

Y. O. Brit, V. V. Zhebka, V. O. Koretska, N. A. Trintina, A. G. Zakharzhevsky

## PROSPECTS OF USING MODERN MACHINE TRAINING METHODS TO IMPROVE SITTING WORKING CONDITIONS THROUGH ANALYSIS AND CONTROL OF HUMAN POSTURE

The article presents an analysis of the latest research conducted to monitor the health of workers with a sedentary lifestyle. The results show that about 75% of all workers in the developed world are in a sedentary position during their professional activities. This leads to long-term disturbances in a person's sitting posture, which in turn provokes musculoskeletal complications in the back, neck, shoulders, arms and legs. Chronic back pain is becoming a daily problem for many people, and in some cases even an occupational disease.

It is determined that among the ways to combat the negative effects of sedentary lifestyle and work, one of the main ones is posture control and a cycle of appropriate physical exercises. Both ways require self-control of the individual, for some reminders from different gadgets. In recent years, «smart» devices and ancillary software that accompany modern man in trying to control his health have become more and more developed. One of the areas of research and development in this area is the study of possible ways to use machine learning in this area.

The creation of the apparatus of machine learning tools and neural networks has been implemented, the main task of which is the analysis of human posture with images and video streams, output of results in a form acceptable for further use. The goals of the development are to create a system that will control a person during his work, reminding him of his posture, minimizing the potential negative impact on everyone's health.

The created system has enough tools for accurate analysis of human posture from a static image and analysis with an accuracy of 92-94% of the video stream. Google Chrome Web Browser extension has been created for the API to use HTML markup language, CSS page style language, and JavaScript based on TensorFlow libraries that import pre-built and trained machine learning systems. This allows the user to control their posture while working on a personal computer at their workplace. The application provides an opportunity to independently monitor a person's posture and report in case of violations.

**Keywords:** machine learning methods; neural network; convolutional neural network; human posture; sitting method.

УДК 004.7

DOI: 10.31673/2412-9070.2021.043236

С. С. КОРОТКОВ, асистент кафедри;

В. О. СОСНОВИЙ, асистент кафедри;

О. М. ТКАЧЕНКО, доктор техн. наук, професор;

А. В. ЛЕМЕШКО, доктор філософії, доцент;

І. А. БУЧЕНКО, аспірант,

Державний університет телекомунікацій, Київ

## ПРОБЛЕМА МАРШРУТИЗАЦІЇ ДЛЯ МЕРЕЖ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

*Розглянуто роботу системи керування маршрутизацією транспорту, проведено огляд теоретичної маршрутизації для інформаційних мереж. Дано опис алгоритмів пошуку найкоротших шляхів на графах. Запропоновано концепцію керування маршрутизацією транспортних засобів для міських мереж. Показано, що міську транспортну мережу можна подати у вигляді графа, а теорія і методи, присвячені маршрутизації в інформаційних мережах, можуть бути перенесені на транспортні мережі. Обґрунтовано розбиття задачі керування маршрутизацією транспорту на дві частини: статичну і динамічну.*

**Ключові слова:** потоки машин; керування транспортом; алгоритм керування маршрутизацією.

### ВСТУП

Нині зі зростанням населення великих міст значно збільшилася кількість автомобілів на дорогах. Завантаженість міських автомагістралей посилилася, а отже, неминуче зросла й імовірність аварій, з вини котрих рух сповільнюється або взагалі зупиняється. Водночас людина, природно, хоче дістатися будь-куди якомога швидше. Вона або просто їздить з дому на роботу і назад і не хоче витратити свій час на «стояння» в дорожньому заторі, або це кур'єр, або працівник екстреної служби, для яких важлива кожна хвилина.

Одним із виходів може стати система керування маршрутизацією транспорту, що має найсвіжішу інформацію про стан доріг і здатна обчислити найкоротший шлях через усе місто. Отже, автомобілісти зможуть уникнути скупчення автівок і досягти місця призначення в найкоротші терміни.

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

**Постановка задачі.** Завдання маршрутизації транспорту в міських транспортних мережах дуже схоже на маршрутизацію комп'ютерного трафіку в мережах інформаційних. Головні відмінності поляга-

© С. С. Коротков, В. О. Сосновий, О. М. Ткаченко, А. В. Лемешко, І. А. Бученко, 2021

ють у тому, що в першому випадку як пакет розглядається транспортний засіб, а також існують правила дорожнього руху, що обмежують пересування пакетів. Водночас завдання маршрутизації транспорту охоплює ту саму проблему відшукування найкоротшого шляху між двома вузлами.

Розглянемо ідею роботи системи керування маршрутизацією транспорту (рис. 1).

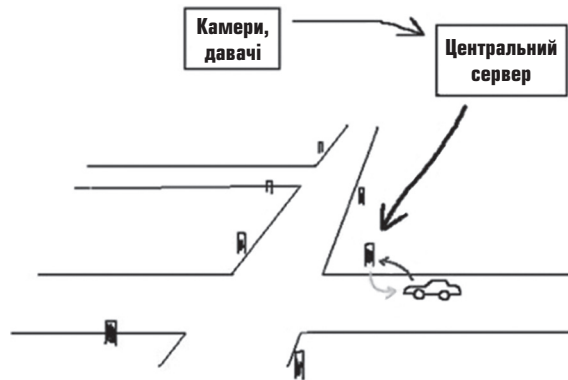


Рис. 1. Робота системи керування маршрутизацією транспорту

Перед перехрестям має бути встановлено спеціальні пристрої приймання-передавання, під'єднані до центрального сервера. На центральний сервер періодично надходить інформація з розміщених на дорогах камер/датчиків, які стежать за станом дорожньої мережі. Ці камери здатні визначити швидкість руху потоку по ділянках дороги. А отже, центральний сервер дізнаватиметься про зміну умов руху на якійсь ділянці дороги і надсилатиме відповідну інформацію на пристрої приймання-передавання. Перед перехрестям, яке фактично є вузлом комутації, пристрій приймання-передавання зчитує інформацію про автомобіль, котрий має бути обладнаний спеціальною позначкою. Ця інформація може бути зашифрована у вигляді <номер автомобіля, точка призначення>. Потім автомобіль отримує направлення до наступного вузла і продовжує рух.

Далі ми розглядатимемо централізований адаптивний алгоритм керування маршрутизацією, оскільки це дає змогу знизити витрати через відсутність потреби в оснащенні пристрою приймання-передавання процесорами великої потужності. Також маємо брати до уваги затримки під час обміну інформацією між пристроєм приймання-передавання і центральним сервером. Однак швидкість руху автомобілів набагато менша за швидкість поширення електрона сигналу, тому неприємностей можна уникнути, розмістивши пристрої приймання-передавання відповідним чином.

Блок-схему роботи системи зображено на рис. 2.

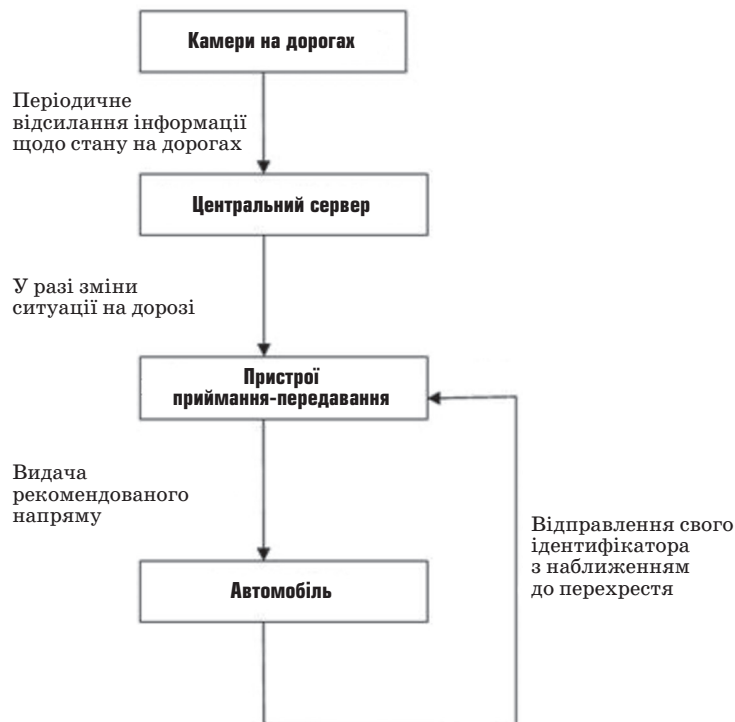


Рис. 2. Блок-схема роботи системи

### Математична постановка задачі

Математично задача маршрутизації взагалі і транспорту зокрема зводиться до відшукування найкоротшого шляху в (не) орієнтованому графі.

**Визначення:** Міська транспортна мережа —  $G = (N, A)$  — зважений орієнтований граф, де  $N$  — безліч вершин (перехресть);  $A$  — безліч дуг (ділянок доріг, що з'єднують дві вершини кожна).

Функція  $c : A \rightarrow R^+$  визначає вагу кожної дуги  $(i, j) \in A$ . Метрикою в нашому разі є час проходження пакета по дузі.

Отже, цільова функція набирає такого вигляду:

$$\begin{aligned} \min \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij}, \quad x_{ij} \in \{0,1\}, \\ \sum_{(j,i) \in BS(i)} x_{ji} - \sum_{(i,j) \in FS(i)} x_{ij} = \begin{cases} -n+1, & i=r, \\ 1, & i \in N \setminus \{r\}. \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

Деякі пояснення:

$BS(i)$  і  $FS(i)$  — це зірки відповідно вихідних і вхідних шляхів у вершину  $i$ , тобто:

$$\begin{aligned} BS(i) &= \{(u,v) \in A \mid v = i\}, \\ FS(i) &= \{(u,v) \in A \mid u = i\}. \end{aligned} \quad (2)$$

Таким чином, розв'язується цілочислове завдання бульового лінійного програмування — мінімізація сумарного часу шляху від вузла  $r$  до вузла  $i$ .

Існують різні алгоритми розв'язку такого типу завдань. Далі розглянемо деякі з них.

### Метод Дейкстри (Dijkstra)

Алгоритм Дейкстри — це класичний алгоритм для пошуку найкоротших шляхів від однієї вершини графа до всіх інших. Нехай  $G = (V, E)$  — зважений орієнтований граф з невід'ємними вагами дуг;  $s \in V$  — джерело;  $t$  — сток;  $l(v, w)$  довжина дуги  $(v, w) \in E$ . Тоді маємо алгоритми такого вигляду.

#### Алгоритм 1.

1. Нехай  $U$  — порожня множина, і потенціали  $p(v) = +\infty$  для кожної вершини  $v \in V$ , крім  $p(s) = 0$ .
2. Додаємо до  $U$  вершину  $v_0$ , що має мінімальний потенціал в  $V \setminus U$ . Якщо  $t \in U$ , то «стоп».
3. Для кожної вершини  $v \in V$ , такої що  $(v_0, v) \in E$ , якщо  $p(v_0) + l(v_0, v) < p(v)$ , візьмемо  $p(v) := p(v_0) + l(v_0, v)$  і рухаємось до вершини  $v(v := v_0)$ .

4. Перейти на крок 2.

Мінімальний час роботи алгоритму є  $O(|E| + |V| \log(|V|))$ , що використовує метод Дейкстри для пошуку найкоротшого шляху на графі між двома вершинами.

#### Алгоритм А\*.

А\* («А-зірочка») — це розширення методу Дейкстри, евристичний алгоритм для пошуку найкоротшого шляху між двома вершинами. Він використовує евристичне наближення для довжини найкоротшого шляху від кожної вершини до вершини-призначення. Нехай  $h(u, v)$  — оцінювач довжини найкоротшого шляху між  $u$  та  $v$ , а  $t$  — точка призначення. Тоді алгоритм діє за такою схемою:

#### Алгоритм 2.

1. Нехай  $U$  — порожня множина, і потенціали  $p(v) = +\infty$  для кожної вершини  $v \in V$ , крім  $p(s) = 0$ .
2. Додаємо до  $U$  вершину  $v_0$ , для якої  $p(v_0) + h(v_0, t)$  мінімальна в  $V \setminus U$ . Якщо  $v_0 = t$ , то «стоп».
3. Для кожної вершини  $v \in V$ , такої що  $(v_0, v) \in E$ , якщо  $p(v_0) + l(v_0, v) < p(v)$ , візьмемо  $p(v) := p(v_0) + l(v_0, v)$ , прямуємо у вершину  $v(v := v_0)$  і видаляємо  $v$  із  $V$ , якщо  $v \in V$ .

4. Перейти на крок 2.

Якщо  $h(v, t)$  задовольняє обмеження, що  $h(v, t)$  є нижньою межею  $h^*(v, t)$ , то здобутий результат обов'язково буде оптимальним найкоротшим шляхом,

$$\forall v \in V h(v, t) \leq h^*(v, t). \quad (3)$$

Слід зазначити, що якщо  $h(v, t) \leq h^*(v, t) \forall v \in V$ , то алгоритм А\* відразу знайде тільки дуги найкоротшого шляху від джерела до стоку. До того ж видаленням вершини з  $U$  на кроці 3 алгоритму можна знехтувати, якщо наближення задовольняє наступне обмеження:

$$\forall (u, v) \in E l(u, v) + h(v, t) \geq h(u, t). \quad (4)$$

Таке обмеження дістало назву монотонного обмеження.

У цьому випадку оцінювач називатиметься здійсненним для двоїстої задачі (dual feasible estimator). Наприклад, для евклідової відстані на дорожній мережі: оцінювач для двоїстої задачі виконаний, тобто двоїста задача здійсненна. Очевидно, що  $h^*(v, t)$  також задовольняє верхнє обмеження. Слід зазначити,

що кількість знайдених вершин у цьому разі завжди не перевищує кількості знайдених вершин методом Дейкстри. Фактично метод Дейкстри — це метод  $A^*$ , в якого  $h(v,t) = 0$  для всіх вершин.

### Двонаправлений метод (The bidirectional Method)

Двонаправлений метод також використовується для пошуку найкоротшого шляху між двома вершинами графа. Він не потребує евристичного оцінювання, але може зменшити кількість знайдених вершин у більшості випадків. У цьому алгоритмі пошук ведеться не тільки від джерела до стоку, а й у зворотний бік. Алгоритм працює так:

#### Алгоритм 3.

1. Нехай  $U$  і  $W$  — порожні множини, і нехай потенціали  $p_s(v) = +\infty$  і  $p_t(v) = +\infty$  для кожної вершини  $v \in V$ , за винятком  $p_s(s) = 0$  і  $p_t(t) = 0$ .

2. Додаємо до  $U$  вершину  $v_0$ , яка має найменший потенціал  $p_s(v)$  у  $V \setminus W$ . Якщо  $v_0 \in U$ , то перейти на крок 7.

3. Для кожної вершини  $v \in V$ , такої що  $(v_0, v) \in E$ , якщо  $p_s(v_0) + l(v_0, v) < p_s(v)$ , припускаємо  $p_s(v) := p_s(v_0) + l(v_0, v)$  і розглядаємо попередню  $s$  вершину  $V$  як  $v_0$ .

4. Додаємо до  $W$  вершину  $v_0$ , яка має найменший потенціал  $p_t(v)$  у  $V \setminus W$ . Якщо  $v_0 \in W$ , то перейти на крок 7.

5. Для кожної вершини  $v \in V$ , такої що  $(v, v_0) \in E$ , якщо  $p_t(v_0) + l(v, v_0) < p_t(v)$ , припустимо  $p_t(v) := p_t(v_0) + l(v, v_0)$  і розглянемо попередню  $t$  вершину  $V$  як  $v_0$ .

6. Перейти на крок 2.

7. Знайти дугу  $(u_0, w_0) \in E$ , яка має найменше значення  $p_s(u) + l(u, w) + p_t(w)$ . Найкоротший шлях від  $s$  до  $t$  складається з найкоротшого шляху від  $s$  до  $u_0$ , дуги  $(u_0, w_0)$  і найкоротшого шляху від  $w_0$  до  $t$ .

### Опис роботи системи керування маршрутизацією

Пропонується розбити задачу керування маршрутизацією транспорту на дві частини: статичну і динамічну.

**Статична частина.** Якщо розглядати міську транспортну мережу у вигляді графа, то з'являється проблема, пов'язана з великою розмірністю системи. Полегшити обчислювальну задачу може розбиття міської мережі на менші сегменти, зв'язані між собою через єдині вузли. Тобто такі вузли, які не можна оминати під час руху з однієї точки міста в іншу. За такого розбиття найкоротші шляхи не зміняться, оскільки тут спрацюватиме принцип оптимальності.

Далі на етапі первісного прокладання маршруту пропонується скористатися статистичними даними. Це середні швидкості транспортного потоку на всіх ділянках доріг залежно від дня тижня, часу доби, можливо погоди. За цими даними обчислюються ваги ребер графа, а найкоротший маршрут розраховується за допомогою будь-якого з алгоритмів пошуку найкоротшого шляху на графі.

**Динамічна частина.** У динамічній частині передбачається власне керування маршрутизацією транспортних засобів центральним сервером у режимі реального часу. При цьому пропонується використовувати аналог методу рельєфів для інформаційних мереж.

Метод рельєфів — це динамічний децентралізований адаптивний алгоритм. Його зручність полягає в тому, що тут пакету задається напрям руху до наступного вузла, що дуже зручно в разі маршрутизації автомобільного транспорту. Таким чином, водієві транспортного засобу буде надано рекомендацію щодо вибору подальшого напрямку. І під час наближення наступного автомобіля не буде потрібно ніяких нових обчислень за умови збереження тих самих параметрів пропускної здатності доріг.

### ВИСНОВОК

◆ У статті було здійснено огляд теоретичної основи маршрутизації для інформаційних мереж. Дано опис алгоритмів пошуку найкоротших шляхів на графах і створено програму на основі одного з них.

◆ Запропоновано концепцію системи керування маршрутизацією транспортних засобів для міських транспортних мереж.

◆ Показано, що міська транспортна мережа може бути подана у вигляді графа, а теорія і методи, присвячені маршрутизації в інформаційних мережах, можуть бути перенесені на транспортні мережі. Це є потенціалом для подальших досліджень у даній сфері.

◆ У майбутньому передбачається:

• виконати детальне порівняння не тільки класичних, а й наявних нині алгоритмів пошуку найкоротших шляхів на графах;

• створити централізований аналог методу рельєфів для керування маршрутизацією транспорту в міській дорожній мережі.

Список використаної літератури

1. *Крылов Ю. Д. Вычислительные сети: учеб. пособие // Санкт-Петербург. гос. ун-т аэрокосмического приборостроения. СПб 2006. С. 105–111.*
2. *Смелянский Р. Л. Системы передачи данных и сети ЭВМ // Лекции ВМИК МГУ.*
3. *Gonzalez H. Adaptive Fastest Path Computation on a Road Network: A Traffic Mining Approach // VLDB'07, September 23–28, 2007. Vienna, Austria.*
4. *Jacob R. A Computational Study of Routing Algorithms for Realistic Transportation Networks // ACM.*
5. *Subramanian S. Routing algorithms for dynamic, intelligent transportation networks: Dissertation / Virginia Polytechnic Institute and State University. 1997. Blacksburg, Virginia.*
6. *Shibuya T. Computing the  $n*m$  Shortest Path Effeciently // ALENEX'99, LNCS 1619. 1999. P. 210–224.*
7. *Huang Y.-W. Query optimization for navigation in geographic information systems: Dissertation / The University of Michigan, 1997.*

С. С. Коротков, В. А. Сосновий, О. Н. Ткаченко, А. В. Лемешко, И. А. Бученко

**ПРОБЛЕМА МАРШРУТИЗАЦИИ ДЛЯ СЕТЕЙ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА**

Рассмотрена работа системы управления маршрутизацией транспорта, проведен обзор теоретической маршрутизации для информационных сетей. Дано описание алгоритмов поиска кратчайших путей на графах. Предложена концепция управления маршрутизацией транспортных средств для городских сетей. Показано, что городская транспортная сеть может быть представлена в виде графа, а теория и методы, посвященные маршрутизации в информационных сетях, могут быть перенесены на транспортные сети. Обосновано разбиение задачи управления маршрутизацией транспорта на две части: статическую и динамическую.

**Ключевые слова:** потоки машин; управление транспортом; алгоритм управления маршрутизацией.

S. S. Korotkov, V. O. Sosnovyy, O. M. Tkachenko, A. V. Lemeshko, I. A. Buchenko

**ON A PROBLEM OF TRANSPORT ROUTING FOR URBAN TRANSPORT NETWORKS**

The work of the transport routing control system is considered, a review of theoretical routing for information networks is carried out. A description of algorithms for finding the shortest paths on graphs is given. The concept of vehicle routing control for urban networks is presented. It is shown that the urban transport network can be represented in the form of a graph and the theory and methods on routing in information networks can be transferred to transport networks. Splitting the transport routing control problem into two parts: static and dynamic. The management of the routing of transport in the city's transport fences is even more similar to the routing of computer traffic in the information fences. The main points of view are in that, in the first place in the quality of the package, the transport service is visible, as well as to understand the rules of the road collapse, how to surround the oversupplied packages. At the same hour, the transport routing is organized, everything will be stored in the most common problems of the best way between two universities. If an adaptive routing control algorithm is developed for centralization, since it allows the reduction of expenses, there is no need to equip the add-on reception-transmission with processors of great effort. It is also necessary to provide a connection when exchanging information from an attachment to receive-transmissions and from a central server. However, the speed of the vehicle is less than the widening of the electronic signal, so it is possible to eliminate the inappropriateness by placing the attachments of the reception-transmission in a specific rank. If we consider the urban transport network in the form of a graph, then there is a problem associated with the large size of the system. The computational task can be facilitated by dividing the city network into smaller segments connected by single nodes. That is, such nodes that can not be a minute when moving from one point of the city to another. With such a breakdown, the shortest paths will not change, because the principle of optimality will work here.

**Keywords:** heavy traffic; transportation management; routing control algorithm.

