
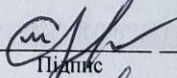


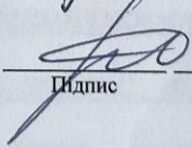
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему Метод автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання

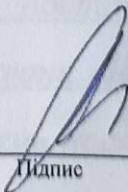
Галузь знань 12 – Інформаційні технології
Шифр і назва галузі знань
Спеціальність 122 – Комп'ютерні науки
Шифр і назва спеціальності
Освітня програма Комп'ютерні науки
Назва освітньої програми

Виконав: студент групи КНс-22-1  Євген МАЗУР
Група виконавця Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник: к.т.н., доц. каф. КН  Олександр МАЗУРЕЦЬ
Науковий ступінь, посада Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтроль: к.т.н., доц. каф. КН  Руслан БАГРІЙ
Науковий ступінь, посада Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:

Зав. кафедри КН, д.т.н., професор  Олександр БАРМАК
Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

18 06 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерних наук

Освітній ступінь бакалавр

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Спеціальність 122 – Комп'ютерні науки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри комп'ютерних наук

(підпис)

д.т.н., професор Олександр БАРМАК

« 10 » 02 2025 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Метод автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання».

2. Завдання видано студенту Євгену Мазуру
(Ім'я, прізвище)

3. Керівник роботи доцент кафедри КН Олександр Мазурець
(посада, ім'я, прізвище)

4. Затверджено наказом університету від « 07 » 02 2025 р. № 23

5. Дата видачі завдання студенту: « 10 » 02 2025 р.

6. Зміст пояснювальної записки (перелік задач) та вихідні дані:

Мета роботи – підвищення точності автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання. Для досягнення мети слід виконати такі задачі: виконати аналіз предметної області виявлення порушень постави людини; створити метод автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання; створити відповідну програмну реалізацію запропонованого методу виявлення порушень постави людини за зображенням; виконати дослідження створеного методу виявлення порушень постави людини за зображенням з використанням розробленого програмного забезпечення.

7. Календарний план виконання кваліфікаційної роботи бакалавра:

№	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи бакалавра з керівником, складання календарного графіка виконання	січень 2025	Виконано
2	Ознайомлення з предметною областю, формулювання мети і задач дослідження, визначення об'єкта та предмета дослідження	лютий 2025	Виконано
3	Проектування та розроблення методу вирішення завдання, загальної архітектури програмного забезпечення, інтерфейсу користувача, вибір засобів реалізації програмного забезпечення	березень 2025	Виконано
4	Створення та тестування програмного забезпечення, дослідження ефективності, висновки з виконаної роботи	квітень 2025	Виконано
5	Написання пояснювальної записки, урахування зауважень керівника, оформлення згідно з вимогами	травень 2025	Виконано
6	Розробка презентаційних матеріалів та попередній захист кваліфікаційної роботи	травень 2025	Виконано
7	Отримання відгуку керівника, рецензії, перевірка на плагіат, нормоконтроль	червень 2025	Виконано
8	Підготовка до захисту та захист кваліфікаційної роботи	червень 2025	Виконано

Виконавець: студент групи КНс-22-1
Група виконавця



Підпис

Євген МАЗУР
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник: к.т.н., доц. каф. КН
Науковий ступінь, посада



Підпис

Олександр МАЗУРЕЦЬ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Анотація

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Метод автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання».

Виконавець кваліфікаційної роботи бакалавра: студент групи КНс-21-1 Євген Мазур.

Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра: к.т.н., доцент кафедри КН Олександр Мазурець.

Кваліфікаційна робота бакалавра містить:

Пояснювальна записка				Кількість додатків
Сторінок	Рисунків	Таблиць	Джерел інформації	
53	18	2	42	4

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є підвищення точності автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання. Для розробки прикладної інтелектуальної системи було використано мову програмування Python, а також спеціалізоване програмне розширення Gradio для створення вебінтерфейсу та Ultralytics та навчання та роботи з нейромережею виявлення ключових точок постави людини за фото. Розроблена інтелектуальна система автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням може бути використана в якості допоміжного інструменту в медичній практиці, зокрема для попереднього скринінгу та моніторингу стану хребта пацієнтів у неінвазивний спосіб.

Напрямами практичного використання розробленої інтелектуальної системи є аналіз та виявлених порушень постави людини за фото.

Ключові слова: порушення постави, YOLOv11s-pose, аналіз порушень, інтелектуальна система

Виконавець: студент групи КНс-21-1
Група виконавця

Підпис

Євген МАЗУР

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Зміст

Перелік скорочень	4
Вступ.....	5
Розділ 1 Характеристика предметної області: аналіз моделей, методів та реалізацій.....	7
1.1 Аналіз інформаційних моделей в області автоматизованого виявлення порушень постави людини.....	7
1.2 Огляд теоретичних підходів до розв’язку подібних задач	11
1.3 Аналіз існуючих програмних засобів та наукових рішень.....	12
1.4 Мета, задачі та вимоги до реалізації інтелектуальної системи	19
Розділ 2 Метод автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням	20
2.1 Формалізація процесу виявлення порушень постави людини за зображенням	20
2.2 Схема та кроки методу автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням	23
2.3 Підготовка робочих вхідних даних для тонкого налаштування моделі глибокого навчання.....	25
2.4 Проектування інтелектуальної системи виявлення порушень постави людини за фото.....	27
2.5 Метрики для оцінки результатів тонкого налаштування моделі глибокого навчання	30
2.6 Висновки до розділу 2	31
Розділ 3 Експериментальне дослідження методу	33
3.1 Засоби розробки інтелектуальної системи автоматизованого виявлення порушень постави людини за фото	33
3.2 Особливості реалізації програмних складових системи.....	34
3.3 Аналіз функціональності інтелектуальної системи визначення порушень постави людини.....	39

	3
3.4 Результати досліджень методу	42
3.5 Висновки до розділу 3	47
Загальні висновки.....	48
Перелік посилань.....	49
Додатки	

Перелік скорочень

Скорочення, термін, позначення	Пояснення
ПЗ	Програмне забезпечення
ШІ	Штучний інтелект
YOLO	You Only Look Once
КРБ	Кваліфікаційна робота бакалавра
КН	Комп'ютерні науки
R-CNN	Regions with Convolutional Neural Networks
SVM	Support Vector Machines
CNN	Convolutional Neural Network
GPU	Graphics Processing Unit
RF	Random Forest
LR	Logistic Regression
DNN	Deep Neural Network
KNN	K-Nearest Neighbors
EL	Ensemble Learning
IoT	Internet of Things
AP	Average Precision
IoU	Intersection over Union
mAP	Mean Average Precision
OKS	Object Keypoint Similarity
PIL	Python Imaging Library

Вступ

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена підвищенню точності автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання.

Актуальність. Актуальність дослідження методів автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням із використанням нейромереж глибокого навчання зумовлена зростанням поширеності захворювань опорно-рухового апарату, які є наслідком малорухливого способу життя, неправильного робочого положення та інших факторів. Традиційні підходи до діагностики порушень постави, що базуються на візуальній оцінці лікарів або використанні спеціалізованих механічних систем, є трудомісткими, суб'єктивними та нерідко недоступними у масовому застосуванні.

Розвиток комп'ютерного зору та глибоких нейронних мереж дозволяє створювати автоматизовані системи, здатні з високою точністю аналізувати зображення людського тіла та виявляти відхилення від нормативних параметрів постави. Такі методи забезпечують об'єктивність оцінки, масштабованість та можливість інтеграції у мобільні додатки або інші цифрові платформи, що сприяє широкому впровадженню технології у сферу охорони здоров'я, реабілітації та профілактики.

Завдяки високій швидкості обробки та здатності аналізувати значні обсяги даних, нейромережеві моделі дозволяють виявляти порушення постави на ранніх етапах, що критично важливо для запобігання ускладненням.

Об'єкт дослідження – процес автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням.

Предмет дослідження – методи та засоби глибокого навчання для автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра – підвищення точності автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання.

Завдання кваліфікаційної роботи бакалавра – Провести аналіз предметної області виявлення порушень постави людини; створити метод автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання; створити відповідну програмну реалізацію запропонованого методу виявлення порушень постави людини за зображенням; виконати дослідження створеного методу виявлення порушень постави людини за зображенням з використанням розробленого програмного забезпечення.

Розділ 1 Характеристика предметної області: аналіз моделей, методів та реалізацій

1.1 Аналіз інформаційних моделей в області автоматизованого виявлення порушень постави людини

Інформаційні технології та автоматизація відіграють ключову роль у розвитку сучасних систем моніторингу та аналізу стану людини. Проблема порушення постави є надзвичайно актуальною в сучасному суспільстві. Згідно з даними статистики, близько 80% населення України мають ті чи інші порушення постави, а серед дітей цей показник сягає кожної четвертої дитини [1].

Порушення постави є патологічним станом, що характеризується відхиленням хребта від його фізіологічної осі [2]. Основні прояви такого порушення полягають у зміні природних вигинів хребта, зокрема кіфозу та лордозу, які можуть як посилюватися, так і згладжуватися. Окрім зміни вигинів, порушення постави має певні клінічні прояви та може спричиняти різні ускладнення. Щоб краще зрозуміти цю проблему, варто розглянути поняття постави та основні її типи [3].

Поставою вважається звичне розташування тіла людини як у стані спокою, так і під час руху. Вона формується на рівні безумовних рефлексів і є індивідуальною для кожної людини, закріплюючись у вигляді рухового стереотипу. Постава визначає не лише фізіологічну виправку, а й манеру людини тримати себе в просторі [4].

Зазвичай розрізняють два основні види порушень постави: набуті та вроджені (можуть включати різні аномалії) [5]. Набуті є більш частими і їх причини можуть бути доволі різноманітні. Наприклад, тривале перебування в неправильному положенні за столом є поширеною причиною порушень постави, особливо серед школярів, студентів та людей, які працюють сидячи [6]. Також на поставу негативно можуть впливати: невідповідність висоти меблів робочого місця щодо зросту людини; дефіцит фізичної активності в поєднанні з постійним напруженням м'язів спини в одному положенні; різні травми хребта та шиї [7].

Також, певні захворювання, такі як: інфекційні ураження, хвороба Бехтерева, рахіт, плоскостопість чи дисплазія кульшових суглобів, можуть стати факторами ризику деформації постави. На рисунку 1 наведено деякі типові види порушень постави.



Рисунок 1.1 – Види порушень постави за [8]

Правильна поставою є оптимальне розташування частин тіла, яке дозволяє з мінімальними енергетичними витратами підтримувати стійке положення. У такому стані суглоби зазнають найменшого навантаження, що сприяє збереженню їхньої функціональності. Водночас неправильна постава є будь-яким статичним положенням, що підвищує навантаження на опорно-руховий апарат [1].

Виділяють два основні типи пози:

- Статична поза – положення, у якому тіло та його окремі сегменти залишаються фіксованими, наприклад, під час сидіння, стояння чи лежання.
- Динамічна поза – активний стан, коли тіло або його частини знаходяться в русі, наприклад, під час ходьби, бігу або стрибків.

Для оцінки постави важливо враховувати певний еталон правильної або оптимальної позиції тіла.

На формування постави впливають кілька ключових чинників:

- структура та положення хребта;
- розташування тазу;
- стан м'язової системи.

Серед них особливе значення має форма та положення хребта. У здоровому стані він має чотири природні вигини (рисунок 1.2), які виконують амортизаційну функцію, допомагаючи рівномірно розподіляти навантаження на опорно-руховий апарат [9].

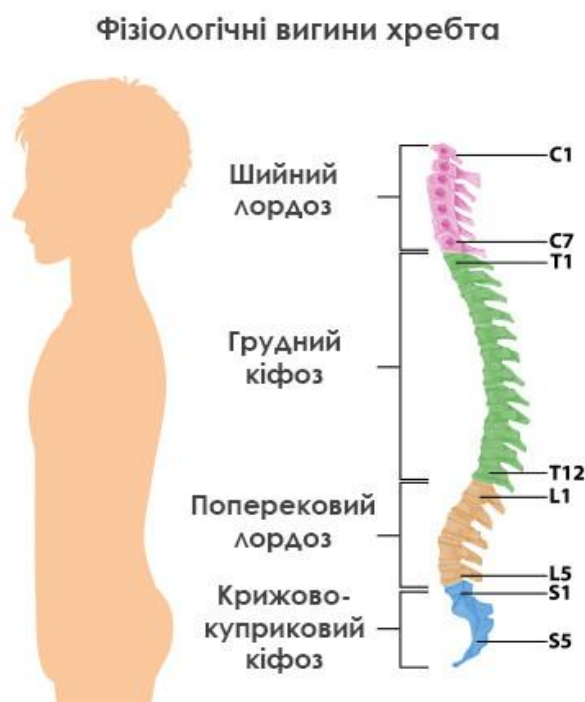


Рисунок 1.2 – Фізіологічні вигини хребта [1]

Ці вигини називають фізіологічними. До них належать лордоз шийного та поперекового відділів (вигини, спрямовані вперед) і кіфоз грудного та крижового відділів (вигини, спрямовані назад) [10].

Здорова постава повинна зберігати ці природні вигини, не сприяючи їх надмірному посиленню. У нормальному стані вигини хребта не повинні

перевищувати 5 см: найбільший із них – поперековий (до 5 см), а найменший – шийний (до 2 см).

При оцінці постави важливо звертати увагу на симетрію тіла, а також на можливі нахили або повороти у фронтальній, бічній і задній площинах.

При оцінці стоячи необхідно звернути увагу на:

- положення голови;
- природні вигини хребта;
- симетричність плечей;
- рівномірне розташування тазу;
- положення тазостегнових, колінних і гомілковостопних суглобів.

При оцінці сидячи слід враховувати:

- голова повинна бути вирівняна так, щоб вуха знаходилися на одній лінії з плечима, а плечі – на рівні стегон;
- плечі мають бути розслабленими, а лікті щільно прилягати до тулуба;
- кут згину в ліктях, стегнах і колінах повинен становити приблизно 90 градусів;
- стопи повинні повністю торкатися підлоги;
- передпліччя мають бути паралельними до підлоги, а зап'ястя залишатися прямими;
- ноги повинні зручно спиратися на поверхню.

Отже, використання інформаційних технологій для автоматизованого виявлення порушень постави за зображенням є обґрунтованим і перспективним напрямом розвитку систем діагностики. Порушення постави мають виражені візуальні ознаки, які проявляються у зміні фізіологічних вигинів хребта, асиметрії плечей, нахилах тазу та відхиленнях від правильної вертикальної осі. Відповідно, за фото можна точно ідентифікувати ці відхилення, що дозволяє автоматизувати процес виявлення порушень, підвищити точність діагностики та зробити її доступнішою. Інтеграція ІТ у медичні та профілактичні системи сприятиме ранньому виявленню патологій постави, що, своєю чергою, дозволить своєчасно коригувати їх і запобігати подальшим ускладненням.

1.2 Огляд теоретичних підходів до розв'язку подібних задач

Сучасний розвиток інформаційних технологій відкриває широкі можливості для автоматизованого аналізу зображень, зокрема у сфері виявлення порушень постави. Нейромережі глибокого навчання демонструють ефективність у розпізнаванні складних паттернів і деталей на фото, що дозволяє застосовувати їх для діагностики різних патологій, зокрема деформацій хребта. Використання штучного інтелекту в медицині та біомеханіці сприяє підвищенню точності діагностики та доступності методів оцінки стану опорно-рухового апарату.

Модель «yolo11s-pose.pt» [11] є спеціалізованою версією популярної моделі глибокого навчання YOLO (You Only Look Once), яка була адаптована для вирішення завдання виявлення поз людини. Вона використовує архітектуру YOLO [12], що дозволяє виконувати швидко і точно оброблення зображень в реальному часі. Зокрема, ця модель оптимізована для аналізу ключових точок на людських фігурах, що важливо для розпізнавання поз, таких як сидіння, стояння чи інші фізичні пози, а також для застосувань, пов'язаних з аналізом постави.

Модель «yolo11s-pose.pt» була навчена для визначення положення основних частин тіла людини, таких як голова, плечі, лікті, коліна та інші ключові точки, що дозволяє точно відстежувати рухи, визначати стан постави і навіть виявляти порушення чи деформації. Для цього вона використовує специфічні механізми виявлення об'єктів, що дозволяють її застосовувати в багатьох сферах, зокрема в медицині для діагностики патологій опорно-рухового апарату або у фітнесі для моніторингу правильності виконання вправ.

Завдяки високій ефективності YOLO у реальному часі, ця модель може швидко обробляти зображення з камер відеоспостереження, надаючи точні координати для ключових точок на зображенні [13]. Це дає можливість інтегрувати модель у різноманітні додатки, де важливим аспектом є не лише виявлення людини, але й детальний аналіз її позиції або руху.

Технічно, «yolo11s-pose.pt» поєднує в собі переваги легкості та швидкості класичних моделей YOLO, а також додаткові можливості для роботи з ключовими точками, що робить її потужним інструментом для автоматизованого аналізу людських поз.

R-CNN (Regions with Convolutional Neural Networks) є підходом до задачі виявлення об'єктів, який поєднує алгоритми генерації регіонів із згортковими нейронними мережами для класифікації та локалізації [14]. Метод полягає в поділі задачі на дві стадії: спочатку визначаються потенційні області зображення, які можуть містити об'єкти (region proposals), після чого кожна область незалежно обробляється згортковою мережею для витягання ознак [15].

Ці ознаки передаються в окремі класифікатори (зазвичай SVM), які визначають клас об'єкта [16]. Паралельно виконується регресія координат для уточнення меж прямокутника. R-CNN використовує зовнішній алгоритм для генерації регіонів, зокрема Selective Search [17], що не є диференційовною операцією і виконується поза мережею. Для кожного регіону зображення здійснюється масштабування до фіксованого розміру перед передачею в Convolutional Neural Network (CNN), що призводить до високих обчислювальних витрат [18].

Метод демонструє суттєве покращення в точності порівняно з попередніми підходами, які не використовували глибоке навчання. Недоліками є повільність, потреба зберігати ознаки на диску та неузгодженість між модулями, які навчаються окремо.

1.3 Аналіз існуючих програмних засобів та наукових рішень

Сучасні досягнення в галузі комп'ютерного зору дозволяють машинам аналізувати зображення та відео, розпізнаючи положення людського тіла. Одним із методів, який забезпечує таку функціональність, є оцінка поз (pose estimation). Ця технологія дозволяє алгоритмам визначати ключові точки людського тіла, розуміючи його положення в просторі. Одним із найвідоміших інструментів для

вирішення цього завдання є система OpenPose, розроблена дослідниками з Університету Карнегі-Меллона [19].

OpenPose є першою реальною системою для багатолюдного визначення поз у режимі реального часу [20]. Вона здатна аналізувати статичні зображення та відео, точно визначаючи ключові точки тіла, обличчя, кистей рук та стоп людини. Усього алгоритм може ідентифікувати 135 ключових точок, що дозволяє детально відтворювати положення людського тіла в тривимірному просторі. Висока точність моделі забезпечує можливість її використання у різних сферах, включаючи медицину, спорт, анімацію та розширену реальність.

Математичне представлення поз, отримане за допомогою OpenPose, може бути конвертоване у зрозумілі людині мітки. Це означає, що алгоритм не лише визначає геометричне положення тіла, а й здатен класифікувати його в певну категорію, наприклад, «сидіння», «стоячи», «нахил вперед». Такий підхід дозволяє використовувати систему для моніторингу постави, контролю правильності виконання фізичних вправ або навіть аналізу поведінки людини в реальному часі. Приклад ідентифікації ключових точок наведено на рисунку 1.3.

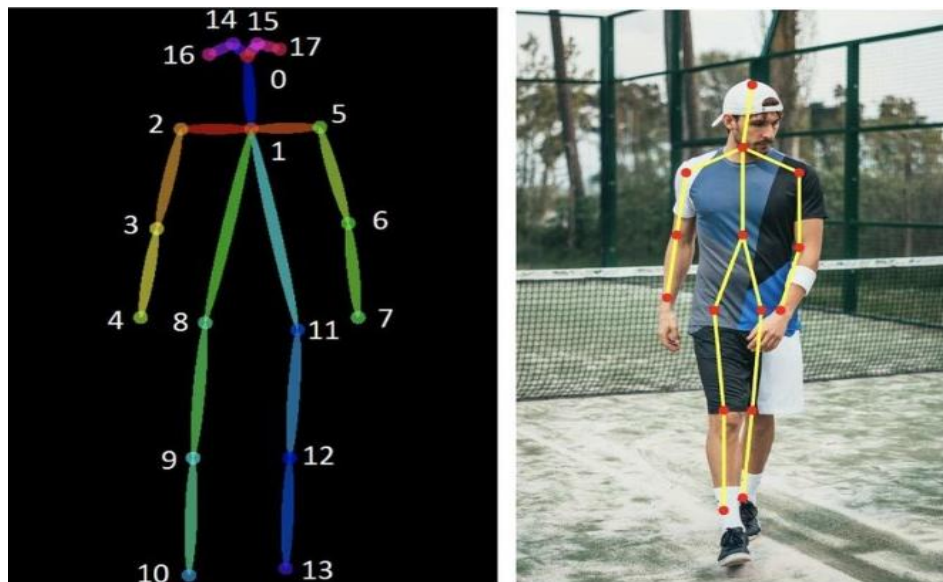
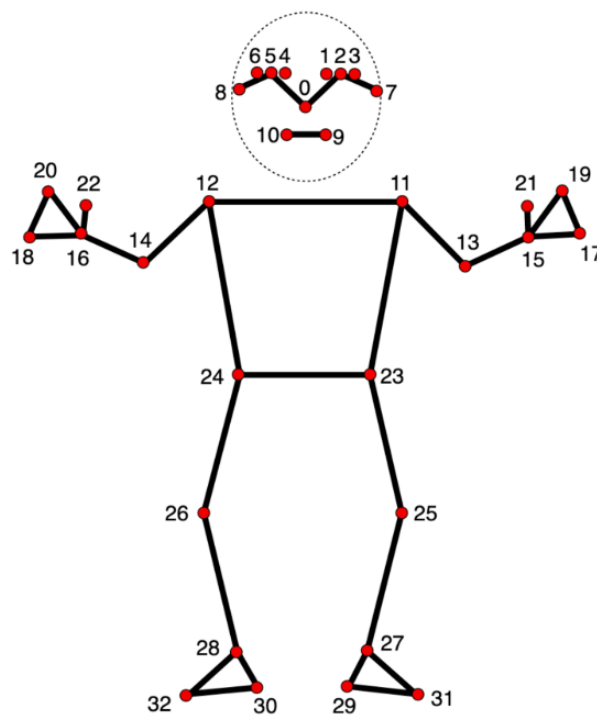


Рисунок 1.3 – OpenPose [20]

Pose Landmarker від MediaPipe – це інструмент для визначення поз людини в зображеннях або відео за допомогою машинного навчання. Він

використовує моделі, які здатні розпізнавати основні точки на тілі людини, що дозволяє не лише визначати наявність людей у кадрі, але й точно відстежувати їхні позиції у тривимірному просторі [21]. Це дає можливість аналізувати не лише статичні зображення, а й відео або живе відео у реальному часі, що є важливим для таких застосувань, як фітнес-додатки чи анімація.

Ключовою особливістю є точне визначення 33 точок на тілі людини (рисунок 1.4), що включають основні частини, як носа, очі, вуха, плечі, лікті, коліна, зап'ястя тощо. Кожна з цих точок має як нормалізовані координати (щоб їх можна було порівнювати між різними зображеннями), так і координати в реальному світі, що дозволяє точно визначати положення людини в тривимірному просторі. Це корисно для аналізу постури, фітнес-тренувань [22], а також для вивчення рухів у медичних або дослідницьких цілях.



Рисуно 1.4 – Pose landmark detection [21]

Моделі, які використовуються в Pose Landmarker, спеціально оптимізовані для роботи на пристроях в реальному часі, що робить їх ідеальними для мобільних додатків або пристроїв для фітнесу. Вони спочатку виявляють людину в кадрі, а потім додатково відображають точне положення її суглобів і

кінцівок за допомогою глибоких нейронних мереж. Цей процес відбувається за допомогою двох моделей: однієї для виявлення тілесної форми та іншої для точного відображення поз.

MediaPipe є відкритим фреймворком від Google для створення комп'ютерного зору, який дозволяє будувати й експлуатувати потоки даних з використанням машинного навчання для реального часу або потокових медіа [23]. Завдяки своїй гнучкості, MediaPipe підтримує широкий спектр застосувань у комп'ютерному зорі, включаючи обробку зображень і відео, аудіо, а також сенсорні дані.

Один з основних аспектів MediaPipe – це побудова комп'ютерного зору як графа, що складається з модульних компонентів. Ці компоненти, або "калькулятори", виконують різні операції на вхідних даних, таких як інференс моделей машинного навчання, алгоритми обробки медіа та перетворення даних [24]. Дані передаються між калькуляторами у вигляді "пакетів", які містять не тільки самі дані, а й часові мітки для точного синхронізування потоків.

Особливістю MediaPipe є підтримка роботи з різними платформами, такими як Android, iOS, Linux і macOS. Це дозволяє розробникам реалізувати рішення для комп'ютерного зору на різних пристроях без необхідності переписувати код для кожної платформи окремо. Користувачі можуть використовувати MediaPipe для створення як простих прототипів, так і для масштабованих застосунків, таких як виявлення облич, визначення поз, трекінг об'єктів, а також аналіз відео в реальному часі.

У MediaPipe також є вбудовані можливості для роботи з графічними процесорами (GPU), що дозволяє прискорити обробку відео та зображень, забезпечуючи високу продуктивність. Платформа включає набір інструментів для оцінки продуктивності, таких як трасувальник, що дозволяє фіксувати час обробки пакетів та виявляти вузькі місця в графі обробки даних.

Платформа є відкритою та ліцензованою за умовами Apache 2.0, що дозволяє її безкоштовно використовувати і модифікувати під конкретні потреби.

MediaPipe може бути інтегровано з іншими інструментами для створення більш складних систем комп'ютерного зору.

Однак, існуючі програмні реалізації не забезпечують ідентифікацію ключових точок хребта, які необхідні для виявлення порушень постави людини за зображенням. Тому розробка програмного забезпечення для автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням є актуальною задачею.

Окрім прикладних програмних реалізацій у напрямку визначення поз людини, завдання виявлення порушень постави також викликає увагу у вчених.

Дослідження [25] присвячене розробці моделей машинного навчання для класифікації сидячої пози людини, зібраних за допомогою двох 32x32 сенсорів тиску, встановлених на сидінні та спинці стільця. Основною метою є виявлення неправильних звичок сидіння, які можуть призвести до болю в спині та м'язово-скелетних захворювань, особливо серед літніх людей, осіб з інвалідністю та офісних працівників. Використовувалися п'ять алгоритмів машинного навчання: Random Forest (RF), Gaussian Naïve Bayes, Logistic Regression (LR), Support Vector Machine та Deep Neural Network (DNN). Для оцінки моделей застосовувалася техніка KFold крос-валідації. Результати показали високі середні точності класифікації: 98% на контрольному наборі даних та 97% на реалістичному, для шести сидячих поз.

Робота [26] також присвячена вирішенню проблеми виявлення неправильних сидячих поз через розпізнавання постави в роботизованих системах. Це важлива проблема через негативний вплив тривалого перебування в неправильних позах на здоров'я, зокрема розвиток захворювань хребта та міопії. Існуючі методи розпізнавання постави здебільшого орієнтуються на визначення особливостей людського тіла, але не враховують оточуючі об'єкти в сцені, що обмежує їх здатність виявляти деякі види неправильних сидячих поз, особливо в складних умовах. Щоб вирішити ці проблеми, автори пропонують підхід, що поєднує розпізнавання сцени та семантичний аналіз для виявлення неправильних сидячих поз. Для цього використовується сенсор Microsoft Kinect, який відстежує ключові точки скелету людини, а метод глибокого навчання

Faster R-CNN застосовується для точного розпізнавання об'єктів у сцені. Далі система проводить семантичний аналіз за допомогою кластеризації поведінки на основі гауссівських змішувальних моделей для кращого розуміння сцени. Поєднуючи виявлені особливості скелету та об'єкти сцени, метод дозволяє точно розрізнити різні сидячі пози. Експериментальні результати показали, що цей підхід не тільки виявляє більше видів неправильних сидячих поз, ніж існуючі методи, а й уникає помилок в складних середовищах. Цей підхід має потенціал для інтеграції в роботизовані системи медичної допомоги та лікування, покращуючи моніторинг постави та процеси лікування. Метрики, отримані у підході, розглянутому в [26], наведені на рисунку 1.5.

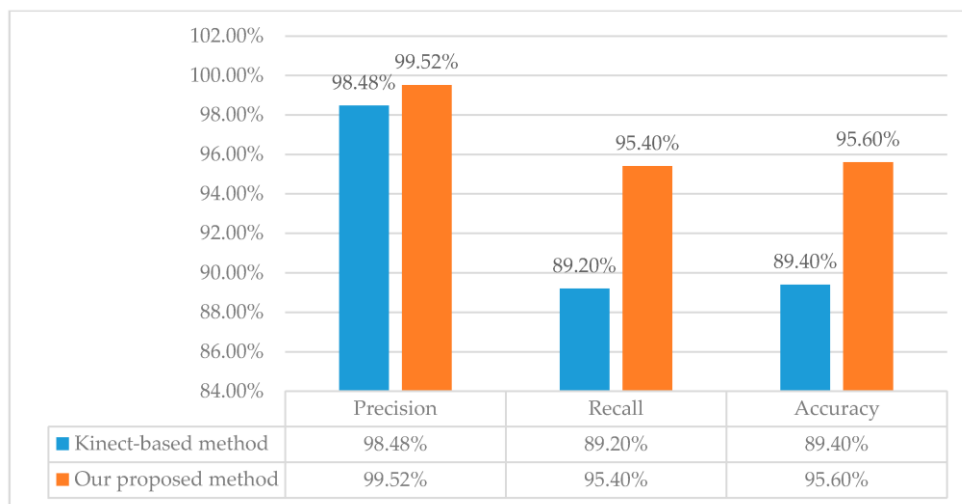


Рисунок 1.5 – Метрики виявлення неправильних сидячих поз

У дослідженні [27] розглядається система для безконтактного розпізнавання сидячих поз офісних працівників з використанням різних методів класифікації для здоров'я. Погані сидячі позиції часто пов'язані з розвитку опорно-рухових розладів, тому важливо оцінювати здорові пози для сидіння. У роботі визначено п'ять сидячих поз, що ґрунтуються на медичній літературі та стандартах. Тридцять учасників утримували ці пози протягом 30 секунд, при цьому дані про позицію фіксувалися за допомогою пристрою Kinect. Для подолання таких труднощів, як столи та комп'ютери, були створені два набори даних з різними точками суглобів. Позначки для поз були визначені шляхом

обчислення кутів між частинами тіла, такими як ноги, стегна та спина. Для класифікації були використані різні методи, зокрема нейронні мережі, Support Vector Machine, K-Nearest Neighbors (KNN), Naive Bayes, AdaBoost, дерево рішень, Random Forest та Ensemble Learning (EL). Перша та п'ята пози були визнані найкомфортнішими. Метою цієї системи є покращення сидячої поведінки і її використання для моніторингу здоров'я та роботизованого зору.

Дослідження [28] представляє систему Smart-Cover, що автоматично моніторить сидячу позу для запобігання проблемам зі здоров'ям, зокрема болям у спині та деформаціям хребта, які можуть виникнути через тривале сидіння в асиметричних позах. Традиційно, для оцінки постави використовуються суб'єктивні методи спостереження фахівців або дорогі лабораторні системи захоплення рухів, які не завжди доступні. У цьому дослідженні запропоновано більш доступний і економічний підхід, заснований на використанні Сенсора тиску при сидінні (SPS), що складається з матеріалів Velostat, провідної тканини та піни для збору інформації про розподіл тиску на поверхні сидіння.

Дані про тиск збираються від 10 здорових молодих людей, кожен з яких сидить 30 хвилин. Інформація передається на хмарний сервер за допомогою Інтернету речей (IoT), що дозволяє моніторити пози в реальному часі. Для обробки даних використовується правилний класифікатор, який надає користувачеві сповіщення про тривалість сидіння та рівень асиметрії. Розроблено новий додаток для кінцевих пристроїв, який відображає рівень асиметрії сидіння, а також інформацію про активне і статичне сидіння, разом з підсумковими результатами за день.

У дослідженні [29] було розроблено метод автоматизованої оцінки постави людини на основі зображень у сагітальній площині. Метою було забезпечення надійного розпізнавання типу постави за допомогою згорткових нейронних мереж, які класифікують зображення як такі, що відповідають ідеальній або неідеальній позі. Моделі навчалися на розширеному наборі даних, який складався із понад дев'яти тисяч зображень, попередньо анотованих експертами у сфері фізичної терапії. Архітектура моделі залишалася сталою,

однак змінювались функції втрат і алгоритми оптимізації, що дозволило дослідити вплив конфігурацій на ефективність навчання. Моделі, засновані на середньоквадратичній похибці, виявили стабільну поведінку під час навчання та кращі характеристики узгодженості з еталонними мітками. Зокрема, модель з функцією втрат MSE та оптимізатором Adam досягла точності 0.85, повноти 0.84 і значення коефіцієнта узгодженості РАВАК на рівні 0.69. Отримані результати свідчать про потенційну ефективність моделі з конфігурацією MSE & Adam у задачах первинного скринінгу та виявлення відхилень постави.

Отже, незважаючи на увагу вчених до питання виявлення порушень постави людини, досі є потреба у зростанні точності. Тому створення методу автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання та відповідної програмної реалізації є актуальною задачею інформаційних технологій.

1.4 Мета, задачі та вимоги до реалізації інтелектуальної системи

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення точності автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання.

Для досягнення поставленої мети слід вирішити такі *завдання*:

- виконати аналіз предметної області виявлення порушень постави людини;
- створити метод інтелектуального виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання;
- створити відповідну програмну реалізацію запропонованого методу виявлення порушень постави людини за зображенням;
- виконати дослідження створеного методу виявлення порушень постави людини за зображенням.

Розділ 2 Метод автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням

2.1 Формалізація процесу виявлення порушень постави людини за зображенням

У більшості досліджень, присвячених виявленню порушень постави, застосовуються допоміжні апаратні засоби, такі як сенсори тиску, глибинні камери, системи на основі Kinect [30] або спеціалізовані сидіння. Використання подібної інфраструктури ускладнює масштабування запропонованих підходів та обмежує їхню практичну придатність у побутових або офісних умовах. Крім того, потреба у фізичному контакті або надто близькому розміщенні пристроїв відносно тіла може знижувати комфорт користувача, що є критичним для тривалого застосування таких систем. Окремі нейромережеві рішення не забезпечують прозорої інтерпретації результатів класифікації, що ускладнює обґрунтування виявлених порушень постави й знижує довіру до систем, заснованих на штучному інтелекті. Тому у роботі буде виконано як автоматизацію виявлення порушень постави за фото, так і надано візуальні пояснення.

У межах роботи для виявлення порушень постави людини за зображенням буде використано 4 ключові точки вздовж хребта людини (рисунок 2.1):

- Cervical Spine (шийний відділ хребта, червона точка);
- Thoracic Spine (грудний відділ хребта, зелена точка);
- Lumbar Spine (поперековий відділ хребта, синя точка);
- Sacral Spine (крижовий відділ хребта, жовта точка).

Нехай множина точок P характеризує поставу людини на фото:

$$P = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)\} \quad (2.1)$$

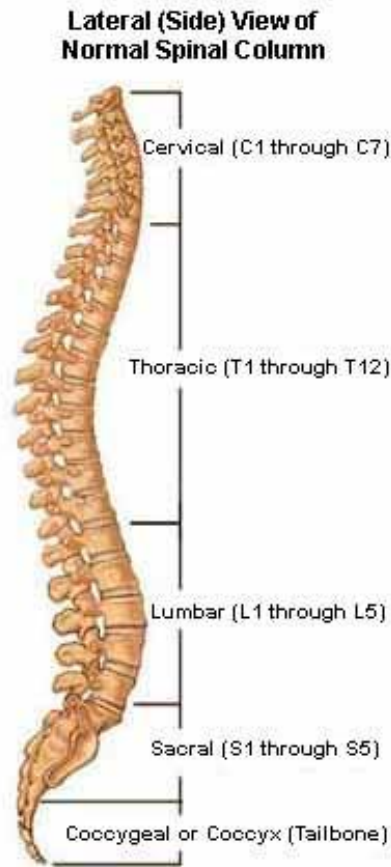


Рисунок 2.1 – Ключові точки для виявлення порушень постави людини [31]

Відповідно, (x_1, y_1) – точка, що належить до шийного відділу хребта, (x_2, y_2) – точка, що належить грудному відділу хребта, (x_3, y_3) – точка, що належить поперековому відділу хребта, а (x_4, y_4) – точка, що належить крижовому відділу хребта. Ця множина точок дозволяє описати основні вигини хребта та визначити тип порушення постави на основі їхніх координат та взаємних кутів. є достатніми для виявлення порушень постави, оскільки вони відповідають ключовим анатомічним орієнтирам хребта, що визначають його вигини.

Людський хребет у нормальному стані має чотири основні кривини: шийний лордоз (вигин вперед), грудний кіфоз (вигин назад), поперековий лордоз (вигин вперед) та крижовий кіфоз (вигин назад). Описані точки покривають саме ці відділи, що дозволяє оцінити відхилення від нормальної постави.

Постава визначається взаємним розташуванням цих точок та їхніми кутами нахилу. Основні вигини хребта можна охарактеризувати трьома кутами

(2.2, 2.3, 2.4) між відповідними сегментами хребта. Шийний кут (θ_1) – між шийним та грудним відділом:

$$\theta_1 = \arctan((y_2 - y_1)/(x_2 - x_1)) \quad (2.2)$$

Грудний кут (θ_2) – між грудним та поперековим відділом:

$$\theta_2 = \arctan((y_3 - y_2)/(x_3 - x_2)) \quad (2.3)$$

Поперековий кут (θ_3) – між поперековим та крижовим відділом:

$$\theta_3 = \arctan((y_4 - y_3)/(x_4 - x_3)) \quad (2.4)$$

Ці кути будуть порівнюватись із нормальними референсними значеннями (θ_1^* , θ_2^* , θ_3^*) для виявлення відхилень.

Для оцінки постави буде використано функцію відхилення:

$$\Delta\theta_i = |\theta_i - \theta_i^*|, \quad i=1,2,3 \quad (2.5)$$

де i – порядковий номер кута з подань 2.2 – 2.4.

Якщо хоча б одне з $\Delta\theta_i$ перевищує допустиме значення ε , тоді вважається, що порушення постави наявне:

$$\text{Порушення проявлено} \Leftrightarrow \exists i \text{ такий, що } \Delta\theta_i > \varepsilon_i \quad (2.6)$$

де ε_i – допустиме відхилення i -го кута, встановлене емпірично.

Тип порушення постави пропонується визначати за знаками $\Delta\theta_i$. Відповідно, гіперлордоз (надмірний прогин вперед) тоді можна формалізувати так:

$$\theta_1 > \theta_1^* \text{ та } \theta_3 > \theta_3^*, \quad (2.7)$$

Гіперкіфоз, або ж надмірний вигин назад пропонується виявляти так:

$$\theta_2 > \theta_2^*, \quad (2.8)$$

Плоска спина, або ж відсутність природних вигинів пропонується виявляти так:

$$\theta_1 \approx \theta_1^* \text{ та } \theta_2 \approx \theta_2^* \text{ та } \theta_3 \approx \theta_3^*, \quad (2.9)$$

Сколіоз, або бокове викривлення пропонується визначати як відхилення координат осі абсцис:

$$|x_2 - x_1| > d_1 \text{ або } |x_3 - x_2| > d_2, \quad (2.10)$$

де d_1 , d_2 – критичні значення зміщення, визначені емпіричним шляхом.

Тоді нормальність постави можна визначити, як нормалізовану суму відхилень:

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta\theta_i}{\theta_i^*} \quad (2.11)$$

Якщо $S < \lambda$, то постава вважається нормальною, інакше вважається, що є порушення. Де λ – емпірично встановлений поріг, n – загальна кількість кутів, що відповідають поданням (2.2) – (2.4), у дослідженні $n=3$.

Отже, запропонована модель дозволяє кількісно оцінити поставу людини на основі ключових точок хребта, аналізуючи кути нахилу між ними. Вона базується на визначенні нормальних референсних значень кутів і порівнянні їх із реальними координатами.

2.2 Схема та кроки методу автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням

Метод автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням ґрунтується на аналізі ключових анатомічних орієнтирів хребта, визначених за допомогою нейромережі. Використовуючи координати ключових точок (шийний, грудний, поперековий і крижовий відділи хребта), метод оцінює кривизну хребта та визначає відхилення від норми, що дозволяє ідентифікувати патологічні зміни, такі як гіперлордоз, гіперкіфоз чи сколіоз. Кроки методу наведені на рисунку 2.2.

Вхідними даними методу є зображення для аналізу, нейромережа глибокого навчання (модель «yolo11s-pose.pt») для визначення множини ключових точок P , порогові значення для ідентифікації порушень постави (λ , d_1 , d_2 , ε_1 , ε_2 , ε_3) та референтні значення θ_1^* , θ_2^* , θ_3^* для виявлення відхилень відповідних кутів між відповідними сегментами хребта.

На кроці 1 відбувається нейромережеве визначення наявності людини на фото. Якщо людина на фото ідентифікована, відбуваються кроки 2-7, якщо ж не ідентифікована – відбувається перехід до вихідних даних.



Рисунок 2.2 – Схема та кроки методу автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням

Крок 2 здійснює неймережеве визначення множини ключових точок P , за якими в подальшому будуть здійснюватись обрахунки кутів між сегментами хребта (крок 3), відповідно до подань (2.2) – (2.4).

На кроці 4 відбувається обрахунок $\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3$ між кутами та референтними значеннями за поданням (2.5), а на кроці 5 відбувається обрахунок значень для виявлення сколіозу, гіперкіфозу, плоскої спини, гіперлордозу за поданнями (2.7) – (2.10).

Крок 6 здійснює обрахунок нормальності постави S за поданням (2.11). Крок 7 здійснює підсумовування усіх кроків та виконує формування висновків про наявність або відсутність порушень постави.

Вихідними даними є зображення із визначеною множиною нанесених ключових точок P , що характеризує поставу людини на фото; оцінка нормальності постави S та оцінки наявності порушень постави: сколіозу, гіперкіфозу, плоскої спини, гіперлордозу.

Запропонований метод автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням забезпечує кількісно обґрунтований підхід до діагностики деформацій хребта шляхом аналізу просторових координат чотирьох ключових анатомічних точок, які відображають основні фізіологічні вигини спини. На основі обчислення кутів між сегментами хребта та порівняння їх із референтними значеннями метод дозволяє виявляти як загальні порушення постави, так і конкретні патології, зокрема гіперлордоз, гіперкіфоз, плоску спину та сколіоз. Його інтеграція з нейромережею забезпечує автоматизовану локалізацію ключових орієнтирів на зображенні, що робить можливим повністю автоматичне оцінювання стану постави без потреби у ручному втручанні.

Таким чином, метод слугує основою для створення систем моніторингу постави в медичних, спортивних та освітніх середовищах, сприяючи ранньому виявленню відхилень і зменшенню ризиків розвитку хронічних захворювань опорно-рухового апарату.

2.3 Підготовка робочих вхідних даних для тонкого налаштування моделі глибокого навчання

Для тонкого налаштування моделі глибокого навчання у розрізі завдання визначення ключових точок з множини P , було обрано датасет з платформи Kaggle [32] під назвою «Posture Keypoints Detection - Photos & Labels» [33].

Набір даних призначений для завдань комп'ютерного зору та машинного навчання, орієнтований на вивчення постави людей, що ведуть сидячий спосіб життя. Приклад даних датасету наведено на рисунку 2.3.

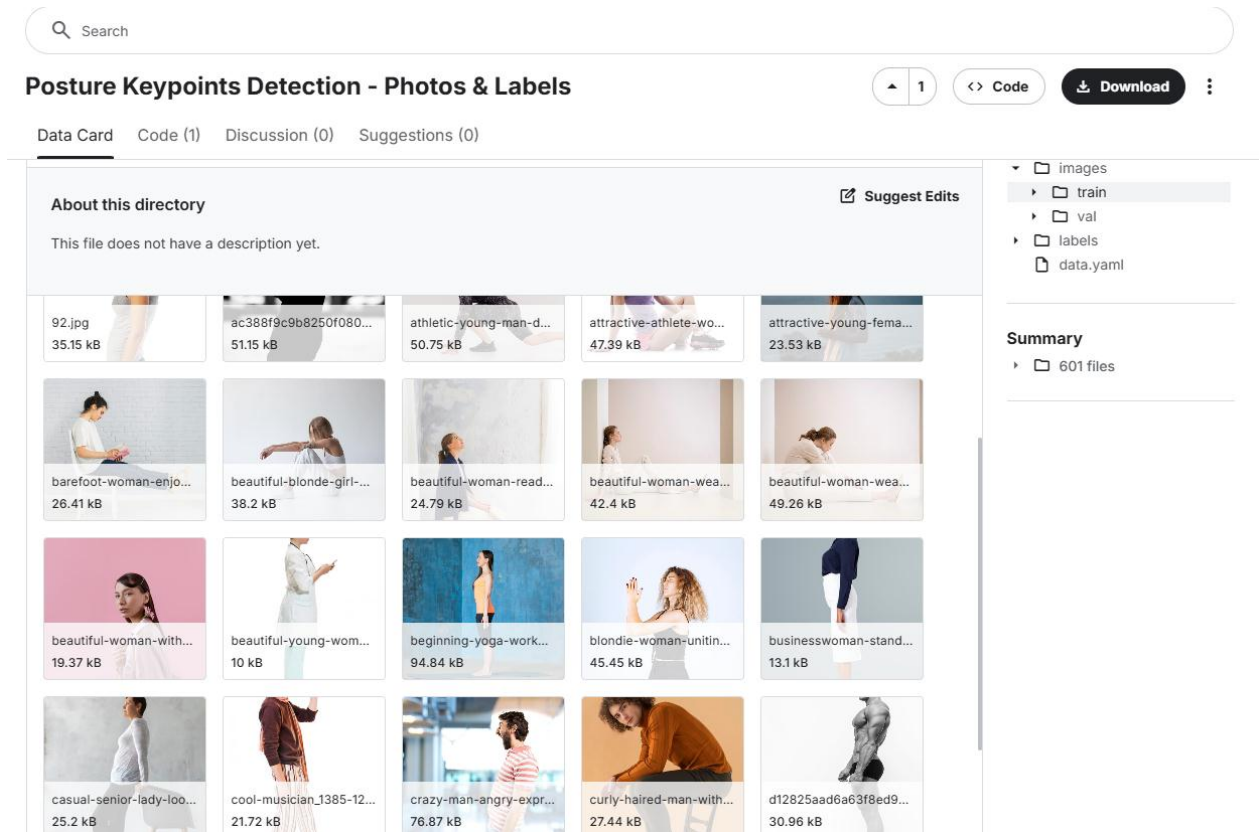


Рисунок 2.3 – Приклад даних датасету

Він містить зображення людей, які знаходяться в сидячому або стоячому положенні, з додатковими анотаціями, що вказують на ключові точки тіла у форматі пози YOLO. Ці анотації (рисунок 2.4) включають координати важливих маркерів (з множини P), які допомагають визначити положення людини на зображенні.

Даний набір даних є корисним для розробки моделей комп'ютерного зору, здатних здійснювати аналіз постави людини в різних позах, зокрема для автоматичного виявлення порушень постави, що часто зустрічаються у осіб, які проводять багато часу в сидячому положенні, таких як офісні працівники або люди, що працюють за комп'ютером.

train (250 files)



About this directory ✎ Suggest Edits

This file does not have a description yet.

118 B	118 B	118 B	118 B	118 B
<p>92.txt 118 B</p>	<p>ac388f9c9b8250f080... 118 B</p>	<p>athletic-young-man-d... 118 B</p>	<p>attractive-athlete-wo... 118 B</p>	<p>attractive-young-fema... 118 B</p>
<p>barefoot-woman-enjo... 118 B</p>	<p>beautiful-blonde-girl-... 118 B</p>	<p>beautiful-woman-read... 118 B</p>	<p>beautiful-woman-wea... 118 B</p>	<p>beautiful-woman-wea... 118 B</p>
<p>beautiful women with</p>	<p>beautiful young woman</p>	<p>business woman work</p>	<p>blonde woman writing</p>	<p>businesswoman stand</p>

Рисунок 2.4 – Анотації датасету

Складається датасет із 250 анотованих файлів для навчання та 50-и анотованих файлів для валідації.

Отже, розглянутий датасет буде використано з метою тонкого налаштування нейромережі глибокого навчання «yolo11s-pose.pt» з метою виявлення ключових точок постави людини з множини P .

2.4 Проектування інтелектуальної системи виявлення порушень постави людини за фото

В рамках запропонованої системи інтелектуального виявлення порушень постави людини на основі зображень, виконано проектування її складових. Взаємодія модулів спроектованої інтелектуальної системи наведено на рисунку 2.5.

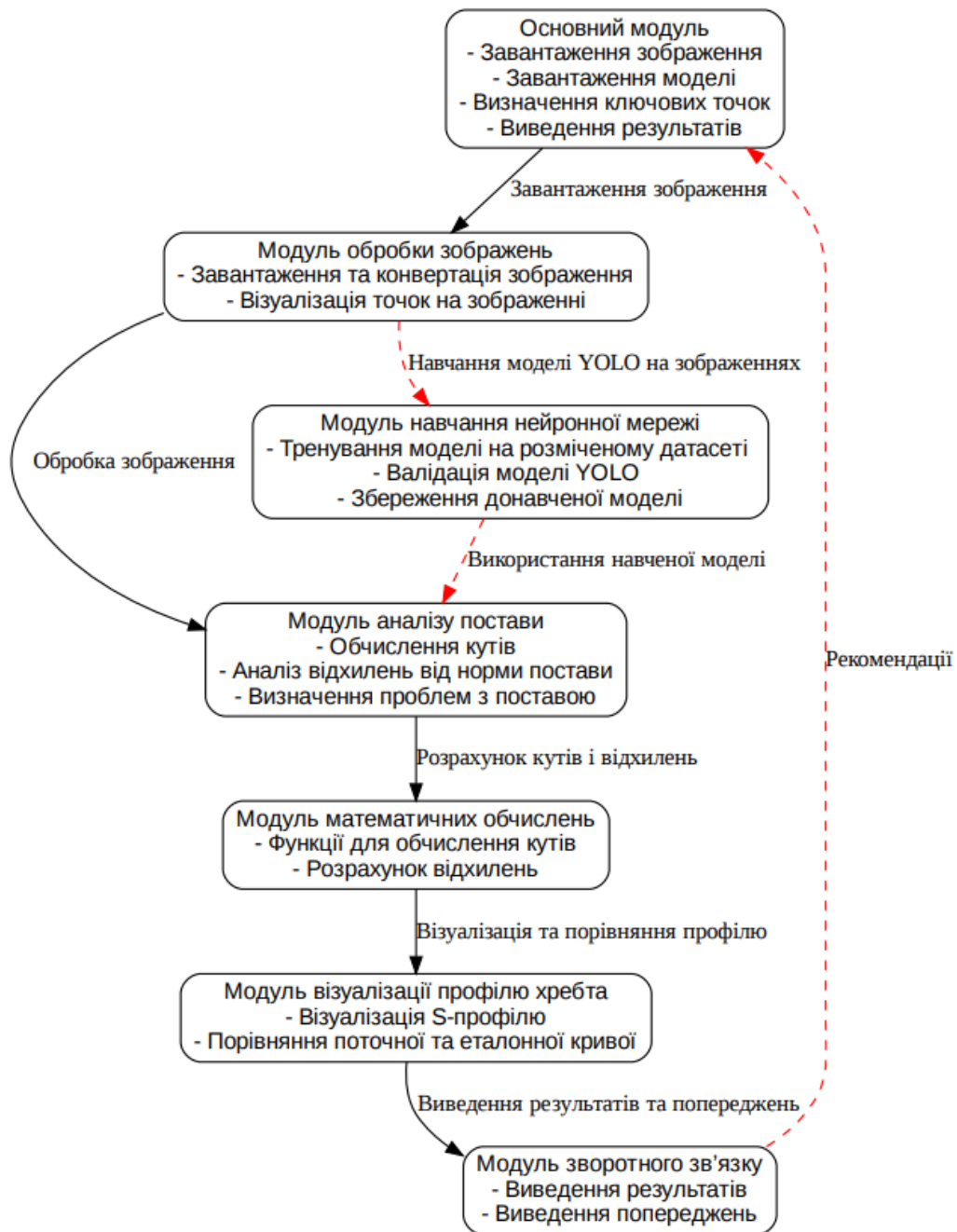


Рисунок 2.5 – Взаємодія модулів інтелектуальної системи виявлення порушень постави за фото

Кожен модуль виконує притаманні йому функції, взаємодіючи з іншими, забезпечуючи цілісність процесу оцінки та діагностики постави.

Основний модуль виступає як керуючий компонент, що організовує роботу всієї системи. Він відповідає за ініціалізацію основних етапів аналізу, таких як завантаження зображення та моделі, визначення ключових точок та виведення результатів. Він інтегрує всі функціональні блоки та гарантує, що дані

передаються між модулями згідно з визначеними алгоритмами. Його роль критична для забезпечення плавної роботи системи та її інтеграції з іншими компонентами.

Модуль обробки зображень відповідає за попередню обробку вхідного зображення. Він виконує завантаження та конвертацію зображення у формат RGB для подальшої обробки та нейромережевого аналізу. Модуль також здійснює візуалізацію точок на зображенні, що дозволяє користувачеві бачити результат роботи нейромережі. Це важливий крок, оскільки він забезпечує точність подальших обчислень і дозволяє коректно інтегрувати зовнішні дані.

Модуль аналізу постави є критичним компонентом, оскільки він відповідає за обчислення кутів між ключовими точками хребта та виконує аналіз відхилень від нормальних значень. Використовуючи координати ключових точок (шийний, грудний, поперековий і крижовий відділи хребта), відбувається обчислення основних вигинів хребта і порівняння їх із референтними значеннями. Модуль використовує для обчислень нижчеописаний модуль математичних обчислень. Залежно від результатів порівняння, система визначає наявність патологій, таких як гіперлордоз, гіперкіфоз або сколіоз.

Модуль математичних обчислень реалізує функції для точного розрахунку кутів між сегментами хребта, що є основою для оцінки постави. Він здійснює обчислення таких параметрів, як $\Delta\theta_1$, $\Delta\theta_2$, $\Delta\theta_3$, які використовуються для виявлення відхилень від нормальних значень. Цей модуль є важливим для забезпечення наукової обґрунтованості результатів і точності виявлення порушень постави.

Модуль візуалізації профілю хребта спеціалізується на візуалізації S-профілю хребта, що дозволяє порівняти поточну криву хребта з еталонною. Він дає змогу користувачу наочно оцінити кривизну хребта, порівнюючи фізіологічні вигини з нормальними значеннями. Модуль підтримує візуальний аналіз та надає додаткову інформацію для уточнення діагнозу.

Модуль зворотного зв'язку відповідає за відображення результатів аналізу, включаючи надання рекомендацій та попереджень користувачу. Це

важливий етап, оскільки він не лише підсумовує результати, а й надає конкретні вказівки щодо стану постави користувача. Це забезпечує інтерактивність і дозволяє отримати важливу інформацію для подальших дій.

Модуль навчання нейронної мережі відповідає за тренування моделі на основі розміченого датасету, валідацію моделі та збереження її для подальшого використання. Його основною метою є підвищення точності визначення ключових точок на зображеннях шляхом тонкої настройки нейромережевої моделі. Це дозволяє системі ефективно адаптуватися до нових зображень і забезпечує її масштабованість.

Процес роботи системи організовано таким чином, що дані передаються через різні модулі, забезпечуючи послідовну обробку зображення та оцінку постави. Модулі тісно взаємодіють, що гарантує, що всі етапи обробки, аналізу та виведення результатів виконуються коректно і логічно зв'язано, а їх інтеграція забезпечує точність, ефективність та швидкість роботи системи. Завдяки цьому підходу, система здатна автоматизувати процес оцінки постави та виявлення порушень, що значно полегшує моніторинг і діагностику в медичних, спортивних і освітніх середовищах.

2.5 Метрики для оцінки результатів тонкого налаштування моделі глибокого навчання

У межах оцінювання ефективності тренування детекторів типу YOLO використовують низку кількісних показників, що дають можливість простежити як здатність моделі точно локалізувати й класифікувати об'єкти, так і загальну динаміку її збіжності. Центральним оптимізаційним орієнтиром виступає функція втрат, що акумулює внесок кількох компонентів—помилки локалізації, об'єктності та, залежно від конфігурації, класифікаційної або позової складових [34]. Її монотонне зниження без виражених коливань інтерпретується як ознака стійкого процесу навчання та відсутності деградації градієнтів, тоді як коректна

кореляція тренувальних і валідаційних втрат служить індикатором належної узагальнювальної здатності.

Показники precision і recall відображають, відповідно, специфічність та чутливість у просторі детекцій. Precision кількісно співвідносить частку істинно-позитивних реакцій моделі з усіма її спрацюваннями, тоді як recall фіксує, яку частку об'єктів, наявних на зображеннях, модель успішно ідентифікувала. У контексті навчання детектора оптимальною траєкторією вважається їх одночасне поступове зростання, оскільки надмірне збільшення одного показника за стагнації іншого зазвичай свідчить про зміщення порогів упевненості або про небажану переорієнтацію мережі на певний тип помилок [35].

Середнє значення точності (Average Precision, AP) формалізує баланс між precision і recall через площу під їхньою залежністю; середнє по класах та порогах перекриття (Intersection over Union, IoU) утворює Mean Average Precision (mAP). Метрика mAP50-95, прийнята в COCO, усереднює AP за одинадцятьма рівновіддаленими порогами IoU у діапазоні від 0.50 до 0.95; завдяки цьому вона чутливіша до структурних помилок локалізації, ніж традиційний mAP@0.50. Поділ на B- та R-сегменти відображає специфіку завдання: перший відповідає детекції об'єктів за їхніми обмежувальними прямокутниками, другий— оцінюванню поз, де для узгодження векторних ключових точок використовується критерій, функціонально аналогічний IoU, зокрема Object Keypoint Similarity (OKS) [36]. Затяжне ненасичення кривої mAP50-95(P) свідчить, що мережа ще не вичерпала потенціал узгодження просторової конфігурації ключових точок і могла б отримати користь від подальших циклів оптимізації, хоча й зростає ризик перенавчання за обмеженого обчислювального бюджету.

2.6 Висновки до розділу 2

У розділі було сформалізовано метод автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням. Запропоновано використання

чотирьох ключових точок вздовж хребта (шийний, грудний, поперековий та крижовий відділи), що дозволяє обчислювати кути між відповідними сегментами хребта. Відхилення цих кутів від референтних значень використано як критерій для виявлення типових порушень постави.

Розроблено формальні правила для кожного типу порушень і введено функцію нормальності постави як сумарне відхилення кутів. Метод ґрунтується на результатах нейромережевої обробки зображення, зокрема використанні моделі «yolo11s-pose.pt» для автоматичного виявлення ключових точок. Запропонована схема забезпечує послідовну обробку зображення та дозволяє реалізувати пояснюване виявлення порушень постави без використання додаткових апаратних засобів.

Проведено підготовку робочого датасету для тонкого налаштування моделі глибокого навчання з метою визначення ключових точок постави людини. Використано датасет «Posture Keypoints Detection - Photos & Labels» з платформи Kaggle, що містить анотовані зображення людей у сидячому та стоячому положеннях з координатами ключових точок у форматі YOLO.

Розроблено структуру інтелектуальної системи для автоматичного виявлення порушень постави за фотографіями, що складається з модулів: обробки зображень, аналізу постави, математичних обчислень, візуалізації профілю хребта, зворотного зв'язку та навчання нейронної мережі.

Для експериментального дослідження методу автоматизованого виявлення порушень постави людини за фото необхідно вирішити такі завдання:

- Здійснити вибір засобів розробки інтелектуальної системи;
- Описати алгоритмічно реалізацію модулів інтелектуальної системи;
- За спроектованою структурою інтелектуальної системи та наведеними алгоритмами виконати програмну реалізацію;
- Провести валідацію нейромережевої моделі для виявлення ключових точок постави людини;
- Провести дослідження запропонованого методу шляхом порівняння еталонних зображень та програмних результатів.

Розділ 3 Експериментальне дослідження методу

3.1 Засоби розробки інтелектуальної системи автоматизованого виявлення порушень постави людини за фото

Розробка інтелектуальної системи виявлення порушень постави людини за фотографіями виконувалась із використанням мови програмування Python [37]. Цей вибір обумовлений широким набором бібліотек і фреймворків, що підтримують задачі комп'ютерного зору і машинного навчання, а також можливістю реалізації алгоритмів глибинного навчання. Для роботи обрана платформа Google Colab [38], яка забезпечує доступ до обчислювальних ресурсів із можливістю використання графічних процесорів. Це дозволяє виконувати тренування моделей і обробку зображень без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення чи спеціалізованого обладнання на локальному комп'ютері.

Інтерфейс користувача створювався за допомогою бібліотеки Gradio, яка дозволяє будувати веб-додатки з мінімальними затратами часу [39]. Через цей інтерфейс користувач має змогу завантажувати зображення, запускати аналіз, переглядати результати у вигляді нанесених на фото ключових точок, а також отримувати інформацію про виявлені порушення постави. Gradio забезпечує зв'язок між моделлю і користувачем, реалізуючи основний функціонал відображення та обробки даних без необхідності створення складних веб-рішень.

Під час розробки інтелектуальної системи виявлення порушень постави людини за фотографіями також використовувалася бібліотека PIL (Python Imaging Library) [40]. Вона служить для обробки та маніпуляцій зображеннями у форматі, зручному для подальшого аналізу. За допомогою PIL виконуються операції завантаження, конвертації, зміни розміру, обрізки та збереження зображень. Це дозволяє підготувати вхідні дані у формат, який відповідає вимогам нейронної мережі, а також відобразити результати обробки у вигляді візуалізації ключових точок на фотографіях.

Бібліотека Ultralytics забезпечує високорівневий інтерфейс для завантаження, налаштування, тренування та застосування моделей виявлення об'єктів і ключових точок.

Ultralytics використовується для тонкого налаштування попередньо натренованої моделі yolov11-pose.pt, що дозволяє здійснювати виявлення ключових точок тіла людини на зображенні. Бібліотека забезпечує просту інтеграцію з форматами анотацій, такими як COCO [41] або YOLO, та підтримує інтерфейс для кастомізації процесу навчання, зокрема задання гіперпараметрів, використання GPU, збереження чекпоінтів і логування результатів.

Таким чином, у процесі розробки інтелектуальної системи виявлення порушень постави людини були використані такі інструменти: мова програмування Python як основа для реалізації алгоритмів, середовище Google Colab для забезпечення доступу до обчислювальних ресурсів, бібліотека Gradio для створення інтерактивного веб-інтерфейсу, PIL для попередньої обробки зображень та Ultralytics для використання глибоких моделей виявлення ключових точок тіла.

3.2 Особливості реалізації програмних складових системи

Для реалізації програмних складових спроектованої інтелектуальної системи необхідно навести опис кроків в алгоритмах. Алгоритм для обчислення кута між двома точками визначає кут між ними, використовуючи координати двох точок на площині. Для цього обчислюється різниця між їхніми координатами по осях x і y , після чого знаходиться арктангенс відношення цих різниць, що і дає кут. Цей кут буде використано для подальших порівнянь та оцінки відхилень у поставі. Кроки алгоритму наведені нижче.

Алгоритм 1 – Обчислення кута між двома точками:

Вхідні дані: координати двох точок (x_1, y_1) і (x_2, y_2)

Вихідні дані: кут θ між двома точками.

Кроки алгоритму:

1. Вхід: $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$
2. Обчислити зміну по осі y : $delta_y = y_2 - y_1$
3. Обчислити зміну по осі x : $delta_x = x_2 - x_1$
4. Обчислити кут $\vartheta = \arctan(delta_y / delta_x)$
5. Вивести ϑ

Алгоритм для обчислення відхилення кута порівнює фактичний кут з референтним значенням кута і визначає, наскільки ці значення відрізняються. Відхилення обчислюється як абсолютна різниця між фактичним і референтним кутом, що дозволяє оцінити, чи відбулося відхилення від нормальної позиції. Кроки алгоритму наведені нижче.

Алгоритм 2 – Обчислення відхилення кута від референтного значення:

Вхідні дані: фактичний кут θ і референтний кут θ^*

Вихідні дані: відхилення кута $\Delta\theta$

Кроки алгоритму:

1. Вхід: фактичний кут ϑ , референтний кут ϑ^*
2. Обчислити відхилення: $\Delta\vartheta = |\vartheta - \vartheta^*|$
3. Вивести $\Delta\vartheta$

Алгоритм для перевірки наявності порушень постави використовує вектор відхилень для кожного з елементів постави та порівнює їх з допустимими значеннями. Якщо хоча б одне відхилення перевищує допустимий поріг, алгоритм виводить, що порушення постави є. Якщо всі відхилення знаходяться в межах норми, порушення не виявлено. Кроки алгоритму наведені нижче.

Алгоритм 3 – Перевірка наявності порушень постави:

Вхідні дані: вектор відхилень $\Delta\theta = [\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3]$, допустимі відхилення $\varepsilon = [\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3]$.

Вихідні дані: булеве значення, що вказує на наявність або відсутність порушення постави.

Кроки алгоритму:

1. Вхід: $\Delta\theta = [\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3]$, $\epsilon = [\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3]$
2. Для кожного i від 1 до 3:
 - а. Якщо $\Delta\theta_i > \epsilon_i$:
 - і. Повернути True (порушення постави ϵ)
3. Повернути False (порушень не виявлено)

Алгоритм для визначення типу порушення постави оцінює характер відхилень по трьох основних зонах постави: верхня, середня та нижня частини хребта. Якщо відхилення перевищують певні пороги для кожної зони, це може вказувати на специфічні порушення, такі як гіперлордоз чи гіперкіфоз. Якщо відхилення мінімальні, постава може бути визначена як нормальна. Кроки алгоритму наведені нижче.

Алгоритм 4 – Визначення типу порушення постави:

Вхідні дані: відхилення кута $\Delta\theta=[\Delta\theta_1,\Delta\theta_2,\Delta\theta_3]$, референтні кути $\theta^*=[\theta_1^*,\theta_2^*,\theta_3^*]$.

Вихідні дані: тип порушення постави.

Кроки алгоритму:

1. Вхід: $\Delta\theta = [\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3]$, $\theta^* = [\theta_1^*, \theta_2^*, \theta_3^*]$
2. Якщо $\Delta\theta_1 > \theta_1^*$ і $\Delta\theta_3 > \theta_3^*$:
 - а. Повернути "Гіперлордоз"
3. Якщо $\Delta\theta_2 > \theta_2^*$:
 - а. Повернути "Гіперкіфоз"
4. Якщо $\Delta\theta_1 \approx \theta_1^*$ і $\Delta\theta_2 \approx \theta_2^*$ і $\Delta\theta_3 \approx \theta_3^*$:
 - а. Повернути "Плоска спина"
5. Повернути "Сколіоз"

Алгоритм для перевірки на сколіоз фокусується на вимірюванні горизонтальних відстаней між точками, що визначають лінію хребта. Якщо відстані між точками перевищують задані критичні значення, це вказує на можливий сколіоз, і виводиться відповідне повідомлення про його наявність.

Алгоритм 5 – Перевірка на сколіоз:

Вхідні дані: координати точок x_1, x_2, x_3 та критичні значення d_1, d_2 .

Вихідні дані: булеве значення, що вказує на наявність сколіозу.

Кроки алгоритму:

1. Вхід: x_1, x_2, x_3, d_1, d_2
2. Якщо $|x_2 - x_1| > d_1$ або $|x_3 - x_2| > d_2$:
 - а. Повернути True (сколіоз виявлено)
3. Повернути False (сколіоз не виявлено)

Алгоритм для визначення нормальності постави підсумовує всі відхилення кута і порівнює їх з пороговим значенням, яке визначає, чи є постава нормальною чи порушеною. Якщо сума відхилень незначна і не перевищує порогового значення, постава вважається нормальною. Інакше, виводиться повідомлення про порушення постави. Кроки алгоритму наведені нижче.

Алгоритм 6 – Визначення нормальності постави:

Вхідні дані: вектор відхилень $\Delta\theta = [\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3]$, поріг λ

Вихідні дані: тип постави ("Нормальна постава" або "Порушення постави").

Кроки алгоритму:

1. Вхід: $\Delta\theta = [\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3]$, λ
2. Обчислити суму відхилень: $S = \sum \Delta\theta_i$ для i від 1 до 3
3. Якщо $S < \lambda$:
 - а. Повернути "Нормальна постава"
4. Повернути "Порушення постави"

Загальний алгоритм для виявлення порушень постави поєднує всі попередні кроки, починаючи від обчислення кутів між ключовими точками, визначення відхилень від нормальних значень, перевірки на сколіоз і завершуючи визначенням типу порушення постави. Цей алгоритм інтегрує всі необхідні функції для комплексного аналізу постави, що дозволяє точно визначити наявність порушень і їхній тип. Кроки алгоритму наведені нижче.

Алгоритм 7 – Загальний алгоритм для виявлення порушень постави:

Вхідні дані: координати точок $P = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)\}$, референтні кути θ^* , допустимі відхилення ε , поріг λ , критичні значення d_1, d_2 .

Вихідні дані: тип порушення постави або нормальна постава.

Кроки алгоритму:

1. Вхід: $P = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)\}$, $\theta^* = [\theta_1^*, \theta_2^*, \theta_3^*]$, $\varepsilon = [\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3]$, λ , d_1 , d_2
2. Обчислити кути між точками:
 - a. $\theta_1 = \text{calculate_angle}(x_1, y_1, x_2, y_2)$
 - b. $\theta_2 = \text{calculate_angle}(x_2, y_2, x_3, y_3)$
 - c. $\theta_3 = \text{calculate_angle}(x_3, y_3, x_4, y_4)$
3. Обчислити відхилення кута:
 - a. $\Delta\theta_1 = \text{calculate_deviation}(\theta_1, \theta_1^*)$
 - b. $\Delta\theta_2 = \text{calculate_deviation}(\theta_2, \theta_2^*)$
 - c. $\Delta\theta_3 = \text{calculate_deviation}(\theta_3, \theta_3^*)$
4. Перевірити наявність порушень постави:
 - a. Якщо $\text{check_posture_deviation}([\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3], \varepsilon)$:
 - i. Визначити тип порушення постави: $\text{determine_posture_type}([\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3], \theta^*)$
 - ii. Перевірити на сколіоз: якщо $\text{check_scoliosis}(x_1, x_2, x_3, d_1, d_2)$, додати "з сколіозом"
 - b. Якщо не виявлено порушень:
 - i. Повернути "Положення хребта в межах норми"

Приклад виконання Алгоритму 7 наведено на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Аналіз постави в межах норми

Наведені алгоритми для нейромережевого аналізу постави людини за фото були реалізовані у прикладній програмній реалізації спроектованої інтелектуальної системи нейромережевого аналізу постави людини. Нейромережевою моделлю для виявлення ключових точок постави на фото було взято «yolo11s-pose.pt», яка має спеціалізацію виявлення постави. Нейромережа була донавчена на даних з датасету «Posture Keypoints Detection - Photos & Labels».

Отже, наведено особливості реалізації програмних складових спроектованої інтелектуальної системи автоматизованого виявлення порушень постави людини за фото.

3.3 Аналіз функціональності інтелектуальної системи визначення порушень постави людини

Після опису особливостей реалізації програмних складових спроектованої інтелектуальної системи необхідно навести її основні функціональні можливості. Інтелектуальна система виконана у форматі вебзастосунку, вигляд якого після запуску наведено на рисунку 3.2.

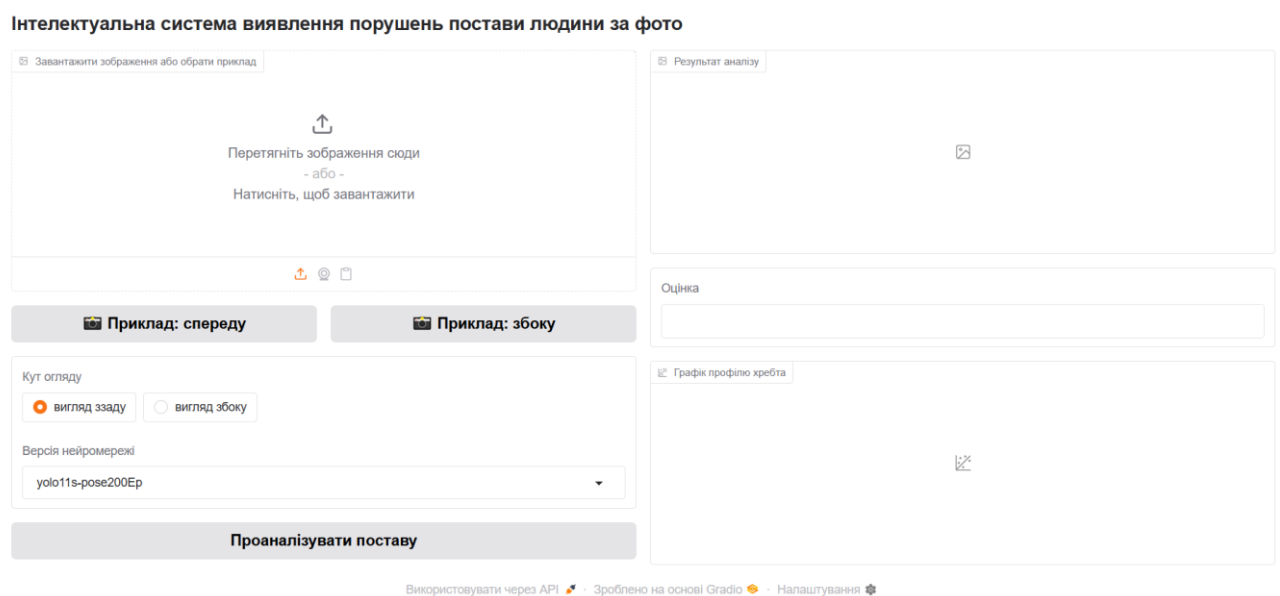


Рисунок 3.2 – Вигляд інтелектуальної системи після запуску

Відповідно, є можливість завантажувати фото для аналізу як з файлової системи, так і з буфера обміну. Також є можливість завантаження фото з вебкамери.

Для завантаження фото з вебкамери потрібно натиснути відповідну піктограмку у вигляді вебкамери (рисунок 3.3).

Інтелектуальна система виявлення порушень постави людини за фото

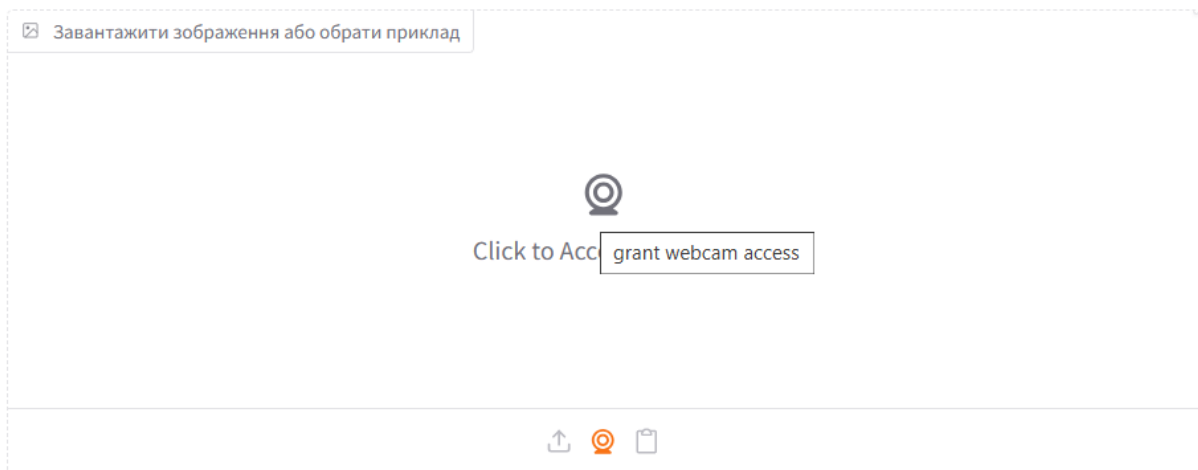


Рисунок 3.3 – Завантаження зображення з вебкамери

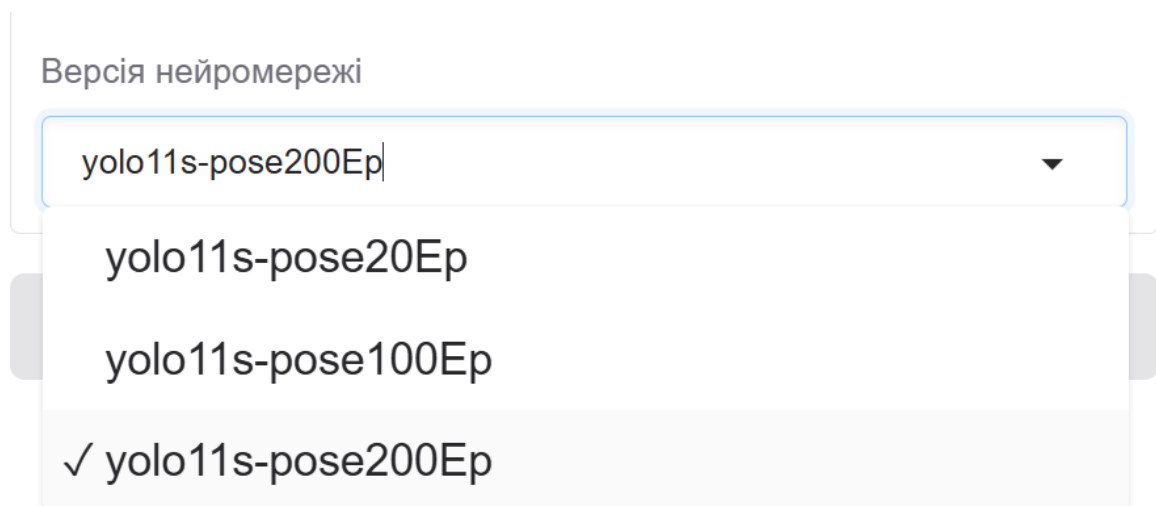


Рисунок 3.4 – Вибір нейромережі для аналізу

Також можна подивитись приклади зображень з різних ракурсів, натиснувши на відповідні кнопки «Приклад: Спереду» або ж «Приклад: збоку».

Також є можливість вибору версії навченої неймережевої моделі (рисунок 3.4), яку можна обрати з доступних з випадуючого списку.

Після завантаження зображення можна натиснути кнопку «Проаналізувати поставу». Результат роботи інтелектуальної системи на рисунку 3.5.

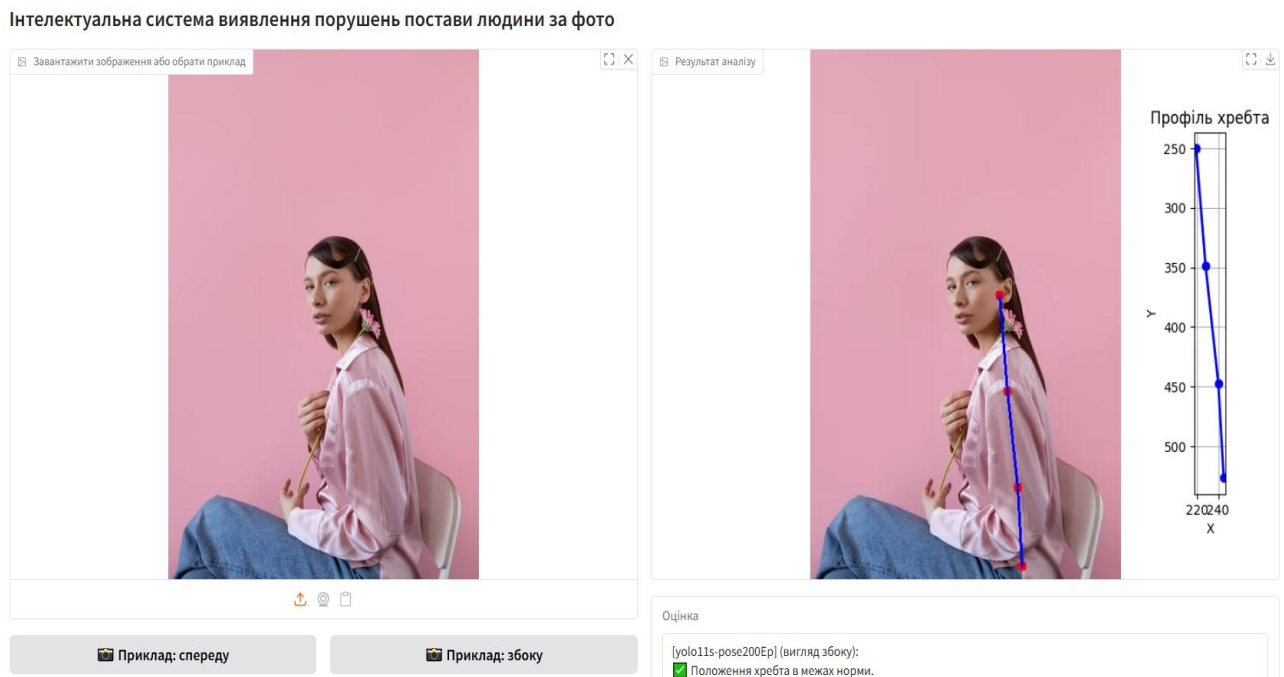


Рисунок 3.5 – Результат аналізу постави без порушень

Приклад аналізу зображення з можливими порушеннями постави наведено на рисунку 3.6.

Також є можливість завантажувати результати аналізу, для цього необхідно натиснути на відповідну піктограму «Завантажити».

На підставі аналізу функціональних можливостей спроектованої інтелектуальної системи можна зробити висновок про її здатність ефективно реалізовувати основні етапи взаємодії користувача з цифровими зображеннями для виявлення порушень постави.

Процес аналізу зображення супроводжується зручним візуальним відображенням результатів, що дозволяє оперативно оцінити наявність чи відсутність порушень постави. Крім того, можливість збереження результатів

підвищує зручність подальшого використання системи в рамках медичного моніторингу або освітніх цілей.

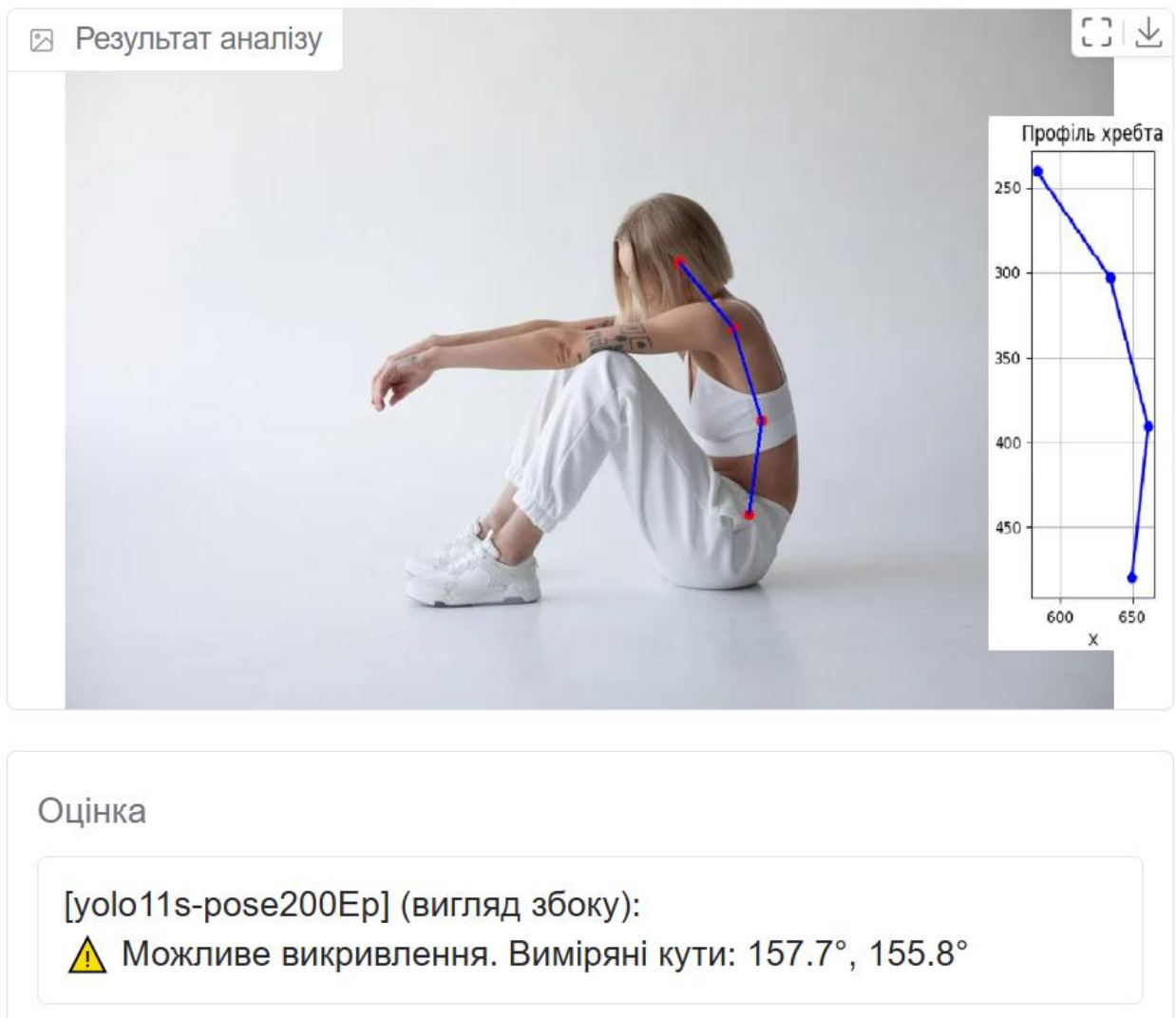


Рисунок 3.6 – Приклад аналізу зображення з можливими порушеннями постави

Таким чином, інтелектуальна система є функціонально завершеним рішенням, яке поєднує автоматизований аналіз із зручним і зрозумілим інтерфейсом.

3.4 Результати досліджень методу

Нейромережа для виявлення ключових точок хребта навчалась протягом 200 епох. Графіки з результатами навчання наведені на Рисунку 3.7.

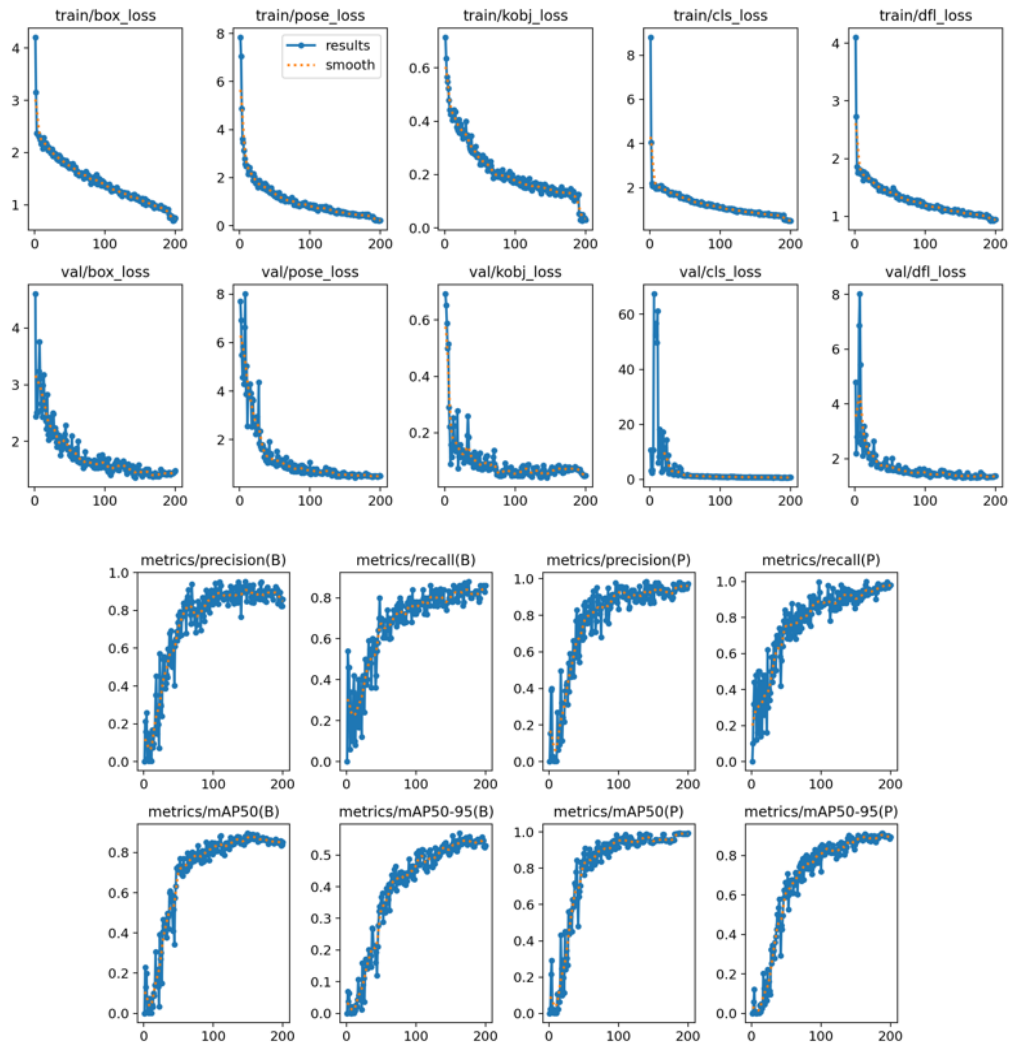


Рисунок 3.7 – Результат навчання неймережі «YOLO11s-pose»

Графіки навчання та валідації свідчать про стабільну динаміку зменшення всіх компонентів функції втрат у процесі тренування моделі. Зокрема, спостерігається поступове зниження `box_loss`, `pose_loss`, `kobj_loss`, `cls_loss` та `dfl_loss` як на тренувальних, так і на валідаційних даних. Така поведінка функцій втрат свідчить про ефективне узгодження моделі з навчальними даними без ознак перенавчання.

У метриках точності (`precision`) та повноти (`recall`) як для базових (B), так і позових (P) передбачень спостерігається зростання з поступовою стабілізацією після певної кількості епох. Це узгоджується з покращенням узгодженості моделі при класифікації об'єктів і поз. Значення метрик `mAP50`, `mAP50-95` як у категорії B, так і P, демонструють зростання і вихід на плато, що вказує на

зростаючу здатність моделі до точного локалізованого передбачення на основі інтервального порогового критерію IoU. У таблиці 3.1 наведено значення метрик за епохами навчання.

Таблиця 3.1 – Значення метрик yolol1s-pose для тренувальних та валідаційних даних

Epoch	train/ box_loss	train/ pose_loss	val/ box_loss	val/ pose_loss	Precision (B)	Recall (B)
1	4.20889	7.84576	4.60615	7.70576	0	0
50	1.7086	1.23174	1.75954	1.03898	0.77473	0.7
100	1.36261	0.88087	1.68405	1.05657	0.83927	0.72
150	1.07335	0.5616	1.42545	0.5037	0.90957	0.80473
200	0.74472	0.2222	1.47689	0.49962	0.85995	0.85964
Epoch	mAP50 (B)	mAP50- 95 (B)	Precision (P)	Recall (P)	mAP50 (P)	mAP50- 95 (P)
1	0	0	0	0	0	0
50	0.73217	0.3674	0.85532	0.78	0.88223	0.66286
100	0.82279	0.45035	0.83227	0.86	0.91475	0.71859
150	0.88321	0.52424	0.88162	0.8938	0.94388	0.87906
200	0.8523	0.52958	0.97237	0.98	0.99263	0.89233

Кореляція між тренувальними та валідаційними показниками за всіма основними метриками дозволяє зробити висновок про наявність узагальнювальної здатності моделі без суттєвих ознак переадаптації. Модель ефективно навчається з поступовим зростанням показників якості класифікації та регресії, що вказує на придатність сформованої конфігурації для подальшого використання в задачах виявлення постави.

Також було виконано дослідження із залученням експерта. В рамках експерименту було розмічено 100 фото з датасету, та порівняно бінарні прогнози експерта (0 – «порушення постави відсутнє», 1 – «порушення постави наявне»),

та результати були порівняні із результатами роботи програмного забезпечення. Відповідно, було отримано точність 0.93 (Ассигасу), що означає що розроблена інтелектуальна система змогла коректно ідентифікувати 93 зі 100 випадків. Відповідно, на 3-х зображеннях інтелектуальна система не змогла ідентифікувати людину, а на ще 4-х – не змогла виявити коректно ключові точки (це пов'язано з поганою якістю фото). Приклад некоректного знаходження ключових точок наведено на рисунку 3.8.

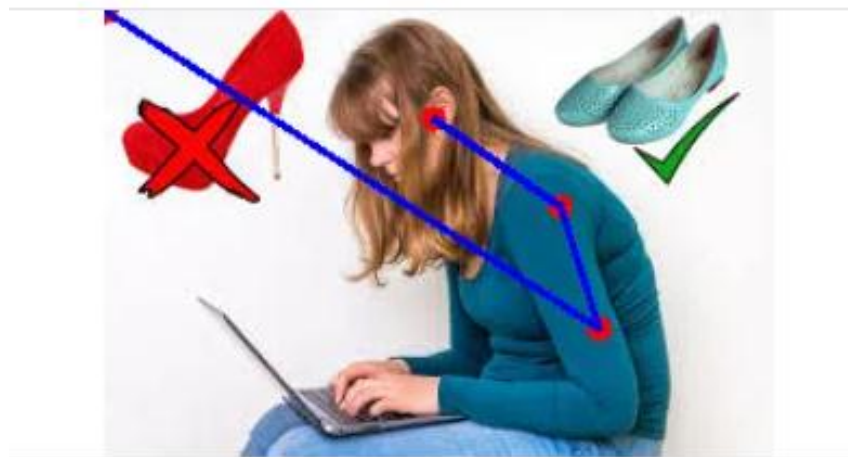


Рисунок 3.8 – Некоректне виявлення ключових точок

Запропонований підхід має суттєву перевагу, яка полягає у відсутності необхідності використовувати фізичні сенсори, маркери або додаткове обладнання. Це зумовлює високу практичну привабливість методу в контекстах, де важливими є простота використання, мінімізація витрат і доступність для широкого кола користувачів. Його застосування є особливо доречним у галузях освіти, спорту та охорони здоров'я, де забезпечення оперативного та ненав'язливого моніторингу постави може мати значний прикладний ефект.

Також з огляду до поставленої мети – підвищення точності автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання, то вона досягнута у повній мірі. При порівнянні наведених результатів з існуючими аналогами (таблиця 3.2), досягнуто підвищення точності до 0.93 (у порівнянні з 0.86 отриманою в [29]).

Таблиця 3.2 – Порівняння результатів існуючого та розробленого методів

	Accuracy	delta
Існуючий метод [29]	0.86	0
Розроблений метод	0.93	+0.07

Решта розглянутих досліджень що демонструє вищі результати, ніж вдалось отримати використовували гібридні підходи на основі датчиків.

Водночас запропонований підхід не позбавлений методологічних обмежень, які необхідно враховувати у процесі його практичного впровадження. Зокрема, якість вхідних візуальних даних суттєво впливає на точність аналізу. Низька роздільна здатність, недостатня освітленість, візуальний шум або складні фонові структури здатні ускладнити детекцію людського силуету та ідентифікацію ключових точок тіла. Крім того, метод спирається на двовимірну проєкцію зображення, що унеможливорює врахування просторових аспектів положення тіла, зокрема глибини та геометричних деформацій у тривимірному просторі. Це, своєю чергою, може призводити до зниження точності оцінки при аналізі просторово складних змін постави. Додатковим чинником, який впливає на ефективність, є залежність від конкретної орієнтації тіла у кадрі – наприклад, повороти тулуба, асиметричне розташування сегментів або їх часткове перекриття можуть призводити до помилкових інтерпретацій результатів.

Подальший розвиток дослідження доцільно спрямовувати на підвищення просторової чутливості моделі шляхом інтеграції тривимірного аналізу постави. Залучення тривимірних реконструкцій може забезпечити більш адекватне представлення структурних особливостей будови тіла людини, а також підвищити точність виявлення деформацій, особливо у випадках фронтальних асиметрій та складних відхилень від референтної постави. Такі вдосконалення дозволять підвищити рівень надійності моделі в умовах реального застосування та розширити її функціональні можливості.

3.5 Висновки до розділу 3

Розроблена інтелектуальна система автоматизованого виявлення порушень постави людини за фотографіями базується на використанні нейромережевої моделі YOLOv11s-pose, донавченої на спеціалізованому датасеті для ідентифікації ключових точок тіла. Реалізація системи виконана з використанням мови програмування Python у середовищі Google Colab, що забезпечило доступ до обчислювальних ресурсів GPU. Для обробки зображень застосовувалася бібліотека PIL, а для створення інтерактивного веб-інтерфейсу – Gradio. Бібліотека Ultralytics забезпечила налаштування, тренування та застосування моделі.

Програмні складові системи включають алгоритми для обчислення кутів між ключовими точками, оцінки відхилень від референтних значень, перевірки наявності порушень постави, визначення їх типу та ідентифікації сколіозу. Загальний алгоритм інтегрує ці компоненти, забезпечуючи комплексний аналіз постави. Функціональність системи дозволяє завантажувати зображення з різних джерел, проводити аналіз та візуалізувати результати з можливістю збереження даних.

Результати навчання моделі протягом 200 епох демонструють стабільне зниження втрат і зростання метрик точності, повноти та середньої точності (mAP), що свідчить про її здатність до узагальнення без ознак перенавчання. Тестування на 100 зображеннях за участю експерта показало точність 93%, хоча в окремих випадках відзначалися помилки через низьку якість зображень або складність ідентифікації ключових точок.

Запропонований метод не потребує спеціалізованого обладнання, що підвищує його практичну цінність для застосування в освіті, спорті та охороні здоров'я. Проте якість вхідних даних і обмеження двовимірного аналізу впливають на точність результатів. Подальші дослідження доцільно спрямувати на інтеграцію тривимірного аналізу для підвищення просторової чутливості моделі та розширення її функціональних можливостей.

Загальні висновки

Метою кваліфікаційної роботи було підвищення точності автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання. Для досягнення поставленої мети були поставлені та вирішені такі завдання:

- виконано аналіз предметної області виявлення порушень постави людини;
- створено метод інтелектуального виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання;
- створено відповідну програмну реалізацію запропонованого методу виявлення порушень постави людини за зображенням;
- виконано дослідження створеного методу виявлення порушень постави людини за зображенням.

Проведений порівняльний аналіз отриманих результатів із наявними підходами свідчить про зростання точності до 0.93, що перевищує показник 0.86 на 0.07. Вищі значення, зафіксовані в інших роботах, були досягнуті переважно за рахунок застосування гібридних систем, які поєднують візуальні методи з додатковими сенсорними даними.

Запропоноване рішення не лише автоматизує процес діагностики порушень постави, а й забезпечує візуалізацію ключових анатомічних орієнтирів, що дозволяє інтерпретувати рішення моделі, підвищуючи рівень довіри до отриманих результатів у практичному застосуванні.

За темою кваліфікаційної роботи автором опубліковано статтю у науковому фаховому виданні [42].

Перелік посилань

1. Порушення постави (Сутулість, Сколіоз, Кіфоз, Плоска спина). KinesisLife. URL: <https://kinesislife.ua/lechenie/zabolevaniya-pozvonochnika/sutulost> (дата звернення: 11.06.2025).
2. Порушення постави. Медичний центр «Меднеан». URL: <https://www.mednean.com.ua/porushennya-postavi/> (дата звернення: 11.06.2025).
3. Porto A. B., Nascimento Guimarães A., Alves Okazaki V. H. The effect of exercise on postural alignment: A systematic review. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2024. Vol. 40. P. 99–108. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2024.04.004> (date of access: 11.06.2025).
4. Demir O. B., Yilmaz F. T. The effect of posture regulation training on musculoskeletal disorders, fatigue level and job performance in intensive care nurses. *BMC Nursing*. 2024. Vol. 23, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s12912-024-02387-w> (date of access: 11.06.2025)
5. Порушення постави: причини, різновиди, профілактика. *Медичний центр «Юнімед» у Запоріжжі*. URL: <https://unimed.zp.ua/ua/narusheniya-osanki-prichiny-raznovidnosti-profilaktika/> (дата звернення: 11.06.2025).
6. Automated Kinect-based posture evaluation method for work-related musculoskeletal disorders of construction workers / H. Li et al. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 2024. P. 1–13. URL: <https://doi.org/10.1080/13467581.2024.2357202> (date of access: 11.06.2025).
7. Jacquier-Bret J., Gorce P. Effect of daytime on smartphone use posture and related musculoskeletal disorders risk among university students during the weekend. *Ergonomics*. 2025. P. 1–11. URL: <https://doi.org/10.1080/00140139.2025.2457475> (date of access: 11.06.2025)
8. Порушення постави і сколіоз у дитини: що робити - Simya. *Simya*. URL: <https://simya.com.ua/porushennya-postavy-i-skolioz-u-dytyny-shho-robyty/> (дата звернення: 11.06.2025).

9. Ferraz H. B., Saba R. A. Clinical Aspects of Movement Disorders: Effects on Walking and Posture. *Locomotion and Posture in Older Adults*. Cham, 2024. P. 3–13. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-74123-4_1 (date of access: 11.06.2025).
10. Effects of a Programmed Corrective Training on Postural Disorders in Lumbar and Thoracic Region. *International Journal of Sports and Physical Education*. 2017. Vol. 3, no. 1. URL: <https://doi.org/10.20431/2454-6380.0301002> (date of access: 11.06.2025)
11. Ultralytics. Pose. Home - Ultralytics YOLO Docs. URL: <https://docs.ultralytics.com/tasks/pose/> (date of access: 11.06.2025).
12. Contributors to Wikimedia projects. You Only Look Once - Wikipedia. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/You_Only_Look_Once (date of access: 11.06.2025).
13. A Review of Yolo Algorithm Developments / P. Jiang et al. *Procedia Computer Science*. 2022. Vol. 199. P. 1066–1073. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.135> (date of access: 11.06.2025)
14. Threat target image detection method based on two-stage R-CNN network / L. Gao et al. *International Conference on Mechatronics and Intelligent Control (ICMIC 2024)*, Wuhan, China, 20–22 September 2024 / ed. by K. Zhang, P. Lorenz. 2025. P. 200. URL: <https://doi.org/10.1117/12.3052255> (date of access: 11.06.2025).
15. Oriented R-CNN and Beyond / X. Xie et al. *International Journal of Computer Vision*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1007/s11263-024-01989-w> (date of access: 11.06.2025).
16. Łakomska J. Klasyfikatory SVM: master's thesis. URL: <https://ruj.uj.edu.pl/xmlui/handle/item/200875> (date of access: 11.06.2025).
17. Selective Search Based Gabor Wavelet for Fabric Defect Prediction Using Enhanced R-CNN / Y. Dasari et al. *SN Computer Science*. 2025. Vol. 6, no. 4. URL: <https://doi.org/10.1007/s42979-025-03857-x> (date of access: 11.06.2025).
18. Contributors to Wikimedia projects. Region Based Convolutional Neural Networks - Wikipedia. *Wikipedia, the free encyclopedia*.

URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Region_Based_Convolutional_Neural_Networks (date of access: 11.06.2025).

19. What is OpenPose. URL: <https://blog.roboflow.com/what-is-openpose/>

20. The Complete Guide to OpenPose - viso.ai. *viso.ai*. URL: <https://viso.ai/deep-learning/openpose/> (date of access: 11.06.2025).

21. Pose landmark detection guide. *Google AI for Developers*. URL: https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/vision/pose_landmarker (date of access: 11.06.2025).

22. On-device, Real-time Body Pose Tracking with MediaPipe BlazePose. *Google Research - Explore Our Latest Research in Science and AI*. URL: <https://research.google/blog/on-device-real-time-body-pose-tracking-with-mediapipe-blazepose/> (date of access: 11.06.2025).

23. Home. *mediapipe*. URL: <https://chuoling.github.io/mediapipe/> (date of access: 11.06.2025).

24. MediaPipe: A Guide Google's Open Source Framework - viso.ai. *viso.ai*. URL: <https://viso.ai/computer-vision/mediapipe/> (date of access: 11.06.2025).

25. Gelaw T. A., Hagos M. T. Posture Prediction for Healthy Sitting Using a Smart Chair. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*. Cham, 2022. P. 401–411. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-93709-6_26 (date of access: 11.06.2025).

26. A Scene Recognition and Semantic Analysis Approach to Unhealthy Sitting Posture Detection during Screen-Reading / W. Min et al. *Sensors*. 2020. Vol. 18, no. 9. P. 3119. URL: <https://doi.org/10.3390/s18093119> (date of access: 11.06.2025).

27. Coskun H. A Contactless Real-Time System to Classify Multi-Class Sitting Posture Using Depth Sensor-Based Data. *Advances in Healthcare Information Systems and Administration*. 2024. P. 333–368. URL: <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-7277-7.ch011> (date of access: 11.06.2025).

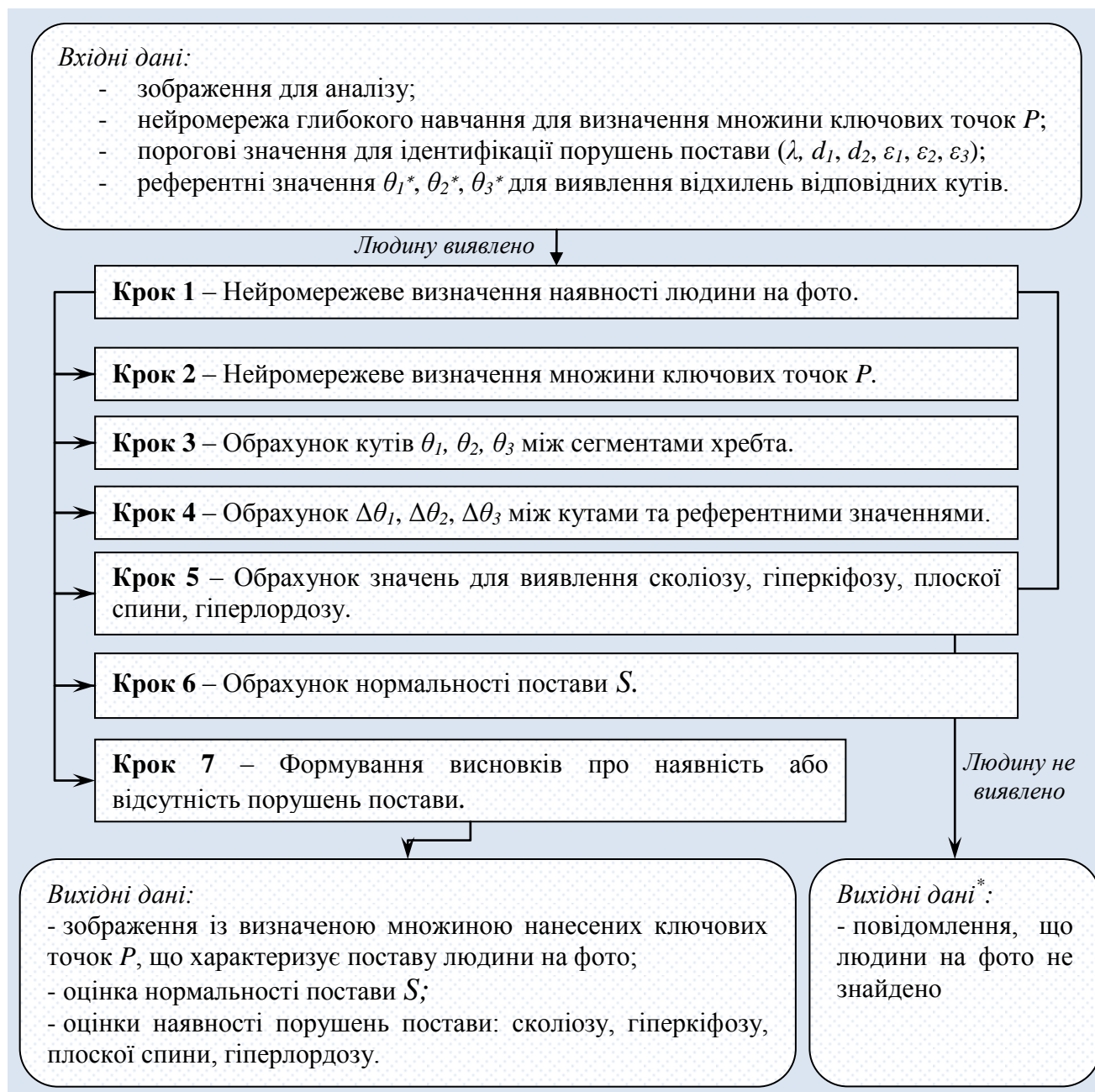
28. Smart-Cover: A real time sitting posture monitoring system / A. R. Anwary et al. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2021. Vol. 317. P. 112451. URL: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2020.112451> (date of access: 11.06.2025).
29. Evaluation of Convolutional Neural Network-Based Posture Identification Model of Older Adults: From Silhouette of Sagittal Photographs / N. Sugiyama et al. *Geriatrics*. 2025. Vol. 10, no. 2. P. 49. URL: <https://doi.org/10.3390/geriatrics10020049> (date of access: 11.06.2025).
30. Kwon J. Synchrony Vision: Capturing Body Motion Synchrony through Phase Difference Using the Kinect. *IEEE Access*. 2025. P. 1. URL: <https://doi.org/10.1109/access.2025.3548142> (date of access: 11.06.2025).
31. Understanding Spinal Anatomy: Regions of the Spine - Cervical, Thoracic, Lumbar, Sacral. *Denver's Leading Spine Specialists*. URL: <https://www.coloradospineinstitute.com/education/anatomy/spinal-regions/> (date of access: 11.06.2025).
32. Kaggl. *Kaggle*. URL: <https://www.kaggle.com/> (дата звернення: 11.06.2025).
33. Posture Keypoints Detection – Photos & Labels. *Kaggle*. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/melsmm/posture-keypoints-detection/data> (дата звернення: 11.06.2025).
34. Функція втрат (loss function), машинне навчання вики, fandom powered by wikia. *yak.koshachek.com*. URL: <https://yak.koshachek.com/articles/funkcija-vtrat-loss-function-mashinne-navchannja.html> (дата звернення: 11.06.2025).
35. Kashyap P. Understanding Precision, Recall, and F1 Score Metrics. *Medium*. URL: <https://medium.com/@piyushkashyap045/understanding-precision-recall-and-f1-score-metrics-ea219b908093> (date of access: 11.06.2025).
36. Ultralytics. Intersection over Union (IoU) Explained | Ultralytics. *Ultralytics / Revolutionizing the World of Vision AI*. URL: <https://www.ultralytics.com/glossary/intersection-over-union-iou> (date of access: 11.06.2025).

37. Welcome to Python.org. *Python.org*. URL: <https://www.python.org/> (date of access: 11.06.2025).
38. Google *Colab. Google* *Colab*. URL: <https://colab.research.google.com/> (date of access: 11.06.2025).
39. Gradio Documentation. *Gradio*. URL: <https://www.gradio.app/docs> (date of access: 11.06.2025).
40. pillow. *PyPI*. URL: <https://pypi.org/project/pillow/> (date of access: 11.06.2025).
41. COCO – Common Objects in Context. *COCO – Common Objects in Context*. URL: <https://cocodataset.org/#home> (date of access: 11.06.2025).
42. Мазур Є.В., Мазурець О.В., Кліменко В.І., Собко О.В., Залуцька О.О.. Алгоритми та програмна архітектура інформаційної системи нейромережевого аналізу постави людини. *Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету» серія: Технічні науки*. 2025. № 3. Т. 1. С. 275-284.

ДОДАТКИ

Додаток А

Схема методу автоматизованого виявлення порушень постави людини за фото



Додаток Б

Програмні коди

Вихідний код, використаний у дослідженні, доступний у репозиторії GitHub: <https://github.com/mazureeugene50/Detection-of-postural-disorders/tree/main> (дата звернення: 11.06.2025).

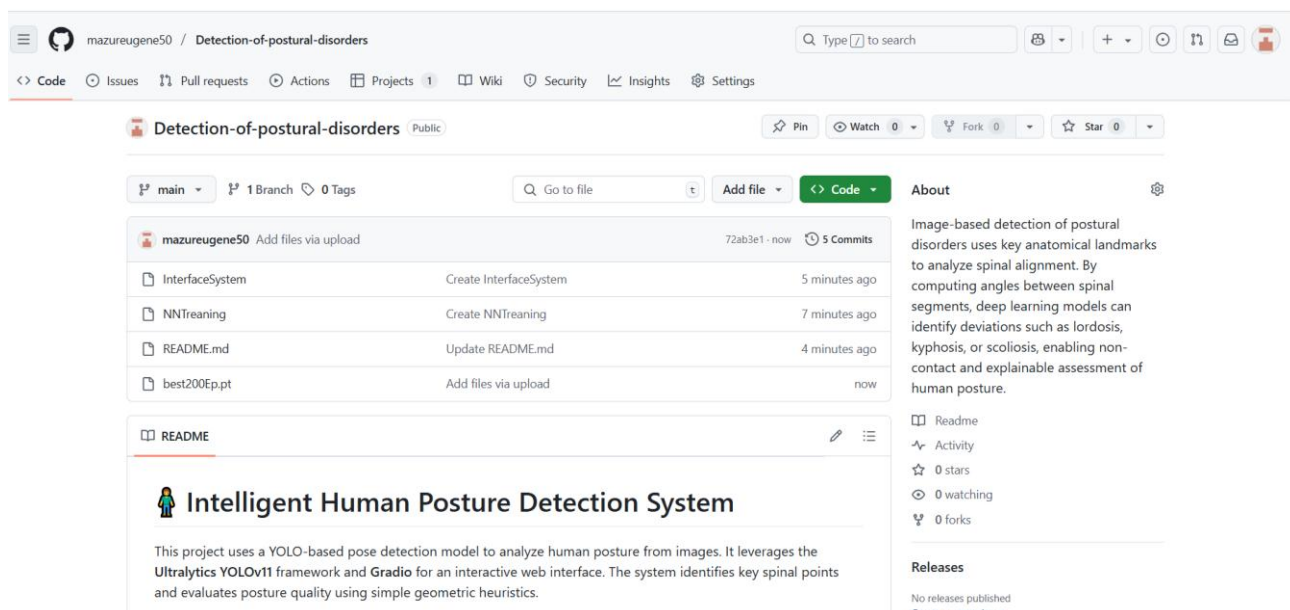


Рисунок Б.1 – Головна сторінка репозиторію

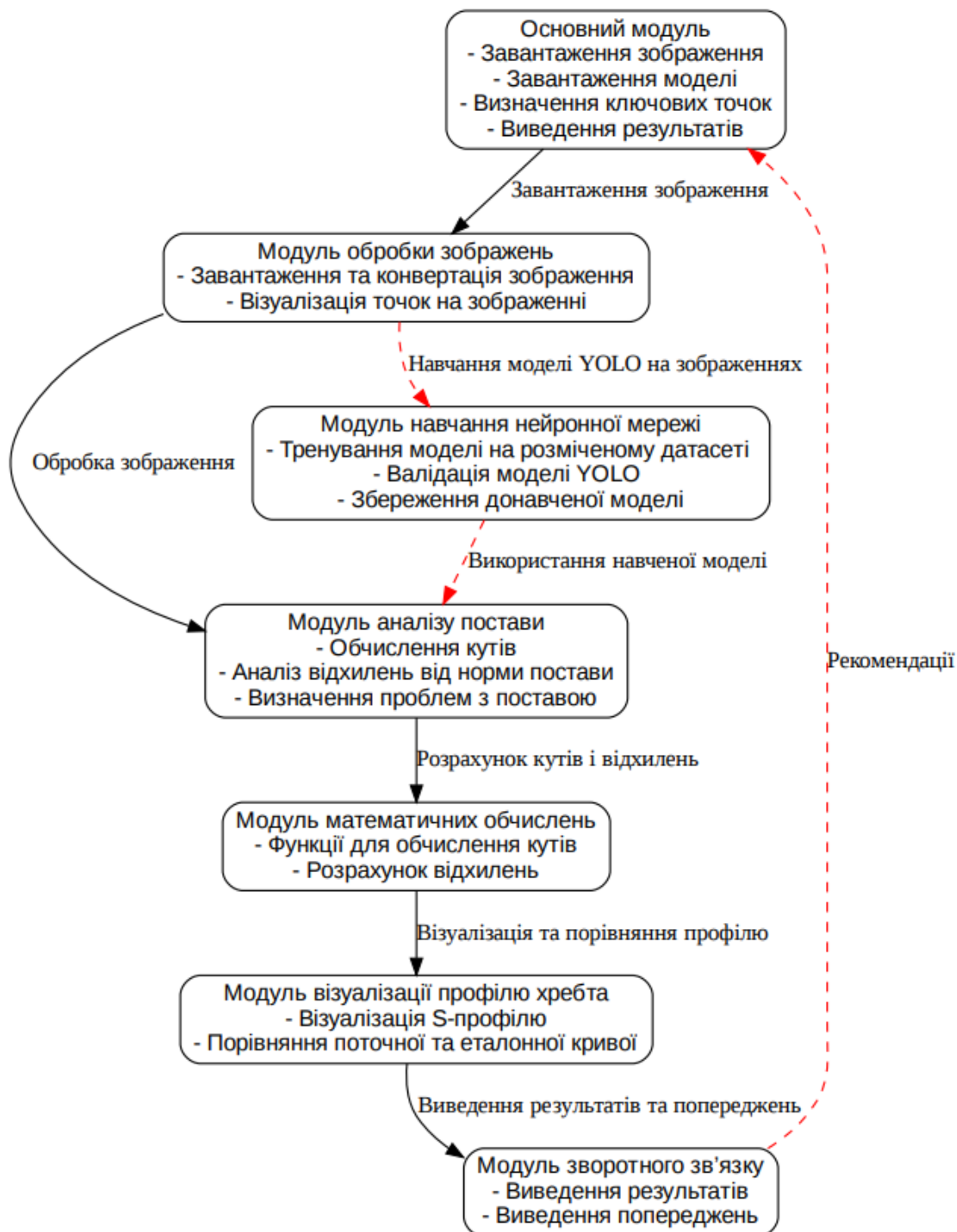
Цей проєкт використовує модель визначення поз на основі YOLO для аналізу постави людини на зображеннях. Система ґрунтується на фреймворках Ultralytics YOLOv11 та Gradio для інтерактивного інтерфейсу. Вона виявляє ключові точки вздовж хребта та оцінює якість постави за допомогою геометричних розрахунків, таких як кути між сегментами, що дозволяє ідентифікувати порушення на кшталт гіперлордозу, гіперкіфозу або сколіозу.

У «InterfaceSystem» міститься програмний код роботи інтелектуальної системи виявлення порушень постави людини за фото.

У «NNTreaning» міститься програмний код навчання нейромережевої моделі YOLOv11.

Додаток В

Взаємодія модулів інтелектуальної системи виявлення порушень постави за фото



Додаток Г

Презентаційний матеріал

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЯВЛЕННЯ ПОРУШЕНЬ ПОСТАВИ ЛЮДИНИ ЗА ЗОБРАЖЕННЯМ НЕЙРОМЕРЕЖЕЮ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ



Виконав:
студент групи КНС-22-1
Євген МАЗУР



Керівник:
к.т.н., доц. каф. КН
Олександр МАЗУРЕЦЬ

Актуальність

Актуальність дослідження методів автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням із використанням нейромереж глибокого навчання зумовлена зростанням поширеності захворювань опорно-рухового апарату, які є наслідком малорухливого способу життя, неправильного робочого положення та інших факторів. Традиційні підходи до діагностики порушень постави, що базуються на візуальній оцінці лікарів або використанні спеціалізованих механічних систем, є трудомісткими, суб'єктивними та нерідко недоступними у масовому застосуванні.

Розвиток комп'ютерного зору та глибоких нейронних мереж дозволяє створювати автоматизовані системи, здатні з високою точністю аналізувати зображення людського тіла та виявляти відхилення від нормативних параметрів постави. Такі методи забезпечують об'єктивність оцінки, масштабованість та можливість інтеграції у мобільні додатки або інші цифрові платформи, що сприяє широкому впровадженню технології у сферу охорони здоров'я, реабілітації та профілактики.

Завдяки високій швидкості обробки та здатності аналізувати значні обсяги даних, нейромережеві моделі дозволяють виявляти порушення постави на ранніх етапах, що критично важливо для запобігання ускладненням.

Мета і задачі роботи

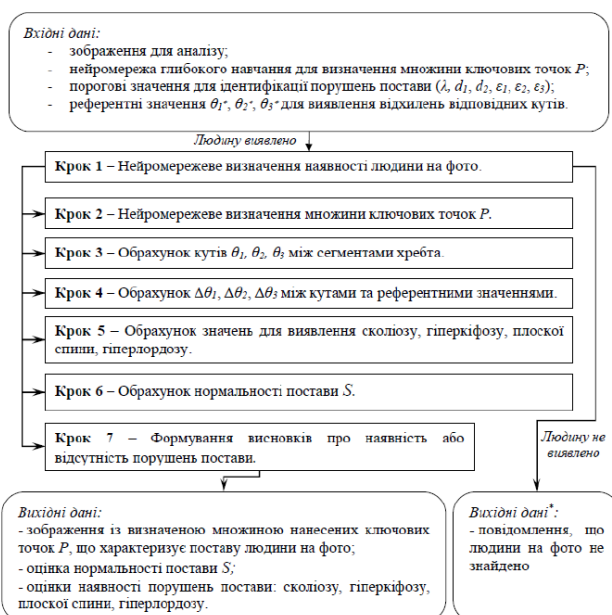
Об'єкт дослідження – процес автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням.

Предмет дослідження – методи та засоби глибокого навчання для автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є підвищення точності автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання.

Для досягнення поставленої мети слід вирішити такі **завдання**:

- виконати аналіз предметної області виявлення порушень постави людини;
- створити метод інтелектуального виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання;
- створити відповідну програмну реалізацію запропонованого методу виявлення порушень постави людини за зображенням;
- виконати дослідження створеного методу виявлення порушень постави людини за зображенням.



Кроки методу
автоматизованого
виявлення
порушень
постави людини
за зображенням

Формування датасету для навчання нейромережевої моделі

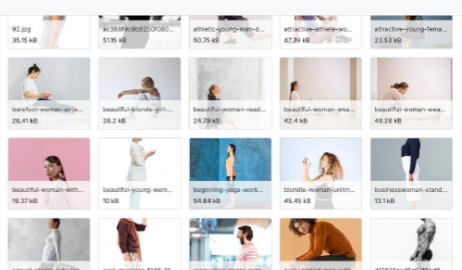
Posture Keypoints Detection - Photos & Labels

Search

Posture Keypoints Detection - Photos & Labels

About this directory

This file does not have a description yet.



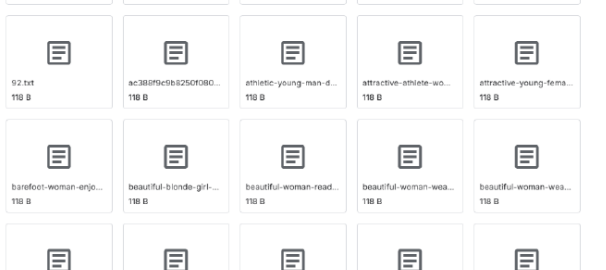
Summary

- 601 files

train (250 files)

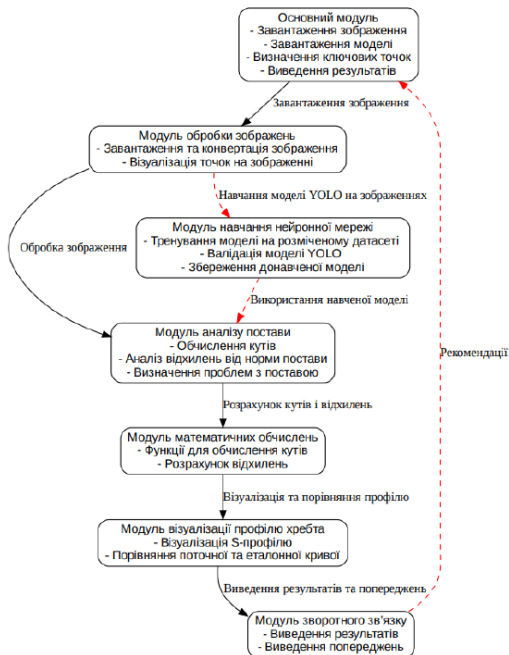
About this directory

This file does not have a description yet.



Складається датасет із 250 анотованих файлів для навчання та 50-и анотованих файлів для валідації


Анотації



Проектування інтелектуальної системи виявлення порушень постави людини за фото

Особливості реалізації програмних складових системи

Результат аналізу



Інтелектуальна система виявлення порушень постви людини за фото

Завантажити зображення або обрати з файлів

Переглянути зображення особи збоку

Написати, як вб'є заповнити

Приклад: спереду Приклад: збоку

Куди спливу: вигляд збоку вигляд спереду

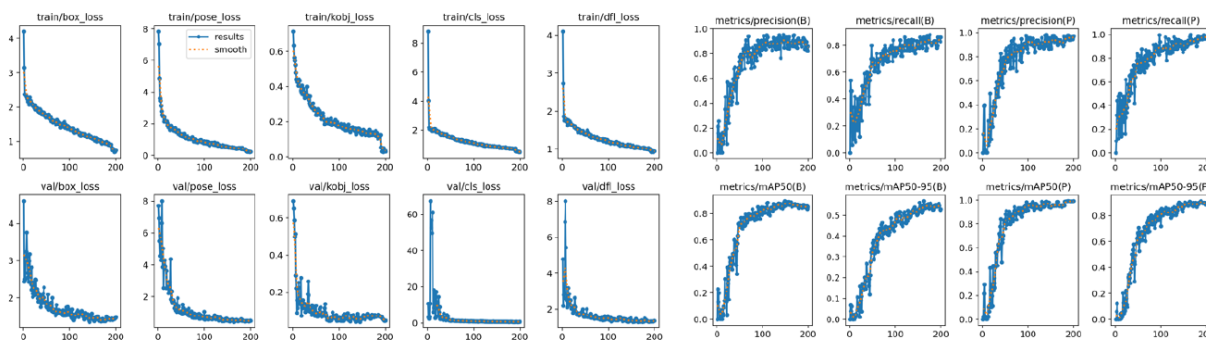
Версія нейромережі: yolo11s-pose200Ep

Проаналізувати пошту

Версія нейромережі

- yolo11s-pose200Ep
- yolo11s-pose20Ep
- yolo11s-pose100Ep
- ✓ yolo11s-pose200Ep

Результати досліджень методу



Результат навчання нейромережі «YOLO11s-pose».

Результати досліджень методу

Epoch	train/box_loss	train/pose_loss	val/box_loss	val/pose_loss	precision(B)	recall(B)
1	4.20889	7.84576	4.60615	7.70576	0	0
50	1.7086	1.23174	1.75954	1.03898	0.77473	0.7
100	1.36261	0.88087	1.68405	1.05657	0.83927	0.72
150	1.07335	0.5616	1.42545	0.5037	0.90957	0.80473
200	0.74472	0.2222	1.47689	0.49962	0.85995	0.85964
Epoch	mAP50(B)	mAP50-95(B)	precision(P)	recall(P)	mAP50(P)	mAP50-95(P)
1	0	0	0	0	0	0
50	0.73217	0.3674	0.85532	0.78	0.88223	0.66286
100	0.82279	0.45035	0.83227	0.86	0.91475	0.71859
150	0.88321	0.52424	0.88162	0.8938	0.94388	0.87906
200	0.8523	0.52958	0.97237	0.98	0.99263	0.89233

Висновки

Досягнуто мету кваліфікаційної роботи бакалавра підвищення точності автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання.

Для досягнення поставленої мети було поставлено та вирішено такі завдання:

- виконати аналіз предметної області виявлення порушень постави людини;
- створити метод інтелектуального виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання;
- створити відповідну програмну реалізацію запропонованого методу виявлення порушень постави людини за зображенням;
- виконати дослідження створеного методу виявлення порушень постави людини за зображенням.

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 3.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. **Errors in the documents: 11%**

ID: 246615 Title: КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА на тему Метод автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчача Added in a DB: 2025-06-17 Authors: Євген МАЗУР Heads: Олександр МАЗУРЕЦЬ Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	63035	935	3430 (5%)	50 (5%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Євген МАЗУР

Співавтор:

Назва: КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА на тему Метод автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання

Науковий керівник: Олександр МАЗУРЕЦЬ, к.т.н., доцент

Підрозділ: Кафедра комп'ютерних наук

Коефіцієнт подібності 1: 7.7%

Коефіцієнт подібності 2: 2.6%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 11

Інтервали: 0

Білі знаки: 190

Дата створення звіту: 2025-06-17 20:35:17.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-06-17

Дата

експерт

Олександр Мазурець Р.С.

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Метод автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання

Автор студент групи КНс-22-1 Євген Мазур

Освітня програма Комп'ютерні науки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 122 – Комп'ютерні науки

Науковий керівник: к.т.н., доц. каф. комп'ютерних наук Олександр Мазурець

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмними засобами комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	<i>відповідає</i>
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	<i>відсутні</i>

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі Євгена Мазура, не є плагіатом, оскільки: запозичення розміщені в розділі огляду існуючих підходів, не описують безпосередньо авторську роботу і не стосуються її результатів; усі запозичення фрагментарні; до запозичень входять фрагменти, які не мають авторства і містять поширені конструкції та загальновідомі терміни, скорочення. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином, робота є законною та приймається до захисту.

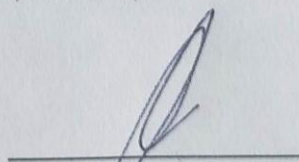
Обсяг запозичень, визначений системами виявлення збігів/ідентичності/схожості:

- за системою Anti-Plagiarism: 3%;

- за системою StrikePlagiarism КП1: 7,7%, КП2: 2,6%.

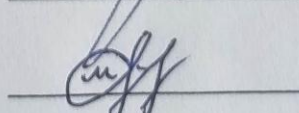
18.06.2025

Завідувач кафедри



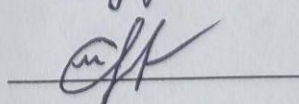
Олександр БАРМАК

Гарант освітньої програми



Олександр МАЗУРЕЦЬ

Керівник кваліфікаційної роботи



Олександр МАЗУРЕЦЬ



**ВІДГУК НАУКОВОГО КЕРІВНИКА
на кваліфікаційну роботу бакалавра**

студента *гр. КНС-22-1 Мазура Євгена Валентиновича*

за темою Метод автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання

1. Актуальність теми

Зростання випадків порушень постави, зумовлених малорухливим способом життя та неправильною ергономікою, потребує ефективних рішень для ранньої діагностики. Традиційні методи мають низку обмежень, зокрема суб'єктивність та складність застосування. У цьому контексті актуальність дослідження полягає в розробці нейромережевих систем, що забезпечують автоматизований, точний і масштабований аналіз зображень людського тіла з метою виявлення відхилень у поставі.

2. Відповідність роботи предметній області Стандарту спеціальності 122 Комп'ютерні науки

За стандартом, а саме описом предметної області, об'єктом дослідження є процес автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням. Метою роботи є підвищення точності автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання. При вирішенні поставленої задачі використано методи та засоби глибокого навчання для автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням. Тому результати виконання кваліфікаційної роботи відповідають стандарту бакалавра спеціальності 122 – Комп'ютерні науки.

3. Професійні та особистісні якості бакалавра

Під час виконання кваліфікаційної роботи зарекомендував себе як підготовлений і вмотивований здобувач, здатний до системного аналізу, критичного мислення та самостійного прийняття рішень. Виконання теоретичної частини супроводжувалося належною якістю оформлення, а процес створення прикладного програмного продукту засвідчив володіння сучасними технологіями програмування, алгоритмічного мислення та навичками роботи з інструментами розробки. Отримані результати засвідчують засвоєння ключових навчальних результатів і формування як професійних, так і навичок у межах підготовки за спеціальністю «Комп'ютерні науки».

4. Ступінь самостійності під час виконання кваліфікаційної роботи

Студент упевнено володіє методами дослідження, що використовуються в комп'ютерних науках, та продемонстрував здатність ефективно застосовувати їх під час виконання практичних завдань кваліфікаційної роботи.

5. Ступінь оволодіння методами дослідження

При реалізації кваліфікаційної роботи Мазур Є.В. показав достатній рівень компетентностей та володіння необхідними інструментами та обладнанням, методами, методиками та технологіями предметної області комп'ютерних наук.

6. Повнота та якість розкриття теми роботи

Тема кваліфікаційної роботи є логічно обґрунтованою та повністю розкрита у межах дослідження. Проведено аналіз наукового контексту проблеми, визначено дослідницькі завдання, що були реалізовані в ході роботи, а також створено прикладне рішення для перевірки працездатності розробленого підходу.

7. Логічність, послідовність, аргументованість, літературна грамотність викладення матеріалу

Виклад матеріалу здійснено з дотриманням логіки дослідження, у чіткій відповідності до поставленої мети. Структура роботи є цілісною, аргументація переконлива, стилістика — академічно вивірена.

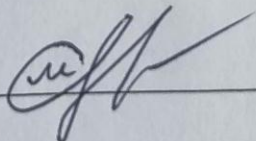
8. Можливість практичного застосування кваліфікаційної роботи бакалавра, окремих її частин

Розроблений у роботі метод та його програмна реалізація може бути використана лікарями для виявлення та аналізу виявлених порушень постави людини за фото.

9. Висновок про можливість допуску кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту, на яку оцінку заслуговує робота

Враховуючи високий рівень виконання та забезпечення усіх необхідних вимог, робота може бути допущена до захисту. Рекомендована оцінка «відмінно».

Керівник



к.т.н., доцент каф. КН Олександр МАЗУРЕЦЬ



РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студента *гр. КНс-22-1 Мазура Євгена Валентиновича*

за темою: Метод автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням нейромережею глибокого навчання

1. Актуальність обраної теми

Актуальність теми кваліфікаційної роботи зумовлена потребою у доступних цифрових інструментах для контролю порушень постави, які стали частими через сидячий спосіб життя. Нейронні мережі глибокого навчання відкривають нові можливості для автоматичного аналізу зображень, що дозволяє швидко та об'єктивно виявляти проблеми постави й впроваджувати ці рішення у мобільні застосунки чи реабілітаційні сервіси.

2. Повнота розкриття мети та завдань роботи

Автор роботи успішно реалізував поставлену мету та завдання, чітко окресливши наукову проблему та обґрунтувавши вибір підходів до її розв'язання. Зміст і структура дослідження свідчать про достатній рівень аналітичного мислення й методичної обізнаності студента.

3. Зміст кожного розділу роботи

У структурі пояснювальної записки послідовно розкрито завдання дослідження, що дозволило забезпечити цілісність наукового викладу та узгодженість між теоретичними й практичними аспектами. У першому розділі студент провів аналіз інформаційних моделей в області автоматизованого виявлення порушень постави людини. У другому розділі наведено детальний опис метод автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням. У третьому розділі описано деталі розробки інтелектуальної системи та проведено експериментальне дослідження методу.

4. Оцінка розробленої інформаційної системи, її практична цінність

Запропонована система дозволяє здійснювати візуальний аналіз постави з високим рівнем точності, що має значний потенціал для використання у фізіотерапії та спортивній медицині. Практична цінність роботи проявляється в можливості здійснення первинного скринінгу постуральних відхилень без залучення медичного персоналу.

5. Якість оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра

Оформлення кваліфікаційної роботи відповідає всім встановленим нормативам, що вказує на академічну доброчесність та уважність до формальних аспектів дослідження. Матеріал представлено послідовно, з чітким дотриманням наукового стилю викладу. У першому розділі проведено наведено предметної області. У другому розділі запропоновано метод автоматизованого виявлення порушень постави людини за зображенням. А у третьому розділі наведено результати експериментального дослідження методу.

6. Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра

У тексті наявні окремі стилістичні та пунктуаційні неточності, що не впливають на змістовну частину. Список скорочень подано не в алфавітному порядку, що ускладнює орієнтацію в термінах. Не всі таблиці супроводжуються повною мірою аналітичними висновками. Виявлені зауваження є незначними, загальна якість дослідження та достовірність висновків залишаються високими. Окремо висловлюю побажання подальших напрямків досліджень, що можуть бути реалізовані в межах апробації запропонованого підходу в медичних закладах та інтеграції у прикладну систему функції рекомендації та експертного висновку по одержаних результатах.

7. Загальний висновок (допускається чи не допускається до захисту), та оцінка на яку заслуговує кваліфікаційна робота.

Враховуючи рівень виконання та забезпечення усіх необхідних вимог, робота може бути допущена до захисту. Рекомендована оцінка «відмінно».

Рецензент



проф. каф. ЗІС Савенко С.