

УДК 004.42

DOI: 10.31673/2412-9070.2021.042631

Я. О. БРІТ, студент;

В. В. ЖЕБКА, доктор техн. наук, доцент;

В. О. КОРЕЦЬКА, канд. пед. наук, доцент;

Н. А. ТРИНТИНА, канд. техн. наук, доцент;

А. Г. ЗАХАРЖЕВСЬКИЙ, канд. техн. наук,

Державний університет телекомунікацій, Київ

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ УМОВ СИДЯЧИХ РОБОЧИХ МІСЦЬ ШЛЯХОМ АНАЛІЗУ ТА КОНТРОЛЮ ПОСТАВИ ЛЮДИНИ

Запропоновано аналіз останніх досліджень, проведених з метою контролю здоров'я працівників із сидячим способом роботи. Результати показують, що в розвинених країнах світу майже 75% усіх працівників під час своєї професійної діяльності перебувають у положенні сидячі. Це призводить до довготривалих порушень у сидячій поставі людини, що зі свого боку провокує кістково-м'язові ускладнення в спині, шиї, плечах, руках та ногах людини. Хронічні болі в спині стають повсякденною проблемою багатьох людей, а іноді навіть і професійним захворюванням.

Визначено, що серед шляхів боротьби з негативним впливом сидячого стилю життя та праці одними з основних є контроль за поставою та цикл відповідних фізичних вправ. Обидва шляхи потребують самоконтролю особистості, а для деякого навіть нагадування від різних гаджетів. Тому останніми роками дедалі більшого розвитку набули «розумні» пристрої та допоміжне програмне забезпечення, яке супроводжує сучасну людину в спробах контролювати стан свого здоров'я. Одним із напрямків досліджень та розроблень у цій галузі є вивчення можливих шляхів використання машинного навчання в наведеній проблематиці.

Реалізовано створення апарату засобів машинного навчання та нейронних мереж, основним завданням якого є аналіз постави людини із зображенням та відеопотоком, виведенням результатів у прийнятному для подальшого використання вигляді. Цілями розроблення визначено — сформування системи, яка контролюватиме людину під час її праці, нагадуючи про її поставу, мінімізуючи потенційний негативний вплив на здоров'я кожного.

Розглядувана система має достатньо засобів для точного аналізу постави людини зі статичного зображення та аналізу з точністю 92-94% із відеопотоку. Для прикладного програмного інтерфейсу було розроблено додаток-розширення для веббраузера Google Chrome з використанням мови вебпозначення HTML, мови стилів сторінок CSS та мови JavaScript на основі бібліотек «TensorFlow», які імпортують попередньо створену та натреновану систему машинного навчання. Це дає користувачеві змогу контролювати свою поставу під час роботи за персональним комп'ютером на своєму робочому місці. Додаток надає можливість самостійно відслідковувати поставу людини та повідомляти в разі виявлення порушень.

Ключові слова: методи машинного навчання; нейронна мережа; згортоква нейронна мережа; постанова людини; сидячий спосіб.

ВСТУП

З розвитком технологій, їх поєднанням із різними професіями все більше працівників проводять значну частину свого робочого часу сидючи за комп'ютером. Усім відомий той факт, що якщо людина постійно працює за комп'ютером, то з гарною поставою доведеться попрощатися. Окрім постави, страждають хребет і шия. Найбільше проблем спостерігається з опорно-рухомих апаратом людини, що провокує серцеві перенавантаження, ожиріння, погіршення зору та інші захворювання, пов'язані із сидячим способом життя. До того ж, часи пандемії пришвидшили процеси масової діджиталізації, що також спровокувало малорухливий і сидячий стиль життя. Учені порівнюють малорухливий, сидячий спосіб життя з «повільною смертю». Тому, якщо організм втомився сидіти, йому треба допомогти.

Дуже незначна частина користувачів слідкують за станом своєї постави. У сучасній науці розробляються різні методи для аналізу людської постави, що дадуть змогу мінімізувати негативний вплив сидячого способу життя на здоров'я людини. Єдиним правильним виходом із ситуації є регулярний рух. Для нагадування і контролю за поставою використовують гаджети або спеціальні пристрої з відповідним програмним забезпеченням. Такі системи знаходять своє застосування в медицині і в турботі за хворими та людьми з обмеженими фізичними можливостями.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Постановка проблеми. Згідно з останніми проведеними дослідженнями більша частина всіх працівників у розвинених країнах світу під час своєї професійної діяльності перебувають у сидячому положенні [8], що призводить до довготривалих порушень опорно-рухомого апарату, кістково-м'язових ускладнень у хребті, шиї, плечах, руках та ногах людини [9; 10]. Хронічні болі в спині набувають повсякденного характеру в багатьох людей, часто стаючи професійним захворюванням [11].

© Я. О. Брит, В. В. Жебка, В. О. Корецька, Н. А. Тринтина, А. Г. Захаржевський, 2021

З огляду на це, головною ідеєю проведеного дослідження є впровадження оптимальної системи машинного навчання для визначення і контролю постані людини під час роботи за персональним комп'ютером. Як основний апарат для аналізу зображення людської постані було вибрано гібридний підхід із використанням згорткової нейронної мережі та архітектури довгої короткочасної пам'яті. Прикладним втіленням ідеї є реалізація у вигляді розширення для веббраузера Google Chrome.

Мета і задачі дослідження. На основі огляду теоретичних засад та базових принципів взаємодії з наскрізною платформою побудови та навчання систем машинного навчання та нейронних мереж «TensorFlow» створити додаток-розширення для точного аналізу постані людини зі статичного зображення та аналізу з точністю 92-94% з відеопотоку для веббраузера Google Chrome з використанням мови вебпризначення HTML, мови стилів сторінок CSS та мови JavaScript на основі бібліотек «TensorFlow», які імпортують попередньо створену та натреновану систему машинного навчання. Розроблений додаток має бути простим у застосуванні, мати зручний та зрозумілий інтерфейс, основне завдання — стеження за поставою користувача комп'ютера під час користування браузером Google Chrome.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення питання потреби в аналізі постані людини (положення певних частин або всього тіла у просторі) зумовило появу великої кількості наукових праць зазначеної тематики. Однак майже всі автори проаналізованих робіт зосереджують свою увагу на окремих галузях застосування, часто досить спеціалізованих (медицина, догляд за людьми похилого віку в будинках престарілих тощо) й у своїй більшості не виокремлюють та не пропонують практичне застосування взагалі.

У статті «Detection of sitting posture using hierarchical image composition and deep learning» литовсько-польських науковців [5] досліджується визначення сидячої постані людини з використанням ієрархічної композиції зображень та глибокого навчання. У праці пропонується глибока рекурентна ієрархічна мережа, побудована на MobileNetV2, що надає більшу гнучкість зменшенням або ліквідацією похибок, пов'язаних із низькою роздільною здатністю чи неповним обсягом обхвату людської постані на зображенні. У роботі було досягнуто точності 91,47% із частотою кадрів 10 fps.

Основна ідея статті «Classification of Children's Sitting Postures Using Machine Learning Algorithms» шанхайських науковців [6] — використання п'яти різних методів машинного навчання для визначення сидячої постані людини та порівняння їх результатів із подальшим встановленням найточнішого методу. У роботі розглянуто такі методи машинного навчання: Hidden Markov Models, Naïve Bayes classifier, decision tree, multinomial logistic regression, and support vector machine. Також було використано різні класифікаційні методи, ефективність яких визначається крос-валідаційним шляхом. У роботі досягнуто точності 95,3%.

Концепція статті «Sitting Posture Monitoring System Based on a Low-Cost Load Cell Using Machine Learning» корейських науковців [7] полягає у використанні різних методів класифікації зображень та методів машинного навчання для визначення сидячої постані людини та досягнення якомога точніших результатів. Додатково у роботі створено систему сенсорів для покращення точності результатів. Система SPMS (*Sitting posture monitoring systems*) є набором спеціальних сенсорів, що відслідковують сидячу поставу людини, доповнюючи та уточнюючи дані зображень. Сенсори кріпляться на спинку або сидіння стільця. У роботі досягнуто середньої точності 97,20% та максимальної 97,94%.

Результати дослідження

Основним апаратом, який є базою проведення дослідження, — це гібрид згорткової нейронної мережі та архітектури довгої короткочасної пам'яті. Водночас було використано додаткові методи машинного навчання KNN, Naïve Bayes, Random Forest, Regression.

Зазначені методи та параметри було взято в різних комбінаціях з аналізом їх результатів та точністю. Початковим етапом дослідження було вивчення та аналіз результатів кожного із зазначених методів машинного навчання окремо для аналізу постані із зображення.

Загальну схему алгоритму системи дослідження зображено на рис. 1.



Рис. 1. Загальна схема досліджуваної системи

Використані налаштування додаткових методів машинного навчання наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Використані налаштування додаткових методів машинного навчання

Метод	Використаний параметр
KNN	Евклідова відстань, 3 сусіди
Random forest	Максимальна глибина дорівнює 3
Naïve Bayes	Без використання базової «ваги»
LSTM	Десятишарова

Наступним етапом було поєднання різних методів у певних комбінаціях, що в свою чергу еволюціонувало в єдину систему з використанням усіх запропонованих методів машинного навчання завдяки поєднанню їх у згорткової нейронній мережі на основі архітектури LSTM. Як результат дослідження було створено гібридну систему згорткової нейронної мережі з архітектурою LSTM із додатковим застосуванням зазначених методів машинного навчання для покращення точності. Також було використано різні статистичні та математичні параметри для налаштування роботи та навчання досліджуваної системи, такі як Mean, SD, SR, percentile, kurtosis, skew. У табл. 2–5 подаються проміжні результати системи, побудованої на певному методі машинного навчання та оціненої різним набором статистичних та математичних параметрів.

Таблиця 2

Результати використання Random Forest для визначення постави

Параметр	Точність	Влучність	F-міра	Повнота
Mean	87,86	0,85	0,92	0,86
Mean, SD	86,12	0,83	0,89	0,88
Mean, SD, SR	90,21	0,90	0,89	0,90
Mean, SD, SR, percentile	90,11	0,92	0,88	0,89
Mean, SD, SR, percentile, kurtosis	90,32	0,90	0,90	0,89
Mean, SD, SR, percentile, kurtosis, skew	90,59	0,90	0,92	0,91

Таблиця 3

Результати використання KNN для визначення постави

Параметр	Точність	Влучність	F-міра	Повнота
Mean	81,94	0,78	0,86	0,81
Mean, SD	82,49	0,78	0,88	0,81
Mean, SD, SR	82,03	0,78	0,86	0,81
Mean, SD, SR, percentile	82,69	0,779	0,86	0,82
Mean, SD, SR, percentile, kurtosis	82,59	0,80	0,77	0,81
Mean, SD, SR, percentile, kurtosis, skew	82,7	0,81	0,80	0,81

Таблиця 4

Результати використання Naïve Bayes для визначення постави

Параметр	Точність	Влучність	F-міра	Повнота
Mean	91,00	0,90	0,90	0,91
Mean, SD	92,92	0,91	0,93	0,93
Mean, SD, SR	92,35	0,89	0,93	0,91
Mean, SD, SR, percentile	88,65	0,87	0,86	0,88
Mean, SD, SR, percentile, kurtosis	90,67	0,90	0,91	0,90
Mean, SD, SR, percentile, kurtosis, skew	90,82	0,90	0,91	0,91

Таблиця 5

Результати використання LSTM для визначення постави

Параметр	Точність	Влучність	F-міра	Повнота
Mean	88,49	0,88	0,86	0,87
Mean, SD	89,07	0,87	0,87	0,87
Mean, SD, SR	90,4	0,91	0,90	0,91
Mean, SD, SR, percentile	90,4	0,91	0,90	0,90
Mean, SD, SR, percentile, kurtosis	91,19	0,91	0,90	0,91
Mean, SD, SR, percentile, kurtosis, skew	91,77	0,91	0,90	0,91

Аналізуючи здобуті результати, можна дійти висновку, що окремо кожен із вибраних методів машинного навчання дає результати, які досить грубо можна заокруглити до майже 90%. Однак очікувана точність становить щонайменше 93%, тому було продовжено оцінювання для нейронної мережі в поєднанні з архітектурою LSTM (табл. 6).

Таблиця 6

Результати використання гібрида CNN+LSTM для визначення постави

Параметр	Точність	Влучність	F-міра	Повнота
Mean	91,06	0,91	0,91	0,91
Mean, SD	91,31	0,92	0,92	0,92
Mean, SD, SR	91,48	0,92	0,92	0,92
Mean, SD, SR, percentile	91,82	0,93	0,93	0,92
Mean, SD, SR, percentile, kurtosis	92,36	0,94	0,93	0,94
Mean, SD, SR, percentile, kurtosis, skew	92,46	0,95	0,94	0,95

Здобуті результати вказують на досить вдалий результат, оскільки в разі правильного налаштування, достатнього навчання та використання всіх параметрів із гібридною системою можливо досягти точності $\pm 92\%$.

Для практичної реалізації розглядуваної системи було вибрано платформу «TensorFlow», на якій розміщено та налаштовано створену попередньо систему, у поєднанні з додатком-розширенням для веббраузера Google Chrome. «TensorFlow» широко використовується як бібліотека впровадження машинного навчання. Її створив Google як частину проекту Google Brain, а пізніше вона стала доступна як продукт із відкритим кодом, оскільки існувало кілька бібліотек машинного та глибокого навчання, які привертати увагу користувачів. З доступом до відкритого коду все більше і більше людей у сфері штучного інтелекту (AI) та машинного навчання змогли перейняти TensorFlow і почати створювати функції та продукти з її використанням. Базовим поняттям у процесі роботи з TensorFlow є тензор. Тензори є основним матеріалом TensorFlow, за допомогою яких відбуваються всі обчислення. Відповідно до визначення, наданого командою Google TensorFlow, «тензор — це узагальнення векторів і матриць на потенційно вищі розміри. Внутрішньо TensorFlow представляє тензори як n -вимірні масиви базових типів даних».

Для початкового тренування та подальшого практичного тестування створеної в ході дослідження системи було використано набір із 400 зображень, поділених на дві групи по 200 зображень відповідно «гарної постави» та «поганої постави» (рис. 2).

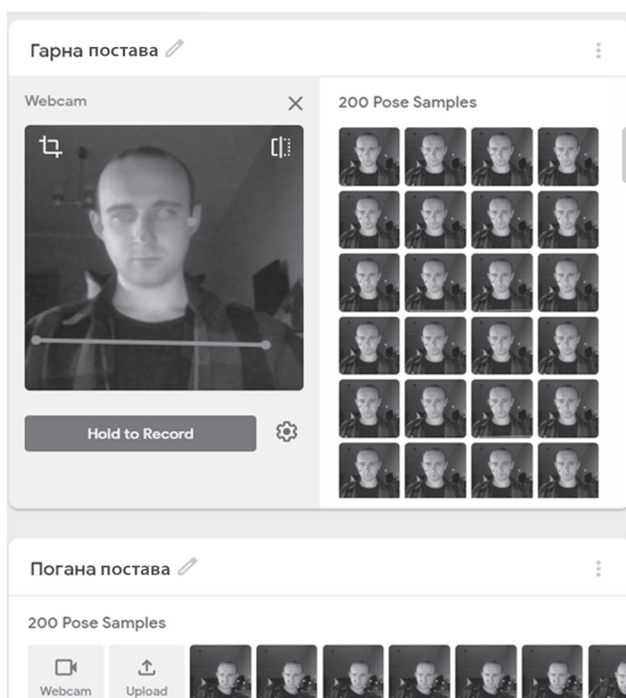


Рис. 2. Додавання зображень до тестувальних наборів

Черговим кроком було відображення «скелета» постави в режимі «онлайн» із реального зображення з камери. Як система в реальному часі аналізує зображення та видає відсоткову ймовірність належності постави людини з відеопотоку вебкамери до групи «поганої» чи «гарної» постави зображено на рис. 3.

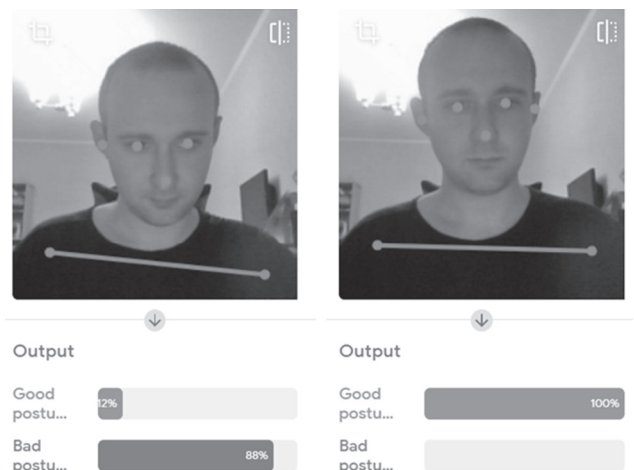


Рис. 3. Реальний аналіз зображення з вебкамери з відповідними позначеннями постави в поточний момент

Додаток надає користувачу інтерфейс перегляду поточного стану своєї постави, а також вибору налаштувань для режиму роботи «на фоні», коли користувач сфокусований на своїй роботі. У цьому режимі вікно додатка може бути закритим, але відслідковування стану постави буде відбуватися постійно та згідно з налаштуваннями користувача. У моменти, коли постава не буде відповідати позначці «добре», користувач отримує візуальне та, за відповідних налаштувань, аудіоповідомлення про незадовільний стан своєї постави в даний момент.

Основне вікно додатка містить зображення з відеокамери користувача та стан його постави з інтервалом оновлення в 1 с (залежить від налаштувань додатка) (рис. 4).



Рис. 4. Загальний вигляд створеного розширення з повідомленням про правильну поставу

Якщо ж користувач закриває вікно додатка та продовжує свою роботу в межах браузера або поза його межами (при цьому необхідно залишити вікно браузера відкритим), додаток продовжує відслідковувати та аналізувати поставу користувача в задані ним проміжки часу. При гарній поставі користувача додаток продовжує свою роботу. Однак у разі неправильної постави користувачу буде виведено вікно з текстовим повідомленням із попередженням, а також, залежно від налаштування користувача, додатково — звукове повідомлення. Повідомлення про неправильну поставу користувача відображається при закритому вікні розширення, тому користувач може займатися своїми завданнями в браузері та отримувати повідомлення про стан своєї постави в будь-який час.

ВИСНОВКИ

На основі проведеного аналізу загальних положень та теорії методів машинного навчання було досліджено основні принципи та методи машинного програмування. Визначаючи предметну галузь, було запропоновано дослідження, в основу якого покладено результати окремих методів машинного навчання та їх поєднання в єдиній системі. Здійснено огляд теоретичних засад та базових принципів взаємодії з наскрізною платформою побудови та навчання систем машинного навчання та нейронних мереж «TensorFlow».

Створено додаток-розширення для веббраузера Google Chrome з використанням мови вебпозначення HTML, мови стилів сторінок CSS та мови JavaScript на основі бібліотек «TensorFlow», що імпортують попередньо створену та натреновану систему машинного навчання. Розроблений додаток є простим у застосуванні, має зручний та зрозумілий інтерфейс, виконує своє основне завдання — стеження за поведінкою користувача в процесі роботи за комп'ютером під час користування браузером Google Chrome.

Запропонована система реалізує поєднання кількох методів машинного навчання та згорткової нейронної мережі. Сформована система в разі правильного налаштування, достатнього навчання та використання всіх параметрів із гібридною системою, досягає точності майже 93%.

Здобута в результаті дослідження система досить проста в реалізації, оскільки її можливо розгорнути та навчити на відкритих платформах машинного навчання та нейронних мереж із подальшим експортуванням у вигляді файлів JavaScript або Python для інтеграції з програмним забезпеченням для контролю за поведінкою людини.

Список використаної літератури

1. *Reinecke S., Hazard R., Coleman K. A continuous passive lumbar motion device to relieve back pain in prolonged sitting // Advances in Industrial Ergonomics and Safety IV. London: Taylor & Francis, 2002. С. 971–976.*
2. *Winkel K., Jorgensen J. Evaluation of foot swelling and lower-limb temperatures in relation to leg activity during long-term seated office work // Ergonomics. 1986. №29. С. 313–328.*
3. *Naqvi S. A. Study of forward sloping seats for VDT workstations // Journal of Human Ergology. 1994. №23. С. 41–49.*
4. *Hoy D., Brooks P., Blyth R. The epidemiology of low back pain // Best Practice & Research: Clinical Rheumatology. 2010. №24. С. 769–781.*
5. *Kulikajevs A., Maskeliunas R., Damaševičius R. Detection of sitting posture using hierarchical image composition and deep learning. 2021 (PeerJ Computer Science; 7:e442).*
6. *Kim Y., Son Y., Kim W. Classification of Children's Sitting Postures Using Machine Learning Algorithms. 2018. 8 с. (MDPI; 1280).*
7. *Roh J., Park H., Lee K. Sitting Posture Monitoring System Based on a Low-Cost Load Cell Using Machine Learning. 2018. 18 с. (MDPI; 208).*
8. *Buontempo F. Genetic Algorithms and Machine Learning for Programmers. 2019. 234 с. (The Pragmatic Programmers).*

Я. О. Брит, В. В. Жебка, В. А. Корецкая, Н. А. Тринтина, А. Г. Захаржевский

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ УСЛОВИЙ СИДЯЧИХ РАБОЧИХ МЕСТ ПУТЕМ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ ОСАНКИ ЧЕЛОВЕКА

Предложен анализ последних исследований, проведенных с целью контроля здоровья работников с сидячим способом работы. Результаты показывают, что в развитых странах мира около 75% всех работающих во время своей профессиональной деятельности находятся в сидячем положении. Это приводит к долговременным нарушениям в сидячей осанке человека, что в свою очередь провоцирует костно-мышечные осложнения в спине, шее, плечах, руках и ногах человека. Хронические боли в спине становятся обыденной проблемой многих людей, а в некоторых случаях даже профессиональным заболеванием.

Определено, что среди путей борьбы с негативным влиянием сидячего стиля жизни и труда одними из основных являются контроль за осанкой и цикл соответствующих физических упражнений. Оба пути нуждаются в самоконтроле личности, а для некоторых даже напоминания от разных гаджетов. Поэтому в последние годы все большее развитие получили «умные» устройства и вспомогательное программное обеспечение, сопровождающее современного человека в попытках контролировать состояние своего здоровья. Одним из направлений исследований и разработок в этой области является изучение возможных путей использования машинного обучения в данной проблематике.

Реализовано создание аппарата средств машинного обучения и нейронных сетей, основной задачей которого является анализ осанки человека с изображением и видеопотоком, выводом результатов в приемлемом для дальнейшего использования виде. Целями разработки определено создание системы, которая будет контролировать человека во время его работы, напоминая о его осанке, минимизируя потенциальное негативное влияние на здоровье каждого.

Рассматриваемая система имеет достаточно средств для точного анализа осанки человека из статического изображения и анализа с точностью 92-94% с видеопотока. Для прикладного программного интерфейса было разработано приложение-расширение для веб-браузера Google Chrome с использованием языка веб-разметки HTML, языка стилей страниц CSS и языка JavaScript на основе библиотек TensorFlow, импортирующих предварительно созданную и натренированную систему машинного обучения. Это дает возможность пользователю контролировать свою осанку во время работы на персональном компьютере на своем рабочем месте. Приложение дает возможность самостоятельно отслеживать осанку человека и сообщать в случае выявления нарушений.

Ключевые слова: методы машинного обучения; нейронная сеть; сверточная нейронная сеть; осанка человека; сидячий способ.

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