

УДК 004.932

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-116-125

Інна Стеценко, Олександр Стельмах

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ДОРОЖНЬОГО РУХУ
ЗА ДАНИМИ ВІДЕОРЕЯДУ**

Актуальність теми дослідження. Затори на дорогах є величезною проблемою для всіх учасників дорожнього руху і причиною їх є зростаюча інтенсивність руху та незадовільна якість систем управління транспортним рухом. Системи, що управляють транспортними потоками та приймають рішення про зміну параметрів управління, мають отримувати достовірні та актуальні дані про інтенсивність трафіку. Тому одним із найважливіших завдань є збір та обробка даних про показники руху транспортних засобів.

Постановка проблеми. Усереднені за добу (чи навіть за рік) значення інтенсивності руху транспортних засобів можуть забезпечити якісні оцінки параметрів управління для усереднених значень, але не для фактичних, особливо в умовах великих коливань інтенсивності трафіку протягом доби. Для ефективного управління транспортними потоками важливо мати достатньо точну інформацію про стан дорожнього руху (його інтенсивність та завантаженість) на момент прийняття рішення. У цьому дослідженні поставлено завдання розробити технологію визначення інтенсивності дорожнього руху за послідовними значеннями показника завантаженості, що знаходяться в результаті обробки зображень відеореяду смуги дорожнього руху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Були розглянуті наукові публікації, в яких висвітлюються наявні методи визначення інтенсивності дорожнього руху, та зроблено висновок, що ці методи не є достатньо точними для використання їх у сучасних умовах і тому суттєво обмежують розвиток інформаційних систем управління транспортним рухом.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз відеореяду зображень не використовувався раніше для автоматизованого визначення інтенсивності дорожнього руху.

Постановка завдання. Метою цього дослідження є підвищення точності визначення інтенсивності транспортного руху на основі аналізу даних відеопотоку в режимі реального часу за рахунок автоматизованої обробки даних відеореяду, отриманих з камери відеоспостереження смуги дорожнього руху.

Виклад основного матеріалу. Представлений метод визначення показника завантаженості TLCR за даними, отриманими в результаті обробки кадру відеореяду з використанням нейромережі U-Net. Послідовність упорядкованих у часі значень показника завантаженості перетворюється в послідовність показників інтенсивності транспортного руху на основі формули, яка отримана в результаті дослідження. Наведено експериментальне дослідження, яке доводить високу точність визначення показників дорожнього руху. Послідовність обробки та перетворень даних складають нову технологію визначення інтенсивності дорожнього руху.

Висновки відповідно до статті. У цьому дослідженні розроблена технологія визначення інтенсивності дорожнього руху за даними відеореяду, що надходять із відеокамери спостереження, що забезпечує набагато вищу точність оцінки інтенсивності руху транспортних засобів на ділянці дорожнього руху, ніж існуючі.

Ключові слова: аналіз зображень; інтенсивність транспортного руху; показник завантаженості транспортного руху; TLCR.

Рис.: 6. Бібл.: 15.

Актуальність теми дослідження. Затори на дорогах є величезною проблемою для всіх учасників дорожнього руху і причиною їх є зростаюча інтенсивність руху, низька пропускна спроможність транспортних шляхів та, водночас, незадовільна якість систем управління транспортним рухом. Інтенсивність руху є найважливішим фактором, що впливає на безпеку дорожнього руху. Його значення використовується при плануванні і проведенні дорожньо-будівельних робіт на автомобільних дорогах, розробці планів і заходів із розвитку дорожньої мережі, визначенні обсягу інвестицій у дорожню галузь [1]. Системи, що управляють транспортними потоками та приймають рішення про зміну параметрів управління, мають отримувати достовірні та актуальні дані про інтенсивність трафіку. Тому одним із найважливіших завдань є збір даних, оскільки від правильності визначення показників дорожнього руху залежить якість роботи системи загалом.

Постановка проблеми. Посібник з проектування доріг вказує на 10 %-ий темп зростання інтенсивності руху для всіх національних автомобільних доріг щорічно [2]. Відповідність цього значення фактичному значенню темпу зростання може бути оцінена лише за умови, що аналіз темпу зростання виконується на основі фактичних даних про трафік, оскільки зростання інтенсивності трафіку не є рівномірним на різних ділянках транспортного руху. Тому вимога своєчасних даних про трафік та їх належний аналіз для досягнення достовірних характеристик руху транспортного потоку є необхідною. Усереднені

за добу (чи навіть за рік) значення інтенсивності руху транспортних засобів можуть забезпечити якісні оцінки параметрів управління для усереднених значень, але не для фактичних, особливо в умовах великих коливань інтенсивності трафіку протягом доби. Для ефективного управління транспортними потоками важливо мати достатньо точну інформацію про стан дорожнього руху (його інтенсивність та завантаженість) на момент прийняття рішення. Сучасний технічний прогрес у галузі комп'ютерного зору та розгалужена мережа камер відеоспостереження, які вже здійснюють зйомку дорожнього руху у великих містах, створюють умови для вирішення проблеми неточних даних про інтенсивність дорожнього руху. У цьому дослідженні поставлено завдання розробити технологію визначення інтенсивності дорожнього руху за послідовними значеннями показника завантаженості, що знаходяться в результаті обробки зображень відеоряду смуги дорожнього руху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існують різні методи визначення інтенсивності руху на автомобільних дорогах. До них належать контактні-механічні, магнітно-індуктивні, візуальні, комбіновані методи та ін. В Україні для визначення інтенсивності транспортного потоку використовується візуальний облік [3]. Після визначення годинної інтенсивності руху, за допомогою поправкових коефіцієнтів визначають середньорічну добову інтенсивність руху.

Для того щоб ефективно управляти ситуацією на дорозі, системам управління необхідно отримувати актуальні дані за невеликі проміжки часу. Такий показник, як середньорічна добова інтенсивність руху, не дає можливості оцінити ситуацію на дорозі в конкретний момент часу, тому що розподіл кількості транспортних засобів на ділянці транспортного руху не є рівномірним протягом доби.

У роботі [4] автори для визначення інтенсивності використовують дані GPS. Інформація надходить у режимі реального часу та представлена як послідовність пар значень фізичної координати та порядкового номера транспортного засобу. Для більш точного визначення запропоновано спосіб побудови актуальних оцінок транспортних потоків за даними з GPS, що складається з двох етапів: проектування даних на граф вулично-дорожньої мережі з урахуванням обмежень, що накладаються поступальним та маршрутним рухом транспортного засобу, та розрахунок швидкості потоку, середнього часу проходження транспортного засобу через сегмент мережі (величина, зворотна до швидкості потоку), щільності потоку та величини потоку по отриманих оцінках розташування. Недоліком такого методу є неточність визначення координат через похибки навігаційних систем. У результаті отримані дані можуть не збігатися з розташуванням транспортного засобу в реальності та призвести до неправильного визначення інтенсивності загалом.

У роботі [5] для обліку транспортних засобів запропоновано повноцінний прилад «Відеодетектор ІНФОПРО». Прилад фіксує різноманітні характеристики дорожнього руху, серед яких середня швидкість руху автомобілів, інтенсивність руху, інтервал між автомобілями. На рис. 1 наведено приклад роботи системи, наданий офіційним сайтом виробника приладу. Заявлена можливість збору інформації одночасно з 8 поліс дороги. У комплекті із самим приладом йде програмне забезпечення з графічним інтерфейсом, а також пульт для налаштування віртуальних сенсорів. Програмне забезпечення дозволяє будувати графіки та звіти за зібраними даними. Алгоритми визначення та статистичні дані точності алгоритму розробник не надає. Недоліком системи є висока вартість та необхідність встановлення приладу в місцях дослідження на спеціально відведену висоту, замість використання камер.

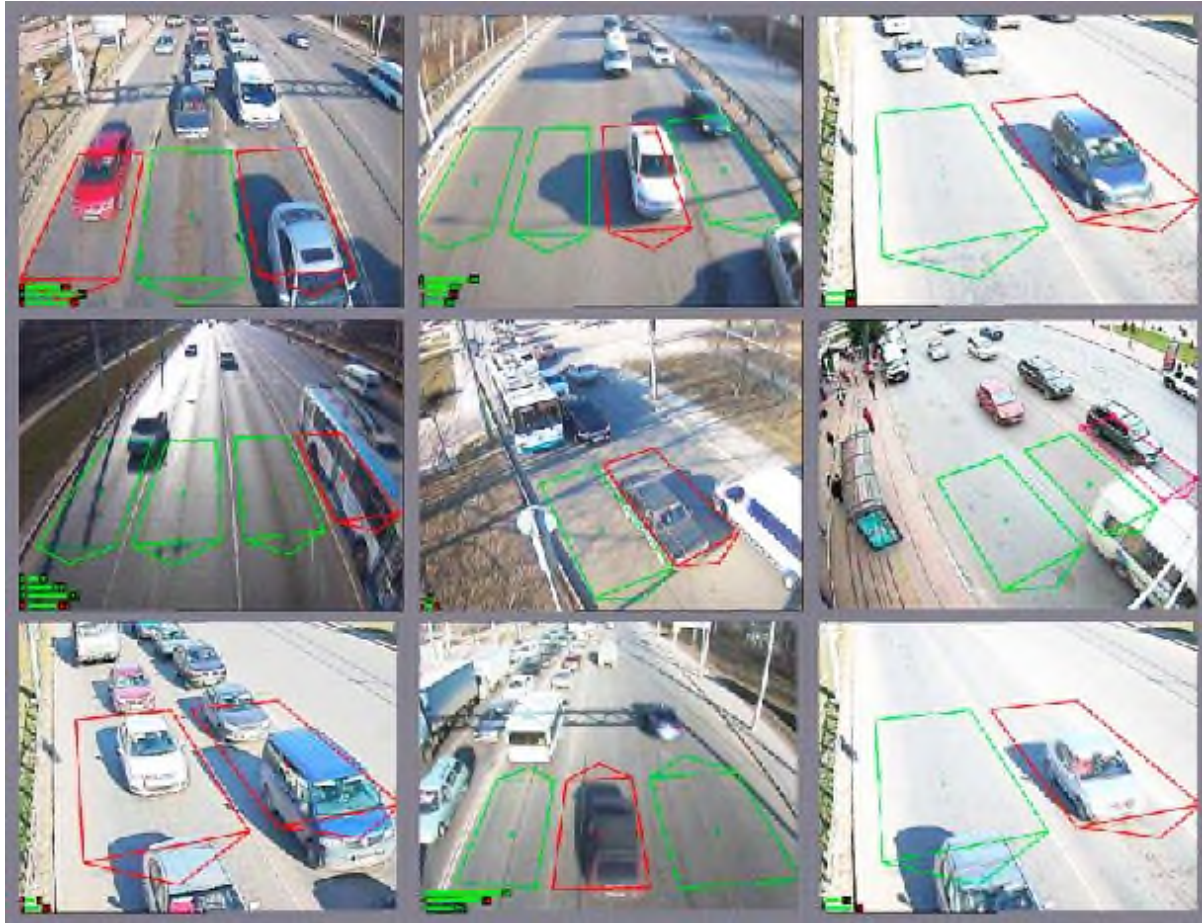


Рис. 1. Приклад роботи системи «ІНФОПРО»

Джерело: [11].

У роботі [6] автори пропонують використовувати візуальний облік, а вже потім, спираючись на фактичні значення інтенсивності, застосовувати математичну модель у вигляді функціональної залежності, що враховує місяць, день тижня, час доби, а також святковий день чи ні. Для оцінки адекватності запропонованого методу автори використали F-критерій Фішера. Недоліком є необхідність повторного проведення візуального обліку через невеликий проміжок часу, тому що кількість транспортних засобів на дорогах постійно зростає і дані, які отримані раніше, вже будуть не актуальними. Також не враховуються екстрені ситуації, наприклад, аварія чи несправність світлофору.

У роботі [7] для визначення автомобілів за отриманими зображеннями із супутника спостереження Землі «Radarsat-2» використовують зворотний розбір – фізичне явище, при якому світло від спалаху відштовхується назад в об'єкти, викликаючи яскраві плями між спалахом та основним предметом [8]. Автори стверджують, що такий метод дозволяє правильно виявляти до 90 % транспортних засобів, що дає можливість використовувати його для моніторингу трафіку. Такий спосіб має суттєвий недолік, а саме, транспортний засіб, розміри якого менші, ніж розширення зображення, важко виявляти.

У роботі [9] використовують зображення з відеокамер для визначення кількості та швидкості транспортних засобів. Об'єкти, що розпізнані за допомогою сегментації зображення класифікуються в такі групи: мотоцикл, легковий автомобіль, вантажний автомобіль, великоваговий транспортний засіб (heavy vehicle) та невідома група. Сегментовані зображення порівнюються, враховуючи положення автомобілів, кожний збіг визначає один транспортний засіб. Сегментація зображень виконується за допомогою методу, заснованому на нейронній архітектурі [10].

Отже, наявні методи визначення інтенсивності транспортного руху не є достатньо точними для використання їх у сучасних умовах і суттєво обмежують розвиток інформаційних систем управління транспортним рухом.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз відеоряду зображень не використовувався раніше для автоматизованого визначення інтенсивності дорожнього руху. Для його використання потрібно вирішити проблему вибору області смуги руху, розробити алгоритми визначення інтенсивності та показника завантаженості із сегментованих кадрів, які були отримані за допомогою нейромережі U-Net.

Постановка завдання. Метою цього дослідження є підвищення точності визначення інтенсивності транспортного руху на основі аналізу даних відеопотоку в режимі реального часу за рахунок автоматизованої обробки даних відеоряду, отриманих із камери відеоспостереження смуги дорожнього руху визначає поточне значення інтенсивності руху транспортних засобів на цій смузі. Основу нової технології становлять алгоритм обробки зображень з метою виявлення наявності транспортних засобів у визначеній ділянці дорожнього руху, метод визначення показника завантаженості смуги дорожнього руху TLCR та метод визначення інтенсивності за послідовними значеннями показника завантаженості смуги дорожнього руху.

Виклад основного матеріалу. Для реалізації технології визначення інтенсивності використовувались такі пристрої: камера відеоспостереження, комп'ютер.

Процес визначення інтенсивності транспортного руху за відеорядом складається з таких етапів:

- 1) збір даних із камери відеоспостереження;
- 2) перетворення відео в послідовний набір зображень;
- 3) сегментація зображень для виділення транспортних засобів;
- 4) розподіл транспортних засобів по смугах дорожнього руху;
- 5) визначення показника завантаженості TLCR для окремої смуги руху на кожному зображенні;
- 6) визначення інтенсивності з показників завантаженості;
- 7) визначення загального показника завантаженості;
- 8) запис показників у базу даних;

Програмне забезпечення складається з таких модулів:

- 1) модуль збору даних;
- 2) модуль обробки зображень (сегментація);
- 3) модуль визначення показника завантаженості;
- 4) модуль визначення інтенсивності;

При розробці програмного забезпечення використовувались такі інструменти: мова програмування python, база даних sqlite, та бібліотеки tensorflow, opencv, numpy, pyside.

Для дослідження збір даних із відеокамер було проведено за допомогою сайту videorobki.ua. Для обробки зображень реалізовано нейромережу U-Net. Нейромережа вирішує задачу сегментації, що дозволяє виділити пікселі, які мають спільні візуальні характеристики [12]. Зазвичай такі нейромережі використовують для обробки біомедичних зображень, оскільки для навчання не потрібна велика кількість даних [13]. Результат обробки зображення смуги дорожнього руху нейромережею показано на рис. 2.

Для визначення інтенсивності транспортного руху необхідно спочатку знайти коефіцієнт завантаженості смуги транспортного руху (TLCR), що визначається за формулою (1) [12]:

$$TLCR = \frac{\sum_{i \in A} V_i}{|A|}, \quad (1)$$

де i – індекс пікселя області A ; $|A|$ – кількість пікселів області A ; V_i – значення i -ого пікселя.

При визначенні показника завантаженості важливо правильно виділити область, що відповідає смузі руху. Автомобілі, що проїжджають по сусіднім смугам дорожнього руху, залежно від геометричних властивостей та ракурсу камери можуть бути зараховані як автомобілі, що рухаються по досліджуваній області. Ракурс камери не завжди дозволяє використовувати прямокутник як область A , що відповідає частині смуги руху з формули (1). Було вирішено вдосконалити алгоритм, використовуючи будь-який чотирикутник замість прямокутника. Приклад зображено на рис. 3.

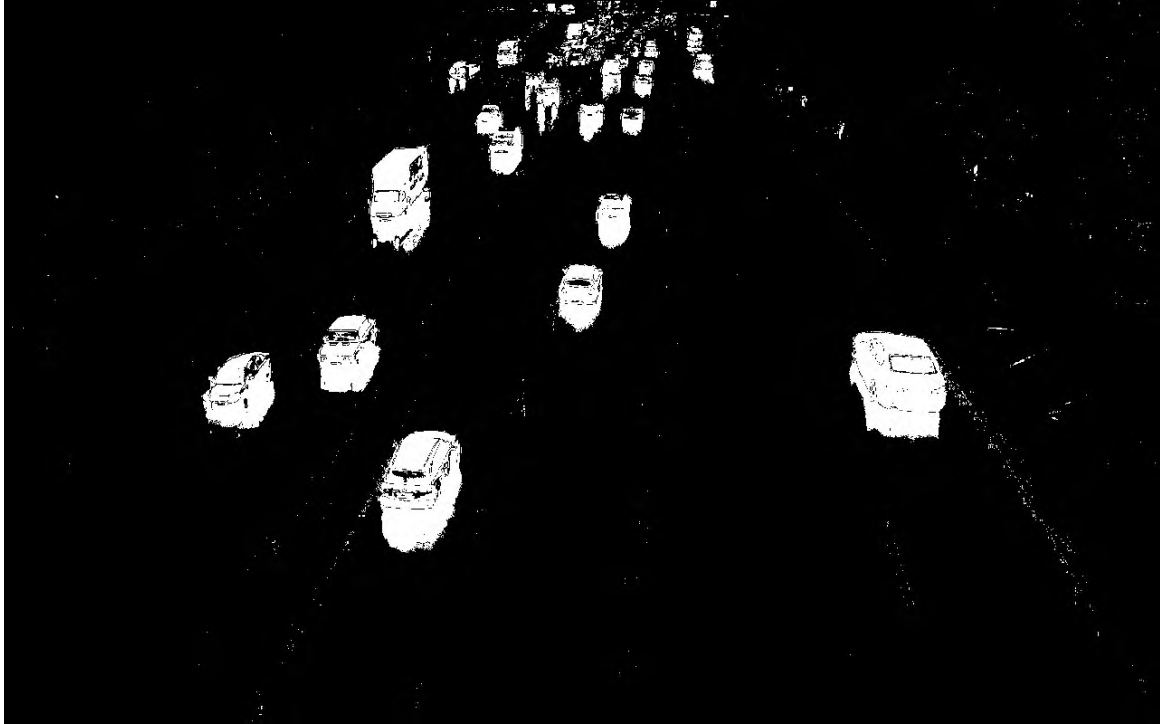


Рис. 2. Результат обробки зображення смуги дорожнього руху мережі U-NET



Рис. 3. Область, виділена для визначення показника завантаженості смуги дорожнього руху

Для визначення кількості та суми значень пікселів у виділеній області смуги руху, використовується такий алгоритм:

– На першому кроці створюється зображення такого ж розміру, як і оригінальне, та розміщуємо на ньому фігуру, що відповідає досліджуваній області смуги дорожнього руху.

– На другому кроці наближено визначається прямокутник I навколо фігури за допомогою функції `boundingRect` бібліотеки `opencv` [14] та з використанням нейромережі вирізається з обробленого зображення другий прямокутник 2 .

– На наступному кроці застосовується операція кон'юнкція для прямокутників 1 та 2 , результатом якої є прямокутник 3 (рис. 4).

– Кількість пікселів в обраній області визначається на четвертому кроці кількістю ненульових пікселів у прямокутнику 1 .

– На останньому кроці знаходиться сума значень пікселів у прямокутнику 3 за допомогою функції `sumElems`.



Рис. 4. Результат операції логічного «І»

При оцінці безпеки дорожнього руху та в системах управління транспортним рухом часто використовують максимальне (пікове) або середньорічне значення інтенсивності. При цьому значення інтенсивності руху та показника завантаженості TLCR нерівномірне протягом доби, що й показано на рис. 5. Дослідження проводилось в місті Києві на перехресті вулиць Юрія Ілленка та Олени Теліги.

Для визначення інтенсивності використовуються коливання значень показника завантаженості TLCR. Транспортний засіб зараховується, якщо значення TLCR, що визначене з поточного кадру більше, ніж порогове значення, а також значення TLCR з попереднього кадру менше, ніж порогове. Для правильного визначення інтенсивності важливо щоб в досліджуваній області було не більше одного транспортного засобу. В іншому разі коливання значень TLCR при щільному потоці автомобілів не буде зафіксовано. Також важливо, щоб досліджувана область не була занадто мала, тому що асиметричність частин транспортного засобу може привести до хибних коливань показника завантаженості. Інтенсивність транспортного руху визначається за формулою:

$$I(A) = \sum_{i=2}^n \begin{cases} 1, & \text{if } a_i > k, a_{i-1} \leq k \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

де a – масив значень коефіцієнта завантаженості смуги руху (TLCR), поділених на максимально можливе значення 255, k – порогове значення.

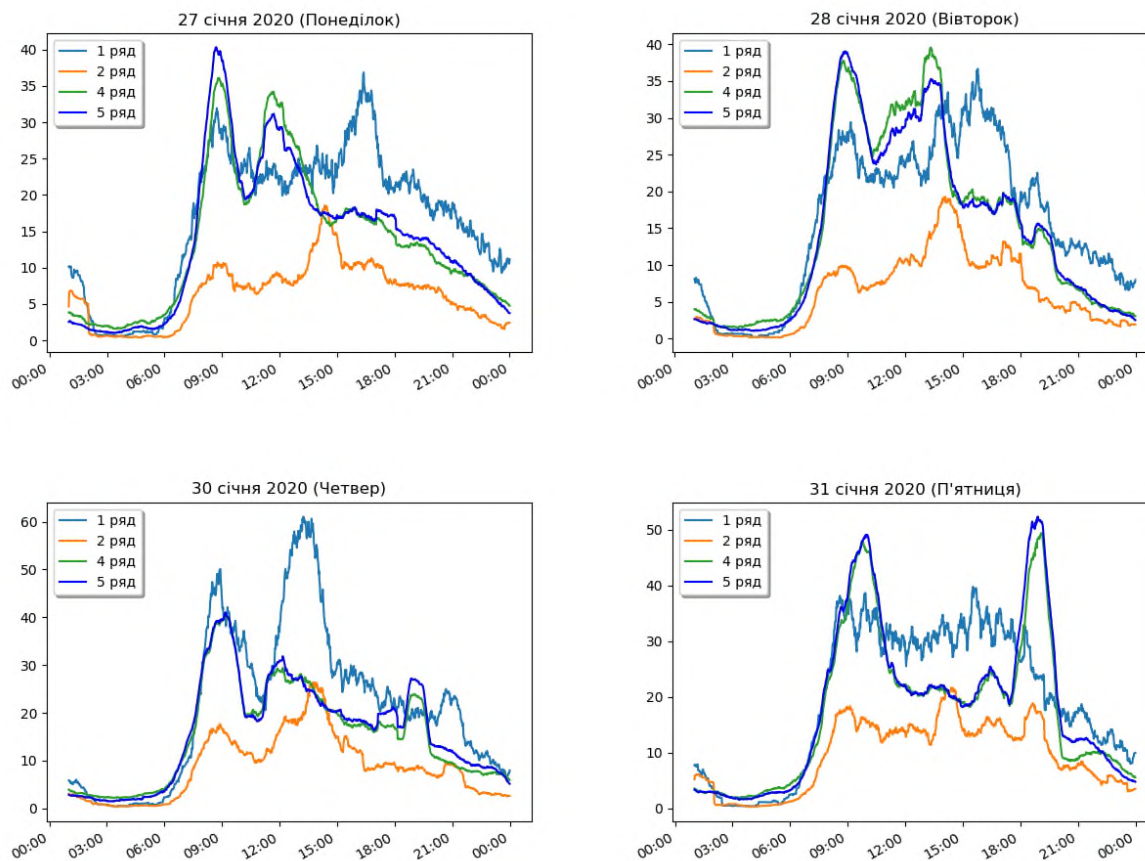


Рис. 5. Динаміка змінювання показника завантаженості транспортної ділянки TLCR

Для визначення порогового значення використовується середньоквадратична похибка, розрахована на даних перевіркової послідовності, яка відома також як критерій регулярності [15]:

$$K = \frac{\sum_i (y_i^{real} - y_i^{model})^2}{\sum_i (y_i^{real})^2} \quad (3)$$

де y_i^{real} – фактичне значення інтенсивності; y_i^{model} – обчислюване значення інтенсивності.

Визначення найкращого порогового значення складається з таких етапів:

1. Проведення візуального обліку та визначення фактичної інтенсивності транспортного руху за 2 години. Кожне значення – це інтенсивність за 1 хвилину.

2. Поділ даних на дві частини: частину А (навчальна послідовність даних) та частину В (перевірочна послідовність даних).

3. Визначення найкращих значень k (порогове значення) за допомогою критерію, визначеному на навчальній послідовності даних в обраному інтервалі за формулою (3). При цьому обрано інтервал від 0,05 до 0,5 з кроком 0,005.

4. Визначення найкращого значення k за допомогою критерію, визначеного на перевіркової послідовності даних.

Для експериментальних даних отримано найкраще порогове значення $k = 0,155$, відповідні значення критерію на навчальній та перевіркової послідовностях даних дорівнюють 0,001375 та 0,000064, що свідчить про достатньо високу точність моделі. На рис. 6 наведено графічне порівняння фактичної (спостережуваної в реальних умовах) та обчисленої інтенсивності транспортного руху (з використанням запропонованої технології).

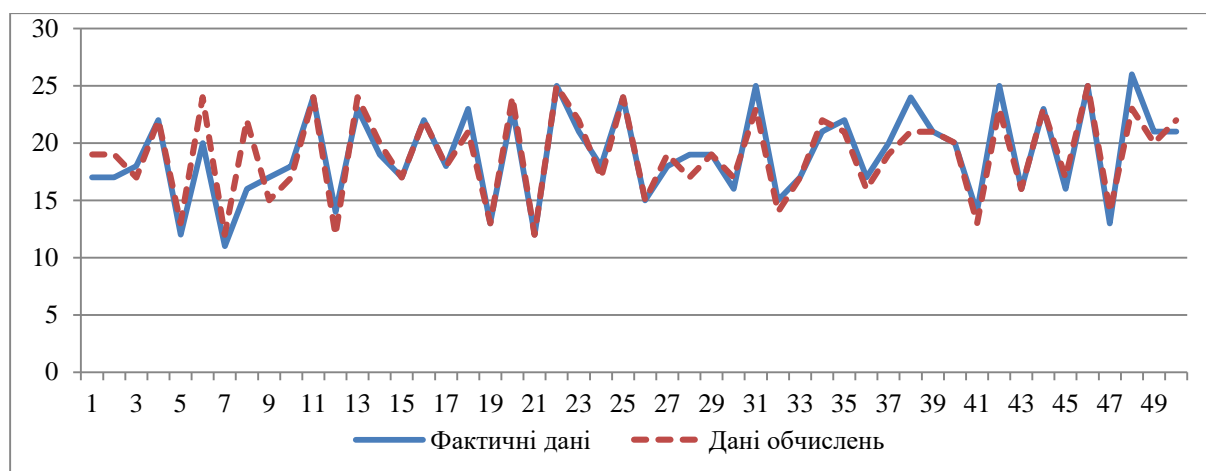


Рис. 6. Порівняння фактичних значень інтенсивності та обчислених із використанням запропонованої технології обробки даних відеоряду значень

Висновок відповідно до статті. У цьому дослідженні розроблена технологія визначення інтенсивності дорожнього руху за даними відеоряду, що надходять із відеокамери спостереження. Удосконалений алгоритм визначення показника завантаженості транспортної ділянки TLCR надає можливість враховувати тільки автомобілі, які рухаються по досліджуваній смузі. Розроблений метод визначення інтенсивності дорожнього руху на основі послідовних значень показника завантаженості. Послідовність обробки та перетворень даних складають нову технологію визначення інтенсивності дорожнього руху, що забезпечує набагато більш високу точність оцінки інтенсивності руху транспортних засобів на ділянці дорожнього руху, ніж існуючі. Використання точних даних про інтенсивність руху є важливим фактором, який підвищує якість прийняття рішень та точність оптимізації параметрів управління в автоматизованих системах управління дорожнім рухом. У подальших дослідженнях необхідна розробка програмного модуля, який автоматизує збір статистичних даних, отриманих із кількох відеокамер спостереження, та реалізує алгоритм прогнозування показника завантаженості з урахуванням усього набору даних.

Список використаних джерел

1. Gani M. H. H., Khalifa O. O., Gunawan T. S., Shamsan E. Traffic intensity monitoring using multiple object detection with traffic surveillance cameras. *2017 IEEE 4th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA)*. 2017, Putrajaya, Malaysia. P. 1-5.
2. Hoque Md. Sh., Ullah M. A., Nikraz H. Investigation of traffic flow characteristics of Dhaka-Syijiet highway (N-2) of Bangladesh. *International journal of civil engineering and technology (IJCT)*. 2013. Vol. 4. Issue 4. P. 55-65.
3. ДСТУ ISO 8824:2019. Автомобільні дороги. Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку. [Чинний від 2019-02-27]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 33 с.
4. Agafonov A., Myasnikov V. Traffic flow forecasting algorithm based on combination of adaptive elementary predictors. *Analysis of Images, Social Networks and Texts: AIST 2015* / eds. Khachay M. Yu., Konstantinova N., Panchenko A., Ignatov D., Labunets V. G. Cham : Springer, 2015. P. 163-174.
5. Логинова О. А., Гатиятов Р. Р. Обзор существующих методов и технических средств учета интенсивности движения транспортного потока. *Техника и технология транспорта*. 2019. № 11. С. 1-5.
6. Печатнова Е. В. Математическое моделирование колебаний суточной интенсивности движения. *Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета*. 2017. № 4-5 (56-57). С. 145-151.
7. Zhang B., Wang C., Zhang H., Wu F., Tang Y. Detectability Analysis of Road Vehicles in Radarsat-2 Fully Polarimetric SAR Images for Traffic Monitoring. *Sensors. Basel, Switzerland*, 2017. Vol. 17. Issue 2 (298). P. 1-13.
8. Robinson E. M. *Crime Scene Photography*. Academic Press, 2016. 800 p.

9. Fernandez-Caballero A., Gomez F.J., Lopez-Lopez J. Road-traffic monitoring by knowledge-driven static and dynamic image analysis. *Expert Systems with Applications*. 2008. Vol. 35. Issue 3. P. 701–719.
10. Fernandez-Caballero A., Mira J., Fernandez M. A., Lopez M. T. Segmentation from motion of non-rigid objects by neuronal lateral interaction. *Pattern Recognition Letters*. 2001. Vol. 22. Issue 14. P. 1517–1524.
11. Видеодетектирование. URL: <http://asudd.pro/products/monitor>.
12. Stetsenko I. V., Stelmakh O. P. Traffic Lane Congestion Ratio Evaluation by Video Data. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer, Cham, 2020. Vol. 1019. P. 172-181.
13. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. *Lecture Notes in Computer Science*. Springer, 2015. Vol. 9351. P. 234–241.
14. OpenCV 2.4.13.7 Documentation. Structural Analysis and Shape Descriptors. URL: https://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/structural_analysis_and_shape_descriptors.html.
15. Стеценко І. В. Моделювання систем : навч. посіб. Черкаси : ЧДТУ, 2010. 399 с.

References

1. Gani, M. H. H., Khalifa, O. O., Gunawan, T. S., Shamsan, E. (2017). *Traffic intensity monitoring using multiple object detection with traffic surveillance cameras. 2017 IEEE 4th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA)*. Putrajaya, Malaysia.
2. Hoque, Md. Sh., Ullah, M. A., Nikraz, H. (2013). Investigation of traffic flow characteristics of Dhaka-Syijiet highway (N-2) of Bangladesh. *International journal of civil engineering and technology (IJCT)*, 4 (4), 55-65.
3. DSTU ISO 8824:2019. *Avtomobilni dorogy. Vyznachennya intensyvnosti ruhu ta skladu transportnogo potoku [Highways. Determination of traffic intensity and composition of traffic flow]*. (Feb. 27, 2019).
4. Agafonov, A., Myasnikov, V. (2015). Traffic flow forecasting algorithm based on combination of adaptive elementary predictors. In *M. Yu. Khachay, N. Konstantinova, A. Panchenko, D. Ignatov, V. G. Labunets (Eds.), Analysis of Images, Social Networks and Texts: AIST 2015* (pp. 163-174). Cham, Switzerland: Springer.
5. Logynova, O. A., Gatiyatov, R. R. (2019). Obzor suschestvuyuschih metodov i tehniceskikh sredstv uchota intensivnosti dvizheniya transportnogo potoka [Review of existing methods and technical means for measuring traffic flow]. *Tehnika i tehnologii transporta – Technique and technology of transport*, 11, 1-5 [in Russian].
6. Pechatnova, Y. V. (2017). Matematicheskoye modelirovaniye kolebaniy sutochnoy intensivnosti dvizheniya. *Vestnik Sibirskogo avtomobilno-dorozhnogo unoversiteta – The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 4-5 (56-57), 145-151 [in Russian].
7. Zhang, B., Wang, C., Zhang, H., Wu, F., Tang, Y. (2017). Detectability Analysis of Road Vehicles in Radarsat-2 Fully Polarimetric SAR Images for Traffic Monitoring. *Sensors*, 17 (2), 298.
8. Robinson, E. M. (2016). *Crime Scene Photography*. Academic Press: Elsevier.
9. Fernandez-Caballero, A., Gomez, F. J., Lopez-Lopez, J. (2008). Road-traffic monitoring by knowledge-driven static and dynamic image analysis. *Expert Systems with Applications*, 35 (3), 701–719.
10. Fernandez-Caballero, A., Mira, J., Fernandez, M. A., Lopez, M. T. (2001). Segmentation from motion of non-rigid objects by neuronal lateral interaction. *Pattern Recognition Letters*, 22(14), 1517–1524.
11. Videodetektirovaniye [Video Object Detection]. Retrieved from <http://asudd.pro/products/monitor/>.
12. Stetsenko, I. V., Stelmakh, O. (2020). Traffic Lane Congestion Ratio Evaluation by Video Data. In *A. Palagin, A. Anisimov, A. Morozov, S. Shkarlet (Eds.), Mathematical Modeling and Simulation of Systems. MODS 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1019. Springer, Cham.
13. Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. In *N. Navab, J. Hornegger, W. Wells, A. Frangi (Eds.), Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015. MICCAI 2015. Lecture Notes in Computer Science*, 9351. Springer, Cham.
14. OpenCV 2.4.13.7 Documentation. Structural Analysis and Shape Descriptors. Retrieved from https://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/structural_analysis_and_shape_descriptors.html.
15. Stetsenko, I. V. (2010). *Modelyuvannya system [Systems simulation]*. Cherkassy: CDTU [in Ukraine].

Inna Stetsenko, Oleksandr Stelmakh

TECHNOLOGY OF TRAFFIC INTENSITY EVALUATION ACCORDING TO THE VIDEO DATA

Urgency of the research. Traffic jams are a major problem for all road users and increasing traffic intensity is the main reason for that along with unsatisfying quality of traffic control system. Systems that control transportation flow and make decisions about changing control parameters should receive reliable and actual traffic intensity data. Due to that fact, one of the most important tasks is collection and processing traffic data.

Target setting. Averaged over the day (or even the year) value of the traffic intensity can provide high-quality estimates of the control parameters for averaged values, however not for actual values, especially when large fluctuations in traffic intensity during the day are occur. For effective traffic management, it is important to have sufficiently accurate information about the state of the road (its intensity and congestion) at the time of the decision. In this scientific research, the task is to develop a technology for the traffic intensity evaluation on the basis of successive values of the congestion ratio resulting from image processing of a video image of a traffic lane.

Actual scientific researches and issues analysis. Scientific publications were reviewed, which highlight the existing methods for traffic intensity evaluation, and it was concluded that the existing methods are not accurate enough to use it in modern conditions and therefore significantly limit the development of traffic management information systems.

Uninvestigated parts of general matters defining. Video data analysis has not been used previously for the automated evaluation of traffic intensity.

The research objective. The purpose of this study is to increase the accuracy of determining traffic intensity on the basis of real-time analysis of video stream data by automatically processing video data obtained from a video surveillance camera of a traffic lane.

The statement of basic material. The method for determining the TLCR congestion index from the data, obtained as a result of processing a frame of a video sequence using the U-Net neural network, is presented. The sequence of time-ordered values of the congestion indicator turns into a sequence of traffic intensity indicators on the basis of the formula obtained as a result of the research. Experimental research that proves the high accuracy of traffic indicators evaluation is represented. The sequence of data processing and transformations constitutes a new technology determining traffic intensity.

Conclusions. In this research, the technology of traffic intensity evaluation according to the video data getting from a surveillance camera, which provides a much higher accuracy in evaluating the traffic intensity in a road area than existing ones, is developed.

Keywords. Image analysis; traffic intensity; traffic lane congestion ratio; TLCR.

Fig.: 6. References: 15.

Стеценко Інна Вячеславівна – доктор технічних наук, професор кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна).

Stetsenko Inna – Doctor of Technical Science, Professor of Computer-Aided Management and Data Processing Systems Department, NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: stiv.inna@gmail.com

SCOPUS Author ID: 55368781500

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4601-0058>

ResearcherID: C-1512-2019

Стельмах Олександр Петрович – аспірант кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна).

Stelmakh Oleksandr – Postgraduate of Computer-Aided Management and Data Processing Systems Department, NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: stelmahwork@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3147-579X>