position du edge</i>	<i>Avantages</i>	<i>Limites</i>
Zhang <i>et al.</i> [1]	Task offloading dans un environnement mobile.	Deep Q-learning.	Fixe	Task offloading fiable et optimal.	La complexité n'est pas étudiée.
Wang <i>et al.</i> [2]	Task offloading optimal dans un environnement cloud Adhoc mobile.	Algorithme d'optimisation distribué.	Mobile	Identifier les fournisseurs de ressources malveillants.	Le détail de l'implémentation de la solution est manquant.
Lin <i>et al.</i> [3]	Circa, offloading framework basé sur les appareils mobiles.	Algorithmes d'allocation des tâches.	Mobile	Améliorer le temps d'exécution.	Risque élevé d'échec de la communication.
Saha <i>et al.</i> [4]	Cloud framework pour les appareils mobiles.	Modèle optimal et algorithme 'greedy' pour le provisionnement des tâches.	Mixte	Faible coût.	La solution n'est pas étudiée dans un environnement réel.
Roy <i>et al.</i> [5]	Task allocation framework pour les appareils mobile.	Algorithmes pour task allocation.	Mobile	Efficace à la fois pour l'utilité de l'acheteur et la QoE.	La solution n'est pas étudiée dans un environnement à grande échelle.

Table 1: Résumé des recherches existant sur le service offloading dans le edge computing.

Les algorithmes de service offloading dans la littérature sont basés sur la formulation de modèles exacts pour mesurer le comportement optimal d'une telle solution. Cependant, dans la pratique, les opérateurs de réseau conçoivent toujours des

heuristiques pour traiter les problèmes d'évolutivité dans les réseaux à grande échelle avec d'énormes quantités de données. Actuellement, ces heuristiques sont des solutions quasi-optimales et sont parfois très loin d'être optimales. De plus, les heuristiques ne sont pas utilisées lorsque l'entrée du système change et donne des erreurs fatales lorsqu'une entrée inattendue arrive dans le système.

## 2.2 Vehicular Edge Computing

Les véhicules intelligents sont considérés comme des appareils mobiles équipés de capteurs, ayant la capacité de collecter, de calculer et de communiquer des données. Les informations sont collectées à la fois à partir de capteurs embarqués dans le véhicule et de l'environnement extérieur. Edge computing peut fournir une architecture efficace et évolutive pour les réseaux de véhicules en améliorant le traitement des données et le trafic en temps réel. Nous présentons dans cette partie les solutions existantes pour les réseaux véhiculaires basées sur le edge computing (vehicular edge computing).

Le tableau 2 présente le résumé des travaux existants de vehicular edge computing.

<i>Article de recherche</i>	<i>Idee principale</i>	<i>Formulation du problème</i>	<i>Position du edge</i>	<i>Avantages</i>	<i>Limites</i>
Ning <i>et al.</i> [6]	Modèle de gestion du trafic dans un environnement vehiculaire-edge.	Modèle exact pour le 'off-loading'.	Fixe	Réduire le temps de réponse.	L'impact de la mobilité des véhicules n'est pas étudié.
Moubayed <i>et al.</i> [7]	Placement de service V2X dans un environnement edge-mobile.	Modèle de placement de service V2X optimal.	Fixe	Améliorer le délai et l'utilisation des ressources.	L'impact de la mobilité des véhicules n'est pas étudié.
Shaer <i>et al.</i> [8]	Placement de service V2X dans un environnement edge computing.	Modèle optimal pour le placement des services.	Fixe	Minimiser le délai.	La métrique d'utilisation des ressources n'est pas étudiée.
Tang <i>et al.</i> [9]	Système de conduite autonome en temps réel dans l'environnement edge computing.	Modèle de 'Task offloading'.	Fixe	Utilisation efficace des ressources et consommation d'énergie.	L'utilisation des ressources et les métriques de QoS ne sont pas étudiées.
Hameed <i>et al.</i> [10]	Approche de 'clustering' dynamique dans un environnement 'vehicular edge computing'.	Modèle optimal pour l'utilisation du réseau.	Mobile	Améliorer la qualité de service et la consommation d'énergie.	Un seul modèle de mobilité est utilisé qui représente juste un cas de l'environnement réel.

Table 2: Résumé des recherches existant sur le vehicular edge computing.

Les convergences actuelles entre la technologie edge computing et les réseaux vehiculaire devraient prendre en compte les métriques de sécurité et les réactions en temps réel dans les situations critiques. Par conséquent, malgré les travaux existants dans les communications véhiculaires assistées par le Edge computing, les applications de nouvelle génération telles que la sécurité routière et la conduite autonome nécessitent un déploiement efficace pour atteindre une latence ultra-faible dans les réseaux de véhicules denses.

### 3 Résultats scientifiques obtenus

La procédure d'optimisation du réseau reste une tâche importante qui doit être soigneusement étudiée en raison des évolutions rapides du réseau et des demandes des utilisateurs. Dans cette partie, nous présentons nos différentes solutions pour le service offloading et vehicular edge computing.

#### 3.1 Service Offloading dans Edge Computing

Avec l'évolution rapide des générations de réseaux et les exigences des applications, le service offloading est considéré comme l'une des tâches réseau les plus importantes qui permettent de 'offload' les services gourmands en ressources vers un centre de calcul optimal dans les serveurs edge et le cloud central pour le traitement. Cette tâche complexe nécessite une communication efficace, des stratégies d'optimisation et des technologies de virtualisation pour gérer différents services et fournir une qualité de service efficace aux utilisateurs.

Nous avons proposé des modèles optimaux [11, 12, 13, 14] d'orchestration des tâches, des VNF et des SFC dans le edge de réseau (Optimal Virtual Edge nodes Placement Algorithm (VEnPA), Service Offloading in Virtual Mobile Edge Computing (SO-VMEC), Optimal SFC Placement in IoT-VMec (OSPV)) en tenant compte des contraintes de ressources de calcul.

Pour gérer les réseaux denses, nous avons proposé des algorithmes à grande échelle [11, 12, 13, 14] qui prennent en charge une énorme quantité d'appareils, de données et de demandes d'utilisateurs. Les algorithmes d'intelligence artificielle d'apprentissage par renforcement et d'apprentissage par renforcement profond sont utilisés pour le placement des tâches des utilisateurs et les tranches VNF (Q-learning et Deep Q-learning (DQN)), tandis qu'un algorithme Efficient SFC Placement (ESPV) basé sur le modèle Bin Packing [15] est implémenté pour le placement des SFC dans les serveurs edge virtuel.

Dans ce qui suit, nous présentons nos solutions pour le vehicular edge computing.

#### 3.2 Vehicular Edge Computing

Avec le développement récent des réseaux urbains, les véhicules intelligents sont considérés comme des appareils mobiles équipés de différents capteurs embarqués. De nos jours, les véhicules commencent à avoir la capacité de communiquer entre eux (véhicule à véhicule) et avec l'infrastructure urbaine (véhicule à infrastructure), de collecter des données et d'effectuer des calculs et des traitements dans le véhicule. Aujourd'hui, généralement, les applications de calcul intensif sont exécutées sur le cloud. Cependant, les applications sensibles aux retards peuvent souffrir de la réponse longue durée et peuvent souffrir d'une mauvaise qualité d'expérience.

Les nouvelles générations de réseaux véhiculaires permettent d'utiliser les véhicules comme serveur edge dans le contexte des systèmes vehicular edge computing (VEC) pour le traitement des données, etc. Il permet de fournir des informations à d'autres appareils connectés, y compris les appareils des utilisateurs, d'autres véhicules, etc.

Nous avons proposé des modèles optimaux [16, 17, 18] pour vehicular edge computing, y compris une couverture maximale (MVEC) pour les applications de streaming vidéo en ligne en utilisant des taxis comme des serveurs edge mobiles à l'intérieur de la ville, le offloading optimal des VNF de la conduite autonome (OVEAP) dans les serveurs edge, et le modèle UAV-edge (OFMU) pour la diffusion de video en ligne en utilisant des UAV autonomes comme serveurs edge mobile.

De plus, pour couvrir les fortes exigences des réseaux denses, nous avons proposé des algorithmes à grande échelle [16, 17, 18]. Pour le premier cas d'utilisation, afin de maximiser la couverture des véhicules clients à l'aide du serveur edge mobile (Taxis), nous proposons un algorithme heuristique qui sélectionne uniquement les taxis qui partagent le(s) même(s) segment(s) de chemin avec le véhicule client afin de réduire la complexité de l'algorithme. Pour le deuxième cas d'utilisation, nous proposons un algorithme heuristique pour FMU (AFMU) basé sur le modèle Weighted Set Cover (WSC) pour augmenter la disponibilité du drone pendant le service. Enfin, pour le dernier cas d'utilisation, nous proposons Efficient Edge Autopilot Placement (DVEAP) basé sur l'apprentissage par renforcement profond pour placer efficacement les VNF de conduite autonome dans le serveur edge.

## 4 Listes des publications et des soumissions

### 4.1 Journals

1. **Mohammed Laroui**, Hatem Ibn-Khedher, Moussa Ali Cherif, Hassine MOUNGLA, Hossam Afifi, and Ahmed E Kamel. SO-VMEC: Service offloading in virtual mobile edge computing using deep reinforcement learning. *Wiley Transactions on Emerging Telecommunications Technologies (ETT)*, e4211, 2021. [13]
2. **Mohammed Laroui**, Boubakr Nour, Hassine MOUNGLA, Moussa Ali Cherif, Hossam Afifi, and Mohsen Guizani. Edge and Fog Computing for IoT: A Survey on Current Research Activities & Future Directions. *Elsevier Computer Communications (ComCom)*, 2021. [19]
3. Hatem Ibn-Khedher, **Mohammed Laroui**, Hassine MOUNGLA, Hossam Afifi, and Emad Abd Elrahman. Next Generation Edge Computing Assisted Autonomous Driving Based Artificial Intelligence Algorithms. *IEEE Access*, 2022. [20]

### 4.2 Submitted Journals (Under Review)

1. Hatem Ibn-Khedher, **Mohammed Laroui**, Mohammed Alfaqawi, Ahlam Magnouche, Hassine MOUNGLA, and Hossam Afifi. 6G Edge Support of Internet of Autonomous Vehicles: A Survey. *Wiley Transactions on Emerging Telecommunications Technologies (ETT)*.
2. **Mohammed Laroui**, Hatem Ibn-Khedher, Hassine MOUNGLA, and Hossam Afifi. Service Function Chains Multi Resource Orchestration in Virtual Mobile Edge Computing. *Elsevier Computer Networks (Comnet)*.

### 4.3 Conferences

1. **Mohammed Laroui**, Hassine MOUNGLA, Hossam Afifi, Mohamed Y. Selim, and Ahmed E. Kamal. Intelligent Reflecting Surface Aided Vehicular Edge Computing. In *IEEE Global Communications Conference (Globecom)*, 4-8 December 2022, Rio de Janeiro, Brazil. [21]
2. Adel Mounir Said, **Mohammed Laroui**, Chérifa Boucetta, Hassine MOUNGLA, and Hossam Afifi. Optimal Mobile IRS Deployment with Reinforcement Learning Encoder Decoders. In *IEEE Global Communications Conference (Globecom)*, 4-8 December 2022, Rio de Janeiro, Brazil. [22]
3. Aicha Dridi, **Mohammed Laroui**, Cherifa Boucetta, Hossam Afifi, and Hassine MOUNGLA. Reinforcement Learning Vs ILP Optimization in IoT support of Drone assisted Cellular Networks. In *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, May 2022, Seoul, Republic of Korea. [23]
4. Antoine Bernard, **Mohammed Laroui**, Michel Marot, Sandoche Balakrichenan, Hassine MOUNGLA, Benoit Ampeau, Hossam Afifi, and Monique Becker. Prefetching of mobile devices information - a DNS perspective. In *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, May 2022, Seoul, Republic of Korea. [24]
5. **Mohammed Laroui**, Hatem Ibn-Khedher, Hassine MOUNGLA, and Hossam Afifi. Autonomous UAV Aided Vehicular Edge Computing for Service Offering. In *IEEE Global Communications Conference (Globecom)*, 7-11 December 2021, Madrid, Spain. [17]
6. **Mohammed Laroui**, Hatem Ibn-Khedher, Hassine MOUNGLA, and Hossam Afifi. Artificial Intelligence Approach for Service Function Chains Orchestration at The Network Edge. In *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, (pp.1-6), 14-23 June 2021, Montreal, QC, Canada. [14]
7. Hatem Ibn-Khedher, **Mohammed Laroui**, Mouna Ben Mabrouk, Hassine MOUNGLA, Hossam Afifi, Alberto Nai Oleari, and Ahmed E Kamal. Edge Computing Assisted Autonomous Driving Using Artificial Intelligence. In *IEEE International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, (pp.254-259), 28 June-2 July 2021, Harbin City, China. [18]
8. **Mohammed Laroui**, Hatem Ibn Khedher, Hassine MOUNGLA, Hossam Afifi, and Ahmed E Kamal. Virtual Mobile Edge Computing Based on IoT Devices Resources in Smart Cities. In *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, (pp.1-6), 7-11 June 2020, Dublin, Ireland. [12]

9. **Mohammed Laroui**, Moussa Ali Cherif, Hatem Ibn Khedher, Hassine MOUNGLA, and Hossam Afifi. Scalable and Cost Efficient Resource Allocation Algorithms Using Deep Reinforcement Learning. In *IEEE International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, (pp.946-951), 15-19 June 2020, Limassol, Cyprus. [11]
10. **Mohammed Laroui**, Boubakr Nour, Hassine MOUNGLA, Hossam Afifi, and Moussa Ali Cherif. Mobile Vehicular Edge Computing Architecture using Rideshare Taxis as a Mobile Edge Server. In *IEEE 17th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, (pp.1-2), 10-13 January 2020, Las Vegas, NV, USA. [16]
11. **Mohammed Laroui**, Aicha Dridi, Hossam Afifi, Hassine MOUNGLA, Michel Marot, and Moussa Ali Cherif. Energy Management For Electric Vehicles in Smart Cities: A Deep Learning Approach. In *IEEE International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, (pp.2080-2085), 24-28 June 2019, Tangier, Morocco. [25]
12. **Mohammed Laroui**, Akrem Sellami, Boubakr Nour, Hassine MOUNGLA, Hossam Afifi, Sofiane Boukli Hacene. Driving Path Stability in VANETs. In *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, (pp.1-6), 9-13 December 2018, Abu Dhabi, United Arab Emirates. [26]

## References

- [1] Ke Zhang, Yongxu Zhu, Supeng Leng, Yejun He, Sabita Maharjan, and Yan Zhang. Deep Learning Empowered Task Offloading for Mobile Edge Computing in Urban Informatics. *IEEE Internet of Things Journal*, 2019.
- [2] Zongyao Wang, Xue Feng, Hongbo Zhu, and Changping Liu. Optimal data offloading via an ADMM algorithm in mobile ad hoc cloud with malicious resource providers. *Computer Communications*, 2020.
- [3] Xueling Lin, Jingjie Jiang, Calvin Hong Yi Li, Bo Li, and Baochun Li. Circa: collaborative code offloading among multiple mobile devices. *Wireless Networks*, 26(2):823–841, 2020.
- [4] Sajeeb Saha, Md Ahsan Habib, Tamal Adhikary, Md Abdur Razzaque, Md Mustafizur Rahman, Meteb Altaf, and Mohammad Mehedi Hassan. Quality-of-Experience-Aware Incentive Mechanism for Workers in Mobile Device Cloud. *IEEE Access*, 9:95162–95179, 2021.
- [5] Palash Roy, Sujan Sarker, Md Abdur Razzaque, Md Mamun-or Rashid, Mohmmad Mehedi Hassan, and Giancarlo Fortino. Distributed task allocation in Mobile Device Cloud exploiting federated learning and subjective logic. *Journal of Systems Architecture*, 113:101972, 2021.
- [6] Zhaolong Ning, Jun Huang, and Xiaojie Wang. Vehicular fog computing: Enabling real-time traffic management for smart cities. *IEEE Wireless Communications*, 26(1):87–93, 2019.
- [7] Abdallah Moubayed, Abdallah Shami, Parisa Heidari, Adel Larabi, and Richard Brunner. Edge-enabled V2X service placement for intelligent transportation systems. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2020.
- [8] Ibrahim Shaer, Anwar Haque, and Abdallah Shami. Multi-Component V2X Applications Placement in Edge Computing Environment. In *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 1–6, 2020.
- [9] Jie Tang, Shaoshan Liu, Liangkai Liu, Bo Yu, and Weisong Shi. Lopecs: A low-power edge computing system for real-time autonomous driving services. *IEEE Access*, 8:30467–30479, 2020.
- [10] Ahmad Raza Hameed, Saif ul Islam, Ishfaq Ahmad, and Kashif Munir. Energy-and performance-aware load-balancing in vehicular fog computing. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 30:100454, 2021.
- [11] Mohammed Laroui, Moussa Ali Cherif, Hatem Ibn Khedher, Hassine MOUNGLA, and Hossam Afifi. Scalable and Cost Efficient Resource Allocation Algorithms Using Deep Reinforcement Learning. In *IEEE International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, pages 946–951, 2020.
- [12] Mohammed Laroui, Hatem Ibn Khedher, Hassine MOUNGLA, Hossam Afifi, and Ahmed E Kamal. Virtual Mobile Edge Computing based on IoT devices resources in smart cities. In *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 1–6, 2020.
- [13] Mohammed Laroui, Hatem Ibn-Khedher, Moussa Ali Cherif, Hassine MOUNGLA, Hossam Afifi, and Ahmed E Kamel. SO-VMEC: Service offloading in virtual mobile edge computing using deep reinforcement learning. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, page e4211, 2021.
- [14] Mohammed Laroui, Hatem Ibn-Khedher, Hassine MOUNGLA, and Hossam Afifi. Artificial Intelligence Approach for Service Function Chains Orchestration at The Network Edge. In *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 1–6, 2021.
- [15] Michael R Garey and David S Johnson. Approximation algorithms for bin packing problems: A survey. In *Analysis and design of algorithms in combinatorial optimization*, pages 147–172. Springer, 1981.
- [16] Mohammed Laroui, Boubakr Nour, Hassine MOUNGLA, Hossam Afifi, and Moussa Ali Cherif. Mobile vehicular edge computing architecture using rideshare taxis as a mobile edge server. In *IEEE 17th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, pages 1–2, 2020.
- [17] Mohammed Laroui, Hatem Ibn-Khedher, Hassine MOUNGLA, and Hossam Afifi. Autonomous UAV Aided Vehicular Edge Computing for Service Offering. In *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, pages 1–6, 2021.



- [18] Hatem Ibn-Khedher, Mohammed Laroui, Mouna Ben Mabrouk, Hassine MOUNGLA, Hossam Afifi, Alberto Nai Oleari, and Ahmed E Kamal. Edge Computing Assisted Autonomous Driving Using Artificial Intelligence. In *IEEE International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, pages 254–259, 2021.
- [19] Mohammed Laroui, Boubakr Nour, Hassine MOUNGLA, Moussa A Cherif, Hossam Afifi, and Mohsen Guizani. Edge and fog computing for IoT: A survey on current research activities & future directions. *Computer Communications*, 180:210–231, 2021.
- [20] Hatem Ibn-Khedher, Mohammed Laroui, Hassine MOUNGLA, Hossam Afifi, and Emad Abd-Elrahman. Next-Generation Edge Computing Assisted Autonomous Driving Based Artificial Intelligence Algorithms. *IEEE Access*, 2022.
- [21] Mohammed Laroui, Hassine MOUNGLA, Hossam Afifi, Mohamed Y.Selim, and Ahmed E.Kamel. Intelligent Reflecting Surface Aided Vehicular Edge Computing. In *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, pages 1–6, 2022.
- [22] Adel Mounir Said, Mohammed Laroui, Cherifa Boucetta, Hassine MOUNGLA, and Hossam Afifi. Optimal Mobile IRS Deployment with Reinforcement Learning Encoder Decoders. In *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, pages 1–6, 2022.
- [23] Aicha Dridi, Mohammed Laroui, Chérifa Boucetta, Hossam Afifi, and Hassine MOUNGLA. Reinforcement Learning Vs ILP Optimization in IoT support of Drone assisted Cellular Networks. In *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 4589–4594, 2022.
- [24] Antoine Bernard, Mohammed Laroui, Michel Marot, Sandoche Balakrichenan, Hassine MOUNGLA, Benoit Ampeau, Hossam Afifi, and Monique Becker. Prefetching of mobile devices information-a DNS perspective. In *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 4293–4299, 2022.
- [25] Mohammed Laroui, Aicha Dridi, Hossam Afifi, Hassine MOUNGLA, Michel Marot, and Moussa Ali Cherif. Energy management for electric vehicles in smart cities: a deep learning approach. In *IEEE International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC)*, pages 2080–2085, 2019.
- [26] Mohammed Laroui, Akrem Sellami, Boubakr Nour, Hassine MOUNGLA, Hossam Afifi, and Sofiane B Hacene. Driving path stability in VANETs. In *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, pages 1–6, 2018.