

Lifelong monitoring of the city through connected vehicles : Etat de l'art

BERTRAND Julien, DOUBRE Maxime, and ZHUO Maxime

Univeristé Paul Sabatier, Toulouse 31400, France



1 Introduction

Le but de notre projet est de faire un état de l'art avec le sujet suivant : "Lifelong monitoring of the city through connected vehicles".

Le nombre grandissant de personnes vivant en ville combiné à la facilité d'accès au moyen de transports personnels a entraîné des problématiques inédites à notre époque telle que la congestion de trafic dans des proportions qui auraient été inimaginables il y a quelques décennies.

Les embouteillages entraînent beaucoup de problèmes. En plus de ponctionner une partie du temps de nombreux usagers, ils contribuent à la hausse de la pollution et au réchauffement climatique. Cette étude vise à compiler les différents moyens développés utilisant les *floating car data*, c'est à dire les données issues directement de capteurs installés sur les voitures, et l'**internet of thing** (IoT), c'est à dire les objets connectés, cherchant à diminuer voire supprimer les problèmes de congestion de trafic.

Le but final de toutes ces techniques est de générer une carte en temps réel des villes indiquant en tout lieu le degré de congestion du trafic ainsi que le niveau de pollution afin de déterminer le trajet le plus court et le plus sain pour l'utilisateur.

Nous avons comme point de départ les trois références suivantes à partir desquelles faire nos recherches :

- "Deriving high-resolution urban air pollution maps using mobile sensor nodes"
- "Extended floating-car data for the acquisition of traffic information"
- "Challenges of Drive-By IoT Sensing for Smart Cities: City Scanner Case Study"

2 Description du périmètre de recherche:

Pour trouver nos articles nous avons séparé le sujet en plusieurs parties qui sont:

- Les capteurs de pollution
- L'étude des capteurs
- L'inter-connexion des véhicules
- La gestion embarquée
- La gestion du trafic
- La santé

Les capteurs de pollution sont utiles afin de récupérer les informations précises en ville afin de mieux la monitorer.

L'étude des capteurs permet de mieux choisir le type de capteur pour avoir des capteurs à la fois performants et au meilleur prix.

L'interconnexion des véhicules permet de mieux choisir la manière de communiqué avec les véhicules connectés.

La gestion embarquée permet de choisir comment utiliser le matériel qui sera dans les véhicules connectés.

La gestion du trafic va permettre d'avoir des algorithmes et des systèmes pour gérer le trafic et éviter les embouteillages au maximum.

Et la partie santé pour ce qui est en rapport avec la pollution et la santé des habitants.

Puis à partir des articles donnés par nos encadrant nous avons sélectionné dans les références les articles qui sont reliés à au moins une des parties que nous avons trouvées. Quand un article semblait avoir un rapport avec notre sujet mais qu'il ne rentrait pas dans une des parties, on ajoutait une partie pour l'article en question et pour peut-être de futurs articles en lien avec cette nouvelle partie.

3 Capteurs de pollution

3.1 Sensing the Air We Breathe

Li et al. [1] présentent un set de données sur la pollution de l'air mesuré à Zurich.

Dans une première partie, ils parlent de la pollution puis d'un modèle qui permettrait de trouver le bon ratio entre les impacts environnementaux et la productivité économique. Ils parlent des défis rencontrés pour créer un tel modèle, comme la capture précise des données.

Dans une deuxième partie ils parlent d'abord des modules *OpenSense System* qui ont été déployés pour relever les données. Par la suite ils parlent de la collection de données qui ont été mesurées. Et finissent sur les challenges rencontrés.

3.2 The Rise of Low-Cost Sensing for Managing Air Pollution in Cities

Kumar et al. [2] présentent la gestion des capteurs *low-cost* en montrant les challenges qu'ils amènent pour leur implantation dans les villes. Plus la ville est grande plus il y a de pollution et donc de risques pour la population. L'article aborde les impacts d'une forte exposition à la pollution sur les habitants des villes.

Les stations conventionnelles pour relever des données sur la pollution ne peuvent identifier les points avec des taux élevés de pollution du fait de leur immobilité. Les capteurs *low-cost* sont donc une bonne alternative pour capturer en temps réel des données. La précision des données qu'ils génèrent est cependant discutée ainsi que les facteurs de la montée en puissance de ces capteurs et les défis qu'ils amènent.

3.3 Smart Environment Monitoring System by Employing Wireless Sensor Networks on Vehicles for Pollution Free Smart City

Jamil et al. [3] présentent une nouvelle méthode de collecte de données sur la pollution à travers l'utilisation des transports publics. Des capteurs de pollution sont placés sur les bus ainsi que dans des bâtiments afin de récolter des données sur le taux de pollution à l'intérieur et à l'extérieur.

L'ensemble des capteurs forment un réseau de capteurs. Quelques problématiques hardware sont rencontrées ainsi que des raisons qui poussent au monitoring de la pollution dans une ville. Il aborde aussi précisément la méthode de gestion des données collectées.

3.4 A Secure and Portable Multi-Sensor Module for Distributed Air Pollution Monitoring

Kolumban-Antal et al. [4] présentent un système mobile de surveillance de la pollution atmosphérique urbaine à faible coût. Le système est portable à la main ou peut être embarqué dans une voiture. Il utilise la technologie des *blockchain* afin d'assurer la sécurité des utilisateurs.

Les principaux objectifs du système sont de:

- développer une pile de protocoles abordables pour les périphériques embarqués de milieu de gamme,
- assurer l'authenticité et la non-répudiation des valeurs diffusées par les modules de capteurs,
- assurer la confidentialité du trafic des modules de capteurs pour protéger les utilisateurs contre les écoutes indiscretes,
- assurer la confidentialité des utilisateurs de sorte que le module de capteur de rapport reste anonyme pour le reste du réseau, l'immuabilité, par laquelle les données ne peuvent pas être modifiées plus tard
- la mise en oeuvre de la preuve de concept sur des micro-contrôleurs **advanced risk machine** (ARM) et des serveurs de données.

4 Etudes de capteurs

4.1 Challenges of Drive-By IoT Sensing for Smart Cities : City Scanner Case Study

Les hauts coûts de déploiement et de maintenance des station de capteurs fixes résultent souvent dans une surveillance précise mais géographiquement limitée. On préconise une approche de détection urbaine dans laquelle les véhicules sont utilisés comme capteurs pour scanner la ville avec une résolution spatio-temporelle élevée. On présente *City scanner*, une plate-forme qui se suffit à elle-même et qui permet une détection au volant économique. Les modules *City Scanner* peuvent être déployés sur des véhicules existant sans interférer avec leurs opérations. Ils décrivent le premier prototype qui inclut des modules de détection de la qualité de l'air, la température, l'humidité et l'imagerie thermique. Ensuite ils parlent des défis rencontrés lors d'un déploiement de 8 mois sur des camions poubelles afin d'en déduire les implications pour la conception des futurs systèmes de détection au volant [5].

4.2 Investigating the Use of Portable Air Pollution Sensors to Capture the Spatial Variability of Traffic Related Air Pollution

Deville Cavellin et al. [6] présentent une étude de cas sur des capteurs placés sur l'île de Montréal au Canada pour récolter des données sur la pollution liée au trafic. Deux méthodes sont utilisées, une méthode à dispersion et une autre avec un modèle de régression de l'utilisation des terres.

Dans une première partie ils abordent le matériel utilisé pour l'étude, les lieux dans lesquels ils ont fait les mesures ainsi que les informations liées aux capteurs. Ils parlent par la suite des mesures qui ont été effectuées, puis des conditions dans lesquelles les données ont été relevées. Et finalement une partie d'analyses statistiques afin de tirer de leurs données capturées le meilleur modèle possible avant de parler des résultats de l'étude ainsi que de la validation de ceux-ci.

5 Inter-connexion des véhicules

5.1 Simultaneous Localization and Mapping: A Survey of Current Trends in Autonomous Driving

Bresson et al. [7] présentent une enquête sur la localisation et le *mapping* lié à la conduite autonome. Tout d'abord il présente les limites des approches conventionnelles et discute des critères essentiels pour les applications liées à la conduite autonome.

Ensuite, il y a une révision des méthodes qui permettent de relever les défis précédemment identifiés. Ils se concentrent sur les approches de construction et de réutilisation à long terme des cartes dans diverses conditions dépendant de la météo, des saisons, etc.

Après cela, une partie traite du **Simultaneous Localization And Mapping**(SLAM) multi-véhicules en abordant les différents modèles et solutions existantes.

Ils concluent en reprenant les grandes expériences menées autour de ce sujet et discutent les défis pas encore relevés ainsi que des possibilités dans le futur.

5.2 Cooperative Localization with Reliable Confidence Domains Between Vehicles Sharing GNSS Pseudorange Errors with No Base Station

Lassoued et al. [8] parlent de la coopération entre véhicules pour améliorer leurs localisations. Les auteurs abordent une nouvelle formulation de coopération multi-véhicules. Les véhicules utilisent à la base des données **Global Navigation Satellite System** (GNSS) avant d'utiliser la coopération inter-véhicules. On parle donc de la fusion de toutes ces données. Différents modèles de fusion sont montrés, ainsi que des estimations de résultats. Un algorithme pour gérer tout ça est explicité.

Une partie parle de résultats expérimentaux et enfin une dernière partie fait une comparaison entre 2 méthodes décrites précédemment afin de déduire la méthode la plus efficace pour déterminer la position des véhicules. Quelques évolutions à amener dans le futur sont évoqués à la fin.

5.3 Augmenting Vehicle Localization by Cooperative Sensing of the Driving Environment : Insight on Data association in Urban Traffic Scenarios

Le positionnement précis des véhicules est une clé pour le développement des systèmes coopératifs de transport. Ils présentent un processus pour améliorer la performance de la navigation par satellites.

Ils proposent une méthode de position coopérative où les véhicules détectent les caractéristiques passives de l'environnement avec des capteurs *onboard*. De nombreux standards de communication inter-véhicules comme le **Vehicule-to-anything** (V2X) ou le **Vehicule-to-vehicule** (V2V) ainsi que des protocoles sont abordés. L'algorithme **Implicit Cooperative Positioning with Data Association** (ICP-DA) est décrit après avoir évoqué les différents standards. Pour terminer il y a une partie sur l'analyse des performances entre les différents standards qui nous met en lumière ceux qui sont les plus précis dans la détermination des positions des véhicules et pourquoi [9].

5.4 A Real-Time Adaptive Signal Control in a Connected Vehicle Environment

Feng et al. [10] partent du principe qu'avec des véhicules connectés ont à une meilleure représentation de l'état du trafic. L'algorithme en temps réel implémenté utilise les données des véhicules connectés.

Les auteurs traitent un problème d'optimisation multi-niveau. Avec les données récoltées à partir de peu de véhicule connecté il est possible d'estimer les états des véhicules non connectés. Ils ont effectué des tests sur de vraies intersections pour valider les algorithmes développés. En général c'est une meilleure méthode comparée à une méthode utilisant des capteurs fixés sur des infrastructures. Pour les pourcentages de véhicules connectés (25/50/75/100%) même si cela se rapproche des méthodes actuelles cette méthode sera moins coûteuse, car même avec quelques pannes le système continuera à être fiable alors qu'avec des capteurs fixes il y a une grosse perte de précision.

5.5 Cooperative Method of Traffic Signal Optimization and Speed Control of Connected Vehicles at Isolated Intersections

Xu et al. [11] parlent d'une simulation sur VISSIM (un logiciel de simulation de trafic) en utilisant des véhicules connectés. A partir de communications **vehicle to infrastructure** (V2I) et V2V, les contrôleurs de feux de circulation peuvent acquérir en temps réel les positions et les informations de mouvement des véhicules qui approchent, ce qui peut être utilisé pour un contrôle plus efficace des feux de circulation.

Ils développent une méthode de coopération pour l'optimisation de la synchronisation des feux de circulation et du véhicule, en considérant deux objectifs : l'efficacité des transports et la consommation de carburant des véhicules.

Voici les limites de la simulation présentée : c'est une simulation avec 100% véhicule connecté, c'est un modèle d'optimisation de trafic en type *force brute* donc à améliorer, le carrefour choisi est restrictif donc à assouplir et il faut étendre à plusieurs intersection et les coordonnées.

6 Gestion embarquée

6.1 CarTel : A distributed Mobile Sensor Computing System

CarTel est un système embarqué consacré à la collecte et à l'émission de mesures relatives à des grandes quantités de données hétérogènes. La solution proposée s'appuie sur les services sans fil opportunistes. Il est équipé d'un processeur de requête continue tolérant au délai, **Intermittently Connected Embedded Database**(ICEDB), d'une pile réseau Cafnet et d'une mémoire flash pour stocker les données des zones sans réseau. Il est tout à fait utilisable pour la surveillance environnementale et la gestion de trafic, mais aussi la surveillance de l'état des routes, diagnostic automobile, géoimagerie et transport de données. Le système est divisé en 3 composants: le portail, ICEDB qui gère les priorités sur les données à envoyer et Cafnet qui a deux modes de connections directe ou indirecte. CarTel gère aussi les mises à jour et ils présentent également des exemples de code de gestion de senseur [12].

6.2 Dissemination and Harvesting of Urban Data Using Vehicular Platforms

Lee et al. [13] présentent MobEyes un *middleware* de surveillance urbaine pro-active conçu pour avertir la police de danger d'origine criminelle. Les capteurs mobiles génèrent beaucoup de données et certaines d'entre elles restent intéressantes. MobEyes envoie périodiquement des résumés des données stockées. Le programme de récolte peut ainsi générer un index de faible coût. Puis un collecteur d'information mobile vient étudier ces index et sélectionner les véhicules pertinents à ses besoins.

7 Gestion du trafic

7.1 Artificial Intelligence Enabled IoT : Traffic Congestion Reduction in Smart Cities

L'exode rurale entraîne une augmentation des embouteillages et donc de la pollution. Cet article cherche à modéliser et analyser avec des véhicules autonomes si un trafic va bientôt être congestionné et essaie de trouver des stratégies de changement d'itinéraire afin de minimiser les embouteillages. Les véhicules ne communiquent pas entre eux mais avec des capteurs répartis sur la ville qui permettent de récolter les informations. Elles sont ensuite analysées et une IA avec un algorithme va pouvoir générer des nouveaux itinéraires qui seront envoyés aux véhicules pour éviter le plus d'embouteillages possible [14].

7.2 Urban Traffic Congestion Estimation and Prediction Based on Floating Car Trajectory Data

Kong et al. [15] traitent des problèmes de congestion récurrente du trafic. Il présente un système embarqué destiné à prédire l'état de la circulation. Les chercheurs partent du postulat que les taxis sont de bonnes références car ils roulent toute la journée dans des zones souvent congestionnées. Les objectifs sont la précision, l'instantanéité et la stabilité. Le premier système utilisait deux modules qui prédisent le nombre de voiture dans une rue et leur vitesse moyenne. Le principal ajout est un module basé sur l'algorithme PSO (*Particle Swarm Optimization*) qui va dynamiquement gérer les paramètres des deux autres modules. Des capteurs récupèrent les données de vitesse et de volume des véhicules équipés de capteurs. En utilisant les fonctions d'appartenance trapézoïdale et théorie des ensembles flous et les paramètres on obtient un vecteur de probabilité de l'état de la route.

7.3 Floating Car Data Augmentation Based on Infrastructure Sensors and Neural Networks

Naranjo et al. [16] présentent un système d'augmentation de données flottantes. Il combine les données des capteurs fixent et mobile pour générer des informations virtuels pertinentes. Leur problématique de départ était que les panneaux routiers à messages variables sont efficaces mais il faut savoir quoi afficher dessus. Ce système diminue le nombre de véhicules flottants minimum nécessaire pour obtenir des données et ainsi afficher un message pertinent sur les panneaux. Il fallait d'abord récolter des données puis les traiter avec un réseau de neurones pour en tirer un modèle virtuel.

7.4 Intelligent Traffic Light Control Using Distributed Multi-Agent Q Learning

Liu et al. [17] parlent du développement d'un système de transport intelligent pour améliorer l'efficacité du système routier d'une ville intelligente. Plus précisément, divers capteurs tels que des caméras de surveillance qui fournissent en temps réel des informations pour le système de contrôle intelligent des feux de circulation. Cela permet donc d'observer l'état du trafic motorisé et non motorisé. Les résultats de la simulation montrent que la proposition de solution surpasse les solutions existantes en termes de longueur de la file d'attente des piétons et des véhicules. Mais aussi par rapport au temps d'attente aux intersections et de nombreux autres indicateurs de performance clés.

7.5 Nericell : Rich Monitoring of Road and Traffic Conditions Using Mobile Smartphones

Nericell est un système de gestion de trafic sur smartphone. Il est capable de détecter les nid-de-poule, les bosses, les ralentissements et les klaxons. Il répond

à une problématique énergétique en effet un smartphone est plus économe et pratique que l'installation de capteurs spécifique. Il est applicable à tout types de véhicules, qu'il soit moderne ou non. L'article se concentre sur l'utilisation de composant du téléphone comme détecteur mais indique qu'il y a d'autres papiers sur les autres parties du systèmes. Il se concentre sur l'utilisation de l'accéléromètre, GPS et microphone. Le système activé par l'accéléromètre car c'est le capteur le moins énergivore. Une partie est dédiée à la reconnaissance de la situation de trafic et notamment la situation de trafic dit chaotique [18].

7.6 A prototype IOT Based Wireless Sensor Network for Traffic Information Monitoring

Huang et al. [19] présentent un système basé sur des capteurs sans fil, avec juste des accéléromètres sans fil pour gérer le volume du trafic et classifier les véhicules. Ils effectuent des tests en laboratoire, sur un terrain et en simulations numériques afin de valider la précision du système. Les simulations numériques ont permis de valider la possibilité d'implémenter le système de capteur sans fil, même si il faudrait faire plus de tests sur les équipements avec des conditions de terrains et des scénarios plus varier.

8 Santé

8.1 The Rise of Internet of Things (IoT) in Big Healthcare Data : Review and Open Research Issues

Alansari et al. [20] parlent de la montée de l'IoT et de voir dans quel domaine de santé il faudrait se focaliser, notamment selon trois grands critères: la prospérité économique, la qualité de vie et la protection de l'environnement. L'IoT permet d'améliorer beaucoup de chose dans le domaine de la santé, comme des services intelligents pour les patients atteint de maladies chroniques ce qui réduirait le nombre d'interventions physiques nécessaires et donc pourrait réduire le trafic hospitalier ainsi que le temps passé à l'hôpital.

9 Conclusion

En conclusion les technologies permettant la gestion embarquée sont déjà présentes mais n'ont été à l'heure actuelle tester qu'à petite échelle et sur un court laps de temps. Il faut maintenant les tester à plus grande échelle et sur une durée plus longue comme sur une région pendant un an par exemple. Il est certain qu'avec un certain seuil de voitures équipées de cette technologie le taux de congestion des routes sera significativement diminué et ainsi tout le monde gagnera du temps sur les routes et la pollution dans les villes diminuera. Une amélioration des conditions de vie dans les villes sera visible. Il y a à l'heure actuelle une augmentation du nombre de capteurs embarqués déployés et plus il y en aura plus il y aura de données collectées qui permettront sur le long terme d'améliorer les conditions de vie dans les villes.

References

1. Li, Jason Jingshi and Faltings, Boi and Saukh, Olga and Hasenfratz, David and Beutel, Jan. : Sensing the Air We Breathe — The OpenSense Zurich Dataset. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, vol. 26 (2012).
2. Kumar, Prashant and Morawska, Lidia and Martani, Claudio and Biskos, George and Neophytou, Marina and Di Sabatino, Silvana and Bell, Margaret and Norford, Leslie and Britter, Rex. : The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities. *Environment International*, vol. 75, pp. 199–205 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.019>
3. Jamil, Muhammad Saqib and Jamil, Muhammad Atif and Mazhar, Anam and Ikram, Ahsan and Ahmed, Abdullah and Munawar, Usman. : Smart Environment Monitoring System by Employing Wireless Sensor Networks on Vehicles for Pollution Free Smart Citie. *Procedia Engineering*, vol. 107, pp. 480–484 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.106>
4. Kolumban-Antal, Gyorgy and Lasak, Vladko and Bogdan, Razvan and Groza, Bogdan. : A Secure and Portable Multi-Sensor Module for Distributed Air Pollution Monitoring. *Sensors*, vol. 20 (2020). <https://doi.org/10.3390/s20020403>
5. Anjomshoaa, Amin and Mora, Simone and Schmitt, Philip and Ratti, Carlo. : Challenges of Drive-By IoT Sensing for Smart Cities: City Scanner Case Study. Proceedings of the 2018 ACM International Joint Conference and 2018 International Symposium on Pervasive and Ubiquitous Computing and Wearable Computers, pp. 1112–1120 (2018). <https://doi.org/10.1145/3267305.3274167>
6. Deville Cavellin, Laure and Weichenthal, Scott and Tack, Ryan and Ragetti, Martina S. and Smargiassi, Audrey and Hatzopoulou, Marianne. : Investigating the Use Of Portable Air Pollution Sensors to Capture the Spatial Variability Of Traffic-Related Air Pollution. *Environmental Science & Technology*, vol. 50, pp. 313–320 (2016). <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04235>
7. Bresson, G. and Alsayed, Z. and Yu, L. and Glaser, S. : Simultaneous Localization and Mapping: A Survey of Current Trends in Autonomous Driving, *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, vol. 2, pp. 194–220 (2017). <https://doi.org/10.1109/TIV.2017.2749181>
8. lassoued, K. and Bonnifait, P. and Fantoni, I. : Cooperative Localization with Reliable Confidence Domains Between Vehicles Sharing GNSS Pseudoranges Errors with No Base Station. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, vol. 9, pp. 22–34 (2017). <https://doi.org/10.1109/MITS.2016.2630586>
9. Brambilla, M. and Nicoli, M. and Soatti, G. and Deflorio, F. : Augmenting Vehicle Localization by Cooperative Sensing of the Driving Environment: Insight on Data Association in Urban Traffic Scenarios. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 21, pp. 1646–1663 (2020). <https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2941435>
10. Yiheng Feng and K. Larry Head and Shayan Khoshmagham and Mehdi Zamanipour. : A real-time adaptive signal control in a connected vehicle environment. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 55, pp. 460–473 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.01.007>
11. B. Xu and X. J. Ban and Y. Bian and W. Li and J. Wang and S. E. Li and K. Li. : Cooperative Method of Traffic Signal Optimization and Speed Control of Connected Vehicles at Isolated Intersections. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 20, pp. 1390–1403 (2019). <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2849029>

12. Hull, Bret and Bychkovsky, Vladimir and Zhang, Yang and Chen, Kevin and Goraczko, Michel and Miu, Allen and Shih, Eugene and Balakrishnan, Hari and Madden, Samuel. : CarTel: A Distributed Mobile Sensor Computing System. Proceedings of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, publisher : ACM, pp. 125–138 (2006). <https://doi.org/10.1145/1182807.1182821>
13. Lee, U. and Magistretti, E. and Gerla, M. and Bellavista, P. and Corradi, A. : Dissemination and Harvesting of Urban Data Using Vehicular Sensing Platforms. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 25, pp. 882–901 (2009). <https://doi.org/10.1109/TVT.2008.928899>
14. S. Soomro and M. H. Miraz and A. Prasanth and M. Abdullah. : Artificial intelligence enabled IoT: Traffic congestion reduction in smart cities. Smart Cities Symposium 2018, pp. 1–6 (2018). <https://doi.org/10.1049/cp.2018.1381>
15. Kong, Xiangjie and Xu, Zhenzhen and Shen, Guojian and Wang, Jinzhong and Yang, Qiuyuan and Zhang, Benshi. : Urban traffic congestion estimation and prediction based on floating car trajectory data. Future Generation Computer Systems, vol. 61, pp. 97–107 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.future.2015.11.013>
16. Naranjo, J. E. and Jiménez, F. and Serradilla, F. J. and Zato, J. G. : Floating Car Data Augmentation Based on Infrastructure Sensors and Neural Networks. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 13, pp. 107–114 (2012). <https://doi.org/10.1109/TITS.2011.2180377>
17. Liu, Y. and Liu, L. and Chen, W. : Intelligent traffic light control using distributed multi-agent Q learning. 2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp. 1–8(2017). <https://doi.org/10.1109/ITSC.2017.8317730>
18. Mohan, Prashanth and Padmanabhan, Venkata N. and Ramjee, Ramachandran. : Nericell: rich monitoring of road and traffic conditions using mobile smartphones. Proceedings of the 6th ACM conference on Embedded network sensor systems, pp. 323–336 (2008). <https://doi.org/10.1145/1460412.1460444>
19. Yucheng Huang and Linbing Wang and Yue Hou and Wei Zhang and Yinning Zhang. : A prototype IOT based wireless sensor network for traffic information monitoring. International Journal of Pavement Research and Technology, vol. 11, pp. 146–152 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.07.005>
20. Alansari, Zainab and Soomro, Safeullah and Belgaum, Mohammad Riyaz and Shamshirband, Shahaboddin. : The Rise of Internet of Things (IoT) in Big Healthcare Data: Review and Open Research Issues. Progress in Advanced Computing and Intelligent Engineering, pp. 675–685 (2018). https://doi.org/10.1007/978-981-10-6875-1_66