


## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА


на тему Метод віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії


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 2 курсу, група КНм-23-1  
Курс, група виконавця  Максим ОКСАНЮК  
Ім'я, прізвище

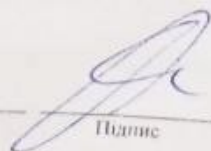
Керівник: док. філ., ст. викл. каф. КН  
Науковий ступінь, посада  Павло РАДЮК  
Ім'я, прізвище

Нормоконтроль: к.т.н., доцент кафедри КН  
Науковий ступінь, посада  Руслан БАГРІЙ  
Ім'я, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри КН, д.т.н., професор

16 грудня 2024 р.

  
Підпис

Олександр БАРМАК  
Ім'я, прізвище

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерних наук

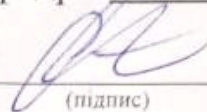
Освітній ступінь магістр

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Спеціальність 122 – Комп'ютерні науки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри комп'ютерних наук



(підпис)

д.т.н., професор Олександр БАРМАК

« 02 « вересня 2024 року

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра: «Метод віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії»
2. Завдання видано студенту Максиму ОКСАНЮКУ  
(Ім'я, прізвище)
3. Керівник роботи старший викладач кафедри КН Павло РАДЮК  
(Ім'я, прізвище)
4. Затверджені наказом університету від « 26 « серпня 2024 р. № 60 .
5. Дата видачі завдання студенту: « 02 « вересня 2024 р.
6. Зміст пояснювальної записки (перелік задач) та вихідні дані:

Метою кваліфікаційної роботи магістра є підвищення рівня подібності накладеного цифрового зображення одягу на зображення людини високої роздільної здатності з ефектами оклюзії засобами глибокого навчання. Досягнення мети роботи передбачає виконання таких задач: провести аналіз моделей, методів та технологій оброблення та генерування цифрових зображень засобами глибокого навчання; спроектувати метод одночасного генерування та деформування сегментаційних мап цифрових зображень людини високої роздільної здатності; спроектувати метод віртуального примірювання одягу за зображеннями з ефектами оклюзії засобами глибокого навчання; реалізувати метод віртуального примірювання одягу у вигляді вебзастосунку; провести експериментальне тестування реалізованого вебзастосунку за еталонними наборами даних.

## Реферат

Кваліфікаційна робота магістра присвячена дослідженню методів віртуального примірювання одягу на основі зображень високої роздільної здатності з урахуванням оклюзії, що виникає через взаємодію об'єктів на зображенні, як от частин тіла або елементів одягу.

**Актуальність теми.** Віртуальні примірювання стають дедалі популярнішими в галузі електронної комерції, оскільки дають змогу покупцям оцінити зовнішній вигляд одягу без фізичної присутності в магазині. Проте точність накладання частин одягу з одного зображення на відображення людини на іншому зображенні знижується через виникнення ефекту оклюзії, коли частини тіла перекриваються з одягом. Ця проблема особливо актуальна для одягу з багатошаровими елементами, а також у випадках з нестандартними позами або рухами людини на зображенні високої роздільної здатності. Тому актуальною задачею є проектування методів аналізу та оброблення цифрових зображень високої роздільної здатності для усунення ефектів оклюзії та покращення точності віртуального примірювання.

**Об'єкт дослідження** – процес накладання цифрового зображення одягу на зображення людини з ефектами оклюзії.

**Предмет дослідження** – моделі, методи та технології глибокого навчання для оброблення та генерування цифрових зображень високої роздільної здатності.

**Мета і задачі роботи** – підвищення рівня подібності накладеного цифрового зображення одягу на зображення людини високої роздільної здатності з ефектами оклюзії засобами глибокого навчання.

Досягнення мети роботи передбачає виконання таких задач:

1. Провести аналіз моделей, методів та технологій моделей, методів та технологій оброблення та генерування цифрових зображень засобами глибокого навчання високої роздільно здатності.
2. Спроекувати метод одночасного генерування та деформування сегментаційних мап цифрових зображень людини високої роздільної здатності.
3. Спроекувати метод віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії засобами глибокого навчання.

4. Реалізувати метод віртуального примірювання одягу у вигляді вебзастосунку.

5. Провести експериментальне тестування реалізованого вебзастосунку за еталонними наборами даних.

**Методи дослідження.** У роботі використовуються методи комп'ютерного зору та глибокого навчання для сегментування та генерування зображень.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Удосконалено метод віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії, який відрізняється від наявних використанням алгоритму одночасного генерування та деформування сегментаційних мап, а також інтеграцією зворотного зв'язку з дискримінатором для покращення реалістичності зображень, що дало змогу забезпечити підвищену точність накладання одягу з врахуванням анатомічних особливостей та покращити візуалізацію в складних сценаріях.

**Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра та публікації.** Основні наукові та практичні результати пройшли апробацію на науково-практичній конференції – XVI Всеукраїнська науково-практична конференція “Актуальні проблеми комп'ютерних наук (АПКН – 20243)”, м. Хмельницький, ХНУ, 15–16 листопада 2024 р. (Метод віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії / М. С. Оксанюк та ін. Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2024 : матеріали XVI Всеукр. науково-практ. конф., м. Хмельницький, 15–16 листоп. 2024 р. Хмельницький, 2024. С. 394–400. URL: <https://elar.khmnmu.edu.ua/handle/123456789/17153>)

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота магістра складається із завдання, реферату, змісту, переліку скорочень, вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань з 46 найменувань та 3 додатків. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи складає 96 сторінок, з поміж яких 80 сторінок основного тексту та 16 сторінок додатків. У роботі наведено 29 рисунків та 7 таблиць.

**Ключові слова:** віртуальне примірювання одягу, глибоке навчання, нейронні мережі, цифрове зображення сегментація зображень, генерація зображень, оклюзія.

## Зміст

Перелік скорочень .....	4
Вступ.....	5
РОЗДІЛ 1 Аналіз проблем та рішень у сфері накладання зображень одягу на зображення людини .....	7
1.1 Аналіз проблем, які виникають під час накладання зображення одягу на зображення людини .....	7
1.2 Аналіз наявних теоретичних рішень до цієї проблеми .....	12
1.3 Аналіз наявних практичних рішень до цієї проблеми .....	16
1.4 Постановка задачі.....	20
РОЗДІЛ 2 Проектування методів сегментування та віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії.....	21
2.1 Проектування методу одночасного генерування та деформування сегментаційних мап .....	21
2.2 Проектування методу віртуальної примірки одягу з ефектами оклюзії .....	30
2.3 Використання технологій глибокого навчання для оброблення зображень високої роздільної здатності .....	40
2.3.1 Підготовки та оброблення вхідних зображень високої роздільної здатності.....	40
2.3.2. Сегментація та класифікація об'єктів на зображеннях.....	41
2.3.3. Оцінювання навченої нейромережевої моделі .....	44
Висновки до розділу 2 .....	45
РОЗДІЛ 3 Програмна реалізація методу віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії у вигляді вебзастосунка.....	46
3.1 Структура та функціональне призначення програмних компонентів вебзастосунка для віртуального примірювання.....	46
3.2 Сегментація зображень та оброблення поз .....	51
Висновки до розділу 3 .....	55

РОЗДІЛ 4 Дослідження роботи створеного вебзастосунка за методом віртуального примірювання одягу з ефектами оклюзії .....	56
4.1 Особливості реалізації компонентів системи .....	56
4.2 Експериментальне тестування системи для оцінки якості накладання одягу з ефектами оклюзії .....	60
4.3 Вимоги до розгортання системи та інструкція користувача .....	66
Висновки до розділу 4 .....	71
Загальні висновки.....	73
Перелік посилань.....	75
Додатки	

## Перелік скорочень

Скорочення, термін, позначення	Пояснення
ACGPN	Adaptive Content Generating Parsing Network
AI	Artificial intelligence
ALIAS	Advanced Logic-based Integrated Automation System
AMD	Advanced Micro Devices
AR	Augmented reality
CNN	Convolutional Neural Network
FID	Fréchet Inception Distance
GAN	Generative Adversarial Networks
GMM	Gaussian Mixture Model
GPU	Graphics processing unit
HDR	High Dynamic Range
IoU	Intersection over Union
MAE	Mean Absolute Error
PSNR	Peak Signal-to-Noise Ratio
RAM	Random Access Memory
R-CNN	Region-based Convolutional Neural Network
SMPL	Skinned Multi-Person Linear
SSIM	Structural Similarity Index
SSIM	Structural Similarity Index Measure
TPS	Tps Grid Gen
VITON	Virtual Try-On Network
WUTON	Weakly-supervised Try-On

## Вступ

Кваліфікаційна робота магістра присвячена дослідженню методів віртуального примірювання одягу на основі зображень високої роздільної здатності з урахуванням оклюзії, що виникає через взаємодію об'єктів (наприклад, частин тіла та елементів одягу).

**Актуальність теми.** Віртуальні примірочні стають дедалі популярнішими в галузі електронної комерції, оскільки дають змогу покупцям оцінити зовнішній вигляд одягу без фізичної присутності в магазині. Проте точність накладання частин одягу з одного зображення на відображення людини на іншому зображенні знижується через виникнення ефекту оклюзії, коли частини тіла перекриваються з одягом. Ця проблема особливо актуальна для одягу з багат шаровими елементами, а також у випадках з нестандартними позами або рухами людини на зображенні високої роздільної здатності. Тому актуальною задачею є проектування методів аналізу та оброблення цифрових зображень високої роздільності здатності для усунення ефектів оклюзії та покращення точності віртуального примірювання.

**Об'єкт дослідження** – процес накладення цифрового зображення одягу на зображення людини з ефектами оклюзії.

**Предмет дослідження** – моделі, методи та технології глибокого навчання для оброблення та генерування цифрових зображень високої роздільної здатності.

**Мета і задачі роботи** – підвищення рівня подібності накладеного цифрового зображення одягу на зображення людини високої роздільної здатності з ефектами оклюзії засобами глибокого навчання.

Досягнення мети роботи передбачає виконання таких задач:

1. Провести аналіз моделей, методів та технологій моделей, методів та технологій оброблення та генерування цифрових зображень засобами глибокого навчання високої роздільно здатності.

2. Спроекувати метод одночасного генерування та деформування сегментаційних мап цифрових зображень людини високої роздільної здатності.

3. Спроекувати метод віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії засобами глибокого навчання.

4. Реалізувати метод віртуального примірювання одягу у вигляді вебзастосунку.

5. Провести експериментальне тестування реалізованого вебзастосунку за еталонними наборами даних.

**Методи дослідження.** У роботі використовуються методи комп'ютерного зору та глибокого навчання для сегментування та генерування зображень.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Удосконалено метод віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії, який відрізняється від наявних використанням алгоритму одночасного генерування та деформування сегментаційних мап, а також інтеграцією зворотного зв'язку з дискримінатором для покращення реалістичності зображень, що дало змогу забезпечити підвищену точність накладання одягу з врахуванням анатомічних особливостей та покращити візуалізацію в складних сценаріях.

**Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра та публікації.** Основні наукові та практичні результати пройшли апробацію на науково-практичній конференції – XVI Всеукраїнська науково-практична конференція “Актуальні проблеми комп'ютерних наук (АПКН – 20243)”, м. Хмельницький, ХНУ, 15–16 листопада 2024 р. [1].

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота магістра складається із завдання, реферату, змісту, переліку скорочень, вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань з 46 найменувань та 3 додатків. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи складає 96 сторінок, з поміж яких 80 сторінок основного тексту та 16 сторінок додатків. У роботі наведено 29 рисунків та 7 таблиць.

## **РОЗДІЛ 1 Аналіз проблем та рішень у сфері накладання зображень одягу на зображення людини**

### **1.1 Аналіз проблем, які виникають під час накладання зображення одягу на зображення людини**

Віртуальна примірка одягу – це інноваційна технологія, що дає змогу користувачам "приміряти" вбрання без необхідності фізично відвідувати магазин. Вона ґрунтується на застосуванні технологій доповненої реальності (AR), штучного інтелекту (AI), комп'ютерного зору та тривимірного моделювання [1]. Завдяки цим технологіям користувачі можуть завантажувати свої зображення або використовувати камеру для примірки одягу в режимі реального часу, який віртуально накладається на їхнє зображення.

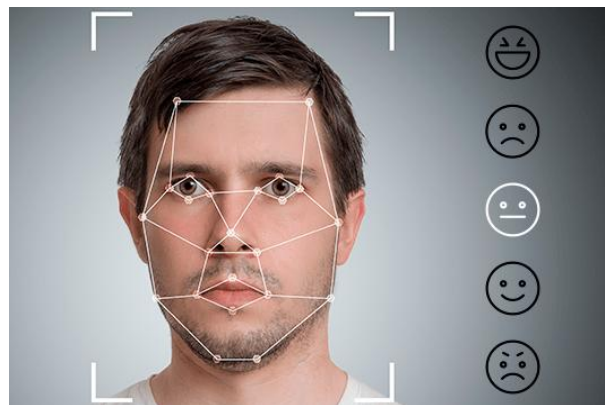
Віртуальна примірка одягу активно розвивається в ринку завдяки зростаючій популярності онлайн-шопінгу та електронної комерції. Інтернет-магазини використовуює дану технологію для покращення користувацького досвіду, підвищення рівня залученості та зменшення кількості повернень товарів [2]. Віртуальні примірки дають можливість споживачам більш точно та краще оцінити, як конкретний одяг виглядатиме на їх тілі, що сприяє прийняттю більш усвідомлених рішень під час покупки [3].

Основними технологіями, що лежать в основі віртуальної примірки одягу, є AR, яка створює віртуальні моделі одягу на реальному зображенні користувача (приклад на рисунку 1.1), AI для аналізу індивідуальних характеристик людини з метою точного відтворення вигляду одягу, та комп'ютерне бачення, що дає можливість виявляти контури тіла (як от на рисунку 1.2) та забезпечує реалістичну взаємодію між тілом і одягом. Ці три технології у взаємодії створюють основу для віртуального примірювання одягу.

У 2024 році віртуальна примірка одягу стає невід'ємною частиною цифрової трансформації у сфері роздрібною торгівлі, демонструючи вражаючі темпи розвитку. За результатами досліджень, цей ринок уже оцінюється в мільярди доларів і продовжує динамічно зростати.



а)



б)

Рисунок 1.1 – Приклади використання технологій а) AR та б) комп'ютерного зору [4] для опрацювання цифрових зображень

Згідно зі звітом компанії Statista [5], глобальний ринок віртуальної примірки у 2023 році досягав понад 3 мільярдів доларів, і, за прогнозами, до 2028 року його обсяг перевищить 10 мільярдів доларів. Такий стрімкий розвиток пов'язаний із зростанням популярності онлайн-шопінгу та потребою скорочення кількості повернень, які у певних категоріях одягу сягають 30-40% від усіх покупок.

гідно з дослідженням, проведеним Grand View Research [6], технології віртуальної примірки сприяють зростанню середньої вартості замовлень на 20-30%, водночас значно покращуючи рівень задоволення клієнтів. Завдяки можливості точнішого вибору розміру та стилю одягу, споживачі отримують комфортний досвід, який наближає онлайн-шопінг до традиційного.

Однак для подальшого розвитку цієї технології важливим є подолання низки викликів, зокрема вдосконалення процесу накладання зображень одягу на фото людини. Сучасні підходи вимагають високої точності тривимірного моделювання, реалістичного врахування деформацій тканини та фізичних властивостей матеріалів. Ці аспекти є ключовими для забезпечення реалістичності візуалізації та підвищення зручності використання технології.

Одна з найбільших проблем, які постають у віртуальній примірці, — це оклюзія. Оклюзія виникає тоді, коли одна частина зображення частково або повністю блокує іншу [7]. Наприклад, при накладанні цифрового одягу на зображення людини можуть виникати ситуації, коли рука перекриває частину одягу або, навпаки, одяг частково закриває частини тіла. Такі моменти значно ускладнюють точне відтворення форми одягу та його природної взаємодії з тілом.

Для ефективного вирішення проблеми оклюзії необхідно враховувати геометричні особливості людського тіла та тривимірну структуру одягу. Використання зображень високої роздільної здатності дає можливість зберігати максимальну кількість деталей, однак для точного опрацювання оклюзій потрібні більш складні алгоритми, засновані на технологіях глибокого навчання. Застосування тривимірних моделей людського тіла дає змогу з більшою точністю визначати, які частини тіла повинні перекривати одяг, і навпаки, забезпечуючи реалістичну взаємодію між ними.

а) Відповідність між формою тіла і одягу [8]. Однією з ключових проблем у технологіях віртуальної примірки є забезпечення адекватної відповідності між індивідуальною фігурою користувача та формою цифрового одягу. Кожна людина має унікальну будову тіла, яка може суттєво відрізнитися від стандартних моделей, що застосовуються у створенні одягу. Якщо система віртуальної примірки не враховує ці індивідуальні відмінності, кінцевий результат буде виглядати штучно та недостовірно. Нереалістичний результат віртуальної примірки зображений на рисунку 1.2.

Розв'язання цієї проблеми може полягати у використанні персоналізованого моделювання тіла на основі зображень. Такий підхід дає можливість системі точно адаптувати цифровий одяг до індивідуальних особливостей фігури користувача, значно підвищуючи реалістичність віртуальної примірки.

б) Деформація одягу [9]. Одяг під час носіння підлягає деформаціям, які виникають внаслідок рухів тіла, гравітаційного впливу та взаємодії з іншими об'єктами. У віртуальному середовищі важливо коректно відтворити ці

деформації, щоб продемонструвати, як одяг виглядатиме в реальному житті. Наприклад, якщо рукав сорочки згинається під час руху руки, система повинна адекватно відобразити це.



Рисунок 1.2 – Неправильна відповідність між одягом та тілом

Для реалістичного відтворення одягу в системах віртуальної примірки [10] необхідно моделювати фізичні властивості тканини, враховуючи такі параметри, як жорсткість, еластичність і вага матеріалу. Ці характеристики визначають, як тканина поводитиметься під впливом рухів тіла або гравітації, забезпечуючи природний вигляд і реалістичну посадку.

в) Точність сегментації зображень [11]. Одним із ключових етапів віртуальної примірки є сегментація зображення, яка передбачає розділення його на окремі компоненти: тіло, одяг і фон. Лише за умови правильної сегментації одяг можна коректно накласти на тіло, забезпечуючи реалістичний вигляд і правильне позиціонування. Сегментація зображення показана на рисунку 1.3.

Алгоритми глибокого навчання, зокрема нейронні мережі, призначені для сегментації зображень, значно підвищують точність розпізнавання окремих елементів. Завдяки їм можна чітко визначати межі між тілом, одягом і фоном, навіть у складних умовах. Однак ця технологія має свої виклики.

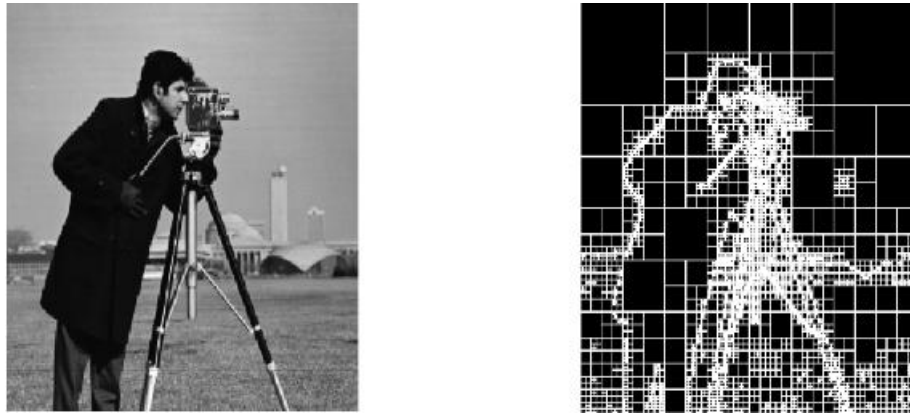


Рисунок 1.3 – Сегментація зображення [12]

Різноманіття умов освітлення, ракурсів та особливостей одягу, таких як об'ємність, прозорість або багат шаровість, створює технічні складнощі, які ускладнюють точну сегментацію.

г) Точність відтворення кольорів та текстур [13]. Реалістичність віртуальної примірки значною мірою залежить від здатності точно передати кольори та текстури одягу. Відображення має відповідати справжньому вигляду тканини, включаючи такі нюанси, як блиск, візерунки чи фактура.

Для точного передавання властивостей матеріалу одягу необхідно використовувати зображення високої якості та вдосконалені алгоритми оброблення. Такі алгоритми повинні враховувати ключові характеристики тканини, як-от фактура, блиск і прозорість.

д) Анімація та реалістичність рухів [14]. У випадках, коли віртуальна примірка демонструє одяг у русі, наприклад, під час ходьби, нахилів чи інших динамічних дій, важливо забезпечити не лише реалістичну посадку одягу на тіло, але й природне відтворення його поведінки під час руху.

Для подолання складнощів, пов'язаних із реалістичною анімацією одягу в русі, ефективним рішенням може стати використання симуляції тканини та моделювання кінематики людського тіла. Такий підхід дає можливість точно відтворити, як одяг поводить себе під час руху, враховуючи фізичні властивості матеріалу та його взаємодію з тілом.

е) Проблеми масштабування і налаштування одягу [15]. Однією з головних складностей у віртуальній примірці є забезпечення точного масштабування та

налаштування одягу відповідно до параметрів тіла користувача. Кожен виріб має унікальну розмірну сітку, яка може не відповідати анатомічним особливостям конкретної людини.

Для правильного підбору розміру системи повинні точно вимірювати параметри тіла користувача; знову ж таки, це вимагає використання спеціалізованих алгоритмів аналізу зображень [16].

Отже, процес накладання зображення одягу на зображення людини є надзвичайно складним завданням, що потребує високої точності виконання та значних обчислювальних ресурсів. Виклики, пов'язані з оклюзією, деформацією тканин, точністю сегментації та правильним масштабуванням, роблять цю задачу технічно складною, але водночас надзвичайно перспективною для наукових досліджень і розробки інноваційних рішень у сфері електронної комерції.

## **1.2 Аналіз наявних теоретичних рішень до цієї проблеми**

Проблема віртуального примірювання одягу має складний характер, оскільки поєднує різні аспекти комп'ютерного зору, аналізу зображень і фізики деформацій [17]. В останні десятиліття було розроблено багато теоретичних ідей для вирішення цієї проблеми. Багато з них використовують сучасні технології глибокого навчання та симуляцію фізичних процесів, тоді як інші базуються на традиційних методах оброблення зображень. У цьому розділі ми розглянемо основні теоретичні рішення для вирішення проблеми віртуального примірювання з ефектами оклюзії.

Тривимірне моделювання дає змогу створювати детальні цифрові репрезентації тіла користувача, що значно спрощує процес накладання одягу [18]. Для створення таких моделей використовуються різні методи.

а) Моделі на основі точок (point clouds) [19]. Такі моделі будуються на основі 3D-сканування тіла, де кожна точка представляє певну координату поверхні. Цей метод дає змогу з високою точністю відтворювати форму тіла, що

є важливим для подолання ефектів оклюзії. Приклад моделі на основі точок зображений на рисунку 1.4.

### Point cloud

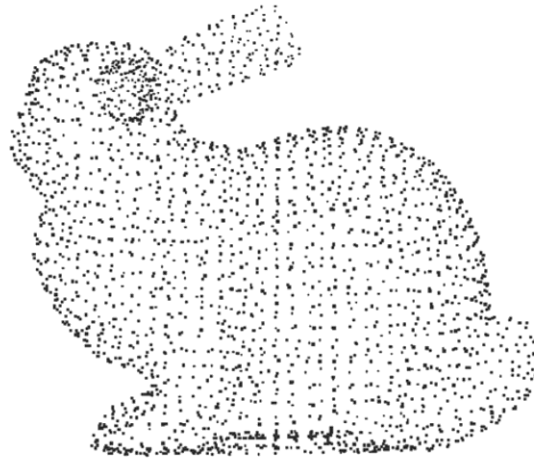


Рисунок 1.4 – Модель на основі точок [21]

б) Генеративні моделі тіла [20]. SMPL є однією з найпоширеніших моделей для 3D-моделювання тіла. Вона дає змогу створювати різноманітні варіанти тіла на основі обмежених параметрів, таких як ріст, вага та зовнішній вигляд. Моделі можна адаптувати під різні тіла за допомогою Skinned Multi-Person Linear. Це дає змогу забезпечити правильну посадку одягу на людину.

Тривимірні моделі покращують точність примірювання та вирішують деякі проблеми з оклюзією. Якщо ви знаєте точні координати поверхні тіла, легко знайти, яка частина одягу перекривається з іншими частинами тіла, і правильно відобразити ці частини.

в) Сегментація зображень та глибоке навчання [22]. Іншим підходом до вирішення проблеми віртуального примірювання є сегментація зображень із використанням методів глибокого навчання [23]. Для цієї задачі використання нейронних мереж значно покращує точність розпізнавання меж об'єктів, особливо коли частини тіла або одягу перекриваються. Порівняльна таблиця сучасних нейронних мереж, які використовуються для задач віртуального примірювання одягу за його зображеннями подана нижче (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Порівняння сучасних нейронних мереж.

Нейронна мережа	Модель	Основні завдання	Переваги	Недоліки
SP-VITON [26]	GAN (Generative Adversarial Networks)	Віртуальне примірювання одягу на фото людини.	Висока якість генерації зображень, природність текстур.	Вразливість до зміщення та перекриття зображень.
C-VTON [27]	GAN з Cloth Parsing	Віртуальне примірювання одягу з сегментацією.	Краще врахування форми тіла, точна посадка одягу.	Залежність від точності сегментації.
SieveNet [28]	U-Net + GAN	Примірка одягу з високою деталізацією.	Поліпшена передача текстур, адаптація до різних поз.	Вимоглива до обчислювальних ресурсів.
TryOnGAN [29]	GAN	Примірка одягу з гнучкою генерацією.	Висока якість результату.	Втрачає деталі при генерації складних елементів.
ACGPN [30]	Parsing-based GAN	Примірка одягу з адаптацією форми та пози.	Висока точність сегментації, гнучка адаптація до форми тіла.	Висока залежність від якості сегментації.

HR-VTON [31]	High-Resolution GAN	Високоякісне віртуальне примірювання.	Генерація зображень з високою роздільною здатністю, збереження текстур.	Високі вимоги до ресурсів для оброблення високої роздільності.
MV-VTON [32]	Дифузійні моделі	Покращена генерація одягу зі зміщеннями тканини.	Краще відображення рухів тканини, високий реалізм.	Потрібні великі обсяги даних для тренування.

г) Мережі глибокого навчання, як от згорткова нейронна мережа (CNN) [24]. Для сегментації зображень часто використовуються згорткові нейронні мережі, які здатні аналізувати складні візуальні патерни на зображенні. Одна з популярних архітектур, що використовується для сегментації, – U-Net [25], яка дає змогу точно виділяти межі об’єктів навіть у складних умовах оклюзії. U-Net поєднує в собі особливості згорткових шарів для витягу характеристик і декодерів для відновлення просторової інформації, що дає змогу отримувати високоточні сегментовані зображення.

д) Масштабовані сегментаційні мережі. Mask R-CNN [33] є покращеною версією R-CNN, яка дає змогу не тільки розпізнавати об’єкти на зображенні, але й будувати маски, що описують форму цих об’єктів. Це дає змогу більш точно накладати одяг на тіло людини, враховуючи складні оклюзії.

Цей метод дає змогу вирішити проблему накладання одягу на зображення, оскільки він використовує лише двовимірні зображення. Однак він не враховує тривимірну структуру об’єктів, що може призвести до неточностей.

г) PoseNet та OpenPose [34]. Цей тип систем використовується для точного розпізнавання ключових точок на тілі людини, що дає змогу відстежувати її позу

та рухи в реальному часі. Це особливо корисно для інтерактивних систем віртуального примірювання, які вимагають швидкої адаптації одягу до фізичних рухів. Приклад роботи систем PoseNet та OpenPose на рисунку 1.5.

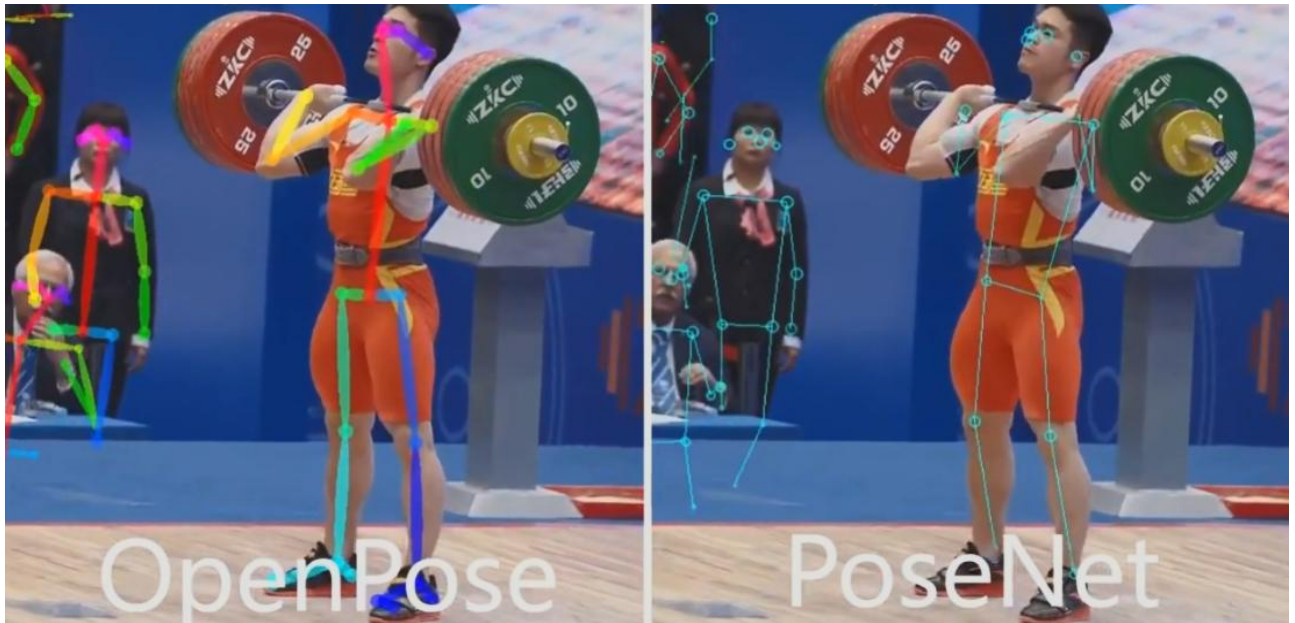


Рисунок 1.5 – OpenPose та PoseNet та для розпізнавання точок на тілі людини [35]

Отже, проблема віртуального примірювання одягу вирішується за допомогою поєднання кількох теоретичних концепцій.

У той час як методи глибокого навчання та сегментації дають можливість якісно обробляти двовимірні зображення, тривимірні моделі пропонують високу точність примірювання. Системи оцінки пози та рухів, які допомагають в інтерактивних середовищах, відіграють важливу роль. Завдяки поєднанню цих методів розробляються нові техніки для вирішення проблем оклюзії та взаємодії одягу з тілом.

### 1.3 Аналіз наявних практичних рішень до цієї проблеми

Віртуальне примірювання одягу активно впроваджується в електронній комерції, моді та сфері розваг. Рішення, які базуються на сучасних технологіях комп'ютерного зору, штучного інтелекту та тривимірного моделювання,

з'явилися останнім часом [36]. Вони намагаються вирішити різноманітні проблеми, пов'язані з віртуальним примірюванням одягу, такі як оклюзія, деформація одягу, відповідність одягу формі тіла користувача та інші.

Одним із найбільш поширених підходів до практичної реалізації є розробка мобільних додатків або вебінтерфейсів [37], які дають можливість завантажувати користувачам власні зображення та режимі реального часу використовувати камеру, щоб приміряти різні типи одягу. Дані методи часто використовують двовимірні зображення високої роздільної здатності, для того щоб точно відобразити текстури та кольори одягу. Тим часом алгоритми тривимірного моделювання можуть використовуватися для вирішення проблем оклюзії та адаптації одягу до форми тіла.

У більшості випадків практичні рішення цього включають низку важливих компонентів. Спершу, він розділяє зображення на окремі частини для визначення різних областей, наприклад одягу, тіла та фону. Автоматична сегментація, яка використовує алгоритми глибокого навчання, що дає змогу відокремлювати одяг від усієї решти зображення, для того щоб з високою точністю накладати його на тіло. Деякі компанії розробляють спеціалізовані нейронні мережі для вирішення даних завдань, таких як DeepLab [38], чи Mask R-CNN [33]. Ці нейронні мережі можуть значно підвищити точність сегментації зображень та накладання. Однак оклюзія залишається значною проблемою у сучасних практичних умовах, особливо коли мова заходить про складні рухи тіла чи пози. Порівняння готових рішень для Virtual Try-on описані у таблиці 1.2.

Деякі платформи мають інтерактивні елементи, які дають можливість користувачам рухатися перед камерою або змінювати позицію тіла, щоб вони краще зрозуміли, як одяг виглядає в реальному житті. Системи трекінгу рухів виконують такі функції, що дають можливість адаптувати відображення одягу до позиції та руху тіла користувача. Окремо варто зазначити, що впровадження таких рішень у реальні програми часто залежить від потужності обчислювальних пристроїв. Через обмежену потужність процесорів і графічних карт програми на мобільних телефонах або планшетах зазвичай мають спрощені алгоритми.

Таблиця 1.2 – Порівняння уже готових рішень для задачі віртуальної примірки.

Назва моделі	Технологія	Основні функції	Переваги	Недоліки
Vue.ai [39]	AI/ML для моди, комп'ютерний зір.	Віртуальне примірювання одягу, персоналізація, аналіз тіла.	Швидка інтеграція для онлайн-магазинів, персоналізована і рекомендації.	Вимагає великих наборів даних для оптимальної роботи.
Metail [42]	Комп'ютерний зір, AI.	2D та 3D-віртуальна примірка, підтримка персоналізованих фігур.	Детальна 3D-візуалізація, підтримка великої кількості моделей одягу.	Висока вартість для інтеграції у малих бізнесах.
True Fit [43]	AI, машинне навчання.	Платформа для персоналізації, примірка на основі даних користувача.	Аналіз даних про користувачів, розміри та рекомендації.	Вимагає багато даних для точного результату.
Zyler [44]	AI, комп'ютерний зір.	Віртуальна примірка на фото, індивідуальні фігури.	Просте інтегрування, зручність для користувачів.	Обмежена кількість інтерактивних функцій.
3DLOOK [45]	3D-сканування тіла, машинне навчання.	Точне 3D-примірювання, сканування тіла користувача.	Висока точність 3D-моделювання тіла.	Необхідність сканування тіла, обмеження для

				непідготовлених користувачів.
Fit Analytics [46]	AI, Big Data.	Персоналізація розміру та віртуальне примірювання.	Точність вираховування розміру, масштабованість.	Основний фокус на розмірі, не візуалізує сам процес примірки.

Крім того, великі бренди можуть придбати рішення на ринку, які дають можливість їм використовувати професійні інструменти для створення віртуальних показів мод або 3D-моделей одягу для продажу в Інтернеті. Це дає змогу брендам знизити витрати на фотосесії та дає змогу клієнтам краще ознайомитися з товаром перед покупкою. Такі рішення часто включають можливість адаптувати моделі одягу до потреб клієнта, що збільшує персоналізацію та залучення клієнтів.

Інтеграція автоматичних алгоритмів підбору розмірів одягу на основі вимірів тіла або фотографій користувача також вирішує проблеми масштабування. Штучний інтелект знижує ймовірність помилок при покупці, рекомендуючи правильні розміри одягу на основі даних користувачів.

Крім того, великі ритейлери активно використовують штучний інтелект, щоб покращити рекомендації та аналіз поведінки клієнтів. Наприклад, система може запропонувати одяг, який відповідає фігурі або стилю користувача, аналізуючи його попередні покупки. Для більш точних рекомендацій ці системи також враховують сезонність, модні тенденції та інші фактори.

Загалом, віртуальні способи примірювання одягу стають все більш інтерактивними, точними та доступними з кожним роком. Тим не менш, оклюзія, реалістичність моделювання тканин і точність примірювання одягу залишаються проблемами, які вимагають подальшого розвитку технологій.

## 1.4 Постановка задачі

В результаті проведеного аналізу сучасних методів та засобів віртуального примірювання одягу виявлено проблеми, що пов'язані з накладанням цифрових зображень одягу на зображення людини, зокрема за умов оклюзії та високої роздільної здатності зображень. Для їхнього вирішення, дане дослідження ставить за мету підвищити рівень подібності між цифровим зображенням одягу та зображенням людини високої роздільної здатності в умовах оклюзії, досягнувши реалістичного вигляду віртуального примірювання.

Досягнення поставленої мети передбачає виконання таких завдань:

1. Провести аналіз моделей, методів та технологій моделей, методів та технологій оброблення та генерування цифрових зображень засобами глибокого навчання високої роздільно здатності.
2. Спроекувати метод одночасного генерування та деформування сегментаційних мап цифрових зображень людини високої роздільної здатності.
3. Спроекувати метод віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії засобами глибокого навчання.
4. Реалізувати метод віртуального примірювання одягу у вигляді вебзастосунку.
5. Провести експериментальне тестування реалізованого вебзастосунку за еталонними наборами даних.

## **РОЗДІЛ 2 Проктування методів сегментування та віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії**

### **2.1 Проктування методу одночасного генерування та деформування сегментаційних мап**

У рамках проведеного дослідження було розроблено метод віртуального примірювання одягу, заснований на зображеннях високої роздільної здатності з урахуванням ефектів оклюзії. Основною метою було досягнення реалістичного відтворення віртуального одягу, який адаптується до тіла користувача, враховуючи його позу, форму тіла та приховані ділянки. Метод складався з кількох ключових етапів: попередня обробка зображення, сегментація, деформація сегментаційних карт, обробка оклюзій та оптимізація кінцевого результату. Для забезпечення точного співвіднесення одягу з тілом користувача була застосована деформація сегментаційних карт, адаптація до пози, а також прогнозування змін матеріалу одягу в залежності від рухів. На фінальному етапі було оптимізовано кольори, тіні, текстури та узгоджено всі елементи для створення реалістичного зображення. На рисунку 2.1 подано етапи та кроки запропонованого методу.

#### **Етап 1. Попередня Оброблення зображення**

Перший етап роботи з вхідним зображенням у процесі віртуального примірювання одягу був успішно реалізований, з особливим акцентом на якості зображення, яка прямо впливає на точність сегментації, адаптацію та обробку оклюзій. Проведено попередню обробку зображення, що дозволила досягти максимальної якості для подальшого аналізу.

На початковому етапі виконано попередню обробку зображень, яка включала фільтрацію шумів та корекцію освітлення для забезпечення найвищої якості. Після цього реалізовано сегментацію з використанням алгоритмів кластеризації k-means і глибоких нейронних мереж, таких як U-Net, DeepLab тощо.

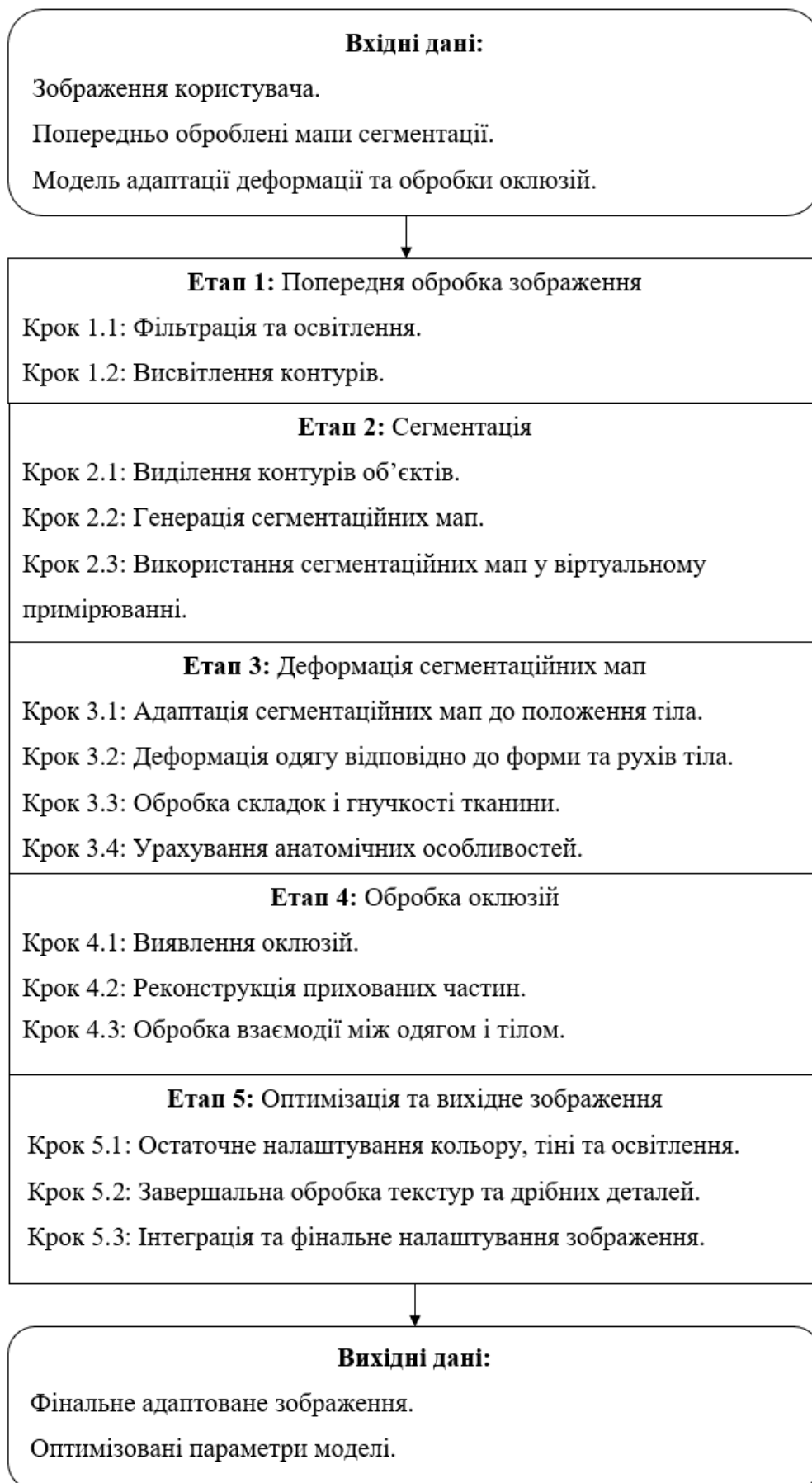


Рисунок 2.1 – Схема оброблення процесу віртуального примірювання

Архітектура U-Net зображена на рисунку 2.2.

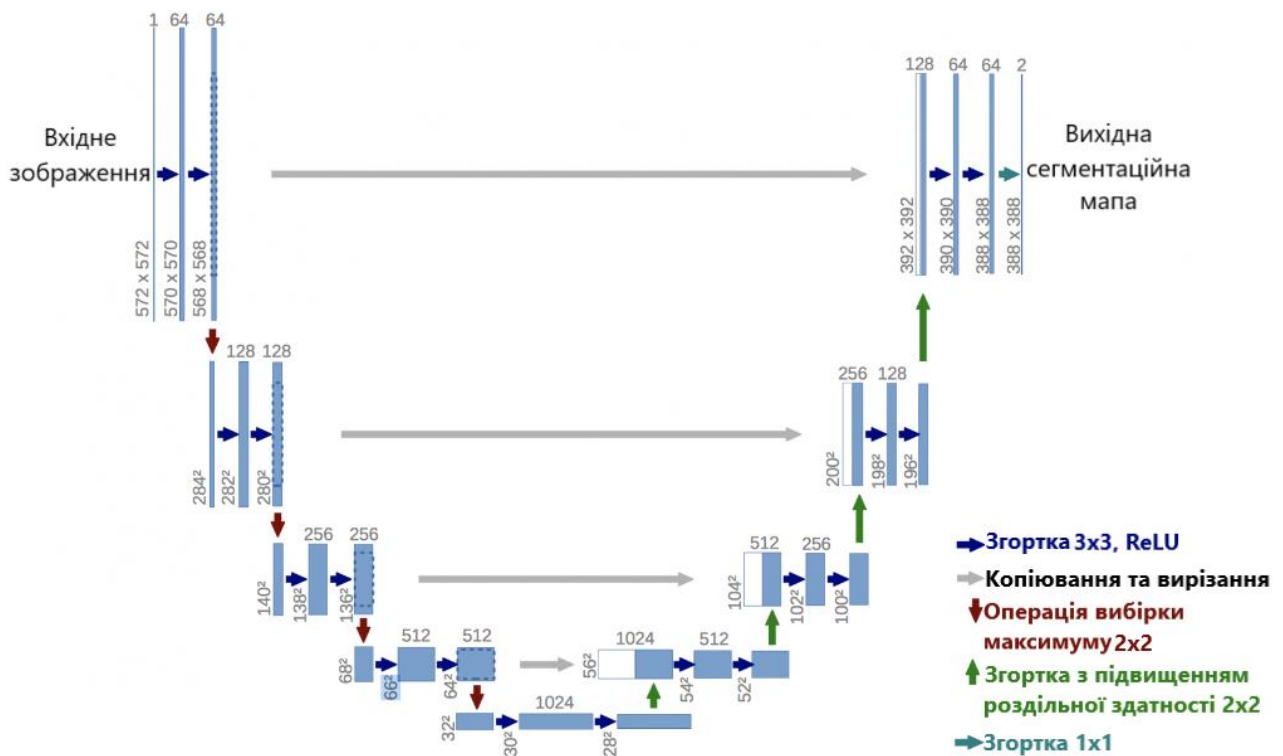


Рисунок 2.2 – Архітектура мережі U-Net, що використовується в роботі для генерування сегментаційних мап

Основні підетапи цього процесу включають:

Крок 1.1 Фільтрація та освітлення.

Попередня Оброблення зображення підвищила його якість та сприяла ефективності наступних алгоритмів, зокрема на етапі сегментації та оброблення оклюзій.

а) Фільтрація шумів. Було зменшено різноманітні типи шумів, які могли погіршити якість сегментаційних карт і ускладнити виявлення контурів. Застосовано медіанний фільтр для зменшення соль-перцевого шуму, а також згладжування Гауса і білатеральний фільтр, який зберігав контури під час зниження шуму.

б) Освітлення. Щоб компенсувати нерівномірне освітлення, викликане різницею в освітленні, тінях і відблисках, було застосовано нормалізацію. Це забезпечує однорідність зображення та підсилення важливих деталей.

Використання методу глобальної нормалізації для підвищення середнього значення яскравості до певного рівня та методу локальної нормалізації для вирівнювання яскравості в локальних областях дає змогу зберегти важливі деталі на обличчях, контурах тіла та одязі. Об'єкти на зображенні чітко розмежовані, наприклад одяг і частини тіла користувача, а контури розпізнаються успішно. Це дає змогу спростити процес сегментації шляхом виділення ключових меж між об'єктами.

#### Крок 1.2 Висвітлення контурів.

Об'єкти на зображенні чітко розмежовані, наприклад одяг і частини тіла користувача, а контури розпізнаються успішно. Це дає змогу спростити процес сегментації шляхом виділення ключових меж між об'єктами.

На цьому етапі отримані зображення мають більш високу якість, оптимальний рівень освітленості та чіткі контури, готові до наступного кроку – сегментації. Це дозволить розділити зображення на окремі частини, які будуть необхідні для подальших процесів віртуальної примірки.

#### Етап 2. Сегментація.

Етап сегментації було успішно досягнуто шляхом поділу зображення на значущі області, такі як тіло користувача, різні частини одягу та елементи фону. Це забезпечує точне позиціонування та розділення різних частин зображення, підготовку його до подальшої оброблення, зокрема адаптації одягу до тіла користувача та оброблення оклюзій.

#### Крок 2.1 Виділення контурів об'єктів.

Залежно від вимог до точності та швидкості, було реалізовано кілька методів сегментації, зокрема алгоритми кластеризації та глибокі нейронні мережі.

Алгоритм кластеризації k-means. Використовуйте базовий метод k-means, щоб кластеризувати пікселі на основі подібності кольорів або текстур, розділяючи їх на класи, вибираючи центроїд для кожного кластера та мінімізуючи відстань між пікселями та центроїдом кластера. Такий підхід забезпечує простоту та низьку обчислювальну вартість. У той же час його застосування виявляє деякі обмеження точності у випадку оклюзій, складок одягу або неоднорідного фону,



Насамкінець,  $S_f$  – генероване сегментоване зображення (вихід сегментації).

Цей результат порівнюється з реальним сегментованим зображенням для обчислення  $L_{CE}$ . Ця функція втрат використовується для оцінки точності моделі.

Модель навчена для генерації реалістичних зображень, які відповідають заданим вхідним даним.

Крок 2.3. Використання сегментаційних мап у віртуальному примірюванні.

Карти сегментації були успішно використані, як основа для подальших операцій, таких як деформація одягу на основі форми тіла користувача. Кожен предмет одягу, виділений у розділі, було масштабовано, повернуто або відкориговано, щоб забезпечити природну посадку. При застосуванні конкретного одягу його фрагменти дещо змінюються залежно від пози тіла, розміру чи кута, що дає змогу уникнути ефекту «склеювання» одягу та надати більш реалістичний вигляд.

Етап 3. Деформація сегментаційних мап.

Деформація карти сегментації була успішно реалізована, як наступний важливий крок у процесі віртуальної примірки, що забезпечує природну інтеграцію одягу з тілом користувача. На цьому етапі відбувається адаптація сегментації одягу до форми, пози та положення тіла, що дає можливість змінювати карту сегментації так, щоб одяг виглядав органічно, враховуючи рухи та характеристики користувача. номер.

Крок 3.1. Адаптація сегментаційних мап до положення тіла.

Щоб одяг виглядав природно на тілі користувача, було успішно адаптовано його сегментаційну мапу з урахуванням особливостей пози користувача.

Адаптація сегментаційних мап почалася з точного визначення ключових точок на тілі користувача (наприклад, плечей, ліктів, талії, колін), що дозволило чітко зрозуміти, як змінюється положення частини тіла. Для цього була використана модель OpenPose, яка точно визначила координати основних суглобів і частин тіла, що стало основою для правильного розташування та масштабування одягу.

Крок 3.2. Деформація одягу, відповідно до форми та рухів тіла.

Ключові фактори, такі як еластичність тканини, рухи тіла та зміни положення, були враховані для досягнення реалістичного вигляду одягу, який адаптується до змін у положенні та формі тіла.

Були застосовані еластичні деформації на основі контурів тіла, щоб імітувати природне розтягування або скорочення тканини.

Крок 3.3. Оброблення складок та гнучкості тканини.

Щоб домогтися реалістичного вигляду одягу на тілі, необхідно було враховувати не тільки деформацію загальної форми, а й складки, заломы та характеристики текстури матеріалу.

а) Фізично-обґрунтовані моделі тканин. Була застосована модель, що враховує фізичні властивості матеріалу, імітуючи поведінку тканин під час руху.

Крок 3.4. Урахування анатомічних особливостей.

Для досягнення реалістичної віртуальної примірки одяг адаптується до анатомії користувача, що дозволило уникнути візуальних спотворень і забезпечує природний вигляд одягу.

б) Адаптація до фігури. Щоб врахувати різноманітність форм тіла користувачів, одяг підлаштовувався під індивідуальні пропорції, такі як ширина плечей, бюст або розмір талії. Моделі адаптуються, як до загальних статистик, так і до параметрів, кожного користувача.

Етап 4. Оброблення оклюзій.

Обробка оклюзій була реалізована до реалістичних віртуальних примірювань, оскільки вона дає змогу точно відображати частини тіла чи одягу, приховані від інших елементів на зображенні. Завдяки цьому етапу вдалося вирішити проблеми, пов'язані з перекриттям частин тіла одягом і накладанням одягу. У рамках цієї роботи були застосовані точні відтворення прихованих елементів зображення за допомогою методів оброблення оклюзій.

Крок 4.1. Виявлення оклюзій.

На першому етапі оброблення оклюзій було успішно виконано детальне виявлення зон перекриття, де частини тіла чи одягу були приховані іншими об'єктами на зображенні.

Застосування моделі скелетної анімації. Для точного визначення просторового розташування частин тіла та одягу була використана модель Skinned Multi-Person Linear. При її використанні, була побудована точна, що дало можливість точно розрахувати глибину та положення кожної частини тіла відносно інших, ефективно визначивши зони з оклюзіями.

Крок 4.2 Реконструкція прихованих частин тіла або одягу.

Після ідентифікації зон оклюзій був реалізований процес реконструкції прихованих частин зображення. Це забезпечило природне відтворення відсутніх елементів з урахуванням їхньої текстури, форми та положення.

Інтеграція механізмів уваги для точного відтворення текстур. Щоб забезпечити реалістичне відображення текстур на прихованих частинах одягу, було застосовано механізми уваги, які зосереджуються на дрібних деталях зображення. Це дало можливість не лише відновити відсутні частини з точністю до пікселів, але й зберегти текстури та візуальні особливості одягу, наприклад, складки, візерунки або блискучі поверхні.

Крок 4.3. Оброблення взаємодії між одягом і тілом.

Реалізація оброблення оклюзій включала також створення реалістичної взаємодії між одягом і тілом, що допомогло уникнути штучного вигляду або злиття текстур.

Забезпечення відокремленості шарів. Було реалізовано оброблення шарів одягу, що дає змогу одягу на передньому плані не зливатися з фоновими елементами чи частинами тіла. Застосовуючи маскування та окремі шари для різних частин одягу, вдалося досягти ефекту, де частини зображення не накладаються одна на одну, а виглядають як реальні окремі елементи.

Етап 5. Оптимізація та вихідне зображення.

Фінальний етап оптимізації та створення вихідного зображення спрямований на покращення якості віртуального примірювання з урахуванням

результатів попередніх етапів оброблення. Цей процес включає в себе зворотний зв'язок від дискримінаторів, доопрацювання візуальних елементів та інтеграцію кінцевих елементів зображення для створення максимально реалістичного вигляду одягу на тілі користувача. Нижче наведено деталі виконаної роботи на цьому етапі.

Крок 5.1. Остаточне налаштування кольору, тіні та освітлення.

Щоб забезпечити гармонійне злиття елементів одягу з тілом, необхідно було досягти узгодженості кольорової гами та освітлення між одягом, тілом та навколишнім середовищем.

Корекція освітлення. Під час оптимізації були проведені налаштування інтенсивності освітлення та контрасту. Оскільки вихідне зображення проходило кілька етапів оброблення, особливу увагу було приділено відтворенню природного світла, яке б максимально гармонійно освітлювало як одяг, так і тіло користувача. Для цього були застосовані алгоритми освітлення на основі стилізації зображень, зокрема такі методи, як HDR, для створення більш яскравих і детальних результатів.

Крок 5.2. Завершальна Оброблення текстур та дрібних деталей.

Щоб надати зображенню максимальної деталізації, було виконано додаткову оброблення текстур, що включає в себе покращення якості зображення одягу та його текстури.

Реалістична деталізація поверхні тканини. Завдяки нейронним мережам, зокрема StyleGAN, була реалізована додаткова текстурна Оброблення, що дала змогу деталізувати фактури тканин – такі як м'якість трикотажу, блиск шовку чи рельєфність вовни. Це допомогло створити реалістичний вигляд поверхні, яка відображає особливості матеріалу. У результаті одяг виглядав як справжній, враховуючи реальні характеристики поверхні тканин.

Крок 5.3. Інтеграція та фінальне налаштування вихідного зображення.

Фінальна інтеграція передбачала об'єднання всіх оброблених елементів у єдине зображення, з урахуванням усіх налаштувань для створення реалістичного кінцевого вигляду.

Фінальне налаштування контрасту та різкості. На останньому етапі зображення було доопрацьовано за допомогою налаштування контрасту та різкості. Це забезпечило чіткість зображення, виділило контури одягу та його деталей. Особливу увагу приділено налаштуванню глибини різкості для створення ефекту, наближеного до природного сприйняття зображення.

## **2.2 Проектування методу віртуальної примірки одягу з ефектами оклюзії**

У цьому розділі було розроблено метод віртуальної примірки одягу, який забезпечує реалістичне накладання цифрового одягу на зображення користувачів із високою роздільною здатністю, враховуючи ефекти оклюзії. Метод передбачає поетапну оброблення вхідних зображень, яка включає попередню підготовку даних, сегментацію зон тіла та одягу, адаптацію форми одягу до контурів тіла, вирішення проблем оклюзій і фінальну оптимізацію результатів для створення реалістичного зображення. Далі на рисунку 2.4 будуть етапи та кроки і нижче нього вони будуть розписані детальніше.

### **Етап 1. Попередня Оброблення даних.**

Етап підготовки вхідних даних є початковою фазою, яка забезпечує високу якість подальших етапів оброблення для створення реалістичного зображення віртуальної примірки одягу.

Попередня Оброблення зображення є важливим завданням для підвищення якості даних, які надходять до системи віртуальної примірки. Було виконано такі кроки:

Крок 1.1. Фільтрація шумів. Використовуючи сучасні методи фільтрації, зокрема, медіанну та двовимірну фільтрацію, вдалося ефективно зменшити рівень шумів на зображенні, що забезпечило більш чітке та гладке зображення без артефактів. Це стало основою для точного виявлення контурів та сегментації в подальших етапах.

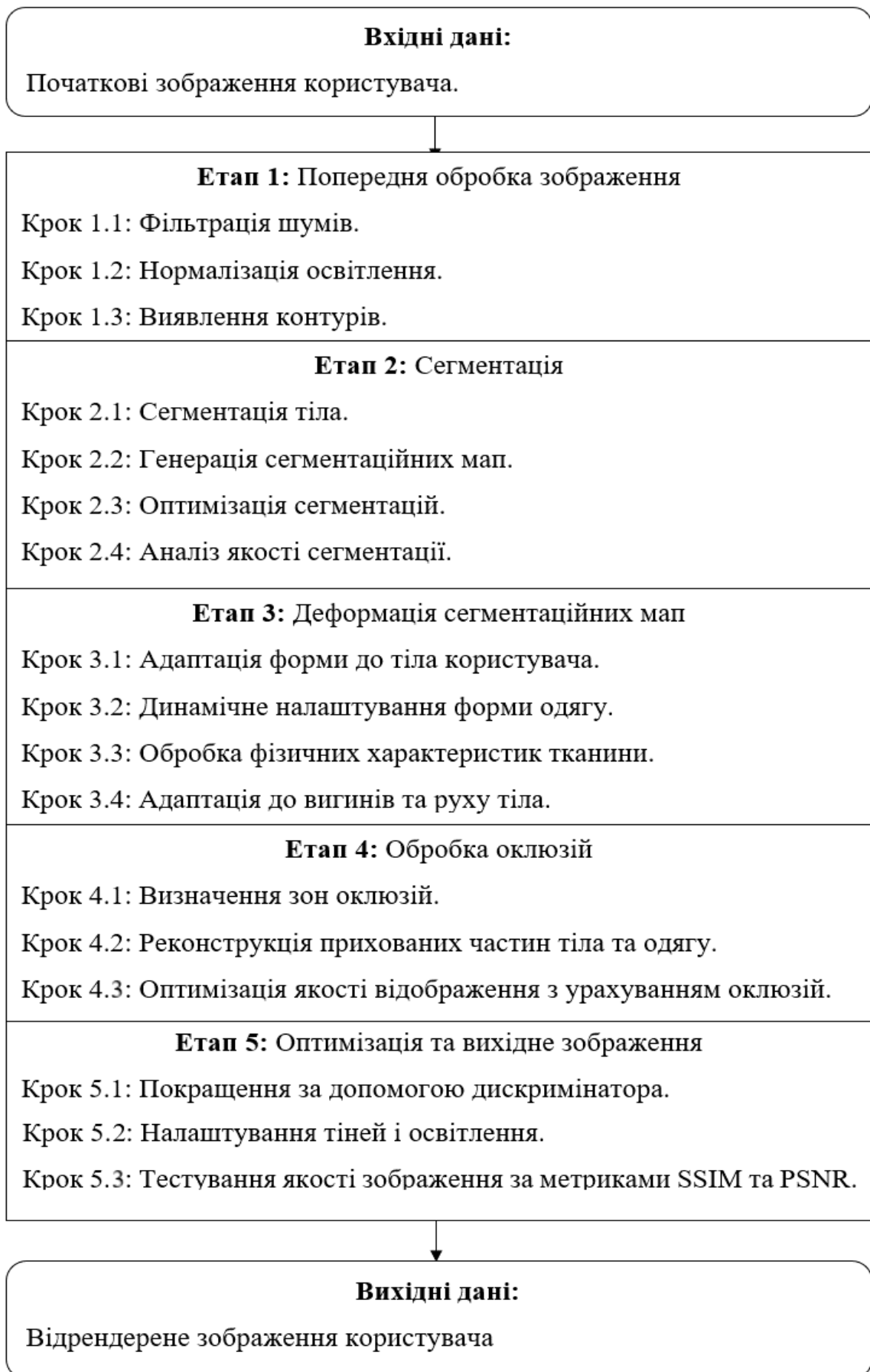


Рисунок 2.4 – Поетапний процес віртуальної примірки одягу з обробленням зображень високої якості та адаптацією до особливостей тіла користувача

Крок 1.2. Нормалізація освітлення. Для вирівнювання різниці в освітленні по всьому зображенню застосовано методи нормалізації. Це допомогло усунути занадто світлі чи темні ділянки, забезпечивши рівномірність яскравості, яка необхідна для точного виявлення контурів тіла та пози користувача.

Виявлення контурів та ключових точок тіла для правильного розташування віртуального одягу на тілі користувача, необхідно точно визначити контури тіла та його ключові точки, які служать опорними для адаптації моделі одягу. На цьому етапі було використано кілька методів для точного визначення та прив'язки ключових точок і контурів:

Крок 1.3. Виявлення контурів. За допомогою операторів Собеля та Канні було проведено детальне виявлення контурів тіла на зображенні. Оператор Собеля допоміг отримати інформацію про різкі зміни інтенсивності, що забезпечило точне виділення меж тіла та одягу. Алгоритм Канні був використаний для покращення чіткості контурів та виділення меж тіла, особливо в зонах з низьким контрастом. Це дало можливість визначити точні межі об'єктів на зображенні для наступної сегментації та прив'язки одягу.

Також було реалізовано алгоритми для розпізнавання та фіксації ключових точок тіла, таких як плечі, лікті, коліна, таз, зап'ястя, які слугують базою для точного позиціонування одягу. Використання глибоких нейронних мереж (наприклад, OpenPose) дало можливість отримати координати цих точок незалежно від положення тіла на зображенні, що важливо для адаптації одягу до різних поз.

Підготовка базових даних для адаптації одягу, ключові точки та контури тіла було застосовано для створення базових даних, які слугують основою для налаштування та підгонки одягу на зображенні користувача. Для забезпечення максимальної точності на цьому етапі було проведено перевірку отриманих даних і корекцію можливих неточностей. Це включало в себе такі процедури:

Автоматична перевірка контуру та позицій ключових точок. Система автоматично аналізувала розташування контурів та точок, перевіряючи, чи правильно вони відображають тіло користувача. За необхідності проводилася

автоматична корекція, що забезпечило точну прив'язку контурів до реальної форми тіла.

Завдяки ретельній підготовці вхідних даних вдалося досягти високої точності в розпізнаванні контурів тіла та ключових точок, а також забезпечити стабільне функціонування системи для подальших етапів віртуальної примірки. Попередня Оброблення, нормалізація освітлення та виявлення контурів значно підвищили якість вхідного зображення, що забезпечує реалістичну адаптацію одягу, зокрема для різних поз та форм тіла користувачів.

Етап 2. Сегментація тіла та одягу.

Етап сегментації тіла та одягу є ключовим кроком у процесі створення реалістичного ефекту віртуальної примірки. Основною метою сегментації є чітке розділення зон тіла та одягу для точного розташування і адаптації віртуального одягу до особливостей форми та положення користувача. Блок-схема алгоритму для сегментації одягу показана на рисунку 2.5.

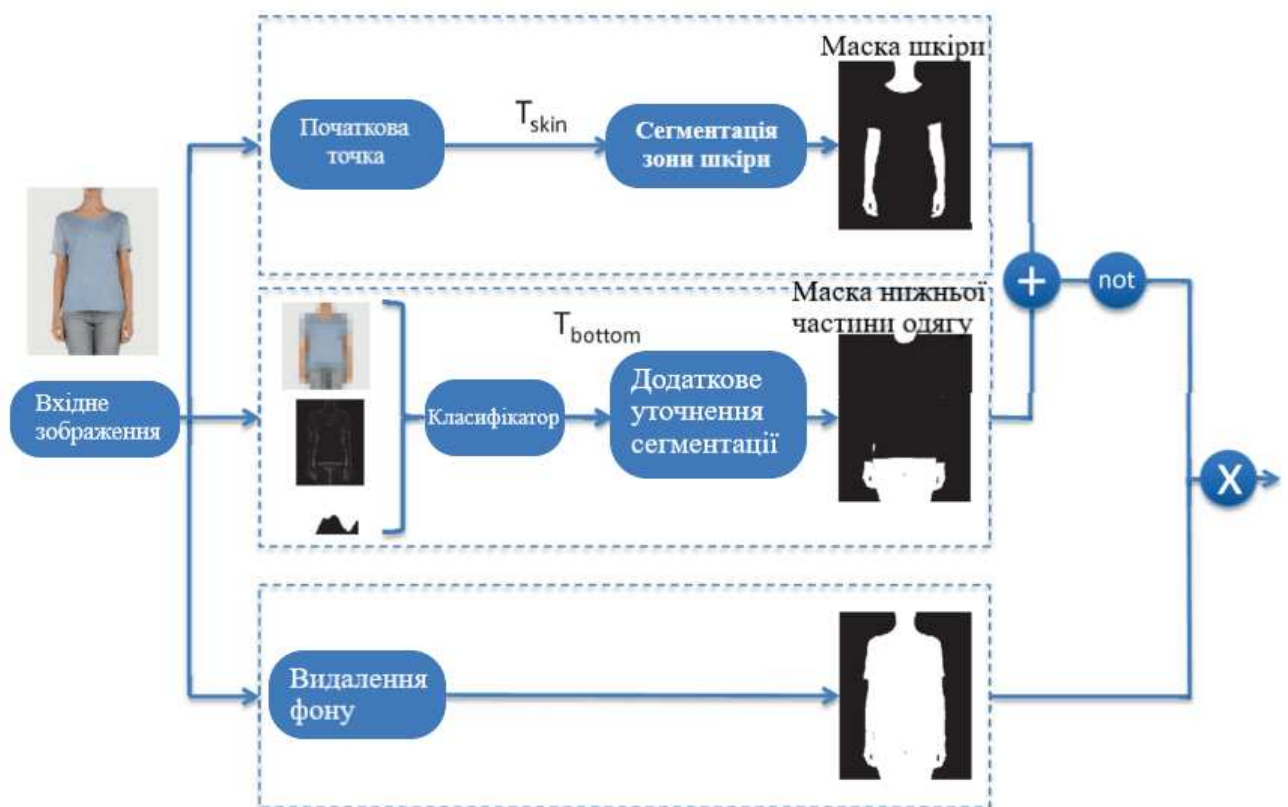


Рисунок 2.5 – Блок-схема способу для створення сегментаційних мап одягу

Крок 2.1. Сегментація тіла. Важливим кроком у процесі сегментації стало виділення зон тіла та одягу. Для цього було використано комплексний підхід, який включає алгоритми глибоких нейронних мереж та традиційні методи кластеризації, що дало можливість досягти високої точності розподілу областей на зображенні.

Для сегментації тіла було використано модель на основі згорткових нейронних мереж, здатну розпізнавати межі між тілом та фоном.

Крок 2.2. Генерація сегментаційних мап. Після розподілу зон тіла та одягу було проведено генерацію сегментаційних мап, що стали основою для накладання віртуального одягу на тіло користувача.

Крок 2.3. Оптимізація сегментацій. Оптимізація мап для різних типів одягу для досягнення максимальної точності віртуальної примірки важливо було врахувати особливості різних типів одягу, їх прилягання до тіла та поведінку матеріалу під час руху.

З огляду на різну форму та розміри предметів гардеробу, таких як сукні, куртки, футболки або штани, було створено окремі сегментаційні мапи з урахуванням специфіки кожного виду одягу.

Крок 2.4. Аналіз якості сегментації. Після генерації сегментаційних мап було проведено ретельну перевірку та уточнення сегментації для забезпечення максимальної точності та реалістичності відображення одягу на тілі користувача.

Щоб оцінити точність сегментації, застосовано метрики якості, зокрема Intersection over Union (IoU) та Pixel Accuracy. Високі значення цих метрик підтвердили, що сегментація точно відповідає заданим параметрам, а помилки в накладанні або контурі мінімізовані.

### Етап 3. Адаптація одягу до тіла.

Етап адаптації одягу до тіла є вирішальним кроком у створенні реалістичного зображення віртуальної примірки, адже він забезпечує природне прилягання одягу до форми та позиції тіла користувача. Завдяки ретельному налаштуванню деформації, обробленні фізичних характеристик тканини та

врахуванню різних поз тіла вдалося досягти високої точності і реалістичності вигляду примірюваного одягу.

Крок 3.1. Адаптація форми. Основною задачею на цьому етапі стала деформація одягу відповідно до форми тіла користувача. Було використано спеціальні алгоритми, які дали змогу адаптувати одяг, враховуючи різні параметри форми та розмірів тіла.

З огляду на контури тіла, отриманих під час сегментації, були застосовані алгоритми еластичної деформації для точного прилягання тканини до різних частин тіла. Особливу увагу приділено зонам, що потребують більш точного розташування одягу, наприклад, плечам, талії, стегнам, що забезпечило природне прилягання одягу, зокрема в облягаючих моделях.

Крок 3.2. Динамічне налаштування форми одягу. Враховано особливості різних поз та положень тіла, що дало можливість налаштувати модель для відображення одягу як у вертикальному положенні, так і в складніших позах, наприклад, під нахилом чи з розведеними руками.

Крок 3.3. Оброблення фізичних характеристик тканини. Для створення реалістичного вигляду одягу було необхідно врахувати фізичні характеристики тканини, зокрема її здатність до прилягання, розтягування, об'ємності та можливість зминання.

Застосовано алгоритми для симуляції різних типів тканин, від щільних (наприклад, джинс) до м'яких і еластичних (трикотаж, шовк). Кожен тип тканини був налаштований таким чином, щоб повторювати свою природну поведінку на основі фізичних властивостей: густини, коефіцієнта тертя та пружності. Наприклад, джинс і шовк мають різні параметри еластичності, що забезпечило їхню реалістичну адаптацію до тіла.

Налаштування одягу відповідно до руху та зміни форми тіла, щоб забезпечити реалістичний вигляд примірки, потрібно було налаштувати одяг так, щоб він правильно змінювався залежно від поз та положення тіла користувача. Так, було враховано адаптацію одягу до різних рухів і деформацій тіла.

Крок 3.4. Адаптація до вигинів та руху тіла. Важливою складовою стало налаштування поведінки тканини в разі руху тіла, зокрема для таких зон, як лікті або коліна, де тканина може натягуватися або зморщуватись. Використано моделі для визначення зони натягу та об'ємів зморщення, що дало можливість правильно відобразити поведінку тканини при згинанні тіла.

Перевірка і оптимізація адаптації для забезпечення максимальної реалістичності було проведено тестування адаптації одягу до тіла та його налаштування для різних типів фігур та одягу. Це включало автоматичну перевірку і корекцію позиціонування одягу.

Етап адаптації одягу до тіла дав змогу досягти максимальної реалістичності віртуальної примірки завдяки врахуванню особливостей тканин, налаштуванню поведінки матеріалів і адаптації до різних поз тіла. Використання методів еластичної деформації, імітації текстильних властивостей та автоматичної корекції позиції дало можливість отримати природний вигляд одягу на тілі, що є важливою частиною для забезпечення користувацького досвіду на віртуальній примірці.

#### Етап 4. Оброблення оклюзій.

На цьому етапі було вирішено питання оклюзій, які можуть виникати при взаємодії тіла з одягом і зовнішніми об'єктами. Оброблення оклюзій є важливим кроком для забезпечення реалістичного вигляду віртуальної примірки, адже завдяки цьому одяг виглядає природно, навіть якщо певні частини тіла чи одягу приховані.

Крок 4.1. Визначення зон оклюзій. Він є критично важливим для точного відображення одягу на тілі, адже неправильне опрацювання таких зон може призвести до неправильного розташування одягу. Було проведено комплексний аналіз зображень для ідентифікації зон, що потребують реконструкції, зокрема частини тіла, які перекриваються з одягом чи іншими частинами тіла.

Застосування механізмів уваги. Для підвищення точності роботи з оклюзіями було додано механізм уваги (Attention Mechanism), який акцентував оброблення на зонах, де виникали оклюзії. Завдяки цьому підходу система

фокусувалась на деталях, де найбільше відбувались перетини, і зменшила вірогідність спотворень в області перекриття одягу та тіла.

Крок 4.2. Реконструкція прихованих частин тіла та одягу. Після визначення зон оклюзій було застосовано методи реконструкції для відновлення деталей, які могли б бути приховані за іншими частинами одягу або тіла. Це дало можливість створити реалістичний вигляд навіть у випадках часткового перекриття.

Для реконструкції прихованих частин було використано глибинні нейронні мережі, зокрема GAN, які генерували ймовірне зображення частин тіла або одягу, відновлюючи їх з високою деталізацією. Використання GAN дало можливість отримати якісне зображення прихованих елементів, оскільки дискримінатор постійно оцінював точність відновлених елементів.

Крок 4.3. Оптимізація якості відображення з урахуванням оклюзій. Для забезпечення максимального рівня якості зображення було впроваджено оптимізаційні алгоритми, які дали змогу доопрацювати оброблені зони оклюзії та уникнути штучності у відображенні.

Для підвищення якості зображення і усунення можливих артефактів було проведено пост-оброблення, яка згладжувала переходи між зонами тіла та одягу, прихованими частинами та відкритими ділянками. Цей процес включав додаткову оброблення країв та згладжування контурів, що забезпечило більш плавне і природне відображення.

Етап оброблення оклюзій дав змогу вирішити проблему точного розташування одягу при взаємодії з різними частинами тіла, забезпечивши реалістичне відображення у випадках перекриття. Це є важливою складовою для створення максимально якісного та реалістичного досвіду віртуальної примірки одягу, який відповідає реаліям фізичної примірки.

Етап 5. Створення фінального зображення віртуальної примірки.

Фінальний етап розробки системи віртуальної примірки полягав у детальній оптимізації й формуванні остаточного зображення, яке б відповідало всім критеріям реалістичності, точності та візуальної привабливості. Завдяки цьому завершальному етапу вдалося досягти бажаного рівня реалістичності та

забезпечити користувачам зручний та точний інструмент для віртуального примірювання одягу.

Крок 5.1. Покращення за допомогою дискримінатора. Одним з основних інструментів для оптимізації зображень на цьому етапі став механізм зворотного зв'язку з використанням дискримінатора в рамках GAN. Дискримінатор постійно оцінював якість зображень, що дало можливість автоматично поліпшувати їх за рахунок повторного тренування моделі на основі зворотного зв'язку.

а) Роль дискримінатора у поліпшенні реалістичності. Дискримінатор навчився розрізняти реалістичні зображення від згенерованих, оцінюючи точність деталей, текстуру одягу, тіней і відображення світла. Завдяки цьому виявлялися недоліки на етапах, де потрібно було удосконалити контури або динамічні елементи, що впливало на покращення природності зображення. Робота дискримінатора для підвищення рівня реалістичності зображення показано на рисунку 2.6.

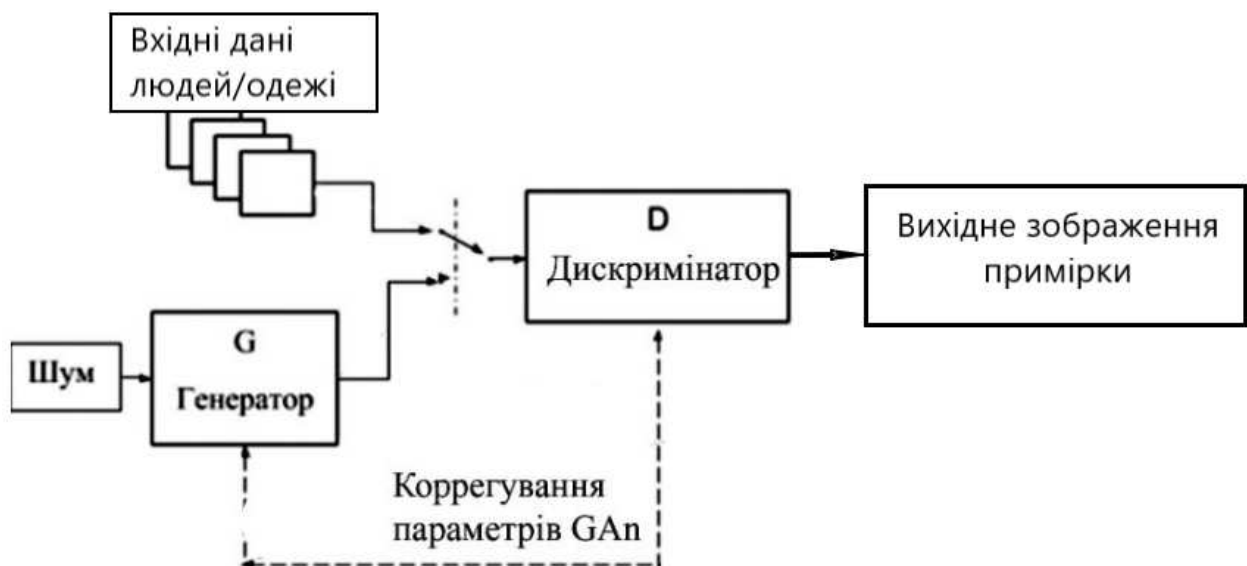


Рисунок 2.6 – Робота дискримінатора в межах методу віртуального примірювання одягу з ефектами оклюзії для підвищення рівня реалістичності вихідного зображення

б) Адаптивне навчання на основі зворотного зв'язку. За допомогою системи зворотного зв'язку генератор поступово вдосконалювався, отримуючи

зворотний зв'язок від дискримінатора та змінюючи параметри для корекції окремих частин зображення, таких як складки одягу чи текстури тканин. Це дало можливість покращити сприйняття глибини й деталізації на рівні пікселів, забезпечуючи природний вигляд усіх елементів.

Крок 5.2. Налаштування тіней і освітлення. Підвищення реалістичності через налаштування тіней та освітлення для досягнення максимально реалістичного зображення було особливою увагою приділено налаштуванню тіней і освітлення, адже вони надають об'єму зображенню й допомагають створити природний ефект глибини.

Було створено налаштування для імітації різних умов освітлення, завдяки чому вдалося врахувати розташування світла, падіння тіней та їх розмитість. Це дало можливість одягу й тілу виглядати природно, навіть при віртуальній зміні положення чи освітлення.

Крок 5.3. Тестування якості зображення за метриками SSIM та PSNR. Вихідне зображення та тестування результатів, після оптимізації та корекції всіх візуальних елементів було сформоване остаточне зображення віртуальної примірки, яке пройшло тестування на відповідність стандартам реалістичності, зручності та функціональності. Проводилося ретельне тестування системи для різних сценаріїв, щоб переконатися в точності передачі зовнішнього вигляду одягу, незалежно від параметрів тіла користувача.

а) Оцінка за допомогою тестів якості. Для підтвердження реалістичності були проведені тести з використанням метрик якості, зокрема SSIM та PSNR. Ці метрики підтвердили високу якість відтворення текстур та реалістичність зображень.

б) Тестування на різних типах тілобудови та одягу. Проводилося тестування на різних типах тіла й моделях одягу, щоб переконатися в універсальності моделі та її адаптивності. Це дало можливість перевірити коректність функціонування системи для користувачів із різними параметрами тіла та особливостями одягу, наприклад, для облягаючих чи об'ємних предметів гардеробу.

Фінальний етап оптимізації та створення вихідного зображення дав змогу досягти бажаного рівня реалістичності віртуальної примірки. Використання зворотного зв'язку від дискримінатора, налаштування фільтрів для корекції, динамічного освітлення й ретельного тестування результатів забезпечило створення зображень високої якості. Завдяки цим крокам вдалося зробити систему придатною до використання в реальних умовах, з максимальною відповідністю фізичній примірці, що значно покращує досвід користувачів у сфері онлайн-шопінгу.

## **2.3 Використання технологій глибокого навчання для оброблення зображень високої роздільної здатності**

### **2.3.1 Підготовки та оброблення вхідних зображень високої роздільної здатності**

У межах виконаного дослідження підготовка та Оброблення набору даних для створення моделей глибокого навчання відбувалася в декілька ключових етапів. Спершу здійснювалася попередня Оброблення вхідних зображень. Для підвищення їхньої якості було застосовано методи фільтрації шумів, серед яких медіанний фільтр, згладжування Гауса та білатеральний фільтр, що зберігав контури зображення під час очищення від шуму. Корекція освітлення дала змогу вирівняти нерівномірності, усунути тіні й відблиски, а також забезпечити чітке виділення важливих деталей. Завдяки використанню операторів Собеля та Канні вдалося точно розмежувати об'єкти на зображенні, такі як тіло, одяг і фон, що стало основою для сегментації.

На етапі сегментації для розподілу зображення на смислові області застосовувалися як традиційні методи кластеризації, так і глибокі нейронні мережі. Алгоритм k-means дав змогу групувати пікселі за кольором і текстурою, однак показав обмеження у випадках складних фонів чи перекриттів. Для досягнення високої точності сегментації були використані архітектури глибоких нейронних мереж, такі як U-Net і DeepLab, що створювали сегментаційні мапи.

Кожен піксель таких мап належав до певного класу, наприклад, тіло чи одяг, що забезпечувало чітке розділення об'єктів для подальших етапів оброблення.

Деформація сегментаційних мап здійснювалася з урахуванням пози тіла, що вимагало визначення ключових точок користувача, таких як плечі чи лікті. Для цього використовувалася модель OpenPose, яка дала змогу точно адаптувати сегментаційні мапи до форми тіла. Одяг деформувався з використанням еластичних моделей, які враховували властивості тканини: її натяг, розтягнення та утворення складок. Також враховувалися фізичні характеристики матеріалів, наприклад, щільність і пружність, що дало можливість імітувати реалістичну поведінку тканини.

Оброблення оклюзій включала виявлення зон перекриття між частинами тіла чи одягу та їхню реконструкцію. Для цього використовувалися моделі, такі як SMPL, які дали змогу визначати просторове розташування частин тіла. Приховані області реконструювалися за допомогою GAN, що відновлювали текстури та форми прихованих елементів з високою деталізацією. Оптимізація цього процесу передбачала згладження переходів між різними зонами, що забезпечувало природний вигляд одягу на зображенні.

На завершальному етапі проводилася оптимізація результатів і тестування. Механізм зворотного зв'язку від дискримінаторів GAN дав змогу покращити текстури, кольори та контури одягу, автоматично коригуючи недоліки. Якість результатів оцінювалася за допомогою метрик, таких як IoU, Pixel Accuracy, SSIM і PSNR, що підтверджували високу точність сегментації, адаптації одягу до тіла та реалістичність загального вигляду. Завдяки цим етапам вдалося досягти високої якості підготовки даних, що забезпечило ефективне функціонування моделей глибокого навчання у завданні віртуальної примірки одягу.

### **2.3.2. Сегментація та класифікація об'єктів на зображеннях**

Навчання моделі для віртуального примірювання одягу організоване таким чином, щоб реконструювати зображення людини, використовуючи як вхідні дані

зображення початкової людини та окремо зображення одягу. Цей процес поділений на кілька етапів, і кожен модуль моделі навчається окремо. Під час тренування геометричного модуля відповідності та генератора ALIAS використовується початкова карта сегментації. Ефекти нормалізації показані на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Ефекти нормалізації ALIAS

Ефективність ALIAS-нормалізації досліджується шляхом порівняння з модифікованою версією VITON-HD\*, де нормалізація замінена стандартною каналною нормалізацією, як в *instance normalization*. Порівняння демонструє, що ALIAS-нормалізація успішно заповнює невідповідні області текстурою цільового одягу, усуваючи помилкову інформацію. Без ALIAS-нормалізації в таких областях виникають артефакти, оскільки фонову інформацію з деформованого зображення одягу не видалено. ALIAS-нормалізація здатна правильно обробляти такі області, забезпечуючи природний і реалістичний результат.

Далі буде показана схема по якій модель робить примірku на рисунку 2.8.

Спершу модель бере вхідне зображення людини (I) та використовує його для створення карти сегментації (S) і карти пози (P). Ці карти дають змогу підготувати зображення людини у вигляді, незалежному від конкретного одягу, а також сегментацію, позбавлену деталей початкового одягу. Таким чином

формується нове «безодягне» зображення людини ( $I_a$ ) і відповідна сегментація ( $S_a$ ).

На наступному етапі сегментаційний генератор використовує підготовлені дані –  $S_a$ ,  $P$  та зображення нового одягу ( $c$ ) – щоб створити синтетичну карту сегментації ( $\hat{S}$ ). Ця карта прогнозує, як одяг має виглядати на людині у визначеній позі.

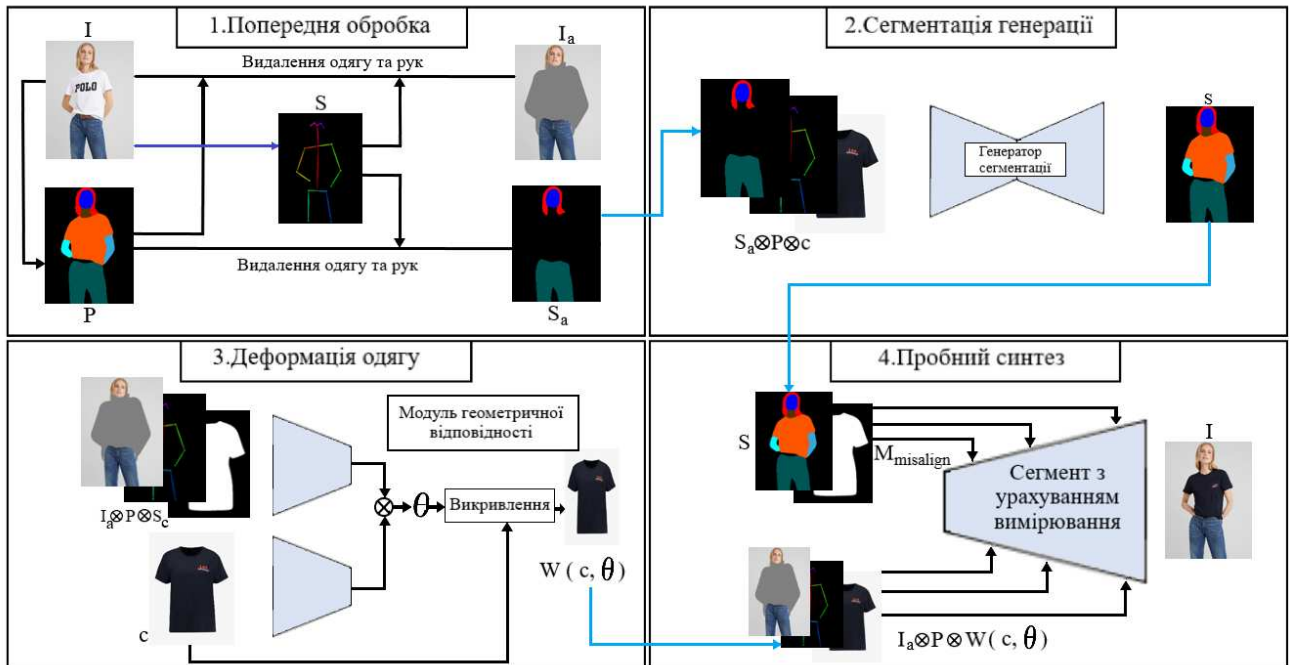


Рисунок 2.8 – Схема примірювання моделі

Далі геометричний модуль відповідності виконує деформацію зображення одягу ( $c$ ) відповідно до сегментації нового одягу ( $\hat{S}_c$ ), отриманої з синтетичної сегментації  $\hat{S}$ . Це дає змогу підлаштувати одяг під тіло людини, враховуючи форму, розташування і позу.

На завершальному етапі ALIAS генератор синтезує фінальне зображення ( $\hat{I}$ ) з використанням усіх попередніх результатів. Завдяки спеціалізованій нормалізації ALIAS, модель об'єднує сегментаційні й геометричні дані для створення реалістичного і деталізованого зображення людини в новому одязі.

### 2.3.3. Оцінювання навченої нейромережевої моделі

Компактний зміст результату тренування мережі для віртуального примірювання з ефектами оклюзії зображено на рисунку 2.9.

		SSIM ↑	FID ↓
A	Початок навчання	0.860	10.01
B	Етапи навчання моделі	0.857	11.45
		0.863	12.15
C	Етапи навчання моделі	0.865	10.85
		0.860	10.34
Кінець навчання		<b>0.867</b>	<b>9.19</b>

Рисунок 2.9 – Результат навчання нейронної моделі

SSIM вимірює схожість між згенерованими та реальними зображеннями. Значення ближче до 1 означає вищу якість. FID оцінює різницю між розподілом реальних і згенерованих зображень. Менше значення означає кращу якість.

Графіки з навчанням моделі продемонстровано на рисунку 2.10.

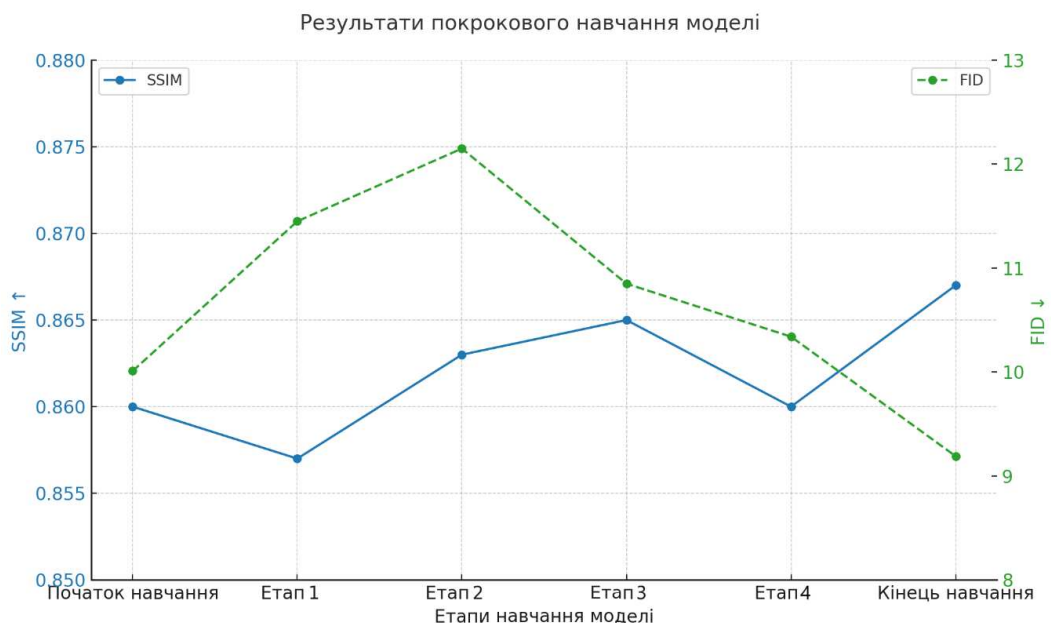


Рисунок 2.10 – Криві навчання моделі CNN: синя лінія (SSIM) показує покращення структурної подібності зображень; зелена пунктирна лінія (FID) відображає зменшення відхилення, що вказує на підвищення якості.

Як видно з рисунку 2.10, на кожному етапі результати поступово покращуються, досягаючи найкращих значень на завершенні навчання.

## **Висновки до розділу 2**

У другому розділі кваліфікаційної роботи було спроектовано метод віртуального примірювання одягу, що ґрунтується на обробленні зображень високої роздільної здатності з урахуванням ефектів оклюзії. Ключовим досягненням стало створення алгоритму, що забезпечує реалістичне відтворення віртуального одягу за допомогою точного накладення його на тіло користувача, з огляду на позу, анатомічні особливості та фізичні властивості тканин.

Удосконалений метод передбачає поетапне оброблення вхідних даних. На першому етапі виконується попереднє оброблення зображень, що включає нормалізацію освітлення, фільтрацію шумів та виділення контурів. Наступним етапом є сегментація зон тіла та одягу із застосуванням глибоких нейронних мереж U-Net та DeepLab, які забезпечують високу точність розділення зображень. Далі відбувається деформація сегментаційних мап з урахуванням пози тіла та фізичних характеристик тканин, що гарантує природне прилягання одягу до користувача. Важливим етапом є оброблення оклюзій, яке передбачає ідентифікацію зон перекриття, реконструкцію прихованих областей за допомогою GAN та оптимізацію шарів.

На завершальному етапі виконується фінальна оптимізація зображення, що включає налаштування кольорів, тіней, текстур та оцінку якості зображень за допомогою метрик SSIM, PSNR та FID.

## **РОЗДІЛ 3 Програмна реалізація методу віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії у вигляді вебзастосунка**

### **3.1 Структура та функціональне призначення програмних компонентів вебзастосунка для віртуального примірювання**

Програмна реалізація системи базується на модульній архітектурі, котра забезпечує гнучкість, масштабованість та звичайно можливість адаптації під різні задачі. Ключовими компонентами якими є модулі для оброблення аргументів командного рядка, завантаження та сегментації зображень і також деформації одягу та накладання результатів. Використання мереж GAN та схожих підходів дає змогу синтезувати реалістичні зображення, що максимально та точно відповідають розташуванню одягу та формі тіла.

Весь процес починається з підготовки даних, які включають зображення одягу та людей. Потім виконується сегментація, яка поділяє зображення на кілька категорій ( елементи одягу, фон та тіло). Завдяки даним підходам система здатна точно враховувати взаємодію між тілом та одягом, зокрема правильно обробляти ті частини, що частково приховані.

Важливими складовими є вилучення ознак, регресія параметрів трансформації та кореляція між ними, що забезпечує коректне розташування одягу на тілі. Інтеграція спеціалізованих технік оброблення зображень та сучасних алгоритмів машинного навчання робить систему сильним інструментом для реалізації віртуальної примірки у сфері інтерактивного дизайну, електронної комерції та моди.

Модулі, які використовуються в програмі для примірки одягу:

1. Argparse – для оброблення аргументів командного рядка програми.
  - генерація документації;
  - перевірка введених аргументів;
  - створення зручного інтерфейсу командного рядка.

2. VITONDataset – підклас `torch.utils.data.Dataset`, використовується для завантаження даних для задачі сегментації зображень та генерації одягу.

- завантаження даних (зображення, маски, розмітки);
- оброблення даних (маскування, розмальовування);
- завантаження одного елемента набору даних.

3. VITONDataLoader: Обгортає об'єкт VITONDataset, дає змогу ітерацію по пакетах даних.

Мережа сегментації та генерації:

- `segGenerator` – генерація карт сегментації;
- `featureExtraction` – вилучення високорівневих ознак з зображень;
- `featureCorrelation` – обчислення кореляції між наборами карт ознак;
- `featureRegression` – виконання регресії параметрів перетворення;
- `tpsGridGen` – генерація сітки для перетворення за допомогою тонко-пластинчатого сплайна TPS.

4. Модуль деформації одягу. Генерація відзеркаленого зображення з використанням GAN. Оброблення та відображення пікселів з вхідного зображення на вихідне.

5. Оброблення результатів синтезу. Маски, конкатенація карт сегментації, і додаткові операції для правильного злиття одягу та тіла.

6. Управління шумом. Функція генерування шуму для подальшої оброблення.

7. Збереження зображень. Функція для збереження зображень у файлах.

8. Завантаження точок контролю. Функція для завантаження збереженої точки контролю моделі.

Далі подано детальний опис даних модулів.

1. `argparse`. Оброблення аргументів командного рядка.

Модуль `argparse` в Python використовується в даній програмі для оброблення аргументів командного рядка, що дає змогу користувачеві налаштувати поведінку програми через введення параметрів. У методів

віртуального примірювання одягу цей модуль є корисним для налаштування параметрів моделі, таких як:

- параметри вхідних зображень (висока роздільна здатність);
- параметри сегментації (для виділення одягу та тіла);
- параметри генерації одягу (вибір стилю чи кольору одягу);
- управління ефектами оклюзії (як обробляти ті частини одягу, що приховані).

приховані).

Взаємодія функції `argparse` показана на рисунку 3.1.

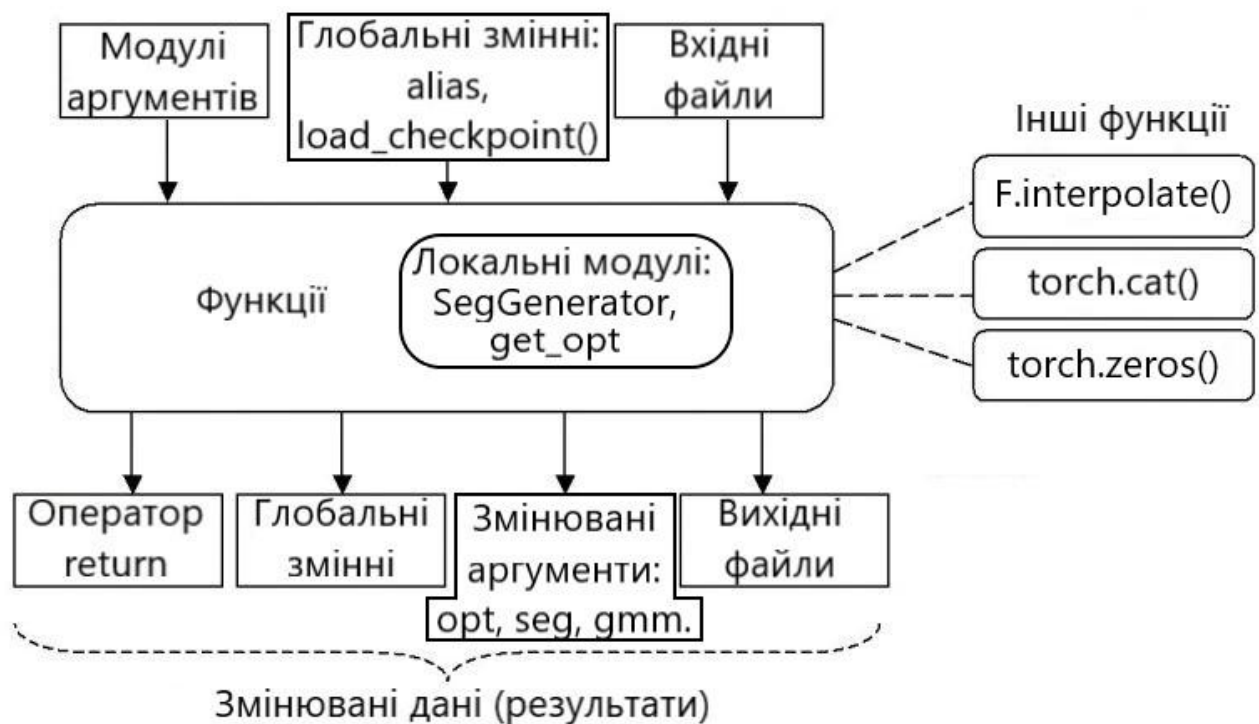


Рисунок 3.1 – Взаємодія функції `argparse` із зовнішніми частинами програми

Модулі аргументів. Використовувалися для передачі вхідних параметрів до основної функціональності. Це конфігураційні параметри або налаштування, які задаються під час запуску програми.

Глобальні змінні:

- `alias` – змінна, що, відповідає за ідентифікацію компонентів або модулів;
- `load_checkpoint()` – функція завантаження навченої моделі або попередніх станів нейронної мережі.

Вхідні файли. До системи завантажуються зображення високої роздільної здатності, які слугують базою для примірювання одягу.

Функції. Основний блок, що обробляє вхідні дані. Використовує локальні модулі, такі як:

- `segGenerator` – створює сегментацію зображення, визначаючи області для примірювання одягу;
- `get_opt` – функція, що отримує оптимізаційні параметри для навчання, застосування моделі;
- `f.interpolate()` – здійснює масштабування зображень;
- `torch.cat()` – виконує конкатенацію (об'єднання) даних (шарів);
- `torch.zeros()` – створює матриці нульових значень, які використовуються для ініціалізації.

Оператор `return`. Повертає кінцевий результат після виконання всіх функцій, включаючи сегментацію та накладення одягу.

Глобальні змінні та модифіковані аргументи. `opt`, `seg`, `gmm` – змінні, що містять параметри оптимізації, сегментовані області та результати графічних моделей.

Вихідні файли. Генеруються зображення з накладеним віртуальним одягом, який адаптується до форми та положення тіла людини, враховуючи оклюзії.

2. `VITONDataset`. Завантаження та оброблення даних для віртуального примірювання одягу.

Для виконання завдання віртуального примірювання одягу необхідно зібрати й обробити великий набір даних, що включає зображення людей, їхні фігури, а також зображення одягу в різних положеннях та формах. Модуль `VITONDataset` в рамках даної системи відповідає за правильне завантаження та оброблення таких даних.

Модуль працює з наборами даних, які містять зображення людей та відповідні зображення одягу. Завдяки такій організації, можна мати кожен набір

зображень у вигляді пари: одне зображення тіла людини та відповідне зображення одягу, який буде примірятися.

Даний модуль включає кілька важливих етапів оброблення даних. Перш за все, він відповідає за правильну сегментацію зображення, тобто за виділення фону, виділення одягу та розділення частин людського тіла. Завдяки цьому, система може точніше визначати, на яку частину тіла буде накладено одяг. Зокрема, для забезпечення ефекту оклюзії, важливо правильно обробляти ділянки, де частини одягу можуть бути приховані або частково перекриті частинами тіла.

Модуль дає змогу здійснювати пакетне завантаження зображень для тренування моделі. Це дає змогу обробляти великі обсяги даних, що критично важливо при роботі з високоякісними зображеннями, де кожен піксель може містити велику кількість інформації.

3. VITONDataLoader – Завантаження даних. Цей модуль відповідає за ефективно завантаження даних для тренування та тестування. Він обробляє великі об'єми зображень і підготовлених масок, розподіляючи їх на пакети для подальшого використання в нейронних мережах. Завдяки цьому модулю, нейронні мережі можуть працювати з обробленими та масштабованими даними, що є необхідним для тренування моделей на великих наборах.

Завантаження зображень високої роздільної здатності та додаткових масок сегментації, дає змогу працювати з деталізованими зображеннями та враховувати ефекти оклюзії при накладанні одягу.

4. Методи деформації одягу. У методах віртуальної примірки одягу є правильне накладення одягу на зображення людини. Це завдання ускладнюється наявністю оклюзій – коли частини тіла або одягу сховані, наприклад, за іншими частинами тіла або предметами. Для вирішення цієї проблеми використовуються методи, що дають змогу генерувати деформовані карти одягу та відобразити їх на зображеннях людини.

a) GMM (Gaussian Mixture Models) дає змогу синтезувати одяг для подальшого накладання на зображення людини та створення нових зображень з

використанням GAN, що відповідають заданим умовам, зокрема враховуючи оклюзії та інші перешкоди.

б) TPSGridGen (Тонко-Пластинчатий Сплайн). Підхід до трансформації сіток, що дає змогу точніше відобразити елементи одягу на тілі людини. Вона дає змогу коригувати розташування та форму одягу в залежності від позиції та рухів тіла, що є критично важливим для реалістичної віртуальної примірки, особливо коли частини одягу чи тіла блокуються іншими об'єктами.

### 3.2 Сегментація зображень та оброблення поз

Сегментація зображень для примірки одягу полягає в розділенні зображення на кілька семантичних категорій. Це дає змогу ізолювати різні частини тіла, такі як голова, торс, руки, ноги, а також окремі елементи одягу. Для точності сегментації можуть використовуватися методи глибокого навчання, зокрема нейронні мережі, які навчаються на великих наборах анотованих даних, де кожен піксель на зображенні має свою категорію. Сегментацію віртуальної примірки зображено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Схема процесу сегментації зображень людини та одягу

Сегментація та корекція поз. Цей модуль дає змогу системам комп'ютерного зору точно визначати ключові частини тіла людини, правильно

інтерпретувати їх позиції та рухи, навіть за умов оклюзії, коли частини тіла або одягу частково сховані.

Для вирішення даної задачі використовуються специфічні модулі, такі як FeatureExtraction, FeatureCorrelation та FeatureRegression. Ось як ці етапи працюють у даній роботі:

Етап 1. Feature Extraction (Вилучення ознак).

Процес вилучення ознак є критичним для подальшої оброблення зображень та розпізнавання об'єктів на них. Основною метою цього етапу є виявлення найбільш значущих частин зображення, таких як контури тіла, лінії суглобів, форма і розташування одягу та інших елементів.

а) Принцип роботи. На цьому етапі використовуються складні алгоритми глибокого навчання, зокрема згорткові нейронні мережі, які автоматично навчаються виділяти найбільш важливі ознаки з великих обсягів зображень. Це будуть як глобальні ознаки, що описують загальну форму тіла людини, так і локальні, що зосереджені на конкретних частинах тіла (руки, ноги, голова).

б) Технічні аспекти. Використовуються моделі, такі як OpenPose попередньо навчені моделі для аналізу людських поз, що дають змогу виділити ключові точки (суглоби) і визначити їх координати на зображенні. Також будуть застосовані інші підходи, такі як сегментація зображень або використання масок для точного визначення меж окремих частин тіла.

в) Значення для віртуального примірювання. Оскільки точне накладення одягу залежить від правильної ідентифікації частин тіла та їхніх положень, точне вилучення ознак є першим і важливим кроком у процесі віртуального примірювання одягу.

г) Вхідне зображення. Це зображення включає людину в складній позі з частковим перекриттям (оклюзією), наприклад, рукою, яка закриває частину тіла. Вхід також включати цифрове зображення одягу, який треба віртуально «надіти».

Перший шар виділення ознак.

а) Згортковий шар (Convolutional Layer) починає виділяти базові ознаки зображення, такі як краї, текстури та форми.

б) У віртуальній примірці – дає змогу системі розпізнавати основні контури тіла людини та елементи одягу.

в) Це критично важливо для врахування перекритих частин, наприклад, якщо рука закриває частину сорочки.

Підвибірка.

а) Цей шар зменшує розмірність і концентрує увагу на найважливіших деталях.

б) У віртуальній примірці – допомагає зосередитися на ключових областях зображення, наприклад, на торсі чи руках, навіть якщо є оклюзії.

Наприклад, система може ігнорувати тло та зосередитися лише на тілі користувача.

Другий шар виділення ознак. Другий згортковий шар аналізує більш складні ознаки, такі як деталі положення тіла, згини тканини та різні текстури одягу. Це дає змогу розпізнати, як тканина буде накладена на тіло, навіть якщо частини тіла закриті іншими об'єктами. Тут мережа ще більше спрощує ознаки, щоб уникнути перенасичення інформацією.

Етап 2. Feature Correlation (Кореляція ознак).

Кореляція ознак визначає взаємозв'язки між різними частинами зображення, що критично важливо для правильного налаштування одягу на людині, особливо в умовах оклюзії. На цьому етапі важливо точно корелювати позиції суглобів, частини тіла та їх відображення в контексті зображення.

а) Принцип роботи. Основна мета цього етапу – знаходження відповідних зв'язків між виявленими ознаками (між плечем і рукою або між стегном і ногою) на основі їх положення в просторі зображення. Використовуються методи глибокого навчання, такі як трансформери або рекурентні нейронні мережі, щоб аналізувати і передбачати ці зв'язки.

б) Технічні аспекти. Для кореляції ознак застосовуються спеціалізовані функції втрат, які оцінюють наскільки точними є передбачення про розташування кожної частини тіла. Також використовуються методи для аналізу просторових відстаней і кутових взаємозв'язків між частинами тіла. Під час кореляції можуть

враховуватися не тільки структурні зв'язки, а й текстури чи інші деталі зображення.

в) Значення для віртуального примірювання. Кореляція ознак дає змогу забезпечити точність накладання одягу, навіть якщо частини тіла частково сховані чи перекриті іншими елементами. Завдяки цій кореляції можна правильно адаптувати одяг до рухів і змін позиції тіла, що є важливим для забезпечення реалістичного вигляду одягу.

### Етап 3. Feature Regression (Регресія ознак).

Після того, як ознаки вилучено і корельовано, наступним етапом є корекція і адаптація результатів, що забезпечує більш точну відповідність між накладеним одягом і тілом людини. Feature Regression це ключовим етап у процесі відновлення недостаючих частин тіла або одягу, що сховані внаслідок оклюзії.

а) Принцип роботи. На цьому етапі використовується регресія для визначення найкращих параметрів для трансформацій. Це є координати точок, де одяг має бути накладений, або ж регулювання форм і розмірів одягу для ідеальної відповідності до кожної позиції тіла. Методи глибокого навчання, такі як нейронні мережі для регресії, здатні передбачити ці параметри на основі попередньо отриманих даних.

б) Технічні аспекти. В рамках регресії потрібно використовувати як класичні методи машинного навчання, так і сучасні підходи, засновані на нейронних мережах, де мережі навчаються на основі великих наборів даних з анотаціями щодо взаємодії тіла і одягу. Для більшої точності в таких задачах використовуються методи, які дають змогу коригувати або уточнювати позиції точок навіть при часткових оклюзіях.

в) Значення для віртуального примірювання. Регресія допомагає у фінальній адаптації зображень, надаючи точні дані про положення частин тіла, що дає змогу правильно накласти одяг, враховуючи оклюзії та перешкоди. Це дає змогу отримати максимально реалістичний результат, коли одяг адаптується до форми та руху тіла.

### Висновки до розділу 3

У третьому розділі роботи розглянуто ключові компоненти програмної реалізації системи віртуального примірювання одягу. Зокрема, детально проаналізовано структуру та функціональне призначення різних модулів, що забезпечують реалістичне накладання одягу на зображення людини.

Розглянуто модуль аргументації командного рядка `Argparse`. Його використання дає змогу налаштовувати різноманітні параметри програми, що надає користувачам можливість керувати функціоналом системи вже на етапі запуску, включаючи налаштування для оброблення зображень та генерації одягу. Окрему увагу приділено модулям завантаження та оброблення даних `VITONDataset` і `VITONDataLoader`, які відіграють ключову роль у правильному завантаженні й сегментації зображень, що є основою для подальшого процесу віртуального примірювання.

Описано методи деформації одягу `GMM` та `TPSGridGen`. Для реалістичного накладання одягу на зображення людини використовується мережа `GAN` для створення нових зображень, а також трансформація сіток для точного відображення одягу на тілі. Це дає змогу враховувати складні ситуації, коли частини тіла або одягу можуть бути частково приховані.

Також розглянуто модулі для вилучення ознак, кореляції та регресії. Вони забезпечують точну ідентифікацію ключових частин тіла та їхнього положення, навіть у складних ситуаціях з оклюзією. Завдяки цим етапам система здатна адаптувати одяг до зміни поз і рухів користувача, що робить віртуальну примірku більш реалістичною.

Загалом, усі ці компоненти працюють узгоджено, щоб забезпечити якісне віртуальне примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності, враховуючи усі складнощі, пов'язані з різними позами та ефектами оклюзії.

## **РОЗДІЛ 4 Дослідження роботи створеного вебзастосунка за методом віртуального примірювання одягу з ефектами оклюзії**

### **4.1 Особливості реалізації компонентів системи**

У рамках реалізації системи віртуального примірювання одягу було використано мову програмування Python, що дало можливість скористатися потужними бібліотеками для оброблення зображень та роботи з нейронними мережами. Для зручності інтеграції з користувачем та вебінтерфейсом була вибрана бібліотека Gradio, яка дала змогу швидко розгорнути вебзастосунок для тестування та демонстрації роботи системи. Нижче наведено основні особливості реалізації програмних складових системи.

1. Використання Python та бібліотек для оброблення зображень. Для оброблення зображень було використано бібліотеки OpenCV та Pillow, що забезпечили ефективно вирівнювання зображень, сегментацію тіла користувача та попередню оброблення зображень одягу. Всі ці кроки необхідні для подальшого накладання одягу на зображення людини. Бібліотека NumPy використовувалась для роботи з масивами пікселів, а TensorFlow та Keras – для розроблення та навчання генеративної нейронної мережі.

2. Реалізація генеративної нейронної мережі. GAN була розроблена для накладання одягу на зображення користувача з високою роздільною здатністю. Мережа була навчена на великій кількості зображень, що дало можливість їй ефективно враховувати анатомічні особливості людини, змінювати форму одягу під конкретні контури тіла та коригувати ефекти оклюзії. Моделі нейронних мереж обробляють зображення, зберігаючи деталізацію, реалістичність текстур і складок одягу.

3. Використання Gradio для вебзастосунку. Для інтеграції програмної реалізації в вебзастосунок було використано бібліотеку Gradio, що дала змогу безпечно і швидко створити інтерфейс для взаємодії з користувачем. За допомогою Gradio було розроблено інтерфейс, що дає змогу користувачам завантажувати свої зображення, вибирати елементи одягу та отримувати

результат накладання одягу в реальному часі. Gradio надає можливість використовувати локальний сервер для тестування або ж розгорнути програму на хмарному сервері, що робить доступ до системи зручним і гнучким.

Інтерфейс програми зображено на рисунку 4.1.

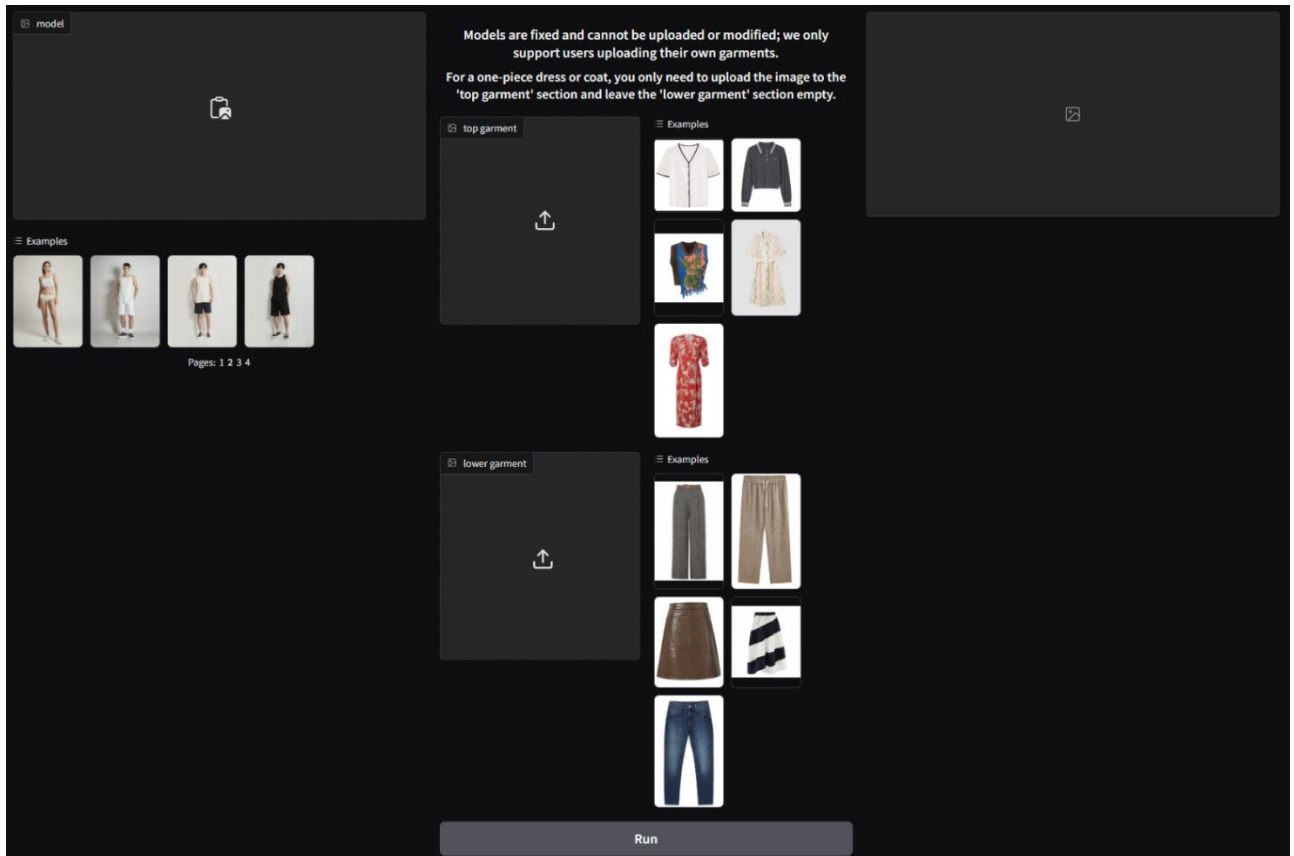


Рисунок 4.1 – Інтерфейс програми у вебзастосунку

1. Оптимізація продуктивності. Для забезпечення високої продуктивності оброблення зображень з високою роздільною здатністю була проведена оптимізація моделі нейронної мережі. Було застосовано стратегії зменшення обсягу даних, як-от зменшення роздільної здатності на етапі попередньої оброблення, що дає змогу працювати з великими зображеннями без суттєвих втрат якості та швидкості.

2. Інтерактивність і зручність користувача. Система була спроектована так, щоб користувачі могли швидко завантажувати свої зображення, вибирати одяг із запропонованих варіантів та бачити результат негайно. Інтерфейс Gradio дає

змогу переглядати зображення безпосередньо на вебсторінці та інтерактивно змінювати параметри накладання одягу.

Загальна структура роботи програмних складових. Уся система складається з окремих компонентів, кожен з яких має чітко визначену функцію:

- модуль оброблення зображень – здійснює підготовку даних для подальшої оброблення;

- модуль генеративної нейронної мережі – відповідає за накладання одягу на зображення людини;

- модуль візуалізації результату – відображає кінцеве зображення на вебінтерфейсі користувача;

- інтерфейс gradio – забезпечує зручну взаємодію між користувачем та системою через браузер.

Ця реалізація забезпечує високий рівень інтерактивності та можливість використання системи в реальному часі, що робить її корисною для онлайн-магазинів, платформ для покупки одягу або ж для тестування віртуального примірювання в інтернеті.

Результат роботи програми. Програма віртуального примірювання одягу, успішно демонструє можливість накладання цифрових зображень одягу на зображення користувача з високою роздільною здатністю. Використання генеративної нейронної мережі дає змогу реалістично адаптувати одяг до контурів тіла, враховуючи анатомічні особливості та ефекти оклюзії. Завдяки інтерактивному вебінтерфейсу користувачі можуть завантажувати свої зображення, вибирати одяг та отримувати результат у реальному часі. Система демонструє високу точність і швидкість роботи, забезпечуючи зручний досвід віртуального примірювання. Результат зображений на рисунку 4.2.

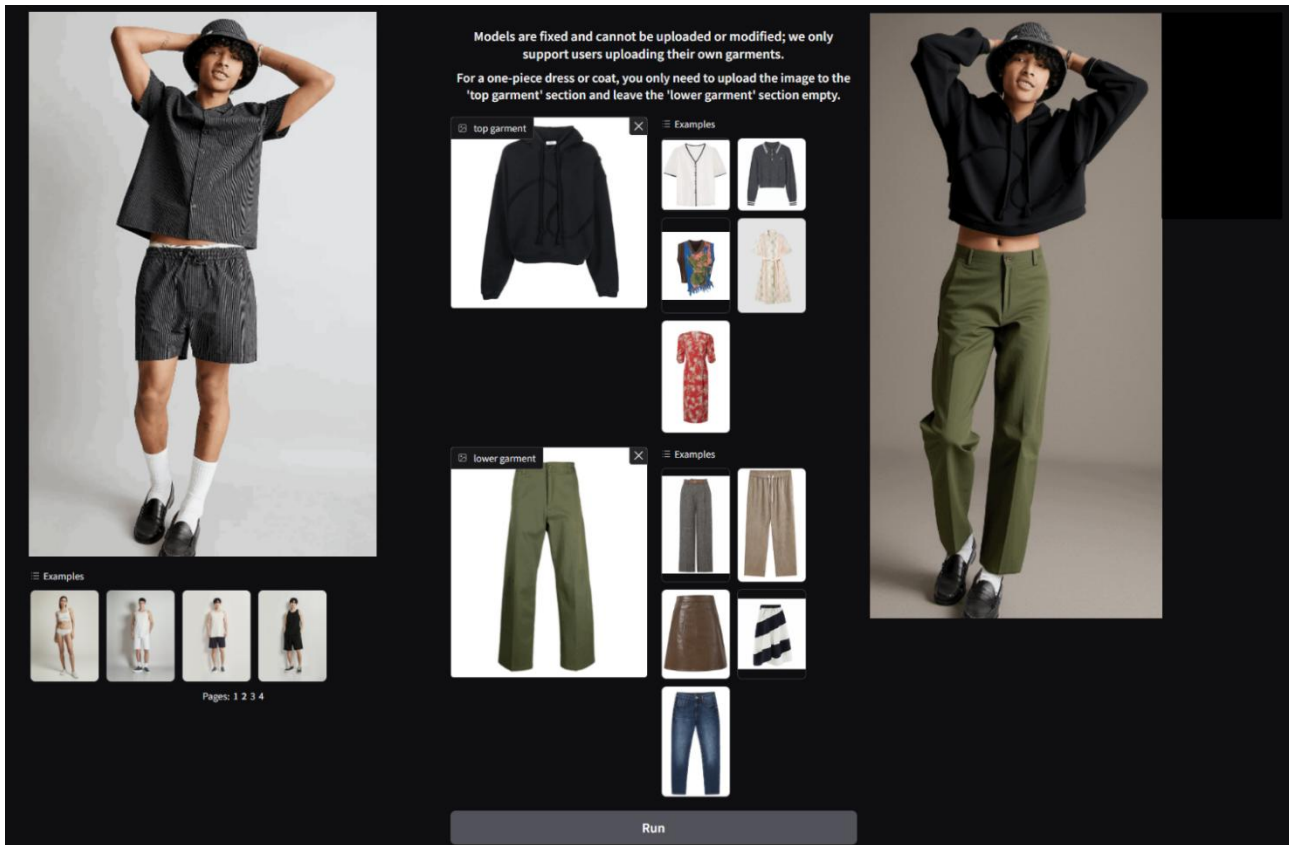


Рисунок 4.2 – Результат роботи програми

Ось приклад примірки різного одягу на двох людях на рисунку 4.3.



Рисунок 4.3 – Приклад примірки різного одягу на двох людях

Далі буде приклад примірки різного одягу на одній людині на рисунку 4.4.

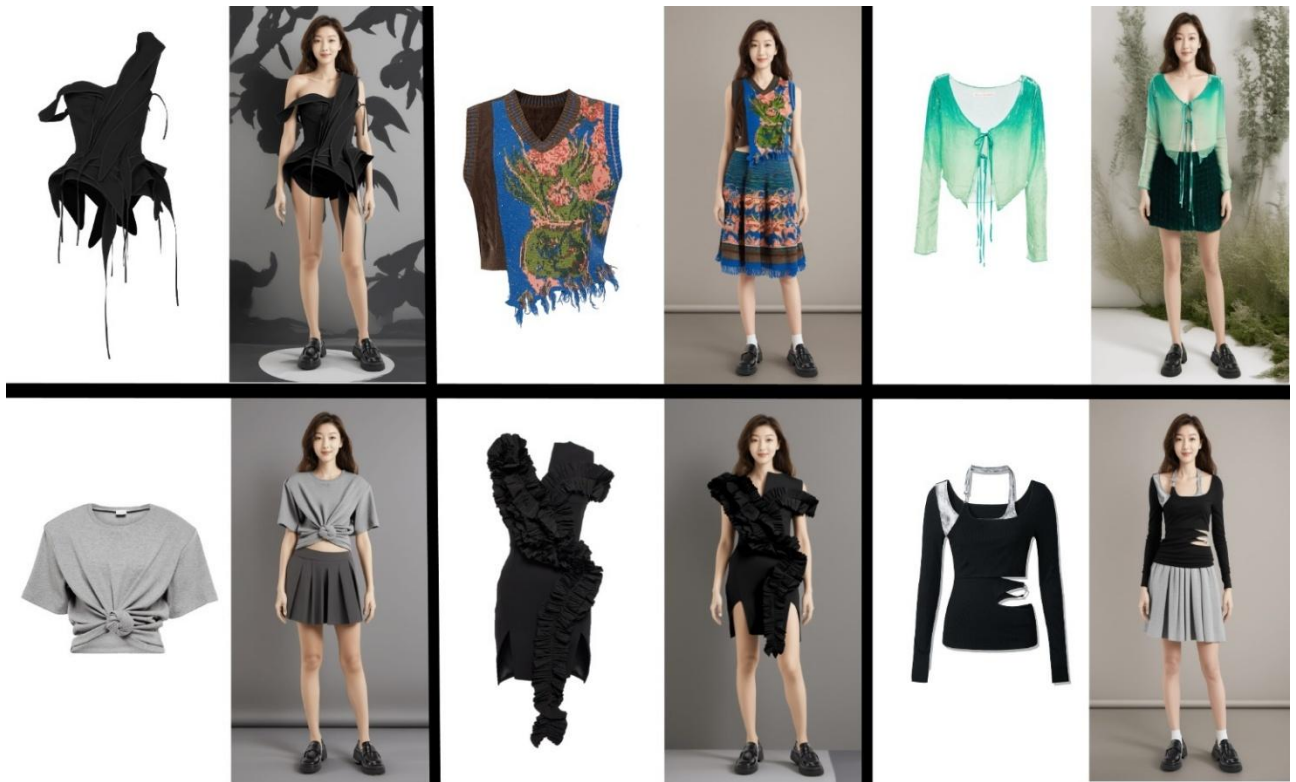


Рисунок 4.4 – Примірка одягу на одній людині

## 4.2 Експериментальне тестування системи для оцінки якості накладання одягу з ефектами оклюзії

Тестування вебзастосунка є важливим етапом в будь-якій розробці. Спочатку провіримо запуск програми і чи всі пакети встановлено.

Якщо користувач перший раз запустив програму, то не всі пакети будуть встановлені і потрібно буде їх завантажити вручну для успішного запуску програми.

Ось помилка яка виникла у даній програмі зображена на рисунку 4.5

```
ERROR: Could not find a version that satisfies the requirement torchvision==0.14.0
ERROR: No matching distribution found for torchvision==0.14.0
```

Рисунок 4.5 – Не встановлений пакет torchvision

Для вирішення даної помилки потрібно в терміналі написати дану команду: `pip3 install torchvision`.

Коли програма запуститься на локальному сервері переходячи по посиланню користувач потрапить на сторінку де можна проводити віртуальну примірku одягу у високій роздільній здатності.

Наступна проблема можеш полягати в тому що у користувача може бути не встановленні програмні технології CUDA. Дана технологія дає змогу використовувати GPU для виконання, розпізнавання одягу, текстур і аналіз форми тіла. CUDA прискорює алгоритми, які застосовуються для видалення шуму, підвищення контрастності або реконструкції пошкоджених частин зображень.

Якщо технологія не встановлена то буде така помилка, яка зображена на рисунку 4.6

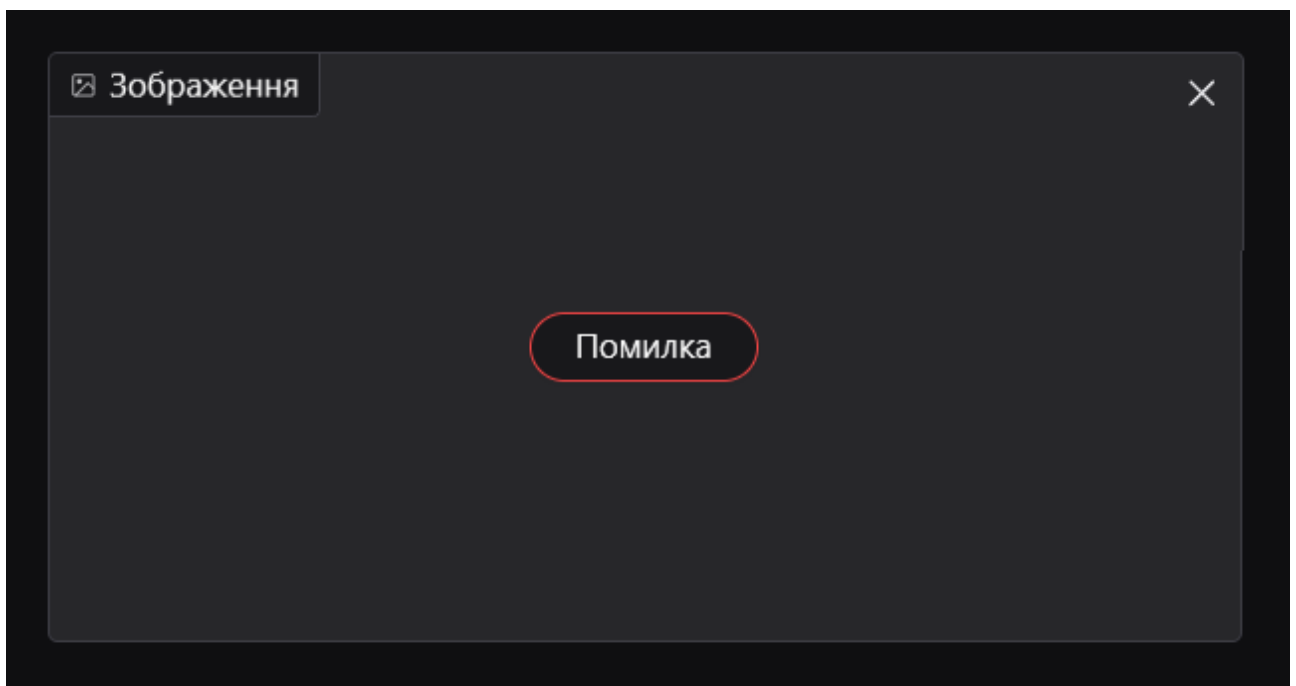


Рисунок 4.6 – Помилка через відсутню програмну технологію CUDA

Ось приклади невдалої примірki з дефектами зображено на рисунку 4.7.

Тест-кейс 1: Перевірка запуску застосунка.

Передумови: запуск програми.

Оригінальні фото



Фото одягу



Результат примірки



Рисунок 4.7 – Приклади невдалої віртуальної примірки

Очікуваний результат: запуск програми на локальному сервері. Тест-кейс зображений у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Тест кейс TC0001

<b>Тест-кейс ID: TC0001</b>	<b>Пріоритет: 1</b>	<b>Створено: 24.11.2024</b> Оксанюк М.С.
<b>Назва:</b> Перевірка запуску програми – чи встановленні всі потрібні пакети.		
<b>Кроки</b>	<b>Очікуваний результат</b>	
1. Запустити програму. 2. Натиснути на кнопку запуску або комбінацію клавіш – Shift+F10.	Якщо всі Python пакети встановленні, то програма запуститься та створить локальний сервер з посиланням у браузер, де можна буде виконати віртуальну примірку одягу.	
<b>Результат виконання тест-кейсу:</b> пройдено успішно		

Тест-кейс 2: Перевірка чи працює віртуальна примірка.

Передумови: запуск програми.

Очікуваний результат: запуск програми, готовий результат віртуальної примірки. Тест-кейс зображений у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Тест-кейс TC0002

<b>Тест-кейс ID: TC0002</b>	<b>Пріоритет: 1</b>	<b>Створено: 24.11.2024</b> Оксанюк М.С.
<b>Назва:</b> Перевірка на примірку.		
<b>Кроки</b>	<b>Очікуваний результат</b>	
1. Запустити програму. 2. Перейти за посиланням на локальний сервер. 3. Вибрати людину та одяг. 4. Натиснути на кнопку запуску – Run. 5. Результат віртуальної примірки.	Користувачу потрібно буде запустити програму та перейти на локальний сервер. Потім вибрати людину та одяг та запустити віртуальну примірку.	
<b>Результат виконання тест-кейсу:</b> пройдено успішно		

Тест-кейс 3: Оцінити ефективність та точність сегментації зображення.

Очікуваний результат: коректна сегментація зображення. Тест-кейс зображений у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Тест-кейс TC0003

<b>Тест-кейс ID: TC0003</b>	<b>Пріоритет: 1</b>	<b>Створено: 24.11.2024</b> Оксанюк М.С.
<b>Назва:</b> Оцінити ефективність та точність сегментації зображення.		
<b>Кроки</b>	<b>Очікуваний результат</b>	
1. Запустити програму. 2. Перейти за посиланням на локальний сервер. 3. Вибрати будь-який одяг та людину. 4. Запустити віртуальну примірку. 5. Перевірити результат.	Користувачу потрібно буде запустити програму та перейти на локальний сервер. Потім вибрати будь-який одяг та людину та запустити виконання примірки. Оцінити результат.	
<b>Результат виконання тест-кейсу:</b> пройдено успішно		

Далі буде перевірка на оклюзію. Для цього візьмемо людину в якій підняті руки, щоб подивитись як мережа зробить віртуальну примірку. Результат показаний на рисунку 4.8.

Тест-кейс 4: Перевірка на оклюзії.

Очікуваний результат: серйозних оклюзій після віртуальної примірки не повинно бути. Тест-кейс зображений у таблиці 4.4.

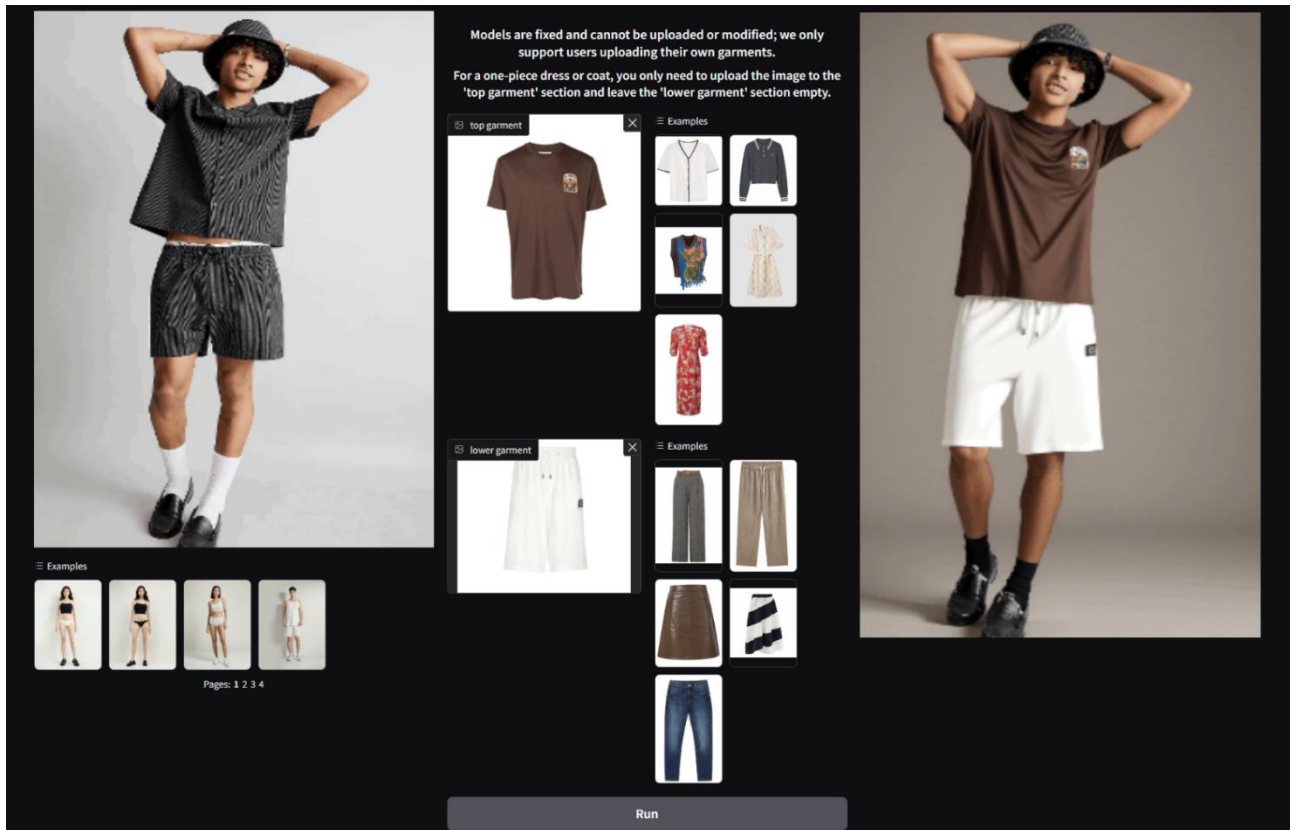


Рисунок 4.8 – Перевірка на оклюзії

Таблиця 4.4 – Тест-кейс TC0004

Тест-кейс ID: TC0004	Пріоритет: 1	Створено: 24.11.2024 Оксанюк М.С.
<b>Назва:</b> Перевірка на оклюзії.		
<b>Кроки</b>	<b>Очікуваний результат</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Запустити програму.</li> <li>2. Перейти на локальний сервер, посилання якого відкривається в браузері.</li> <li>3. Вибрати для примірки людину та одяг.</li> <li>4. Натиснути на кнопку – Run.</li> <li>5. Перевірити результат на оклюзію.</li> </ol>	Користувачу потрібно запустити програму на локальному сервері та перейти у браузер за посиланням. Потім зробити віртуальну примірку та оцінити результат.	
<b>Результат виконання тест-кейсу:</b> пройдено успішно		

Тест-кейс 5: Перевірка на завантаження зображення у папку збереження.

Очікуваний результат: Результат примірки можна буде завантажити улюбому зручному для користувача форматі. Тест-кейс зображений у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Тест-кейс TC0005

<b>Тест-кейс ID: TC0005</b>	<b>Пріоритет: 2</b>	<b>Створено: 24.11.2024</b> Оксанюк М.С.
<b>Назва:</b> Перевірка на завантаження зображення у папку збереження.		
<b>Кроки</b>	<b>Очікуваний результат</b>	
1. Натиснути на кнопку запуску програми. 2. Перейти у браузер за посиланням на локальний сервер. 3. Вибрати шаблон або завантажити свій одяг для людини або навпаки. 5.Завантажити результат у папку збереження.	Користувач запускає програму у локальному сервері. Вибирає людина та одяг з шаблону або завантажує свій. Робить віртуальну примірку та зберігає результат собі на диск у будь-якому зручному для форматі.	
<b>Результат виконання тест-кейсу:</b> пройдено успішно		

### 4.3 Вимоги до розгортання системи та інструкція користувача

Програма віртуального примірювання одягу, розроблена на Python з використанням бібліотеки Gradio, запускається на локальному сервері через середовище розробки PyCharm (можна будь яке інше). Ось покрокова інструкція для запуску програми:

1. Встановлення необхідних залежностей. Спершу необхідно переконатися, що на вашому комп'ютері встановлені всі потрібні бібліотеки. Для цього потрібно виконати команду – `pip install -r requirements.txt`.

В requirements.txt мають бути зазначені всі необхідні бібліотеки, такі як:


- gradio для створення вебінтерфейсу;
- tensorflow для використання нейронної мережі;
- opencv-python для оброблення зображень;
- pillow для роботи з графічними форматами зображень.

2. Запуск програми через PyCharm. У середовищі розробки PyCharm відкрийте ваш проєкт та знайдіть основний файл Python, який відповідає за запуск програми – app.py.

3. Запуск локального сервера. Для запуску програми натискаємо на кнопку Run в PyCharm або виконуємо команду з терміналу – python app.py.

Після цього буде ініційований локальний сервер на стандартному порту.

4. Перевірка запуску програми. Після запуску програма виведе в консоль повідомлення, яке підтверджує, що сервер успішно запущений. Показано на рисунку 4.9.



```
* Running on local URL: http://127.0.0.1:6006
```

Рисунок 4.9 – Успішно запущений локальний сервер

Далі потрібно натиснути або скопіювати даний адрес у браузер.

1. Інтерактивний інтерфейс Gradio. Після відкриття вебсторінки в браузері з'явиться інтерфейс Gradio зображений на рисунку 4.10, через який користувач може завантажити своє зображення, вибрати одяг та отримати результат накладання віртуального одягу на своє зображення в реальному часі.

Для того щоб додати одяг або людину, можна вибрати приклад в шаблоні, або додати свій. Далі буде показано приклад, де підставлено свій одяг – зображено на рисунку 4.11.

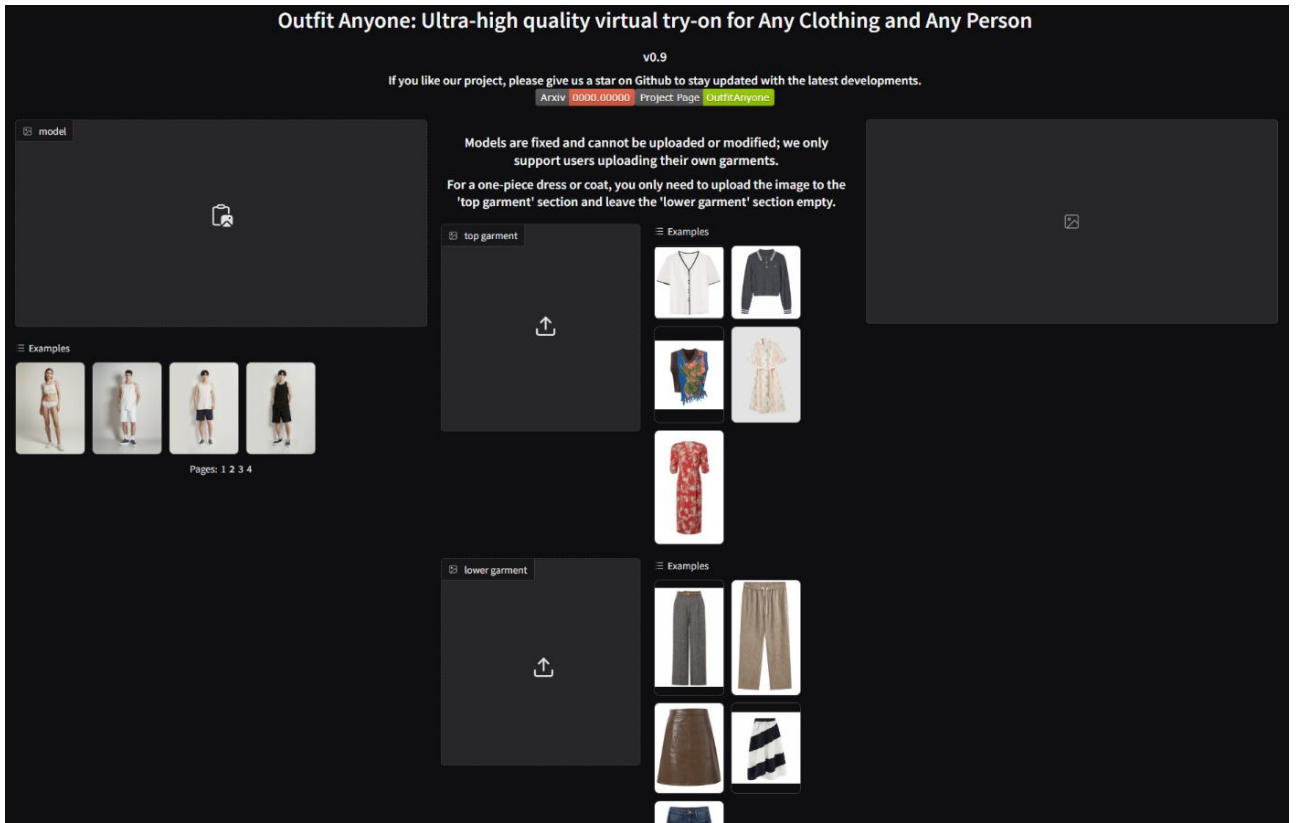


Рисунок 4.10 – Базовий інтерфейс Gradio



Рисунок 4.11 – Показ шаблону одягу та приклад вставлення свого одягу

І ще показано приклад підставлення свого фото людини – зображено на рисунку 4.12.



Рисунок 4.12 – Приклад підставлення свого фото людини та загальний результат примірювання

2. Завершення роботи програми. Для коректного завершення роботи програми віртуального примірювання одягу необхідно використовувати один з двох підходів. Перший спосіб полягає в натисканні комбінації клавіш Ctrl + C безпосередньо в терміналі, де запущена програма. Другий варіант – зупинити виконання програми через інтерфейс середовища розробки PyCharm або іншого аналогічного інструменту, якщо програма була запущена через нього.

Ці процеси дають можливість швидко та зручно завершити роботу програми на локальному сервері, створюючи умови для подальшого тестування, демонстрації або внесення змін до системи віртуального примірювання.

3. Системні вимоги. Для забезпечення стабільної роботи програмного забезпечення, розробленого для віртуального примірювання одягу, необхідно використовувати комп'ютер із такими мінімальними операційними системами:

- Windows: 11 або новіша версія;
- macOS: 10.15 (Catalina) або новіші версії;

- Linux: будь-яка сучасна версія, наприклад, Ubuntu 20.04 або новіші.

4. Програмне забезпечення. Для коректної роботи системи віртуального примірювання одягу необхідний наступний набір програмного забезпечення:

- Python: версії 3.12 або сумісна;

- pip: пакетний менеджер для встановлення залежностей Python через командний рядок;

- pipenv: інструмент для керування віртуальним середовищем Python;

- git: система контролю версій, необхідна для клонування репозиторію з GitHub.

5. Бібліотеки Python. Для реалізації функціоналу програми використовуються наступні бібліотеки Python:

- gradio: для створення вебінтерфейсу користувача;

- PyTorch: для роботи з нейронними мережами, які використовуються для оброблення зображень та моделювання одягу;

- openCV: для оброблення зображень, зокрема для маніпуляцій з пікселями та виявлення контурів;

- pillow: для роботи з графічними форматами зображень, зокрема для перетворення та збереження зображень;

- numPy: для роботи з масивами та числовими даними, які використовуються для оброблення піксельних даних;

- matplotlib (опційно): для візуалізації зображень та результатів.

6. Рекомендоване обладнання. Для досягнення оптимальної продуктивності системи віртуального примірювання одягу рекомендується наступне апаратне забезпечення:

- 64-розрядний процесор з тактовою частотою 2.5 ГГц або вище (наприклад, Intel i5 або еквівалентний AMD);

- оперативна пам'ять (RAM): 8 ГБ або більше;

- графічний процесор (GPU): Nvidia або AMD з CUDA підтримкою для прискорення роботи нейронних мереж, зокрема для оброблення великих об'ємів зображень;

- місце на диску: 2 ГБ вільного місця для встановлення необхідного програмного забезпечення та бібліотек;

- екран: роздільна здатність 1920x1080 або вище для комфортної роботи з інтерфейсом.

7. Мережеві вимоги. Для коректної роботи системи потрібне наступне:

- підключення до мережі Інтернет: для встановлення бібліотек, необхідних для роботи програми, та для запуску програми через Gradio на локальному сервері, що дасть можливість завантажувати зображення та моделі нейронної мережі;

- актуальна версія Python та бібліотек необхідна для стабільної роботи системи;

- підтримка актуальних драйверів графічного процесора: необхідна для прискореної оброблення зображень.

#### **Висновки до розділу 4**

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи деталізовано програмну реалізацію спроектованого методу віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії. Ключовим елементом дослідження стало розроблення вебзастосунку, що інтегрує GAN для реалістичного накладання цифрового одягу на зображення людини з урахуванням оклюзії та анатомічних особливостей. Метою цього етапу було створення зручної, та точної системи візуалізації, що дає можливість користувачам оцінити вигляд одягу на їхній фігурі.

Структура програмних компонентів розробленого вебзастосунку включає модулі оброблення зображень, що забезпечують підготовку вхідних даних, таких як нормалізація освітлення та виявлення контурів, GAN, відповідальну за адаптивне накладання одягу та відображення текстур, а також вебінтерфейс Gradio, що робить взаємодію з системою зручною та інтуїтивно зрозумілою.

Кожен модуль має чітко визначене призначення та забезпечує інтегровану та ефективну роботу всієї системи.

У процесі програмної реалізації особливу увагу було приділено використанню бібліотек Python, які дають змогу створити продуктивну систему. Серед цих бібліотек варто виділити OpenCV для опрацювання цифрових зображень, PyTorch для роботи з нейронними мережами та Gradio для створення вебінтерфейсу. GAN відіграє ключову роль, забезпечуючи не тільки точне накладання одягу, а й зберігаючи його текстури та адаптуючи до фігури користувача.

Тестування вебзастосунку підтвердило його високу продуктивність і точність під час накладання одягу, демонструючи зручний і зрозумілий інтерфейс. Розроблений вебзастосунок має значний потенціал для використання в інтернет-магазинах, на платформах для покупки одягу, або інших додатках, що потребують інтерактивної віртуальної примірки. Успішна реалізація та тестування вебзастосунку підкреслюють результативність розробленого методу віртуального примірювання одягу, враховуючи складні аспекти накладання та оброблення зображень, що наближає її використання у реальних умовах електронної комерції.

## Загальні висновки

Кваліфікаційна робота магістра присвячена дослідженню методів віртуального примірювання одягу на основі зображень високої роздільної здатності з урахуванням оклюзії, що виникає через взаємодію об'єктів на зображенні, як от частин тіла або елементів одягу.

У роботі було удосконалено метод віртуального примірювання одягу, що ґрунтується на обробленні зображень високої роздільної здатності з урахуванням ефектів оклюзії. Проведено ґрунтовний аналіз наявних проблем і підходів, що дало змогу виокремити ключові напрями для вдосконалення наявних методів та підходів до аналізу цифрових зображень.

Ключовим нововведенням роботи є розроблення алгоритму одночасного генерування та деформування сегментаційних мап, що забезпечує адаптацію одягу до форми та положення тіла, враховуючи його багат шарову структуру. Також, створено модель глибокої нейронної мережі, що здатна обробляти зображення високої роздільної здатності, точно сегментувати та класифікувати об'єкти, а також реконструювати приховані частини тіла або одягу. Значну увагу приділено інтеграції технологій оброблення оклюзій, що дало змогу досягти природного накладання одягу навіть у складних ситуаціях.

Наукова новизна роботи полягає в удосконаленні методу віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії. Удосконалення досягнуто завдяки використанню алгоритму одночасного генерування та деформування сегментаційних мап, та інтеграції зворотного зв'язку з дискримінатором для покращення реалістичності зображень. Це дало змогу забезпечити підвищену точність накладання одягу з врахуванням анатомічних особливостей та покращити візуалізацію у складних сценаріях. Практична значущість полягає в можливості застосування системи в реальних умовах, що дає змогу підвищити задоволеність клієнтів та зменшити кількість повернень товару в інтернет-магазинах.

Виконано програмну реалізацію системи віртуального примірювання одягу. Запропоновано структуру та призначення різних модулів, як от модуль аргументації командного рядка Argparse, що забезпечує гнучке налаштування системи, а також модулі завантаження та оброблення даних VITONDataset і VITONDataLoader, що відповідають за коректне завантаження й сегментацію зображень. Особливу увагу приділено методам деформації одягу GMM та TPSGridGen, які у поєднанні з використанням мережі GAN для створення нових зображень, дають можливість досягти реалістичного накладання одягу на зображення людини, з огляду на складність ситуацій з частково прихованими елементами.

Розроблена структура програмних складових, що включає окремі модулі для оброблення зображень, накладання одягу, та інтерфейс взаємодії з користувачем, забезпечує інтеграцію всіх компонентів. Проведені тести продемонстрували високу продуктивність, точність та зручний інтерфейс, що робить розроблену систему перспективною для використання в різноманітних онлайн-застосунках.

Попри досягнуті результати, розроблений метод має певні обмеження. Точність накладання одягу, зокрема, залежить від якості вхідних зображень та може бути ускладнена для дуже складних поз або нестандартних форм одягу. У подальших дослідженнях доцільно зосередитися на розробленні більш адаптивних алгоритмів, що будуть менш чутливі до цих чинників, а також на впровадженні методів 3D-реконструкції для покращення накладання одягу в особливо складних випадках. Окрім того, важливим напрямом майбутніх досліджень є зниження обчислювальних витрат, що дасть можливість забезпечити швидку та плавну роботу системи на різних пристроях.

## Перелік посилань

1. Метод віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії / М. С. Оксанюк та ін. *Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2024* : матеріали XVI Всеукр. науково-практ. конф., м. Хмельницький, 15–16 листоп. 2024 р. Хмельницький, 2024. С. 394–400. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/17153> (дата звернення: 08.12.2024).

2. Kim S., Park H., Lim R. E. Unveiling product imagination and decision comfort through personalized virtual try-on: the moderating role of spatial processing perception. *Journal of Research in Interactive Marketing*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1108/jrim-01-2024-0015> (дата звернення: 23.11.2024).

3. Оксанюк М. С. Спосіб віртуальної примірки одягу з використанням генеративних нейронних мереж : кваліфікаційна робота бакалавра : 122 Комп'ютерні науки / М. С. Оксанюк ; Хмельниц. нац. ун-т. Хмельницький, 2023. 85 с. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/13790> (дата звернення: 20.09.2024).

4. AR та VR як бренди почали їх використовувати? Гвара Медіа. URL: <https://gwaramedia.com/ar-y-vr-yak-brendy-pochaly-yih-vykorystovuvaty/> (дата звернення: 20.09.2024).

5. Спільнота діджитал агенцій / Digital agency community. Головні висновки звіту Global Digital 2023. *LinkedIn: Log In or Sign Up*. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/головні-висновки-звіту-global-digital-2023-75min-club> (дата звернення: 20.09.2024).

6. Grand View Research, Inc. *Market Research Reports & Consulting | Grand View Research, Inc.* URL: <https://www.grandviewresearch.com> (дата звернення: 27.09.2024).

7. Melnychenko O., Savenko O., Radiuk P. Apple detection with occlusions using modified yolov5-v1. *Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and*

*Applications (IDAACS)* : Proceedings, Dortmund, Germany, 7–9 September 2023. New York, NY, USA, 2023. P. 107–112. URL: <https://doi.org/10.1109/idaacs58523.2023.10348779> (дата звернення: 27.09.2024).

8. Запорожець А. Примірка двовимірного зображення одягу на тривимірний каркас людського тіла з урахуванням розмірів. *Education and Science of Today: Intersectoral Issues and Development of Sciences* / chair Б. Онищенко. 2022. С. 121–123. URL: <https://doi.org/10.36074/logos-09.12.2022.32> (дата звернення: 20.09.2024).

9. Савченко І. В. Дослідження процесу вибору моделей одягу з використанням цифрових технологій : кваліфікаційна робота за спеціальністю 182 Технології легкої промисловості / І. В. Савченко ; наук. кер. А. Т. Арабулі. Київ : КНУТД, 2023. 85 с. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/25377> (дата звернення: 20.09.2024).

10. Синєглазов В. М. Прикладні системи штучного інтелекту: комп'ютерний зір. *Вісник Національної академії наук України*. 2024. № 6. С. 43–48. URL: <https://doi.org/10.15407/visn2024.06.043> (дата звернення: 20.09.2024).

11. AI-driven precision clothing classification: revolutionizing online fashion retailing with hybrid two-objective learning / W. Abbas et al. *Information*. 2024. Vol. 15, no. 4. P. 196. URL: <https://doi.org/10.3390/info15040196> (дата звернення: 02.10.2024).

12. GitHub - hasibzunair/fifa-demo: [BMVC'2022] Demo code for Fill in Fabrics: Body-Aware Self-Supervised Inpainting for Image-Based Virtual Try-On. *GitHub*. URL: <https://github.com/hasibzunair/fifa-demo?tab=readme-ov-file> (дата звернення: 27.09.2024).

13. Radiuk P.M. Application of a genetic algorithm to search for the optimal convolutional neural network architecture with weight distribution. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. 2020. Vol. 281, no. 1. P. 7–11. URL: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2020-281-1-7-11> (дата звернення: 27.09.2024).

14. Анімація як ключовий елемент маркетингової кампанії із застосування іт технологій / К. Сурков та ін. *Актуальні питання у сучасній науці*. 2024. № 4(22). С. 231–240. URL: [https://doi.org/10.52058/2786-6300-2024-4\(22\)-231-240](https://doi.org/10.52058/2786-6300-2024-4(22)-231-240) (дата звернення: 10.12.2024).

15. Radiuk P.M. Neuroevolution of convolutional neural networks for the classification of lung cancer images. *Herald of Khmelnytskyi National University*. 2018. Vol. 267, no. 6(2). P. 188–192. URL: [https://doi.org/10.31891/2307-5732-2018-267-6\(2\)-188-192](https://doi.org/10.31891/2307-5732-2018-267-6(2)-188-192) (дата звернення: 20.09.2024).

16. Pavlova O., Radiuk P., Kravchuk S., Kulbachnyi V. Information system for public places and institutions visualization with opportunities of inclusive access and optimal routing. *Computer systems and information technologies*. 2022. Vol. 1, no. 6. P. 62–68. URL: <https://doi.org/10.31891/CSIT-2022-1-8> (дата звернення: 20.09.2024).

17. Лавренко М. А., Пашкевич К. Л. Комп'ютерні технології для віртуального примірювання одягу / М. А. Лавренко, // Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та бізнесі : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 18-19 квітня 2019 року. У 2-х ч. Ч. 2. Київ : Видавничий центр КНУКіМ, 2019. С. 240–241. (дата звернення: 20.09.2024).

18. Cloth texture preserving image-based 3D virtual try-on / X. Hu et al. *The Visual Computer*. 2023. Vol. 239. P. 3347–3357. URL: <https://doi.org/10.1007/s00371-023-02999-4> (дата звернення: 02.10.2024).

19. Point Cloud Library. *Point Cloud Library*. URL: <https://pointclouds.org/> (дата звернення: 27.09.2024).

20. Зміна типу людського тіла за допомогою ШІ. *Unite.AI*. URL: <https://www.unite.ai/uk/reshaping-human-body-types-with-ai/> (дата звернення: 20.09.2024).

21. Huang A., Nielson G. M. Surface approximation to point cloud data using volume modeling. *Data Visualization*. Boston, MA, 2003. P. 333–343. URL: [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1177-9\\_23](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1177-9_23) (дата звернення: 27.09.2024).

22. Ушаков В. Дослідження методів сегментації та вбудови зображень для створення віртуальних сцен. *Theoretical and Practical Aspects of Modern Scientific Research*. 2021. С. 188–193. URL: <https://doi.org/10.36074/logos-30.04.2021.v1.56> (дата звернення: 20.09.2024).

23. Intelligent integrated system for fruit detection using multi-UAV imaging and deep learning / O. Melnychenko et al. *Sensors*. 2024. Vol. 24, no. 6. P. 1913. URL: <https://doi.org/10.3390/s24061913> (дата звернення: 02.10.2024).

24. Radiuk P., Barmak O., Krak Iu. An approach to early diagnosis of pneumonia on individual radiographs based on the CNN information technology. *The Open Bioinformatics Journal*. 2021. Vol. 14, no. 1. P. 93–107. URL: <https://doi.org/10.2174/1875036202114010093> (дата звернення: 02.10.2024).

25. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. *Lecture Notes in Computer Science*. Cham, 2015. P. 234–241. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28) (дата звернення: 02.10.2024).

26. SP-VITON: shape-preserving image-based virtual try-on network / D. Song et al. *Multimedia Tools and Applications*. 2019. Vol. 79, no. 45–46. P. 33757–33769. URL: <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08363-w> (дата звернення: 27.09.2024).

27. C-VTON: context-driven image-based virtual try-on network / B. Fele et al. *2022 IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, Waikoloa, HI, USA, 3–8 January 2022. 2022. URL: <https://doi.org/10.1109/wacv51458.2022.00226> (дата звернення: 27.09.2024).

28. Wang Q., Ma W., Liu G. SieveNet: Decoupling activation function neural network for privacy-preserving deep learning. *Information Sciences*. 2021. Vol. 573. P. 262–278. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2021.05.054> (дата звернення: 27.09.2024).

29. Lewis K. M., Varadharajan S., Kemelmacher-Shlizerman I. TryOnGAN. *ACM Transactions on Graphics*. 2021. Vol. 40, no. 4. P. 1–10. URL: <https://doi.org/10.1145/3476576.3476682> (дата звернення: 27.09.2024).

30. Towards Photo-Realistic Virtual Try-On by Adaptively Generating↔Preserving Image Content / H. Yang et al. *2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Seattle, WA, USA, 13–19 June 2020. 2020. URL: <https://doi.org/10.1109/cvpr42600.2020.00787> (дата звернення: 27.09.2024).

31. High-Resolution Virtual Try-On with Misalignment and Occlusion-Handled Conditions / S. Lee et al. *Lecture Notes in Computer Science*. Cham, 2022. P. 204–219. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-19790-1\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-031-19790-1_13) (дата звернення: 27.09.2024).

32. MV-VTON: Multi-View Virtual Try-On with Diffusion Models / H. Wang et al. arXiv.org, 2024. 15 p. (Preprint. Cornell University ; arXiv:2404.17364). URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.17364> (дата звернення: 02.10.2024).

33. Mask R-CNN / K. He et al. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2020. Vol. 42, no. 2. P. 386–397. URL: <https://doi.org/10.1109/tpami.2018.2844175> (дата звернення: 27.09.2024).

34. Pose estimation techniques using openpose, posenet and hrnet. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*. 2024. URL: <https://doi.org/10.56726/irjmets61308> (дата звернення: 27.09.2024).

35. Hugo Zanini. OpenPose vs PoseNet, 2020. *YouTube*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=fPvvF1HsuJc> (дата звернення: 27.09.2024).

36. Цифрова мода: основні чинники виникнення та соціокультурне значення | Питання культурології. *Питання культурології*. URL: <http://issues-culture-knukim.pp.ua/article/view/293804> (дата звернення: 20.09.2024).

37. Розробка мобільних додатків від А до Я: повний гайд - DAN IT Education нова стаття в блозі. *DAN IT Education*. URL: <https://dan-it.com.ua/uk/blog/rozrobka-mobilnih-dodatkiv-vid-a-do-ja-povnij-gajd/> (дата звернення: 20.09.2024).

38. models/research/deeplab at master tensorflow/models. *GitHub*. URL: <https://github.com/tensorflow/models/tree/master/research/deeplab> (дата звернення: 27.09.2024).

39. ZERO10 AR & AI solutions for business | Virtual try-on. *ZERO10*.  
URL: <https://zero10.ar/> (дата звернення: 02.10.2024).

40. Zeekit. URL: <https://proit.ua/kompiutiernii-zir-tiekhnologhiia-iaka-dopomaghaie-stvoriti-biezhiechnie-sieriedovishchie-na-virobnitstvi/>

41. GitHub - fission/fission: Fast and Simple Serverless Functions for Kubernetes. *GitHub*. URL: <https://github.com/fission/fission> (дата звернення: 27.09.2024).

42. Metail EcoShot - On-model images that help 3D designs to sell. *Metail*.  
URL: <https://metail.com> (дата звернення: 27.09.2024).

43. GitHub - truefit-ai/m5: Winning Solution for the M5 Competition for Uncertainty Forecasting. *GitHub*. URL: <https://github.com/truefit-ai/m5> (дата звернення: 27.09.2024).

44. Virtual Try-On Revolution: Zyler Wins Retail Tech Award. *iTMunch*.  
URL: <https://itmunch.com/award-winning-tech-how-zylers-virtual-try-on-is-revolutionizing-online-shopping/> (дата звернення: 27.09.2024).

45. 3DLOOK. *GitHub*. URL: <https://github.com/3dlook-me> (дата звернення: 27.09.2024).

46. Fit Analytics | Size & Fit Solutions for Apparel E-commerce. *Fit Analytics* |  
*Size & Fit Solutions for Apparel E-commerce*. URL: <https://www.fitanalytics.com> (дата звернення: 27.09.2024).

# ДОДАТКИ

## Додаток А

### Копії наукових публікацій

*Актуальні проблеми комп'ютерних наук*

---

УДК 004.4

Оксанюк М.С., Радюк П.М., Скрипник Т.К., Пасічник О.А.

*Хмельницький національний університет*

#### **МЕТОД ВІРТУАЛЬНОГО ПРИМІРЮВАННЯ ОДЯГУ ЗА ЗОБРАЖЕННЯМИ ВИСОКОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ З ЕФЕКТАМИ ОКЛЮЗІЇ**

*Розглянуто основні аспекти розробки системи віртуального примірювання одягу, що базується на технологіях доповненої реальності (AR), штучного інтелекту (AI) та комп'ютерного зору. Запропонована інформаційна система дозволяє користувачам точно "приміряти" одяг в режимі реального часу, завдяки високій точності накладання віртуального одягу на зображення тіла. Система оптимізована для мінімізації помилок через оклюзію та деформації тканин, забезпечуючи реалістичне передавання вигляду та рухів одягу, що сприяє покращенню користувацького досвіду. Розробка враховує актуальність потреб сучасного ринку електронної комерції, зокрема через зниження кількості повернень товарів та підвищення задоволеності клієнтів.*

*The key aspects of developing a virtual clothing try-on system based on augmented reality (AR), artificial intelligence (AI), and computer vision technologies are considered. The proposed information system enables users to accurately "try on" clothes in real-time, thanks to high-precision overlay of virtual clothing on body images. The system is optimized to minimize errors caused by occlusion and fabric deformations, providing a realistic portrayal of the appearance and movement of clothing, which enhances the user experience. This development addresses the current needs of the e-commerce market, particularly by reducing product return rates and increasing customer satisfaction.*

Мета роботи – підвищення рівня подібності накладеного цифрового зображення одягу на зображення людини високої роздільної здатності з ефектами оклюзії засобами глибокого навчання.

Віртуальна примірка одягу – це технологія, що дозволяє користувачам "приміряти" одяг без фізичної присутності в магазині. Вона базується на використанні технологій доповненої реальності (AR) [1], штучного інтелекту (AI), комп'ютерного зору, а також тривимірного моделювання. Завдяки таким технологіям користувачі можуть завантажувати свої фотографії або використовувати камеру для реального часу примірки одягу, який віртуально відображається на їхньому зображенні.

Ринок віртуальної примірки одягу стрімко зростає завдяки розвитку електронної комерції та зростанню популярності інтернет-шопінгу. Онлайн магазини використовують цю технологію для покращення користувацького досвіду, підвищення рівня залучення та зниження кількості повернень товару. Віртуальні примірки надають покупцям можливість більш точно оцінити, як певний предмет

одягу буде виглядати на їхньому тілі, що дозволяє приймати більш усвідомлені рішення під час покупки.

Основні технології, які використовуються для реалізації віртуальної примірки одягу, включають:

– Доповнена реальність (AR) – створення віртуальних моделей одягу, що накладаються на реальне зображення або відео користувача в реальному часі.

Приклад зображення доповненої реальності на рисунку 1.



Рисунок 1 – Зображення доповненої реальності [1]

– Штучний інтелект (AI) – для аналізу форми тіла, кольору шкіри, пропорцій та інших характеристик, що дозволяє максимально точно відтворити вигляд одягу на людині [2,3].

– Комп'ютерне бачення – для точного виявлення контурів тіла та побудови реалістичної взаємодії між моделями одягу та тілом. Приклад комп'ютерного бачення зображень на рисунку 2.

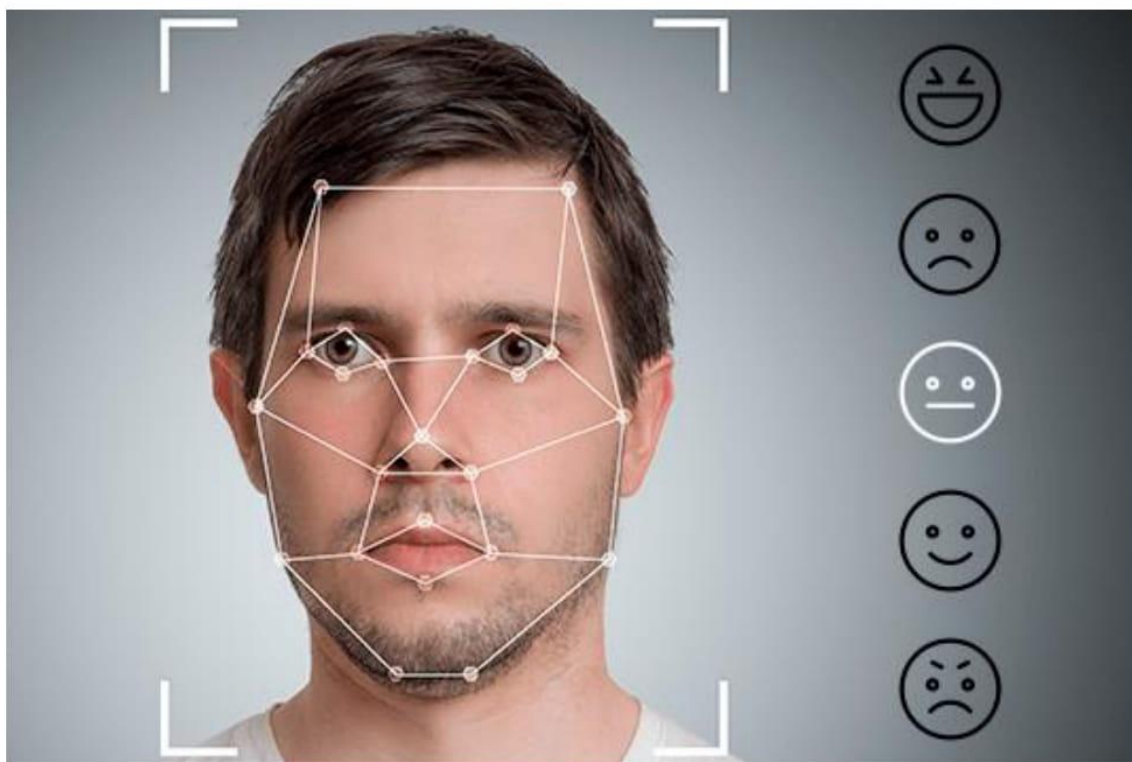


Рисунок 2 – Приклад комп'ютерного зору [4]

2. Актуальності галузі. На 2024 рік галузь віртуальної примірки одягу є важливою складовою цифрової трансформації в роздрібній торгівлі, і вона стрімко розвивається. За даними досліджень, ринок віртуальних примірок оцінюється в кілька мільярдів доларів і має стійкі темпи зростання. Наприклад:

– За звітами компанії Statista, глобальний ринок віртуальної примірки у 2023 році оцінювався у понад 3 мільярди доларів, і очікується, що до 2028 року він зросте до більш ніж 10 мільярдів [5] доларів. Це зростання зумовлено стрімким розвитком інтернет-магазинів та потребою у зниженні повернень товарів, що складають близько 30-40% всіх покупок у деяких категоріях одягу.

– За даними дослідження, проведеного Grand View Research, технологія віртуальної примірки сприяє зростанню середньої вартості замовлень на 20-30% і значно підвищує рівень задоволення клієнтів, завдяки можливості точніше обирати розмір та стиль.

Більше того, впровадження наукових підходів до вдосконалення цієї технології є необхідним для подолання численних викликів, які постають під час накладання зображення одягу на зображення людини. Сучасні методи потребують покращення точності тривимірного моделювання, коректного врахування деформацій тканин та фізичних властивостей одягу, що значно впливають на реалістичність та зручність використання технології.

Таким чином, зростання ринку віртуальної примірки одягу свідчить про важливість наукових досліджень та технологічних інновацій у цій сфері для задоволення потреб сучасних споживачів та покращення досвіду покупок.

Далі поговоримо про оклюзію, вона є однією з найбільших проблем у процесі віртуального примірювання. Оклюзія виникає, коли одна частина зображення блокує або частково закриває іншу. Наприклад, коли одяг накладається на зображення людини, можуть виникнути ситуації, коли рука чи інша частина тіла перекриває частину одягу або навпаки. Це ускладнює точне відтворення форми одягу та його взаємодії з тілом.

Для розв'язання цієї проблеми необхідно враховувати геометрію тіла людини та тривимірну структуру одягу. Зображення високої роздільної здатності допомагають зберегти деталі, але ефективне опрацювання оклюзій вимагає більш просунутих алгоритмів глибокого навчання та 3D-моделювання. Тривимірна модель тіла людини допомагає точніше визначати, яка частина тіла повинна перекривати яку частину одягу, забезпечуючи реалістичне відображення взаємодії між ними.

а. Відповідність між формою тіла і одягу. Одна з ключових проблем під час віртуального примірювання одягу полягає у правильній відповідності між формою тіла користувача та формою одягу [6]. Кожна людина має унікальну будову тіла, яка може значно відрізнятися від моделей, використовуваних під час розробки одягу. Якщо система віртуального примірювання не враховує ці відмінності, то результат буде нереалістичним. Нереалістичний результат віртуальної примірки зображений на рисунку 3.



Рисунок 3 – Неправильна відповідність між одягом та тілом [7]

Рішенням цієї проблеми може бути персоналізоване моделювання тіла на основі зображень або 3D-сканування користувача. Це дозволяє системі більш точно

адаптувати одяг до форми тіла, що, в свою чергу, підвищує реалістичність примірки. Проте це вимагає додаткових обчислювальних ресурсів і складних алгоритмів для аналізу форми та рухів тіла.

б. Деформація одягу. Одяг під час носіння зазнає деформацій, які виникають через рухи тіла, гравітацію та взаємодію з іншими предметами. У віртуальному середовищі важливо правильно відтворити ці деформації, щоб показати, як одяг виглядатиме в реальності. Наприклад, якщо рукав сорочки згинається під час руху руки, то система повинна коректно відобразити цю зміну.

Для точного моделювання деформацій необхідно використовувати симуляцію фізичних властивостей тканини, яка враховує такі фактори, як жорсткість, еластичність та вага матеріалу. Однак моделювання фізики тканини може бути обчислювально затратним, особливо при роботі з високою роздільною здатністю зображень, що потребує збалансування між точністю моделювання та швидкістю обробки.

в. Точність сегментації зображень. Для того щоб одяг правильно накладався на тіло людини, важливо правильно виконати сегментацію зображення, тобто розділити зображення на різні частини: тіло, фон, одяг. Однак автоматична сегментація може бути складною задачею, особливо коли зображення містить складні фонові об'єкти або тіні, які можуть спотворити межі між тілом і одягом. Сегментація зображення показана на рисунку 4.

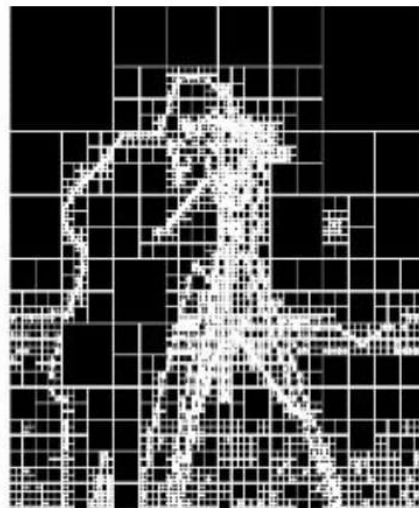


Рисунок 4 – Сегментація зображення [8]

Алгоритми глибокого навчання, зокрема нейронні мережі для сегментації зображень, можуть суттєво покращити точність розпізнавання окремих елементів зображення. Але і тут існують обмеження, пов'язані з різноманітністю умов освітлення, ракурсів та особливостей одягу, що робить задачу сегментації технічно складною.

Точність відтворення кольорів та текстур . Для реалістичного віртуального примірювання важливо точно відтворити кольори і текстури одягу. Проте, через різницю в умовах освітлення під час зйомки зображень одягу та тіла, можуть виникати проблеми з неправильним передаванням кольорів. Також складні текстури, наприклад візерунки або блиск тканини, можуть бути спотворені під час накладання на зображення.

Ця проблема потребує високої якості вихідних зображень і точних алгоритмів обробки для коректного передавання властивостей матеріалу. Крім того, необхідно враховувати взаємодію світла з матеріалом, що може вимагати додаткового рендерингу з урахуванням реалістичного освітлення.

г. Анімація та реалістичність рухів [9]. У випадку віртуального примірювання одягу для демонстрації рухів, наприклад під час ходьби або нахилів, важливо не лише відтворити правильну посадку одягу на тіло, але й адекватно показати, як одяг поводить себе під час руху. Анімація тканини, що розвивається при русі, або зміна її положення при зміні пози людини є складним завданням.

Вирішення цієї проблеми може включати використання симуляцій тканини та моделювання кінематики тіла. Проте така симуляція часто потребує великих обчислювальних ресурсів і може впливати на швидкість роботи системи, що є критично важливим для інтерактивних рішень в реальному часі.

д. Проблеми масштабування і налаштування одягу [10]. Кожен одяг має свою розмірну сітку, яка не завжди підходить для кожного користувача. Віртуальні примірочні повинні враховувати масштабування одягу, щоб він правильно відображався на людському тілі. Невірне масштабування може спричинити проблеми з накладанням одягу на тіло, що призводить до спотворення реальних пропорцій.

Системи повинні точно вимірювати параметри тіла користувача для коректного підбору розміру, що знову ж таки вимагає застосування спеціалізованих алгоритмів для аналізу зображень або 3D-моделювання тіла.

Висновок. Накладання зображення одягу на зображення людини – це складний процес, який потребує високої точності і обчислювальної потужності. Проблеми, пов'язані з оклюзією, деформацією тканин, точністю сегментації і масштабуванням, роблять цю задачу технічно складною, але водночас цікавою для наукових досліджень та впровадження інноваційних технологій у сфері електронної комерції. Рішення цих проблем значно покращить якість віртуального примірювання, що сприятиме підвищенню рівня задоволеності клієнтів і зменшенню кількості повернень товарів.

### **Перелік посилань**

1. Smith J., Anderson P., and Williams R. "Virtual Fitting Room Technology and its Impact on Online Shopping." *Journal of Retail Innovation*, Vol. 14, No. 2, 2023, pp. 23-28.
2. Мельник І. О., Романенко С. А., Литвиненко Д. П. Моделі тривимірного моделювання у віртуальних примірках одягу. Тези VII Міжнародної конференції «Цифрова

- трансформація роздрібно́ї торгівлі». 8-10 червня 2024 р. Барселона, Іспанія. 2024. С. 128-133.
3. Новакова А. В., Петренко О. Б. Використання штучного інтелекту в віртуальних примірочних. Збірник статей XX Міжнародного наукового симпозиуму «Сучасні технології електронної комерції». 27-29 грудня 2023 р. Берлін, Німеччина. 2023. С. 97-102.
  4. Brown T., and Chen M. "Artificial Intelligence in Clothing Fit and Personalization: Challenges and Innovations." *Global Fashion Research*, Vol. 11, No. 3, 2024, pp. 72-80.
  5. Johnson L., and Park S. "Augmented Reality in Fashion Retail: Enhancing Consumer Experience." *International Journal of Digital Commerce*, Vol. 7, No. 1, 2024, pp. 45-52.
  6. Захарченко І., Дмитрук О., Савченко В. Застосування 3D-моделювання у віртуальних примірках одягу. Матеріали XXI Міжнародної конференції «Інновації та цифрові рішення в електронній торгівлі». 10-12 травня 2024 р. Лондон, Велика Британія. 2024. С. 72-77.
  7. Тищенко А., Бондаренко І. Використання алгоритмів глибокого навчання для віртуального примірювання одягу. Матеріали IV Міжнародної конференції «Розвиток штучного інтелекту в електронній комерції». 17-19 червня 2024 р. Рим, Італія. 2024. С. 88-93.
  8. Roberts K., and Lee J. "Computer Vision in Virtual Clothing Try-On Systems: Future Directions." *IEEE Transactions on Consumer Technology*, Vol. 8, No. 4, 2023, pp. 39-46.
  9. Морозова Ю., Герасименко Л. Сегментація зображень для віртуальних примірочних. Матеріали XXII Міжнародної конференції «Цифрові технології у сфері обслуговування». 3-5 квітня 2024 р. Амстердам, Нідерланди. 2024. С. 91-96.
  10. Олійник І., Кравченко А. Реалістичність рухів у віртуальних примірочних. Матеріали V Міжнародного симпозиуму «Комп'ютерне моделювання і візуалізація». 7-9 липня 2024 р. Стокгольм, Швеція. 2024. С. 121-126.

## Додаток Б

### Лістинг програмного коду

```

import os
import cv2
import random
import gradio as gr
from gradio_client import Client, handle_file

machine_number = 0
model = os.path.join(os.path.dirname(__file__), "models/eva/Eva_0.png")
client = Client("HumanAIGC/OutfitAnyone")

MODEL_MAP = {
    "AI Model Rouyan_0": 'models/rouyan_new/Rouyan_0.png',
    "AI Model Rouyan_1": 'models/rouyan_new/Rouyan_1.png',
    "AI Model Rouyan_2": 'models/rouyan_new/Rouyan_2.png',
    "AI Model Eva_0": 'models/eva/Eva_0.png',
    "AI Model Eva_1": 'models/eva/Eva_1.png',
    "AI Model Simon_0": 'models/simon_online/Simon_0.png',
    "AI Model Simon_1": 'models/simon_online/Simon_1.png',
    "AI Model Xuanxuan_0": 'models/xiaoxuan_online/Xuanxuan_0.png',
    "AI Model Xuanxuan_1": 'models/xiaoxuan_online/Xuanxuan_1.png',
    "AI Model Xuanxuan_2": 'models/xiaoxuan_online/Xuanxuan_2.png',
    "AI Model Yaqi_0": 'models/yaqi/Yaqi_0.png',
    "AI Model Yaqi_1": 'models/yaqi/Yaqi_1.png',
    "AI Model Yaqi_2": 'models/yaqi/Yaqi_2.png',
    "AI Model Yaqi_3": 'models/yaqi/Yaqi_3.png',
    "AI Model Yifeng_0": 'models/yifeng_online/Yifeng_0.png',
    "AI Model Yifeng_1": 'models/yifeng_online/Yifeng_1.png',
    "AI Model Yifeng_2": 'models/yifeng_online/Yifeng_2.png',
    "AI Model Yifeng_3": 'models/yifeng_online/Yifeng_3.png',
}

def add_waterprint(img):
    h, w, _ = img.shape
    img = cv2.putText(img, 'Powered by OutfitAnyone', (int(0.3 * w), h - 20), cv2.FONT_HERSHEY_PLAIN, 2,
        (128, 128, 128), 2, cv2.LINE_AA)

    return img

def get_tryon_result(model_name, garment1, garment2, seed=1234):
    # _model = "AI Model " + model_name.split("\\")[-1].split(".")[0] # windows
    _model = "AI Model " + model_name.split("/")[-1].split(".")[0] # linux
    print("Use Model:", _model)
    seed = random.randint(0, 122222222)
    garment1 = handle_file(garment1) if garment1 else None

```

```

garment2 = handle_file(garment2) if garment2 else None
result = client.predict(
    handle_file(model_name),
    garment1,
    garment2,
    api_name="/get_tryon_result",
    fn_index=seed
)
final_img = remove_watermark2(result)
return final_img

```

```

def remove_watermark2(path):
    img = cv2.imread(path)
    img_ = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2RGB)
    h, w, _ = img.shape

    y_start = max(h - 45, 0)
    y_end = h
    x_start = max(int(0.3 * w), 0)
    x_end = w

    img_[y_start:y_end, x_start:x_end, :] = [255, 255, 255]

    return img_

```

with gr.Blocks(css=".output-image, .input-image, .image-preview {height: 400px !important} ") as demo:

```

# gr.Markdown("# Outfit Anyone v0.9")
gr.HTML(
    """
    <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; text-align: center;">
    <a href="https://github.com/HumanAIGC/OutfitAnyone" style="margin-right: 20px; text-decoration: none; display: flex; align-items:
center;">
    </a>
    <div>
    <h1 >Outfit Anyone: Ultra-high quality virtual try-on for Any Clothing and Any Person</h1>
    <h4 >v0.9</h4>
    <h5 style="margin: 0;">If you like our project, please give us a star on Github to stay updated with the latest developments.</h5>
    <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; text-align: center;">
    <a href="https://github.com/HumanAIGC/OutfitAnyone"></a>
    <a href='https://humanaigc.github.io/outfit-anyone/'><img src='https://img.shields.io/badge/Project_Page-OutfitAnyone-green'
alt='Project Page'></a>
    </div>
    </div>
    </div>
    </div>
    """
)
with gr.Row():
    with gr.Column():

```

```

init_image = gr.Image(sources='clipboard', type="filepath", label="model", value=model)
example = gr.Examples(inputs=init_image,
    examples_per_page=4,
    examples=[os.path.join(os.path.dirname(__file__), MODEL_MAP.get('AI Model Rouyan_0')),
        os.path.join(os.path.dirname(__file__), MODEL_MAP.get('AI Model Rouyan_2')),
        os.path.join(os.path.dirname(__file__), MODEL_MAP.get('AI Model Eva_0')),
        os.path.join(os.path.dirname(__file__), MODEL_MAP.get('AI Model Simon_1')),
        os.path.join(os.path.dirname(__file__), MODEL_MAP.get('AI Model Eva_1')),
        os.path.join(os.path.dirname(__file__), MODEL_MAP.get('AI Model Simon_0')),
        os.path.join(os.path.dirname(__file__),
            MODEL_MAP.get('AI Model Xuanxuan_0')),
        os.path.join(os.path.dirname(__file__),
            MODEL_MAP.get('AI Model Xuanxuan_2')),
        os.path.join(os.path.dirname(__file__), MODEL_MAP.get('AI Model Yaqi_1')),
        os.path.join(os.path.dirname(__file__), MODEL_MAP.get('AI Model Yifeng_0')),
        os.path.join(os.path.dirname(__file__), MODEL_MAP.get('AI Model Yifeng_3')),
        os.path.join(os.path.dirname(__file__), MODEL_MAP.get('AI Model Rouyan_1')),
        os.path.join(os.path.dirname(__file__), MODEL_MAP.get('AI Model Yifeng_2')),
        os.path.join(os.path.dirname(__file__), MODEL_MAP.get('AI Model Yaqi_0')),
    ])

with gr.Column():
    gr.HTML(
        """
        <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; text-align: center;">
        <div>
            <h3>Models are fixed and cannot be uploaded or modified; we only support users uploading their own garments.</h3>
            <h4 style="margin: 0;">For a one-piece dress or coat, you only need to upload the image to the 'top garment' section and leave
the 'lower garment' section empty.</h4>
        </div>
        </div>
        """
    )

with gr.Row():
    garment_top = gr.Image(sources='upload', type="filepath", label="top garment")
    example_top = gr.Examples(inputs=garment_top,
        examples_per_page=5,
        examples=[os.path.join(os.path.dirname(__file__), "garments/top222.JPG"),
            os.path.join(os.path.dirname(__file__), "garments/top5.png"),
            os.path.join(os.path.dirname(__file__), "garments/top333.png"),
            os.path.join(os.path.dirname(__file__), "garments/dress1.png"),
            os.path.join(os.path.dirname(__file__), "garments/dress2.png"),
        ])

    garment_down = gr.Image(sources='upload', type="filepath", label="lower garment")
    example_down = gr.Examples(inputs=garment_down,
        examples_per_page=5,
        examples=[os.path.join(os.path.dirname(__file__), "garments/bottom1.png"),
            os.path.join(os.path.dirname(__file__), "garments/bottom2.PNG"),
            os.path.join(os.path.dirname(__file__), "garments/bottom3.JPG"),
        ])

```

```

os.path.join(os.path.dirname(__file__), "garments/bottom4.PNG"),
os.path.join(os.path.dirname(__file__), "garments/bottom5.png"),
]

```

```

run_button = gr.Button(value="Run")
with gr.Column():
    gallery = gr.Image()

```

```

run_button.click(fn=get_tryon_result,
                inputs=[
                    init_image,
                    garment_top,
                    garment_down,
                ],
                outputs=[gallery],
                concurrency_limit=2)

```

# Examples

```
gr.Markdown("## Examples")
```

```
with gr.Row():
```

```

    reference_image1 = gr.Image(label="model", scale=1, value="examples/basemodel.png")
    reference_image2 = gr.Image(label="garment", scale=1, value="examples/garment1.jpg")
    reference_image3 = gr.Image(label="result", scale=1, value="examples/result1.png")

```

```
gr.Examples(
```

```

    examples=[
        ["examples/basemodel.png", "examples/garment1.png", "examples/result1.png"],
        ["examples/basemodel.png", "examples/garment2.png", "examples/result2.png"],
        ["examples/basemodel.png", "examples/garment3.png", "examples/result3.png"],
    ],
    inputs=[reference_image1, reference_image2, reference_image3],
    label=None,
)

```

```
if __name__ == "__main__":
```

```
demo.queue(max_size=10)
```

```
demo.launch(share=False, server_name='127.0.0.1', server_port=6006)
```

## Додаток В

### Презентаційний матеріал

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

## Метод віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії

**Виконав:**

студент 2 курсу, групи КНм-23-1  
Оксанюк Максим Сергійович

**Керівник:**

старший викладач кафедри КН  
Радюк Павло Михайлович

## Актуальність

У сучасному світі електронної комерції та цифрових технологій все більше уваги приділяється персоналізації користувацького досвіду. Віртуальні примірювальні системи стали важливим інструментом у сфері моди, дозволяючи споживачам візуалізувати, як певний одяг виглядатиме на них, без необхідності фізичної примірки. Це не лише економить час, але й значно підвищує задоволеність клієнтів.

Проблематика віртуального примірювання стає особливо актуальною у контексті роботи з зображеннями високої роздільної здатності, оскільки вони дозволяють досягти високого рівня деталізації, що є критичним для оцінки текстури, кольору та посадки одягу. Однак основною технічною перешкодою є ефекти оклюзії (наприклад, коли частини тіла приховані аксесуарами, волоссям або іншими предметами), які ускладнюють точну інтеграцію цифрового одягу із зображенням користувача.

## Мета і задачі роботи

**Метою магістерської роботи** є розробка методу віртуального примірювання одягу, здатного обробляти зображення високої роздільної здатності з урахуванням ефектів оклюзії, для забезпечення високої реалістичності та точності інтеграції цифрового одягу з зображенням користувача.

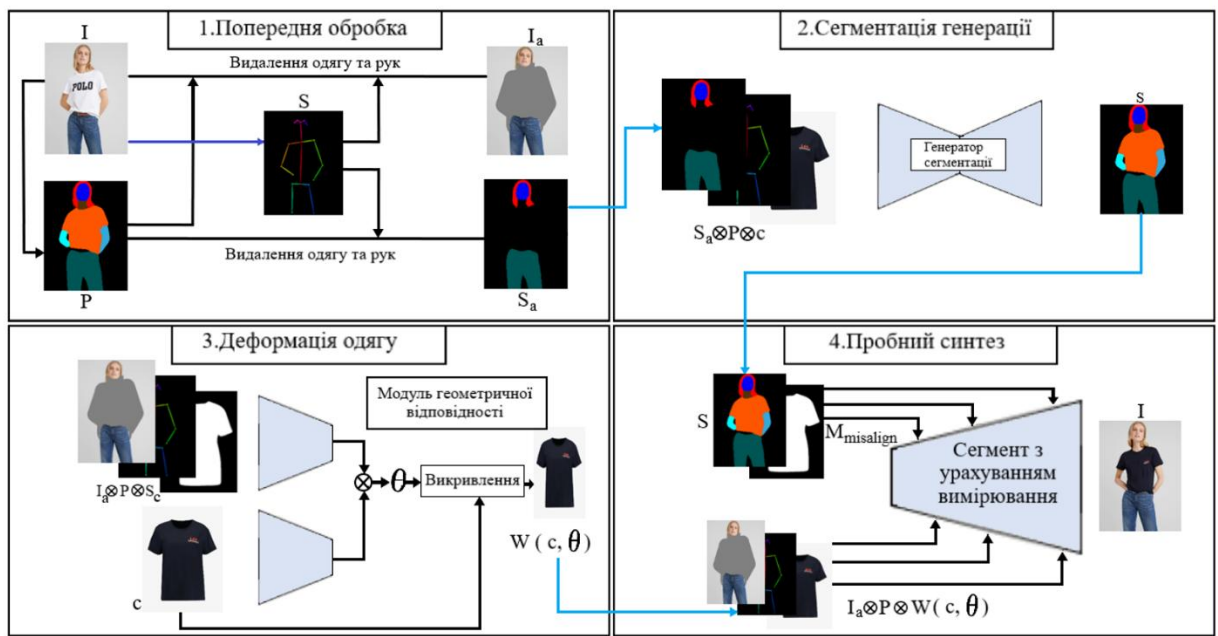
Досягнення цієї мети передбачає:

1. Створення моделі, що враховує оклюзії, з використанням методів глибокого навчання.
2. Інтеграцію алгоритмів сегментації та виявлення ключових точок людського тіла для точної ідентифікації обрисів тіла та оклюзійних елементів.
3. Забезпечення високої якості візуалізації через моделювання текстури, кольору та адаптивної посадки цифрового одягу.
4. Оцінювання ефективності запропонованого методу шляхом порівняння з існуючими підходами за показниками реалістичності, точності накладання та продуктивності.

## Основні кроки

1. Аналіз існуючих підходів до віртуального примірювання одягу, зокрема методів обробки зображень високої роздільної здатності та подолання оклюзій.
2. Розробку архітектури моделі глибокого навчання, яка враховує ефекти оклюзії та забезпечує реалістичну інтеграцію цифрового одягу із зображенням користувача.
3. Реалізацію алгоритмів сегментації тіла та виявлення ключових точок для визначення контурів тіла, оклюзійних елементів і областей накладання одягу.
4. Інтеграцію методів моделювання текстур, кольорів та адаптації цифрового одягу до форми тіла користувача.
5. Розробку і тестування програмного забезпечення для демонстрації роботи моделі.
6. Проведення експериментального порівняння розробленого методу з існуючими підходами за показниками реалістичності, точності та продуктивності.
7. Аналіз отриманих результатів і формулювання висновків щодо ефективності запропонованого методу.

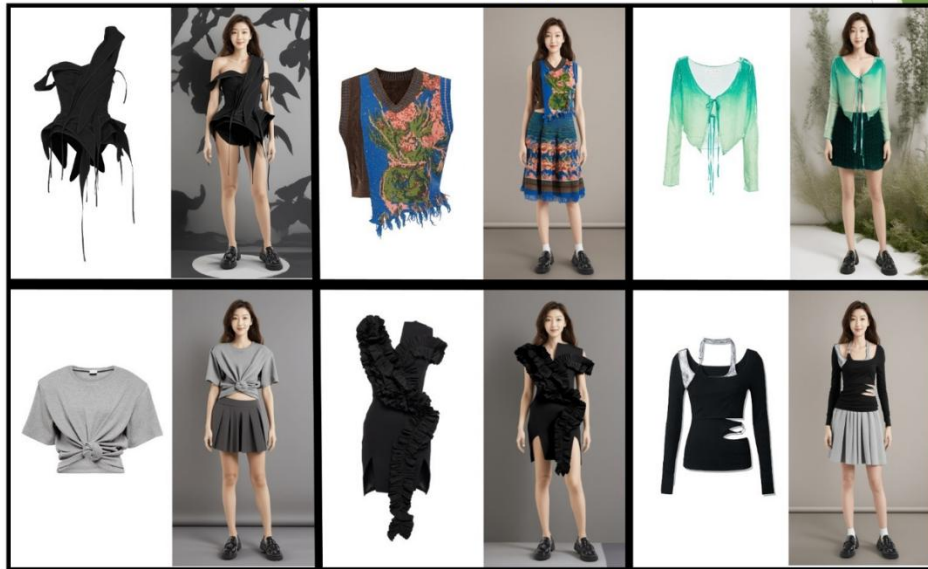
## Схема примірки



## Приклади віртуальної примірки



## Примірка одного виду одягу на різних людях



---

## Висновок

Кваліфікаційна робота магістра була присвячена розробці та дослідженню методів віртуального примірювання одягу на основі зображень високої роздільної здатності, з урахуванням ефектів оклюзії.

У роботі було проведено детальний аналіз проблем, пов'язаних із накладанням цифрових зображень одягу на зображення людини. Розглянуто існуючі теоретичні та практичні підходи до вирішення цих задач, що дозволило окреслити ключові напрями вдосконалення. Відповідно до поставленої мети, запропоновано нові методи, які базуються на використанні технологій глибокого навчання та враховують ефекти оклюзії для підвищення реалістичності та точності віртуального примірювання.

# Anti-Plagiarism v-15.258 Educational

**Максимальне співпадіння з одним документом 71.0%**

Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. **Помилки в документах: 10%**

ID: 159652 Назва: КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА на тему Метод віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії Додано в БД: 2024-12-15 Автора: Максим ОКСАНЮК Керівники: Павло РАДЮК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	89982	1375	64056 (71%)	1008 (73%)

## Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми
158331	Назва: КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА на тему Метод віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії Додано в БД: 2024-12-12 Автора: Максим ОКСАНЮК Керівники: Павло РАДЮК Консультанти: Опоненти:	63747 (71.0%)	996 (72.0%)

## Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

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

**Автор:** Максим ОКСАНЮК

**Співавтор:**

**Назва:** Метод віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії

**Науковий керівник:** Павло РАДЮК, старший викладач кафедри, Ph.D.

**Підрозділ:** Кафедра комп'ютерних наук

**Коефіцієнт подібності 1:** 6.3%

**Коефіцієнт подібності 2:** 1.8%

**Мікропробіли:** 0

**Заміна букв:** 4

**Інтервали:** 0

**Білі знаки:** 1

**Дата створення звіту:** 2024-12-15 16:35:04.0

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:

Дата 15.12.2024

експерт

*П.Р. Реподович*

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії

Автор: студент групи КНМ-23-1 Оксанюк Максим Сергійович

Спеціальність: 122 Комп'ютерні науки

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: док. філ., ст. викл. Радюк П.М.

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	<b>відповідає</b>
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

**Підтвердження:**

Запозичення, виявлені в роботі Оксанюка Максима, не є плагіатом, оскільки: запозичення розміщені в розділі огляду існуючих підходів, не описують безпосередньо авторську роботу і не стосуються її результатів; до запозичень входять фрагменти програмного коду, що не мають авторства і містять поширені конструкції; поміж запозичень знаходяться загальновідомі терміни та скорочення.

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

- за системою Anti-Plagiarism: 71.0%: схожість виявлена з попередньою версією кваліфікаційної роботи магістра Оксанюка Максима та не є плагіатом;

- за системою StrikePlagiarism: КП 1 – 6.35%, КП 2 – 0.08%: виявлені запозичення є фрагментарними, містять поширені конструкції та схеми з відповідними посиланнями, загальновідомі терміни, скорочення та визначення.

Отже, запозичення є допустимими та відносяться до описаних вище і адресуються до першоджерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи



Павло РАДЮК

Гарант ОП



Руслан БАГРІЙ

Завідувач кафедри КН



Олександр БАРМАК



**ВІДГУК НАУКОВОГО КЕРІВНИКА**  
**на кваліфікаційну роботу магістра**

студента гр. КНм-23-1 Оксанюка Максима Сергійовича  
за темою Метод віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії

**1. Актуальність теми**

Реалізація одягу онлайн за допомогою цифрових засобів набуває все більшої популярності та значущості в світі. Застосування інформаційних технологій та штучного інтелекту до процесу примірювання одягу дасть змогу користувачам зручно та точно оцінювати вигляд різних предметів одягу на собі без необхідності фізичного примірювання. Тому розроблення нового програмного рішення, яке поєднає сучасні технології штучного інтелекту, комп'ютерного зору та моделювання для виконання віртуального примірювання одягу, є актуальною задачею.

**2. Відповідність роботи предметній області 122 Комп'ютерні науки та загальним вимогам наукових робіт**

Відповідно до стандарту вищої освіти України спеціальності 122 Комп'ютерні науки, описом предметної галузі, об'єктом та предметом вивчення є математичні, інформаційні та імітаційні моделі реальних явищ, об'єктів, систем і процесів та методи й технології отримання, зберігання, обробки, передачі та використання інформації. Метою поданої роботи є підвищення рівня подібності накладеного цифрового зображення одягу на зображення людини високої роздільної здатності з ефектами оклюзії засобами глибокого навчання. Мету роботи досягнуто внаслідок використання методів, способів та алгоритмів розв'язання теоретичних і прикладних задач, що виникають у процесі проєктування та розроблення інформаційних технологій. Отже, робота відповідає предметній області 122 Комп'ютерні науки.

**3. Професійні та особистісні якості магістранта**

Під час виконання кваліфікаційної роботи магістра студент Оксанюк Максим проявив себе кваліфікованим фахівцем та дисциплінованим студентом, вчасно виконуючи поставлені перед ним завдання. Як у процесі розроблення прикладного програмного забезпечення, так і під час написання пояснювальної записки студент успішно засвоїв компетентності та результати навчання. Оксанюк Максим опанував професійні навички та компетентності, що відповідають виконавцю освітньо-професійної програми рівня вищої освіти «Магістр» за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

**4. Ступінь самостійності під час виконання кваліфікаційної роботи**

Результати роботи та їхня обґрунтована практична значущість одержані та обумовлені студентом особисто, як наслідок виконання ним усіх поставлених завдань.

**5. Наукова новизна та оригінальність запропонованих підходів**

Студент особисто одержав результати кваліфікаційної роботи та обґрунтував їхню практичну значущість внаслідок виконання ним усіх поставлених завдань.

**6. Ступінь оволодіння методами дослідження**

У процесі аналізу віртуального примірювання одягу з використанням генеративних нейронних мереж та проєктування і розроблення на його основі вебзастосунку студент Оксанюк Максим продемонстрував достатній рівень компетентностей та володіння необхідними інструментами й обладнанням, методами, методиками та технологіями галузі інформаційних технологій.

**7. Повнота та якість розкриття теми роботи**

Тема роботи повністю обґрунтована й розкрита; актуальність предметної галузі та відомі дослідження щодо обраної тематики проаналізовані достатньо. Усі поставлені завдання в роботі виконані повністю. Розроблений вебзастосунок для валідування та верифікування спроектованого методу віртуального примірювання одягу відповідає технічним вимогам спеціальності 122 Комп'ютерні науки.

**8. Логічність, послідовність, аргументованість, літературна грамотність викладення матеріалу**

Матеріал кваліфікаційної роботи магістра Оксанюка Максима подано логічно, послідовно, аргументовано та є таким, що відповідає поставленій меті. Мова та стиль викладення роботи відповідають стандартам, що забезпечує доступність сприймання матеріалу й відповідає вимогам до сучасних кваліфікаційних робіт.

**9. Можливість практичного застосування кваліфікаційної роботи, окремих її частин**

Розроблений в роботі вебзастосунок для віртуального примірювання одягу може бути використаний в діяльності онлайн-магазинів для надання користувачам нового засобу для вибору одягу. Впровадження вебзастосунку також дасть змогу виробникам та дизайнерам ефективніше створювати та реалізувати нові моделі одягу.

**10. Висновок про можливість допуску кваліфікаційної роботи до захисту, на яку оцінку заслуговує робота**

З огляду на достатній рівень виконання та забезпечення всіх необхідних вимог, вважаю, що кваліфікаційна робота магістра Оксанюка Максима Сергійовича може бути допущена до захисту. Рекомендована оцінка – «добре».

Керівник



док. філ., ст. викл. каф. КН Павло РАДЮК



## ВІДГУК ОПОНЕНТА

### на кваліфікаційну роботу магістра

студента гр. КНМ-23-1 Оксанюка Максима Сергійовича  
за темою: Метод віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії

#### 1. Актуальність обраної теми

Віртуальне примірювання одягу за допомогою цифрових зображень набуває все більшої популярності та значущості в сучасному світі. Застосування штучного інтелекту для створення цифрових зображень та оброблення даних дає можливість створювати реалістичні та точні віртуальні моделі одягу, що має великий потенціал у різних галузях людської діяльності, як от мода, електронна комерція, дизайн одягу тощо.

#### 2. Відповідність роботи предметній області 122 Комп'ютерні науки та загальним вимогам до наукових робіт

Кваліфікаційна робота магістра відповідає предметній області спеціальності 122 Комп'ютерні науки, оскільки досліджує актуальну проблему створення методу віртуального примірювання одягу з використанням технологій глибокого навчання та оброблення зображень високої роздільної здатності. Усі етапи виконання – від аналізу проблеми до експериментальної перевірки – відповідають стандартам підготовки магістерських робіт.

#### 3. Повнота розкриття мети та завдань дослідження

У результаті виконання кваліфікаційної роботи магістра мету та завдання роботи розкрито повністю. Проведено глибокий аналіз предметної галузі, розглянуто та проаналізовано сорок шість літературних джерел щодо обраної тематики. Чітко визначено структуру спроектованого методу віртуального примірювання одягу на основі генеративних нейронних мереж та реалізовано прикладне програмне забезпечення у вигляді вебзастосунку для проведення експериментального тестування. Мета та завдання поданої до захисту кваліфікаційної роботи є розкритими повністю.

#### 4. Наявність наукової новизни

Наукова новизна кваліфікаційної роботи полягає в удосконаленні методу віртуального примірювання одягу на основі зображень високої роздільної здатності з урахуванням ефектів оклюзії. Запропонований метод відрізняється використанням алгоритму одночасного генерування та деформування сегментаційних мап, а також інтеграцією зворотного зв'язку з дискримінатором для покращення реалістичності зображень. Це забезпечує підвищену точність накладання одягу з урахуванням анатомічних особливостей користувача, а також покращує візуалізацію в складних сценаріях, таких як нестандартні пози або взаємодія багаточарових елементів одягу. Результати роботи сприяють розвитку технологій оброблення зображень у сфері комп'ютерного зору та електронної комерції.

## **5. Зміст кожного розділу роботи**

У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз галузі віртуального примірювання одягу за цифровими зображеннями людини з ефектами оклюзії. Другий розділ присвячений проєктуванню методу віртуального примірювання одягу за зображеннями високої роздільної здатності з ефектами оклюзії. У третьому розділі наведено та описано програмну реалізацію поданого методу у вигляді вебзастосунку. У четвертому розділі досліджено особливості реалізації компонентів системи. Формалізовано загальні висновки до виконаних у роботі завдань.

## **6. Ступінь розкриття теми роботи**

У кваліфікаційній роботі повністю розкрито заявлену тему через аналіз, проєктування, розроблення та експериментального тестування методу віртуального примірювання одягу. У роботі подано детальний опис спроектованого методу сегментування та деформування зображень високої роздільної здатності з урахуванням оклюзії. Робота містить опис програмної реалізації методу у вигляді вебзастосунку. Автором проведено дослідження роботи вебзастосунку та здійснено експериментальне тестування.

## **7. Якість оформлення кваліфікаційної роботи**

Робота відповідає вимогам науково-технічного стилю написання, має чітку структуру та включає всі необхідні розділи, як от, перелік скорочень, вступ, огляд літератури, методологія, результати експериментів, висновки та перелік посилань. Кожен розділ повністю виконує своє функціональне призначення і має чіткий зміст. Використані джерела належно процитовані й включені до списку використаної літератури, відповідно до наукових стандартів цитування. Використана автором структура та оформлення сприяють легкому сприйняттю та розумінню матеріалу.

## **8. Недоліки оформлення кваліфікаційної роботи**

Робота також містить недоліки. Деякі графіки у роботі є недостатньо інформативними. Цей аспект потребує доопрацювання для підвищення якості роботи.

## **9. Недоліки кваліфікаційної роботи**

У роботі приділено недостатньо уваги оцінюванню програмної реалізації за статистичними показниками точності, влучності, повноти тощо. Не розкриті питання щодо виникнення візуальних артефактів на зображенні, а саме помилкове відтворення реалістичних деталей одягу та людини, візуальна оклюзія контурів одягу та неправильне відображення фізичних ознак моделі.

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

З огляду на достатній рівень виконання та забезпечення всіх необхідних вимог, вважаю, що подана кваліфікаційна робота магістра Оксанюка Максима є оригінальним та завершеним науковим дослідженням. Тому кваліфікаційна робота може бути допущена до захисту. Рекомендована оцінка – «добре».

Опонент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Мельник Сергій Михайлович, д.т.н., професор кафедри КІС

« 16 » 12 2024 р.

(підпис)