

Дахмані Мохамед

Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ У РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

*На основі проведеного аналізу темпів росту загальної транспортних засобів показана необхідність впровадження систем прогнозування та контролю дорожнього руху у режимі реального часу. Запропоновано побудувати сенсорну мережу на основі магнітних датчиків, що дозволяє з високою точністю провести його геолокацію з уточненням отриманих даних шляхом застосування ультразвукових датчиків та засобів оптичного моніторингу.*

**Ключові слова:** автоматичне регулювання автотрафіку, регульоване перехрестя, сенсорна мережа, Інтернет речей, геолокація, ідентифікація, самоорганізація кластерів.

### Вступ

Збільшення рівня життя, що протягом останніх десятиріч спостерігається у розвинених та розвиткових країнах, призвів до того, що на сьогоднішній день темпи росту загальної кількості транспортних засобів значно перевищують темпи розширення і оптимізації міської інфраструктури, що відповідає збільшенню потенційно небезпечних ситуацій на дорозі. Відповідно, можна зазначити, що такі фактори як затори, аварії та відсутність місць для паркування призводять до суттєвих економічних і екологічних проблем, а також нестабільності у протіканні соціальних процесів [1, 2].

Сучасним підходом, що пропонується використати при вирішенні зазначеної проблеми є застосування інформаційних технологій. Узагальнена схема при цьому базується на машинному аналізі даних сенсорних мереж та камер спостереження, об'єднаних у рамках глобальної системи Інтернету речей (IoT: Internet of Things), з метою прогнозування дорожнього руху у режимі реального часу на основі відповідної математичної моделі автотрафіку [3-5]. У рамках концепції «Розумного міста» зазначена модель та вхідний потік даних IoT може бути ефективно використано у системах автоматичного регулювання та при наданні водіям актуальної інформації про стан дорожнього руху і його прогнозовані зміни у межах певного часового інтервалу на рівні мобільних додатків, а також при підготовці методологічних рекомендацій у галузі оптимізації міської транспортної інфраструктури та при налагодженні міської логістики.

Проведений аналіз сучасних досліджень у галузі машинного аналізу даних сенсорних мереж та

камер спостереження з метою прогнозування дорожнього руху вказав на актуальні математичні моделі, а також програмні та нейромережеві алгоритми, що використовуються у даній галузі [3-5]. При цьому, зокрема, вказується на ефективність побудови глобальної архітектури міської системи керування дорожнім рухом на основі мережі IoT [6-8]. Узагальнена схема базується на підключенні систем регулювання автотрафіку до актуальної інформації через сенсорні вузли, що передають відповідні масиви даних на хмарні сервіси IoT. Ключовим питанням реалізації протоколу самоорганізації розглянутої системи є вибір топології мережі, що дозволяє зменшити кількість інформаційних вузлів та, відповідно, побудувати модель, що працює у режимі реального часу за умов обмеження обчислювального ресурсу і неповного набору вхідних даних. При цьому математичний апарат базується на визначенні авторегресійного інтегрального ковзного середнього значення, що дозволяє провести апроксимацію транспортного потоку на основі лінійних функцій [9, 10], а для включення у математичну модель нелінійних аспектів можуть бути додані метод опорних векторів [11], і байєсівський аналіз [12], методики, що базуються на визначенні опорно-векторної регресії [13].

Додатково слід зазначити, що для впровадження просторово-часового кореляційного аналізу застосовуються нейромережеві алгоритми. Типовим вибором нейромережевої архітектури у даному випадку є моделі згорткової нейромережі [14-20], на основі яких просторові ознаки вхідного масиву фото- та відеоданих сенсорних вузлів підсистеми моніторингу можуть бути виділені з мінімальним навантаженням на обчислювальний

ресурс системи та у режимі реального часу згідно поставленого завдання дослідження.

Проблемою зазначеного підходу, що зазначається дослідниками є наявність навантаження між різними вузлами сенсорної, ретрансляційної та інформаційної мереж при реалізації масштабних проектів у рамках концепції «Розумного міста», що розглядається як **невирішена частина загального дослідження**. Таким чином, **метою дослідження** є розробка методів проектування оптимальної архітектури загальної системи керування дорожнім рухом, що включає у себе аналіз взаємодії датчиків сенсорної мережі, ретрансляційних вузлів передачі даних, інформаційних вузлів мережі IoT, підсистеми машинного аналізу та прогнозування стану автотрафіку, підстанцій автоматичного керування дорожнього руху інформаційних вузлів мобільних пристроїв окремих водіїв, що приймають участь у транспортному потоці міста. Задача дослідження при цьому включає у себе розробку методологічних рекомендацій по побудові протоколу самоорганізації загальної системи, алгоритмів передачі і обробки даних моніторингу та оцінку продуктивності виконання окремих завдань.

### Виклад основного матеріалу

#### 1. Принципи організації архітектури автоматизованого керування дорожнім рухом

Як було показано вище, узагальнена схема організації автоматизованого керування дорожнім рухом у рамках концепції «Розумного міста» включає у себе наступні набори вузлів:

- сенсорні вузли регульованого перехрестя та місць для паркування міської інфраструктури, що характеризуються відповідно принципу роботи (магнітні сенсори, ультразвукові сенсори, оптичні сенсори та системи відеоспостереження, тощо) та обмеженнями (діапазон роботи, чутливість до завад, температурних і електромагнітних коливань, тощо), зокрема, можуть розглядатись гібридні сенсори з широким функціоналом;
- ретрансляційні вузли, що передають дані сенсорної мережі на інформаційні вузли IoT і характеризуються протоколом передачі даних, робочим діапазоном частот, кількістю вузлів, складністю архітектури, тощо;
- інформаційні вузлів мережі IoT, на яких зберігаються дані сенсорної мережі;
- вузли підсистеми машинного аналізу, на основі яких обробляються дані сенсорної мережі з метою прогнозування та формування рекомендацій;
- вузли керування дорожнього руху через світлофори на перехрестях доріг, режим роботи яких базується на основі даних підсистеми машинного аналізу;

- вузли мобільних пристроїв водіїв на які надходять дані прогнозування та рекомендації підсистеми машинного аналізу.

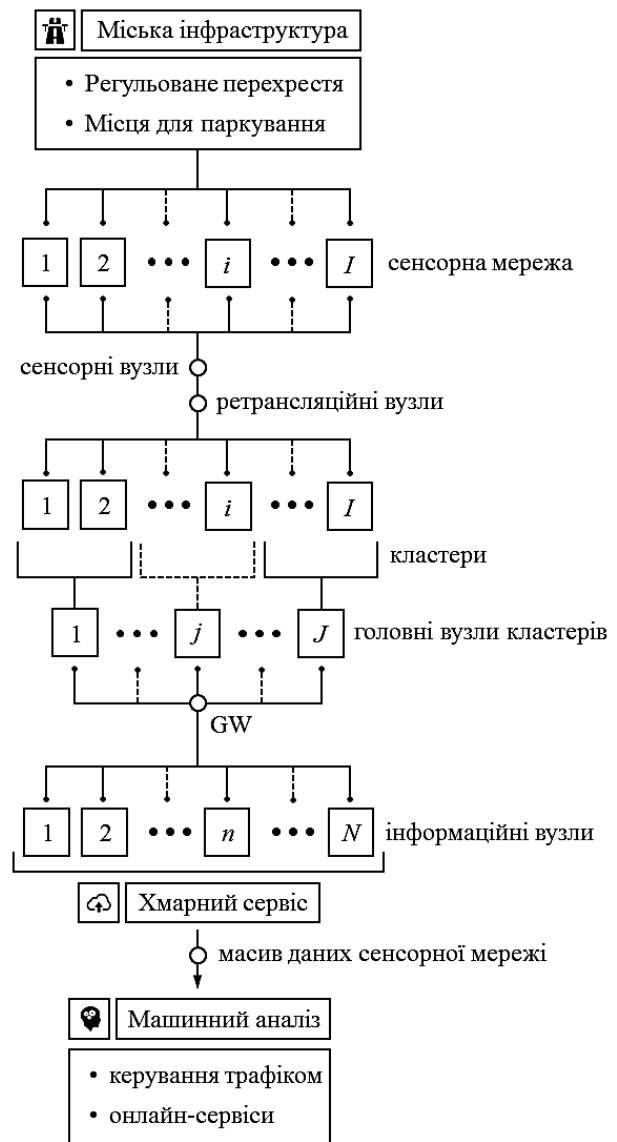


Рис. 1. Базова схема передачі і машинного аналізу даних сенсорної мережі

Таким чином, машинний аналіз, що здійснюється підсистемою машинного аналізу на основі інформації о щільності транспортного руху та загальної кількості автомобілів на дорогах, перехрестях доріг та місцях для паркування. Застосування гібридних датчиків дозволяє розширити функціонал загальної системи, шляхом визначення через актуальні способи автоматичної ідентифікації окремих автомобілів наявність потенційних правопорушень, формування графіку заповнення платних місць для паркування та включення у мережевий сервіс подібних послуг.

У рамках даного дослідження пропонується розглянути комплексну архітектуру

автоматизованого керування дорожнім рухом, що надалі може бути спрощена та конкретизована відповідно поставленої задачі (рис. 1). Так сенсорна мережа включає у себе різні типи датчиків, але базується на магнітних датчиках, зважаючи на склад функціональних компонент типового транспортного засобу, що дозволяє з високою точністю провести його геолокацію. При цьому ідентифікація конкретного транспортного засобу за відбувається шляхом зчитування мітки радіочастотної ідентифікації (RFID: Radio Frequency Identification). У той же час задача оптимальної організації системи ретрансляторів є більш складною, у даному випадку має бути визначені особливості міської інфраструктури відповідно рівня перешкод і статистичні показники транспортних потоків міста відповідно максимального об'єму даних, що мають бути передані у режимі реального часу [21]. При цьому розглядається багаторівнева система зв'язку, протоколи якої визначаються у залежності від відстані між вузлами мережі, необхідності проводити захист даних, що передаються, вимог до швидкості передачі даних, вимог до мінімальної амплітуди радіосигналу, обмежень на енергопостачання вузла, загальну собівартість, тощо [22]. При цьому топологія мережі ретрансляторів включає у себе набір передавачів сенсорних вузлів, єдина функція яких полягає у передачі даних до найближчого вузла шлюзу (GW: Gateway). При стандартній багаторівневій топології для того щоб не відбувалось дублювання даних сенсорної мережі та перевантаження ліній зв'язку, топології передавачів сенсорних вузлів групуються у кластери, посеред яких обирається головний вузол кластера (CH: Cluster Head) від якого передаються дані на GW-вузол, у той час як набір GW-вузлів передають дані на базову станцію (BS: Base Station). На основі зазначеної моделі можна представити схему побудови алгоритмів самоорганізації системи шляхом формування кластерів у режимі реального часу відповідно топології дерева кластерів, де відповідний протокол включає у себе послідовне виконання наступних етапів:

- процедура збору позицій окремих вузлів і формування оптимальних за формою та розміром кластерів;
- вибір для кожного кластера CH-вузла;
- збір та передача даних на GW-вузол для спрощення підсистеми передачі даних і зменшення часу їх обробки.

## 2. Побудова алгоритмів кластеризації передавачів сенсорної мережі

Початковий етап багаторівневої кластеризації вузлів сенсорної мережі включає у себе пошук найближчих до BS вузлів та їх локалізацію через

обмін даними. Після цього відповідного даного набору вузлів як першого рівня відбувається поділ сенсорної мережі на кластери відповідно кутового значення  $\gamma_j$  для кожного вузла відповідно  $j$ -го CH (рис. 2).

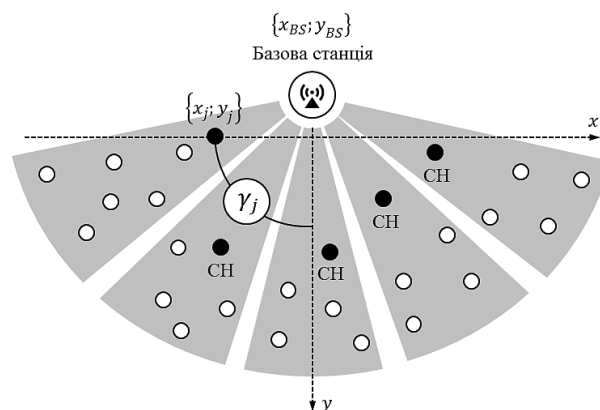


Рис. 2. Базова схема кластеризації вузлів сенсорної мережі відповідно їх положення по відношенню до базової станції за  $\{x_j; y_j\}$  і  $\{\gamma_j\}$

Таким чином поділ першого рівня мережі на  $J$  кластерів  $\{CL_j\}$  відповідно ідентифікатору вузла, рівня розташування та ідентифікатору кластера як областей здійснюється через обчислення наступного рівняння:

$$CL_j \in [(j-1) \cdot (\gamma_{max} - \gamma_{min})/J, j \cdot (\gamma_{max} - \gamma_{min})/J] \quad (1)$$

де  $j \in [1; J]$ , а значення  $\gamma_{min}$  і  $\gamma_{max}$  оцінюються відповідно актуального набору значень  $\{\gamma_j\}$  для координат  $\{x_j; y_j\}$  вузла і  $\{x_{BS}; y_{BS}\}$  базової станції:

$$\gamma_j = \begin{cases} \arctg \left( \frac{y_j - y_{BS}}{x_j - x_{BS}} \right) & \text{при } x_j > x_{BS} \\ \frac{\pi}{2} + \arctg \left| \frac{y_j - y_{BS}}{x_j - x_{BS}} \right| & \text{при } x_j < x_{BS} \end{cases}$$

Якщо розглянути багаторівневу схему кластеризації на рівні BS має бути обрано вузол для кожного кластері найдавший від інших вузлів з передачею даних ідентифікації, що включають у себе ідентифікатор вузла (NI: Node-ID), рівня (LI: Level-ID), кластеру (CI: Cluster-ID) і вузла ретранслятору (RI: Relay-ID). При організації наступних рівнів кластеризації  $l \in [2; L]$  зазначені вузли ретрансляторів відіграватимуть, відповідно, роль BS через виконання рекурсивного алгоритму. На кожному рівні кластеризації дані вузлів кластерів, тим не менш, передаються на BS з метою організації загальної структури оптимальним чином відповідно мінімізації енергоспоживання, часу передачі даних і

навантаження на інформаційні канали. Після формування кластерів визначаються вузли, що можуть бути обрані як СН для кожного з кластерів. Через передачу даних геолокації розраховуються дані про взаємну відстань між вузлами і кількістю сусідніх вузлів. Це дозволяє визначити ваговий коефіцієнт  $W_j$  для кожного кандидата на роль СН відповідно набору значень відстані до сусідніх вузлів кластера  $\{d_i^j\}$  та значенню залишкової енергії вузла сенсорної мережі  $E_R$ , що розраховується шляхом підсумовування енергоживлення під час роботи вузла:

$$W_j = E_R \cdot \sum_{i=1}^{I_j} \left( \frac{1}{(d_i^j)^2} \right). \quad (2)$$

У межах кожного окремого кластеру вузли, що відповідно порогового значення  $T_j(s)$  розглядаються як кандидати у СН на кожному етапі  $s$  (порогове значення визначається заздалегідь відповідно потреби зменшити рівень енергопостачання вузлами мережі). Окремі кластери  $j \in [1; J]$  на певних етапах  $s \in [1; S]$  можуть не приймати участь у виборі СН, якщо кандидатів відповідно  $T_j(s)$  менше двох.

Після формування кластерів та вибору СН запускається процедура передачі даних на BS відповідно протоколу часового поділу фізичного каналу радіозв'язку (TDMA: Time Division Multiple Access), тобто зв'язок ініціюється між вузлами кожного кластера та відповідним СН у визначених часових інтервалах. СН агрегують зібрані дані та передають їх на проміжний вузол СН вищого рівня, що наділі отримуються вузлом BS. Це дозволяє реалізувати передачу даних сенсорної мережі у режимі багатоскачкової ретрансляції (MhC: Multihop Communication) під час передачі міжкластерних даних на BS з урахуванням залишкової енергії та відстані між кластерами, вузлами кластерів (зокрема, СН) і BS. При цьому на першому рівні кластеризації зв'язок між СН та BS здійснюється як передачі вузел-вузел, тобто у режимі односкачкової ретрансляції (ShC: Single-Hop Communication).

Таким чином реалізована багаторівнева схема передачі даних, у рамках якої процес вибору оптимальних маршрутів між СН різних рівнів та BS відповідно цільових показників часу передачі даних та витрат енергії на основі алгоритмів самоорганізації. Схема може бути розширена відповідно параметрів сенсорної мережі, кількості вузлів, об'єму даних, що мають бути передані для подальшого машинного аналізу.

## Висновки

У результаті проведеної роботи було визначено підходи по організації систем прогнозування та контролю дорожнього руху у режимі реального часу відповідно визначення вірогідності потенційно небезпечних ситуацій на дорозі. Запропоновано побудувати сенсорну мережу на основі магнітних датчиків, з визначенням особливостей міської інфраструктури і статистичних показників транспортних потоків, вимог до швидкості передачі даних, а також обмежень на електропостачання окремого вузла. Представлена багаторівнева топологія мережі ретрансляторів включає себе самоорганізацію сенсорних вузлів у кластери і багатоскачкову передачу від головних вузлів до базової станції.

При цьому у рамках даного дослідження було:

- представлено базову схему передачі масивів даних і машинного аналізу даних сенсорної мережі;
- розроблено базову схему кластеризації вузлів сенсорної мережі відповідно їх положення по відношенню до базової станції за координатами геолокації та взаємним розташуванням;
- побудовано схему формування алгоритмів самоорганізації сенсорних вузлів у кластери з визначенням головних вузлів кластеру;

Показано, що розроблена у рамках даного дослідження багаторівнева схема передачі даних може бути розширена відповідно задачі дослідження, наявних вимог до системи автоматичного контролю та обмежень на функціонал апаратно-програмного комплексу.

## Література

1. Ma J. Cost efficiency for Economical Mobile Data Traffic Management from users' perspective/ Ma J., Song L., Li Y.// *IEEE Transactions on Wireless Communications* – 2017. – 16 (1) – Сю 362–375. <https://doi.org/10.1109/twc.2016.2623615>.
2. Lamghari Elidrissi H. Knapsack problem-based control approach for Traffic Signal Management at urban intersections: Increasing smooth traffic flows and reducing environmental impact / Lamghari Elidrissi H., Nait-Sidi-Moh A., Tajer A.// *Ecological Complexity*, 44. – 2020. – 100878. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2020.100878>.
3. Andreeva-Mori A. Impact of departure time prediction errors on optimal traffic flow management/ Andreeva-Mori A., Onji M.// *ATC/ATM Simulation and Analysis, AIAA*. – 2022. – С. 2022-3834 <https://doi.org/10.2514/6.2022-3834>.vid.
4. Liu H. Prediction model of traffic flow driven based on single data in Smart Traffic Systems// *Smart Cities: Big Data Prediction Methods and Applications*. – 2020. – С. 159–194. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-2837-8\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-15-2837-8_6).
5. Olayode I. O. Comparative traffic flow prediction of a heuristic Ann Model and a hybrid ANN-PSO model in the traffic flow modeling of vehicles at a four-way signalized road intersection/ Olayode I. O., Tartibu L. K., Okwu M. O., Severino A.// *Sustainability*. – 2021. – 13 (19). – С. 10704. <https://doi.org/10.3390/su131910704>.

6. Zitouni R., Petit J., Djoudi A., George L. IOT-based urban traffic-light control: Modelling, Prototyping and evaluation of MQTT protocol. 2019 International Conference on Internet of Things (IThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData). 2019. <https://doi.org/10.1109/ithings/greencom/cpscom/smartdata.2019.00051>.
7. Petit J., Zitouni R., George L. Prototyping of urban traffic-light control in IOT. 2018 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2). <https://doi.org/10.1109/isc2.2018.8656717>.
8. Dhar P., Gupta P. Intelligent Parking Cloud Services based on IOT using MQTT protocol. 2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT). <https://doi.org/10.1109/icacdot.2016.7877546>.
9. Rani P. Improved traffic prediction by applying KNN and euclidean distance Arima (KE-Arima) approach/International Journal of Computer Applications. – 2018. -- 182(3). – C. 23–29. <https://doi.org/10.5120/ijca2018917488>.
10. Karlaftis M. G. Statistical methods versus neural networks in transportation research: Differences, similarities and some insights/ Karlaftis M. G., Vlahogianni E. I.// Transportation Research Part C: Emerging Technologies. –2011. – 19(3). – C. 387–399. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2010.10.004>.
11. Song H., Min O. Statistical Traffic Generation Methods for urban traffic simulation. 2018 20th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). <https://doi.org/10.23919/icact.2018.8323712>.
12. Westgate B. S. Travel time estimation for ambulances using Bayesian Data Augmentation / Westgate B. S., Woodard D. B., Matteson D. S., Henderson S. G.// The Annals of Applied Statistics. – 2013. – 7(2). <https://doi.org/10.1214/13-aos626>.
13. Yan H., Yu D.-J. Short-term traffic condition prediction of urban road network based on improved SVM. 2017 International Smart Cities Conference (ISC2). <https://doi.org/10.1109/isc2.2017.8090856>.
14. Ranjan N., Bhandari S., Zhao H. P., Kim H., Khan P. City-wide traffic congestion prediction based on CNN, LSTM and transpose CNN / Ranjan N., Bhandari S., Zhao H. P., Kim H., Khan P.// IEEE Access. – 2020. – 8. – C. 81606–81620. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2991462>.
15. Narmadha S., Vijayakumar V. Spatio-temporal vehicle traffic flow prediction using multivariate CNN and LSTM model. Materials Today: Proceedings – 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.249>.
16. Zhao Z. CNN-LSTM based traffic prediction using spatial-temporal features/ Zhao Z., Li Z., Li F., Liu Y. // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – 2037 (1). – C. 012065. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2037/1/012065>.
17. Iwasaki Y., Takehara H., Miyata T., Kuramoto T., Kitajima T., Setoguchi M. Automatic measurement of road traffic volumes and vehicle trajectories using an object detection algorithm Yolo. Proceedings of The 6th Virtual Multidisciplinary Conference. – 2018. <https://doi.org/10.18638/quaesti.2018.6.1.387>.
18. Asmara R. A., Syahputro B., Supriyanto D., Handayani A. N. Prediction of traffic density using YOLO object detection and implemented in Raspberry pi 3b + and Intel NCS 2. 2020 4th International Conference on Vocational Education and Training (ICOVET). – 2020. <https://doi.org/10.1109/icovet50258.2020.9230145>.
19. Zhu J. Mme-Yolo: Multi-sensor multi-level enhanced YOLO for robust vehicle detection in traffic surveillance/ Zhu J., Li X., Jin P., Xu Q., Sun Z., Song X.// Sensors. – 2020. – 21(1). – C. 27. <https://doi.org/10.3390/s21010027>.
20. Wan F. RFID based Intelligent Traffic Information Acquisition System/ Wan F., Li M.// International Journal of RF Technologies. – 2020. – 11(1). – C. 45–58. <https://doi.org/10.3233/rft-190191>.
21. Triantafyllou A. Network protocols, schemes, and mechanisms for internet of things (IOT): Features, open challenges, and Trends/ Triantafyllou A., Sarigiannidis P., Lagkas T. D.// Wireless Communications and Mobile Computing. – 2018. – C. 1–24. <https://doi.org/10.1155/2018/5349894>.
22. Farman H. Grid-based hybrid network deployment approach for Energy Efficient Wireless Sensor Networks/ Farman H., Javed H., Ahmad J., Jan B., Zeeshan M.// Journal of Sensors. – 2016. – C. 1–14. <https://doi.org/10.1155/2016/2326917>

## References

1. Ma, J., Song, L., & Li, Y. (2017). Cost efficiency for Economical Mobile Data Traffic Management from users' perspective. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 16 (1), 362–375. <https://doi.org/10.1109/twc.2016.2623615>.
2. Lamghari Elidrissi, H., Nait-Sidi-Moh, A., & Tajer, A. (2020). Knapsack problem-based control approach for Traffic Signal Management at urban intersections: Increasing smooth traffic flows and reducing environmental impact. *Ecological Complexity*, 44, 100878. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2020.100878>.
3. Andreeva-Mori A., & Onji M. (2022) Impact of departure time prediction errors on optimal traffic flow management. *ATC/ATM Simulation and Analysis, AIAA 2022-3834* <https://doi.org/10.2514/6.2022-3834.vid>.
4. Liu, H. (2020). Prediction model of traffic flow driven based on single data in Smart Traffic Systems. *Smart Cities: Big Data Prediction Methods and Applications*, 159–194. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-2837-8\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-15-2837-8_6).
5. Olayode, I. O., Tartibu, L. K., Okwu, M. O., & Severino, A. (2021). Comparative traffic flow prediction of a heuristic Ann Model and a hybrid ANN-PSO model in the traffic flow modeling of vehicles at a four-way signalized road intersection. *Sustainability*, 13 (19), 10704. <https://doi.org/10.3390/su131910704>.
6. Zitouni, R., Petit, J., Djoudi, A., & George, L. (2019). IOT-based urban traffic-light control: Modelling, Prototyping and evaluation of MQTT protocol. 2019 International Conference on Internet of Things (IThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData). <https://doi.org/10.1109/ithings/greencom/cpscom/smartdata.2019.00051>.
7. Petit, J., Zitouni, R., & George, L. (2018). Prototyping of urban traffic-light control in IOT. 2018 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2). <https://doi.org/10.1109/isc2.2018.8656717>.
8. Dhar, P., & Gupta, P. (2016). Intelligent Parking Cloud Services based on IOT using MQTT protocol. 2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT). <https://doi.org/10.1109/icacdot.2016.7877546>.
9. Rani, P. (2018). Improved traffic prediction by applying KNN and euclidean distance Arima (KE-Arima) approach. *International Journal of Computer Applications*, 182(3), 23–29. <https://doi.org/10.5120/ijca2018917488>.
10. Karlaftis, M. G., & Vlahogianni, E. I. (2011). Statistical methods versus neural networks in transportation research: Differences, similarities and some insights. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(3), 387–399. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2010.10.004>.

11. Song, H., & Min, O. (2018). Statistical Traffic Generation Methods for urban traffic simulation. *2018 20th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*. <https://doi.org/10.23919/icact.2018.8323712>.
12. Westgate, B. S., Woodard, D. B., Matteson, D. S., & Henderson, S. G. (2013). Travel time estimation for ambulances using Bayesian Data Augmentation. *The Annals of Applied Statistics*, 7(2). <https://doi.org/10.1214/13-aos626>.
13. Yan, H., & Yu, D.-J. (2017). Short-term traffic condition prediction of urban road network based on improved SVM. *2017 International Smart Cities Conference (ISC2)*. <https://doi.org/10.1109/isc2.2017.8090856>.
14. Ranjan, N., Bhandari, S., Zhao, H. P., Kim, H., & Khan, P. (2020). City-wide traffic congestion prediction based on CNN, LSTM and transpose CNN. *IEEE Access*, 8, 81606–81620. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2991462>.
15. Narmadha, S., & Vijayakumar, V. (2021). Spatio-temporal vehicle traffic flow prediction using multivariate CNN and LSTM model. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.249>.
16. Zhao, Z., Li, Z., Li, F., & Liu, Y. (2021). CNN-LSTM based traffic prediction using spatial-temporal features. *Journal of Physics: Conference Series*, 2037(1), 012065. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2037/1/012065>.
17. Iwasaki, Y., Takehara, H., Miyata, T., Kuramoto, T., Kitajima, T., & Setoguchi, M. (2018). Automatic measurement of road traffic volumes and vehicle trajectories using an object detection algorithm Yolo. *Proceedings of The 6th Virtual Multidisciplinary Conference*. <https://doi.org/10.18638/quaesti.2018.6.1.387>.
18. Asmara, R. A., Syahputro, B., Supriyanto, D., & Handayani, A. N. (2020). Prediction of traffic density using YOLO object detection and implemented in Raspberry pi 3b + and Intel NCS 2. *2020 4th International Conference on Vocational Education and Training (ICOVET)*. <https://doi.org/10.1109/icovet50258.2020.9230145>.
19. Zhu, J., Li, X., Jin, P., Xu, Q., Sun, Z., & Song, X. (2020). Mm-Yolo: Multi-sensor multi-level enhanced YOLO for robust vehicle detection in traffic surveillance. *Sensors*, 21(1), 27. <https://doi.org/10.3390/s21010027>.
20. Wan, F., & Li, M. (2020). RFID based Intelligent Traffic Information Acquisition System. *International Journal of RF Technologies*, 11(1), 45–58. <https://doi.org/10.3233/rft-190191>.
21. Triantafyllou, A., Sarigiannidis, P., & Lagkas, T. D. (2018). Network protocols, schemes, and mechanisms for internet of things (IOT): Features, open challenges, and Trends. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018, 1–24. <https://doi.org/10.1155/2018/5349894>.
22. Farman, H., Javed, H., Ahmad, J., Jan, B., & Zeeshan, M. (2016). Grid-based hybrid network deployment approach for Energy Efficient Wireless Sensor Networks. *Journal of Sensors*, 2016, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2016/2326917>.

**Рецензент:** д.т.н., професор, завідувач кафедри автомобільного транспорту С.І. Криштопа, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.

**Автор:** ДАХМАНІ Мохамед

аспірант кафедри міського господарства факультету урбаністики та просторового планування

Київський національний університет будівництва і архітектури

E-mail – aspirants3221@gmail.com

## AUTOMATED REAL-TIME TRAFFIC FORECASTING SYSTEM

Dahmani Mohamed

Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine

*Based on the analysis of the vehicles total number growth rates, which exceed the rates of expansion and optimization of the transport infrastructure, the need for the introduction of real-time traffic forecasting and control systems is shown. The factors that make it possible to detect the probability of potentially dangerous situations on the road, such as traffic jams, accidents and lack of parking spaces, respectively, in certain urban areas, based on the data of sensor networks and surveillance cameras combined within the global system of the Internet of Things, have been determined. It is proposed to build a sensor network based on magnetic sensors, which allows for high-precision geolocation with refinement of the received data by using ultrasonic sensors and optical monitoring tools, while identification is carried out by reading RFID tags. It is shown that the task of optimal organization of the relay system includes the determination of the features of the city infrastructure and statistical indicators of the city's traffic flows, and for a multi-level communication system, protocols are determined depending on the distance between nodes, requirements for the level of data protection, data transmission speed, minimum radio signal amplitude, as well as restrictions on the power supply of a separate node. The presented topology of the relay network includes the organization of sensor nodes into clusters, transmission from the main node of the cluster to the gateway node, and from the gateway nodes to the base station. On the basis of the specified model, a scheme for building cluster self-organization algorithms can be presented by forming clusters in real time according to the topology of the cluster tree, which allows simplifying the data transfer subsystem and reducing the time of processing input data. The developed scheme for analyzing the traffic flow at the intersection and the availability of parking spaces can be used in the development of methodological recommendations for the implementation of the "Smart City" concept and the creation of software applications that provide drivers with information about the state of traffic and predicted changes within a certain time interval.*

**Keywords:** automatic regulation of auto-traffic, controlled intersection, sensor network, Internet of Things, geolocation, identification, self-organization of clusters.