

Голові спеціалізованої вченої ради Д 26.059.01
при Національному транспортному університеті
д.т.н., професору Воркут Тетяні Анатоліївні

ВІДГУК

офіційного опонента д.т.н., доцента Коржа Романа Орестовича
на дисертаційну роботу Терейковської Людмили Олексіївни «Методологія
автоматизованого розпізнавання емоційного стану слухачів системи
дистанційного навчання»,
яку подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за
спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології

Актуальність теми дисертації.

У сучасних умовах через низку об'єктивних чинників відбуваються кардинальні зміни в способах поширення та використання інформації, що зумовлюють еволюцію освітніх технологій, сприяють активному впровадженню дистанційного навчання як одного із основних напрямків реформування освітньої системи України. Тому забезпечення ефективного функціонування системи дистанційного навчання відносять до пріоритетних завдань державної політики у сфері освіти. Одним із таких завдань є забезпечення постійної комунікації та зворотного зв'язку учасників навчального процесу при реалізації індивідуальної траєкторії навчання, яка в багатьох випадках є характерною для вітчизняних умов. Це призводить до необхідності адаптації режиму подачі навчальних матеріалів до рівня їх сприйняття кожним слухачем, що насамперед викликає кардинальне збільшення обсягу навчального навантаження викладачів, які забезпечують навчальний процес. За цих обставин доцільно впровадити в систему дистанційного навчання засоби, що дозволять визначити рівень сприйняття навчальних матеріалів на основі оцінки поточного емоційного стану кожного окремого слухача системи дистанційного навчання.

На сьогодні засоби розпізнавання емоційного стану людини вважаються достатньо апробованими та надійними, але в своїй переважній більшості мають досить високу вартість, використовують закриті рішення типу «ноу-хау» та розробляються як автономні системи, орієнтовані на



застосування професійними психологами, маркетологами, HR-спеціалістами, криміналістами тощо. Як правило, в цих засобах для реєстрації показників біометричних параметрів використовують спеціальні сенсори, які не входять до складу апаратного забезпечення розповсюджених комп'ютерних систем. Відповідно, впровадження відомих засобів розпізнавання емоційного стану у вітчизняні системи дистанційного навчання може призвести до значних економічних витрат пов'язаних як з вартістю власне засобів розпізнавання, так і з вартістю спеціалізованих сенсорів. В той же час застосування у вітчизняних системах дистанційного навчання відомих рішень щодо розпізнавання емоційного стану слухачів на основі нейромережевого аналізу біометричних параметрів, котрі можуть бути зареєстровані за допомогою розповсюдженого комп'ютерного забезпечення, потребує наукового обґрунтування та вирішення низки завдань теоретичного і практичного характеру.

Враховуючи викладене, дисертація Л.О. Терейковської спрямована на розроблення методології автоматизованого розпізнавання емоційного стану слухачів системи дистанційного навчання, що базується на нейромережевих методах і моделях аналізу біометричних параметрів та орієнтована на створення відповідних засобів, які розширюють функціональні можливості системи дистанційного навчання, є безумовно актуальною і спрямованою на вирішення важливої науково-практичної проблеми.

Актуальність теми дисертації підтверджується також використанням дисертаційних матеріалів при виконанні чотирьох держбюджетних науково-дослідних робіт, в яких авторка була науковим керівником та виконавцем.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій.

Обґрунтованість наукових положень та результатів у роботі забезпечується застосуванням апробованих методів теорії складних систем, інформації, розпізнавання образів, нейронних мереж, вейвлет-перетворень, цифрової обробки сигналів, біометрії, планування багатофакторного наукового експерименту, опрацювання та верифікації його результатів.

Достовірність наукових положень та результатів підтверджується їх зіставленням із відомими результатами, а також експериментальними дослідженнями розроблених засобів розпізнавання емоційного стану. Крім того, про достатній рівень достовірності наукових положень та результатів

свідчать дані про апробацію та впровадження отриманих результатів дисертаційної роботи.

Наукова новизна отриманих результатів.

Дисертація характеризується новизною наукових положень, які є теоретично обґрунтованими, доведеними аналітичними розрахунками та підтвердженими експериментальними результатами.

1. Вперше запропоновано концептуальну модель розпізнавання емоційного стану, враховуючи конкретизацію операцій нейромережевого аналізу біометричних параметрів та завдяки обґрунтованого переліку параметрів оцінки ефективності розпізнавання дає можливість формалізувати опис напрямків досліджень з розробки засобів автоматизованого розпізнавання слухачів системи дистанційного навчання.

2. Удосконалено підходи до визначення конструктивних параметрів, навчання та мінімізації ресурсоємності нейромережевих моделей, враховуючи обґрунтування діапазону значень конструктивних параметрів, кодування очікуваного вихідного сигналу навчальних прикладів із можливістю врахування близькості еталонів визначених класів, навчання нейромережевої моделі з використанням експертних даних, обґрунтованої мінімізації кількості вхідних параметрів, дають можливість розроблення методів формування вхідного поля нейромережевої моделі та методів нейромережевого розпізнавання емоцій та особи слухача системи дистанційного навчання.

3. Отримали подальший розвиток моделі обробки біометричних параметрів, асоційованих з зображеннями, що завдяки врахуванню очікуваних особливостей реєстрації зображень, вимог до підготовки вхідних даних згорткової нейронної мережі та застосуванню технологій комп'ютерного зору забезпечили базис розробки методу формування вхідного поля відповідних нейромережевих моделей.

4. Отримав подальший розвиток метод застосування вейвлет-перетворень для фільтрації вхідного поля нейромережевої моделі аналізу біометричних параметрів, асоційованих з зображеннями, враховуючи інтеграції вейвлет-коефіцієнтів, розрахованих з використанням ефективного типу базисного вейвлету для послідовно зареєстрованих зображень, дає можливість фільтрації типових завад.

5. Вперше розроблено метод формування вхідного поля

нейромережевої моделі аналізу клавіатурного почерку слухача системи дистанційного навчання, враховуючи подання параметрів клавіатурного почерку у вигляді, пристосованому для аналізу згорткової нейронної мережі, дає можливість ефективного розпізнавання емоцій та особи слухача системи дистанційного навчання.

6. Вперше розроблено метод формування вхідного поля нейромережевої моделі аналізу голосового сигналу, враховуючи застосування запропонованих процедур перевірки зареєстрованих параметрів та за рахунок адаптації параметрів голосового сигналу до аналізу згортковою нейронною мережею дає можливість ефективного розпізнавання емоцій та особи слухача системи дистанційного навчання.

7. Удосконалено метод формування вхідного поля нейромережевої моделі аналізу біометричних параметрів, асоційованих з зображеннями, що завдяки запропонованим процедурам, пов'язаних з обробкою зображень, нівелюванням впливу типових завад, визначенням параметрів ключових і контрольних точок, дає можливість ефективного розпізнавання емоцій та особи слухача системи дистанційного навчання за біометричними параметрами, асоційованими з зображеннями.

8. Отримав подальший розвиток метод формування навчальних прикладів для нейромережевої моделі аналізу біометричних параметрів, враховуючи врахування в очікуваному вихідному сигналі близькості еталонів визначених класів, дає можливість зменшити ресурсоємність побудови нейронної мережі.

9. Удосконалено метод розробки архітектури згорткової нейронної мережі, що за рахунок використання обґрунтованих критеріїв ефективності та принципів адаптації конструктивних параметрів нейронної мережі до умов функціонування, дозволяє зменшити обсяг експериментальних досліджень, пов'язаних з розробкою архітектури згорткової нейронної мережі.

10. Удосконалено метод нейромережевого розпізнавання емоцій, враховуючи застосування запропонованих рішень щодо формування вхідного поля та архітектури нейромережевої моделі для аналізу зображення обличчя, голосового сигналу, клавіатурного почерку та рішень щодо відображення у вихідному полі нейромережевої моделі схожості еталонів емоцій, дозволяє підвищити точність розпізнавання емоцій слухача системи дистанційного навчання за одним із біометричних параметрів.

11. Вперше розроблено методологію автоматизованого розпізнавання емоційного стану, що завдяки інтегрованому застосуванню відомих та запропонованим підходам, моделей та методів нейромережевого аналізу біометричних параметрів, забезпечує можливість створення ефективних інструментальних засобів розпізнавання емоційного стану, які розширюють функціональні можливості системи дистанційного навчання.

Практична цінність і значення дисертаційної роботи.

Практична цінність та значення роботи полягають у наступному:

– розроблена архітектура системи автоматизованого розпізнавання емоційного стану, що адаптована до застосування в сучасних системах дистанційного навчання;

– розроблене інструментальне забезпечення, що дає змогу розпізнавати емоційний стан слухача системи дистанційного навчання за голосовим сигналом, зображенням обличчя та клавіатурним почерком.

Результати дисертаційного дослідження використано при виконанні держбюджетних науково-дослідних робіт та впроваджено в навчальному процесі 3 вищих навчальних закладах, про що свідчать 7 актів впровадження.

Наукові положення відповідають світовому рівню, про що свідчать 15 статей у періодичних виданнях, що індексуються наукометричними базами Scopus та Web of Science, а також мають загальнонаціональне значення, адже сприяють покращенню якості освіти.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, виконаною і оформленою відповідно до вимог.

Робота містить анотацію на двох мовах, список публікацій авторки, вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел та два додатки.

У вступі обґрунтовано актуальність теми й науково-прикладних задач; сформульовано мету, завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження; визначено зв'язок із науковими програмами, планами та темами; показано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача; наведено інформацію про реалізацію, апробацію та публікацію результатів.

У першому розділі обґрунтовано передумови розробки інформаційної технології автоматизованого розпізнавання емоційного стану слухача системи дистанційного навчання та виконано інформаційно-аналітичний

огляд стану та тенденцій розвитку технологій розпізнавання емоцій та особи людини за зображенням обличчя, голосом та клавіатурним почерком. Крім того, виконано огляд технологій розпізнавання особи людини за такими біометричними параметрами як відбитки пальців, райдужна оболонка ока, сітківка ока та зображення вушної раковини. Проведений аналіз дозволив визначити множину параметрів, що дозволяють оцінити ефективність засобів розпізнавання емоційного стану та особи слухачів системи дистанційного навчання. З використанням запропонованої множини параметрів оцінки ефективності визначено, що для ефективного застосування засобів розпізнавання емоційного стану в системі дистанційного навчання необхідно розвинути теоретико-методологічні засади у сфері нейромережевого аналізу біометричних параметрів з урахуванням очікуваних умов застосування. Таким чином, обґрунтовано актуальність досліджень, спрямованих на розв'язання науково-прикладної проблеми, пов'язаної з розпізнаванням емоційного стану слухачів системи дистанційного навчання шляхом розробки відповідної методології, що базується на нейромережевих методах і моделях аналізу біометричних параметрів та орієнтованої на створення відповідних засобів, які розширюють функціональні можливості системи дистанційного навчання.

Другий розділ присвячений викладенню методологічного забезпечення технології автоматизованого розпізнавання емоційного стану слухачів системи дистанційного навчання. Запропоновано, обґрунтовано та створено концептуальну модель розпізнавання емоційного стану слухачів системи дистанційного навчання, яка забезпечила формалізований опис напрямків дослідження у сфері розробки ефективних засобів розпізнавання, що базуються на нейромережевому аналізі біометричних параметрів. З використанням розробленої концептуальної моделі визначено підходи до застосування нейронних мереж для аналізу біометричних параметрів заради розпізнавання емоційного стану та особи слухача системи дистанційного навчання. Також розроблено моделі обробки біометричних параметрів, асоційованих з зображеннями, які забезпечують можливість врахувати в процесі обробки завади, типові для системи дистанційного навчання. Крім того, отримала подальший розвиток побудована на базі капсульної нейронної мережі нейромережева модель CapsNetEm, адаптована до розпізнавання базових емоцій слухача системи дистанційного навчання з

урахуванням можливого повороту обличчя на зображенні. Розроблені підходи та моделі послужили основою методологічного забезпечення подальших досліджень, спрямованих на побудову методів розпізнавання емоційного стану та особи слухача системи дистанційного навчання на базі нейромережевого аналізу біометричних параметрів.

У третьому розділі розглянуто методи формування вхідного поля нейромережевих моделей розпізнавання емоцій слухачів системи дистанційного навчання. Розроблено метод застосування вейвлет-перетворень для фільтрації вхідного поля нейромережевої моделі аналізу біометричних параметрів, враховуючи інтеграції вейвлет-коефіцієнтів для послідовно зареєстрованих зображень, які розраховуються на основі ефективного типу базисного вейвлету, забезпечує можливість фільтрації динамічних завад.

Розроблено методи формування вхідних полів нейромережевих моделей аналізу біометричних параметрів, асоційованих з зображеннями, аналізу клавіатурного почерку та аналізу голосового сигналу. Вказані методи враховуючи адаптації процедур, пов'язаних із первинною обробкою зареєстрованих показників, що враховують необхідність нівелювання типових завад та за рахунок подання оброблених показників у вигляді придатному для аналізу за допомогою сучасних типів нейронних мереж, забезпечили можливість ефективного розпізнавання особи та емоцій слухача системи дистанційного навчання.

Четвертий розділ присвячено дослідженням, спрямованим на створення методів та методології нейромережевого розпізнавання емоційного стану та особи слухача системи дистанційного навчання. Розроблено метод формування навчальних прикладів, який завдяки обробці навчальних прикладів ймовірнісною нейронною мережею дозволяє врахувати в очікуваному вихідному сигналі близькість еталонів класів, котрі мають бути розпізнані, що забезпечує можливість зменшення ресурсоемності процесу навчання нейромережевої моделі.

Побудовано метод розробки архітектури згорткової нейронної мережі, призначеної для аналізу біометричних параметрів слухача системи дистанційного навчання, враховуючи використання запропонованих критеріїв ефективності та принципів адаптації конструктивних параметрів дозволяє зменшити обсяг експериментальних досліджень, пов'язаних з

розробкою цієї архітектури.

Побудовано метод нейромережевого розпізнавання емоцій за одним із основних біометричних параметрів, враховуючи застосування запропонованих рішень щодо формування вхідного поля та архітектури нейромережевої моделі та рішень щодо відображення у вихідному полі нейромережевої моделі схожості еталонів емоцій, дозволяє за прийнятної ресурсоемності підвищити точність розпізнавання.

Визначено етапи реалізації методології автоматизованого розпізнавання емоційного стану, що завдяки інтегрованому застосуванню відомих та запропонованим підходам, моделям та методам нейромережевого аналізу біометричних параметрів забезпечує можливість створення ефективних інструментальних засобів розпізнавання емоційного стану, які розширюють функціональні можливості системи дистанційного навчання.

У п'ятому розділі представлено архітектуру системи автоматизованого розпізнавання емоційного стану та наведено результати експериментальних досліджень, спрямованих на оцінку ефективності дисертаційних рішень.

Під час побудови архітектури системи використано запропоновану методологію автоматизованого розпізнавання емоційного стану слухача системи дистанційного навчання. Вхідною інформацією системи розпізнавання є множина параметрів, які характеризують умови експлуатації; множина біометричних параметрів; множина параметрів, що характеризують умови перемикавання режимів функціонування. Вихідною інформацією системи розпізнавання є множини параметрів, що описують результати розпізнавання емоційного стану та особи слухача. На основі порівняльного аналізу визначено, що ефективність розробленої системи розпізнавання емоційного стану приблизно така ж сама, як ефективність відомих засобів розпізнавання на основі зображення обличчя, та приблизно в 1,1 рази перевищує ефективність засобів розпізнавання на основі голосу та клавіатурного почерку. Також результати наведених експериментів свідчать, що точність розпізнавання емоційного стану розроблених нейромережевих засобів є достатньою для їх впровадження.

Висновки містять розгорнутий перелік основних результатів, отриманих у роботі.

У Додатках наведено акти впровадження результатів роботи та

програмний код застосунку для розпізнавання емоцій та особи людини за голосом.

Характеризуючи зміст роботи в цілому, слід відзначити величезний обсяг виконаної роботи, комплексність та багатогранність завдань, вирішених авторкою на шляху розробки методології автоматизованого розпізнавання емоційного стану слухачів системи дистанційного навчання, обґрунтованість запропонованих науково-практичних підходів та рішень. Все це підтверджує високу науково-методичну кваліфікацію авторки дисертації.

Повнота відображення результатів у публікаціях та апробація роботи.

За темою дисертаційної роботи опубліковано 66 наукових праць, серед них 40 публікацій, що розкривають основний зміст дисертації, з яких 15 статей у періодичних виданнях, що індексуються наукометричними базами Scopus та Web of Science, 24 статті у фахових наукових журналах України, 1 монографія. Серед публікацій у виданнях, що індексуються наукометричними базами Scopus та Web of Science, 7 наукових статей опубліковані у виданнях, віднесених до квартилю Q3, та 4 наукові статті – у виданнях, віднесених до квартилю Q4. Крім того, наявні 2 статті в закордонних фахових виданнях та 24 публікації у збірниках матеріалів міжнародних науково-практичних конференцій, серед яких 8 проіндексовані наукометричними базами Scopus та Web of Science. В публікаціях основні результати викладено повною мірою, в працях, які опубліковано у співавторстві, коректно відображено особистий внесок здобувача. Зміст автореферату ідентичний до змісту основних положень дисертації та досить повно відображає сутність отриманих результатів.

Зауваження до дисертації.

1. До множини основних біометричних параметрів, що підлягають реєстрації та нейромережевому аналізу з метою розпізнавання емоційного стану слухача системи дистанційного навчання не входить артеріальний тиск. Відповідне доповнення множини біометричних параметрів потенційно дає змогу підвищити результативність розпізнавання емоційного стану.

2. Запропонований у другому розділі дисертаційної роботи підхід до визначення конструктивних параметрів було б доцільно доповнити принципами, що визначають можливість застосування в згорткових нейронних мережах сучасних модулів нахшалт Inception, Attention тощо. Це б дозволило підвищити ефективність згорткової нейронної мережі в певних

умовах застосування.

3. У розділі 3 під час розробки методу формування вхідного поля нейромережевої моделі аналізу голосового сигналу передбачено, що в якості вхідних параметрів моделі використано значення мел-кепстральних коефіцієнтів, розраховані на основі коефіцієнтів Фур'є кожного із квазістаціонарних фрагментів піддослідного голосового сигналу. Чи не вплине використане узагальнення результатів перетворення Фур'є на інформативність голосового сигналу щодо розпізнавання емоцій?

4. У розробленому в 3 розділі методі формування вхідного поля нейромережевої моделі аналізу клавіатурного почерку передбачено подання параметрів клавіатурного почерку у вигляді багатоканального кольорового зображення. Водночас, в п. 3.3 дисертаційної роботи процедура визначення кількості растрів чітко не визначена, що може призвести до певних труднощів при застосуванні запропонованого методу.

5 Під час побудови методу розробки архітектури згорткової нейронної мережі, призначеної для аналізу біометричних параметрів, на етапі вибору найбільш ефективної архітектури до множини прийнятних видів згорткових нейронних мереж не входить U-Net, PSP, Yolo. Це може призвести до деякого звуження галузі застосування запропонованого методу.

6. Поза межами дисертаційного дослідження залишились завдання, пов'язані з формуванням баз даних, що містять зображення обличчя слухача системи дистанційного навчання, що відображають різні емоції конкретного слухача. На скільки відсутність означених баз даних може вплинути на точність розпізнавання емоційного стану слухача за зображенням обличчя?

7. Яким чином в представленому в п.4.3 методі нейромережевого розпізнавання емоцій враховано можливість розпізнавання емоцій слухача в умовах шуму?

У цілому зазначені зауваження та недоліки не знижують позитивної оцінки дисертації як кваліфікаційної роботи. Робота добре оформлена, практично не містить орфографічних та пунктуаційних помилок. Викладення матеріалу чітке, логічне та зрозуміле. До структури та наповнення дисертації зауважень немає.

Загальні висновки.

Дисертаційна робота Терейковської Л.О. «Методологія автоматизованого розпізнавання емоційного стану слухачів системи

дистанційного навчання» є завершеною, цілісною науковою працею, присвяченою вирішенню науково-прикладної проблеми розробки методології розпізнавання емоційного стану слухачів системи дистанційного навчання, що базується на нейромережових методах і моделях аналізу біометричних параметрів та орієнтована на створення відповідних інструментальних засобів, які розширюють функціональні можливості системи дистанційного навчання, містить обґрунтовані наукові положення, висновки та рекомендації, має наукову новизну та практичну цінність.

Зміст дисертації відповідає паспорту спеціальності 05.13.06 – Інформаційні технології.

Дисертація містить результати власних досліджень, у роботі відсутній академічний плагіат, фабрикації, фальсифікації.

За змістом, оформленням, обсягом, науковою новизною і публікаціями, важливістю та глибиною вирішення актуальних завдань дисертаційна робота Терейковської Л.О. на тему «Методологія автоматизованого розпізнавання емоційного стану слухачів системи дистанційного навчання» відповідає вимогам МОН України, які поставлено до робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, зокрема пунктам 7 та 9 Постанови Кабінету міністрів України від 17 листопада 2021 року №1197, а її авторка Терейковська Людмила Олексіївна заслуговує на присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.13.06 – Інформаційні технології.

Офіційний опонент

проректор з науково-педагогічної роботи та соціального розвитку,

Національний університет «Львівська політехніка»,

Міністерства освіти і науки України,

доктор технічних наук, доцент

Корж Р.О.

Підпис засвідчую

Вчений секретар



Брилинський Р. Б.