

АНОТАЦІЯ

Стельмах О.П. Методи та моделі аналізу транспортних систем в умовах нестационарності параметрів транспортного потоку. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки та 12 – Інформаційні технології. – Національний Технічний Університет України «Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2021.

Дисертаційна робота присвячена розробці інформаційної технології для підвищення точності визначення інтенсивності транспортного руху на основі аналізу даних відеопотоку в режимі реального часу в умовах нестационарності параметрів транспортного потоку.

Висвітлено основні тенденції застосування інформаційних транспортних систем та розглянуто сучасні інформаційні транспортні системи виявлення транспортних засобів.

В даному розділі розглянуто існуючі транспортні системи визначення інтенсивності транспортного руху. Незважаючи на наявність розвинутих технологій керування дорожнім рухом, на сьогоднішній день задача про визначення інтенсивності в Україні та в світі все ще залишається не розв'язаною через ряд недоліків існуючих засобів моніторингу транспортних систем – низька точність, складність реалізації системи та ін. Разом з тим існує величезна потреба у точному визначенні інтенсивності транспортного руху для підвищення якості управління транспортним рухом, що призведе до покращення економіки та екології міст і благополуччя населення.

Розглянуто існуючі транспортні системи прогнозування інтенсивності транспортного руху. Хоча розроблено велику кількість методів, прогнозування

транспортного потоку все ще лишається складним завданням і потребує розроблення нових точних методів.

З розвитком сучасних технологій комп'ютерного зору та зі збільшенням кількості відео-камер спостереження за дорожнім рухом з'являється все більше можливостей для побудови нових ІТС для визначення інтенсивності транспортних потоків, створення якої є актуальною задачею для підвищення якості управління транспортним рухом.

Вперше було розроблено метод визначення показника завантаженості смуги транспортного руху, який отримав назву TLCR (Traffic Lane Congestion Ratio), для оцінки заторів на одній смузі. Розроблено алгоритм обробки зображень з метою виявлення транспортних засобів на наявній ділянці. Запропоновано метод визначення інтенсивності дорожнього руху за послідовними значеннями показника завантаженості смуги дорожнього руху за даними відеоряду. Правильно визначені значення параметрів завантаженості смуги транспортного руху TLCR та інтенсивності дорожнього руху дозволить системі управління знайти оптимізовані параметри та уникнути заторів.

Розроблено технологію визначення руху об'єктів у відео потоці на основі модуля «bioinspired». Для цього було використано адаптований клас Retina модуля «bioinspired», в якому знаходяться просторово-часовий фільтр двох інформаційних каналів моделі сітківки ока для детектування руху транспортних засобів. Під час обробки зображення спочатку вказуються координати області зображення, де необхідно виявляти рух, після чого вхідне зображення трансформується з кольорового до відтінків сірого, і далі зображення обробляється в модулі «magnocellular» та перевіряється медіанним фільтром на рівень ентропії та результат обробки порівнюється з пороговим значенням.

Розроблено програмний компонент для визначення інтенсивності дорожнього руху в двох реалізаціях. Експериментально доведено значну перевагу реалізації на основі модуля bioinspired над реалізацією на основі

порівняння двох кадрів. Програмний компонент визначення інтенсивності транспортного руху, який розроблений, є складовою частиною інформаційної системи управління транспортним рухом.

Розроблена технологія визначення інтенсивності дорожнього руху з використанням нейронної мережі U-net, яка має високу ефективність та результативність під час сегментації зображення і відома надійністю під час роботи з великими наборами даних. Було використано методи U-net – методи кодування та декодування для злиття базової інформації та інформації високого рівня. Для навчання нейронної мережі було використано алгоритм оптимізації SGD для аналізу градієнта об'єктів. Вхідні зображення розрізались на сегменти розміром 128 на 128 пікселів. Для тренування нейронної мережі U-net було використано набір даних з 10000 зображень.

Експериментально доведено перевагу використання нейронної мережі U-net для задачі визначення інтенсивності руху та показника завантаженості TLCR.

Розроблена технологія визначення інтенсивності дорожнього руху за даними відеоряду, що надходять з відеокамери спостереження. Було вдосконалено 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 має наступні переваги над іншими подібними системами: швидкість обробки даних, точність, відсутність необхідності додаткового обладнання (наприклад датчики) та низька вартість.

Розроблено алгоритм та інформаційну систему для довгострокового прогнозування показника завантаженості транспортної ділянки TLCR для подальшої оцінки стану дорожнього руху. Інформаційна система прогнозування базується на моделі навчання з рекурентною нейронною мережею LSTM. Розроблена система навчається на тренувальному відео отриманих з камер

дорожнього руху записного протягом одного тижня для прогнозування показника завантаженості транспортної ділянки TLCR для кожного дня тижня.

Розроблено алгоритм виявлення дорожніх заторів за показником завантаженості транспортної ділянки TLCR отриманих з зображень отриманих з відеокамер, встановлених у різних місцях міста. Алгоритм дозволяє класифікувати затори за трьома рівнями завантаженості: низька, середня та висока завантаженість. Розроблений алгоритм досліджували на експериментальних даних записів з дорожніх відеокамер та було отримано задовільні результати виявлення та класифікації рівнів завантаженості.

Послідовність обробки та перетворень даних складають нову технологію визначення інтенсивності дорожнього руху, що забезпечує високу точність оцінки інтенсивності руху транспортних засобів на ділянці дорожнього руху. Розроблена технологія може працювати в умовах нестаціонарності параметрів транспортного руху. Завдяки використанню сегментації, замість класифікації, а також специфічного набору даних для навчання, технологія позбавлена таких недоліків як неправильно підібраний ракурс та відсутність транспортного засобу в існуючих базах даних для навчання. Запропонована система успішно підрахувала транспортні засоби з високою точністю, – середні значення F-міра та точність (Accuracy) досягли 0,9967 та 0,9935 відповідно.

Досліджено точність розробленої інформаційної системи довгострокового прогнозування показника завантаженості транспортної ділянки TLCR, яка базується на моделі навчання з рекурентною нейронною мережею LSTM. Отримана експериментальна середня точність 0,914 для п'яти днів (два вихідних та три робочих дні) демонструє високу ефективність результатів прогнозування.

Ключові слова: аналіз зображень; розпізнавання образів; OpenCV; дорожній рух; інтенсивність транспортного руху; показник завантаженості транспортного руху; TLCR; нейронна мережа; U-net; інформаційна система управління.

ABSTRACT

Stelmakh O.P. Methods and models of analysis of transport systems in the conditions of non-stationary parameters of transport flow. - Qualified scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 122 - Computer Science and 12 - Information Technology. - National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 2021.

The dissertation work is devoted to the development of information technology to increase the accuracy of determining the intensity of traffic based on the analysis of video data in real time in conditions of non-stationary parameters of traffic flow.

The basic tendencies of application of information transport systems are covered and modern information transport systems of detection of vehicles are considered.

This section discusses the existing transport systems for determining the intensity of traffic. Despite the availability of advanced traffic management technologies, today the task of determining the intensity in Ukraine and in the world still remains unsolved due to a number of shortcomings of existing means of monitoring transport systems - low accuracy, complexity of the system, etc. However, there is a great need to accurately determine the intensity of traffic to improve the quality of traffic management, which will improve the economy and ecology of cities and the well-being of the population.

Existing transport systems for forecasting traffic intensity are considered. Although a large number of methods have been developed, traffic flow forecasting is still a challenge and requires the development of new accurate methods.

With the development of modern computer vision technology and the increasing number of video surveillance cameras, there are more and more opportunities to build new ITS to determine the intensity of traffic, the creation of which is an urgent task to improve the quality of traffic management.

For the first time, a method for determining the congestion of the traffic lane, called TLCR (Traffic Lane Congestion Ratio), was developed to estimate congestion in one lane. An algorithm for image processing to identify vehicles on the existing site has been developed. A method for determining the traffic intensity by successive values of the traffic lane congestion index according to the video series is proposed. Correctly defined values of the TLCR lane load and traffic intensity parameters will allow the control system to find optimized parameters and avoid congestion.

The technology of determining the movement of objects in the video stream based on the "bioinspired" module has been developed. For this purpose, an adapted Retina class of the "bioinspired" module was used, which contains a space-time filter of two information channels of the retina model for detecting the movement of vehicles. During image processing, the coordinates of the image area where the motion is to be detected are first specified, after which the input image is transformed from color to grayscale, and then the image is processed in the magnocellular module and checked by the median filter for entropy and the processing result is compared.

A software component for determining traffic intensity in two implementations has been developed. The significant advantage of the implementation based on the bioinspired module over the implementation based on the comparison of two frames has been experimentally proved. The software component for determining the intensity of traffic, which is developed, is an integral part of the information system of traffic management.

The technology of determining the intensity of traffic using the neural network U-net, which has high efficiency and effectiveness in image segmentation and is known for reliability when working with large data sets. U-net methods were used - encoding and decoding methods for merging basic information and high-level information. To train the neural network, the SGD optimization algorithm was used to analyze the gradient of objects. The input images were cut into 128 by 128 pixel segments. A data set of 10,000 images was used to train the U-net neural network.

The advantage of using the U-net neural network for the problem of determining the traffic intensity and TLCR load index has been experimentally proved.

The technology of determining the intensity of traffic based on video data coming from a video surveillance camera has been developed. The algorithm for determining the load index of the transport section of the TLCR has been improved, making it possible to take into account only cars moving in the studied lane. The developed method of determining traffic intensity based on consistent values of congestion has the following advantages over other similar systems: data processing speed, accuracy, no need for additional equipment (eg sensors) and low cost.

An algorithm and information system for long-term forecasting of the TLCR traffic congestion index for further assessment of the traffic condition have been developed. The forecasting information system is based on a learning model with a recurrent LSTM neural network. The developed system is trained on a training video obtained from traffic cameras recorded for one week to predict the load of the TLCR for each day of the week.

An algorithm for detecting traffic jams based on the load index of the TLCR transport section obtained from images obtained from video cameras installed in different parts of the city has been developed. The algorithm allows to classify traffic jams according to three levels of congestion: low, medium and high congestion. The developed algorithm was investigated on the basis of experimental data of recordings from road video cameras and satisfactory results of detection and classification of load levels were obtained.

The sequence of data processing and transformations constitute a new technology for determining the intensity of traffic, which provides high accuracy in estimating the intensity of traffic on the road. The developed technology can work in conditions of non-stationary traffic parameters. Due to the use of segmentation instead of classification, as well as a specific set of data for training, the technology is devoid of such shortcomings as incorrectly selected angle and the lack of a vehicle in existing

databases for training. The proposed system successfully calculated vehicles with high accuracy - the average values of F-measure and accuracy (Accuracy) reached 0.9967 and 0.9935, respectively.

The accuracy of the developed information system of long-term forecasting of the load index of the transport section TLCR, which is based on the training model with a recurrent neural network LSTM, is investigated. The obtained experimental average accuracy of 0.914 for five days (two days off and three working days) demonstrates high efficiency of forecasting results.

Keywords: image analysis; pattern recognition; OpenCV; Road traffic; traffic intensity; traffic congestion index; TLCR; neural network; U-net; management information system.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Stetsenko, I.V., Stelmakh, O. (2020). Traffic Lane Congestion Ratio Evaluation by Video Data. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1019, 172-181. Springer, Cham. ISSN 2194-5357. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25741-5_18 (Scopus)
2. Stelmakh O.P., Stetsenko I.V., Velyhotskyi D.V. (2020). Information technology of video data processing for traffic intensity monitoring. *Control systems & computers*, 3 (287), 49-59.
3. Стеценко І.В., Стельмах О.П. (2020). Технологія визначення інтенсивності дорожнього руху за даними відеоряду. *Технічні науки та технології: науковий журнал*, 2, 116-125.
4. Стеценко І.В., Стельмах О.П. (2017). Програмний компонент визначення інтенсивності транспортних потоків. *Вісник Національного технічного університету України «КПІ імені І. Сікорського»*, 66, 94-100.