

## ВІРТУАЛЬНА ОНЛАЙН-ПРИМІРКА АКСЕСУАРІВ І ГОЛОВНИХ УБОРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Микола Легкий<sup>1</sup>, Любов Журавчак<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра програмного забезпечення, Львів, Україна,

<sup>1</sup>E-mail: mykola.lehkyi.mnpzm.2022@lpnu.ua, ORCID: 0009-0008-3177-4507,

<sup>2</sup>E-mail: liubov.m.zhuravchak@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-1444-5882

© Легкий М., Журавчак Л., 2024

Протягом останніх років зростає кількість куплених в інтернеті аксесуарів і головних уборів, і водночас не зменшується процент повернення товару. Одним з підходів до вирішення цієї проблеми є віртуальні приміряльні. Доступність до системи онлайн-припасування аксесуарів і головних уборів та якість примірки є важливими критеріями для користувачів. Наявні системи для онлайн-примірки мають недоліки з оклюзіями, відображенням освітлення й тіней, а також точністю відтворення товарів на людині щодо навколишнього середовища. У статті запропоновано вирішення проблеми онлайн-припасування до людини аксесуарів і головних уборів з появою тіней та освітлення на 3D моделі за рахунок використання нейронних мереж. Запропоновано метод, який симулює високоякісне припасування товарів на людині, з високою кількістю кадрів за секунду, можливістю відтворити з будь-якого пристрою з веббраузером та невеликими вимогами до CPU та GPU. Прототип алгоритму має переваги порівняно з 2D аналогами: 3D освітлення, динамічна зміна його яскравості, тіні, віртуальне середовище та зменшені оклюзії. Створено віртуальну онлайн-примірку з використанням доповненої реальності – MLight-VTON. Зазначено, що на основі запропонованого методу та бібліотеки Three.js можна додавати натреновані моделі TensorFlow.js для подальшого вдосконалення деформації тканини та сегментації тіла.

**Ключові слова:** доповнена реальність; аксесуари; віртуальна примірка; примірювальна кімната; головні убори.

### Вступ

Вебпримірювання – це інноваційна технологія, яка дає користувачу змогу переглянути головні убори та аксесуари без їх фізичного припасування та дізнатися розміри речей, матеріал, із яких вони виготовлені, наявність у режимі реального часу [1]. Технологією легко користуватись, що зменшить час огляду товарів, тим більше фізично у магазинах не всі вони є на вітрині. Окрім того, віддалена примірка з доповненою реальністю економить час, оскільки не потрібно добиратись до місця розташування магазину та перевдягатись.

Згідно з Statista [2] і 3D Look [3] товари, які найчастіше повертають в інтернет-магазини, належать до категорії одягу, їх аж 26 %. Виникає потреба запобігти такій ситуації.

У статті про нові способи візуалізації одягу [4] вказано, що технологія доповненої реальності (AR) запобігла поверненню одягу на 27 % процентів. Компанія Loor у статті [5] стверджує, що використання цієї технології зменшило повернення товарів на 40 %. Ця технологія дає змогу додати об'єкт у режимі реального часу та шари інформації на нього, розширюючи реальний світ і поєднуючи його з віртуальним [6]. Окрім того, AR системи надають додаткову цінність продукту та

заохочують користуватися ним. Нові користувачі виявляють великий інтерес до продуктів у віртуальному світі, як вказано у [7].

Примірювальні кімнати доповненої реальності дають клієнтам змогу приміряти аксесуари та головні убори без необхідності фізично переодягатися та роздягатися, що заощаджує час і зусилля [8]. Це може бути особливо корисно для клієнтів, які роблять покупки з дітьми або мають проблеми з пересуванням [7]. Використовуючи технологію доповненої реальності для створення віртуального образу клієнта, роздрібні торговці можуть надавати персоналізовані рекомендації щодо одягу та аксесуарів, які відповідають їх індивідуальному стилю та вподобанням [9]. Примірювальні кімнати доповненої реальності можуть збільшити продажі, оскільки клієнти бачитимуть, як на них виглядають товари у режимі реального часу. Це може допомогти клієнтам приймати впевненіші рішення про купівлю та зменшити ймовірність повернення [10]. Завдяки примірювальним кімнатам доповненої реальності роздрібні продавці мають змогу демонструвати ширший асортимент варіантів аксесуарів та головних уборів без потреби у фізичному запасі будь-якого розміру та стилю. Це може заощадити витрати на зберігання та інвентаризацію, а також зменшити непродані запаси. Пропонування примірювальних кімнат доповненої реальності може виділити роздрібних торговців серед їхніх конкурентів, створивши унікальний і незабутній досвід купівель, який допоможе залучити та утримати клієнтів [11].

Опишемо основні труднощі віртуальних онлайн-примірювальних з доповненою реальністю та причини, через які майбутній покупець може надати перевагу фізичній примірці над її віртуальною версією. По-перше, тканина і спосіб пошиття є одними з найважливіших факторів, що впливають на те, як носитиме покупець речі. Перенесення параметрів тканини в комп'ютерний алгоритм не є легким завданням у моделі реального часу [12]. По-друге, покупець не відчуває ваги матеріалу та його дотиків на тілі. Ця обставина може мало впливати на вибір футболки чи шортів, проте для такого вбрання, як шуба чи куртка, може відігравати значну роль, бо ніхто, наприклад, не хоче важкої куртки. По-третє, нестандартні пропорції тіла можуть бути складними для алгоритму обчислення триангулярної сітки моделі.

Розрахунок 3D убрання – складне завдання для розробника, яке ще й потребує значних потужностей апаратного забезпечення. Застосунок вимагає обчислення правильних параметрів голови для прогнозування розміру товару [13]. 2D зображення страждають недоліками варіацій, низьким реалізмом, їх набагато важче кастомізувати у тривимірному світі, хоч вони й потребують менше обчислювальних потужностей [14]. Існують недоліки щодо реалістичності зображень, пов'язані з віртуальними примірювальними. Отримане зображення може виглядати несправжнім через такі причини: бракує тіней, воно ідеально однотонного кольору, не з'являються складки під час руху. Коливання, зникання чи неправильне розміщення шару одягу можуть спричинити негативний досвід для користувача, тому необхідно бути впевненим, що UX вебзастосунку на високому рівні.

Хоча технологія доповненої реальності може дати клієнтам уявлення про те, як на них виглядатиме аксесуар, вона іноді не така точна, як примірювання справжнього аксесуару. Такі фактори, як текстура матеріалу, вага та посадка, можуть вплинути на загальний вигляд і відчуття товару, і їх не можна повністю відобразити під час віртуальних примірок [15]. Клієнти можуть вагатися, чи використовувати примірювальні кімнати доповненої реальності через побоювання щодо конфіденційності та безпеки даних. Технологія може збирати особисту інформацію, таку як вимірювання та зображення, які можна використовувати для спеціалізованої реклами чи інших цілей [16]. Розроблення та впровадження примірювальних кімнат доповненої реальності дорого коштує, що обмежуватиме кількість продавців, які можуть дозволити собі використовувати цю технологію. Це, своєю чергою, може призвести до відсутності узгодженості між магазинами та брендами, через що клієнтам буде важко дізнатися, які роздрібні продавці пропонують цю опцію. Не всі клієнти мають доступ до необхідних технологій або пристроїв для використання примірювальних кімнат доповненої реальності, що унеможливує їх застосування для певних категорій населення або обмежує загальне охоплення технології.

### Постановка проблеми

Наявні технології для віртуального примірювання приділяють особливу увагу розробленню ефективних рішень, які ґрунтуються на використанні нейронних мереж і могли б додавати бажані для покупця товари у режимі реального часу, будувати достатньо реалістичні зображення з урахуванням тіней та рухів суб'єкта, неоднотонності кольору, усунення оклюзії (оклюзія на зображенні виникає, коли один об'єкт приховує частину іншого), змішуючи при цьому реальний світ з віртуальним. Проте наявні реалізації цих технологій мають невисоку швидкодію під час навчання та переважно орієнтовані на сформовані зображення та припасування лише одного типу одягу чи аксесуарів.

Зважаючи на це, важливим науково-практичним завданням є удосконалення за допомогою нейронних мереж методу, який дасть змогу онлайн-користувачам приміряти аксесуари та головні убори без їхнього фізичного припасування зі створенням тіні та врахуванням освітлення об'єктів, починаючи з аналізу вхідного відео з камери та відстежуючи ключові точки обличчя особи.

Утворений вебзастосунок буде зручним для покупця, бо примірювальні кімнати доповненої реальності дозволяють клієнтам приміряти аксесуари та головні убори без необхідності фізичної присутності у магазині, що заощаджує їхні час і зусилля.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

У статті [17] запропоновано технологію DCTON (Disentangled Cycleconsistency Try-On Network) для розділення віртуальної примірки на етапи: деформацію одягу, синтез шкіри та композицію зображення. Ці модулі об'єднані в одну структуру для послідовного навчання від початку до кінця циклу. Автори DCTON досягли кращих характеристик порівняно з технологією VITON (Virtual try-on network) – віртуальним підходом до примірки. Можна відзначити, що вихідне зображення від одного CNN (Convolutional neural network) відправляється до іншого як вхідні дані для самоконтролю для наскрізного навчання. Недоліком є невисока швидкодія під час навчання, неможливість застосовувати тривимірні об'єкти та припасування лише одного типу одягу.

Автори [18] представили Occlusion Mixup (OccluMix) – новий метод і стратегію для навчання зразкової моделі. Вони запропонували новий підхід до усунення оклюзії за допомогою збільшення даних. OccluMix генерує доповнене зображення, обрізаючи та вставляючи різні текстури одягу на складну ділянку зображення для примірки. Щоб змоделювати складну оклюзію на зображенні для примірки, потрібно визначити компоненти частин тіла особи. Спочатку отримують вхідне зображення синтаксичного аналізатора, а потім використовують модуль деформації тканини (CWM) для прогнозування деформації тканини (TWC) і деформації маски одягу (MWC). Одержують потенційне розташування частин тіла (ураховуючи голову, руки та ноги). Потім здійснюється покращення маски тіла за допомогою інформації про тканину. На жаль, система намагається виправити недоліки, замість того, щоб відразу правильно генерувати маски тіла і одягу, а також може припасувати лише один тип одягу.

У статті [19] описано удосконалення одноетапної структури віртуальної примірки. Пропонована структура Single-stage Deformable Attention Flow Network (SDAFN) виконує повну роботу. Для цього створено модуль Deformable Attention Flow (DAFlow), який генерує паралельно людський торс і одяг, який облягає, із 3D-тінями. Зображення предметів одягу, особи та пози спочатку надсилають в інструменти виділення ознак без спільного доступу. Потім каскадно оцінюють як самодеформовані, так і перехресно деформовані потоки. Остаточний результат примірки отримують, застосовуючи поверхневий кодер та декодер разом із навченими потоками. Метод можна застосувати до інших завдань редагування зображень, таких як багаторакурсний синтез та анімація зображень. Недоліком є те, що у методу виникають труднощі з генеруванням зображення біля рук.

У роботі [20] запропоновано багатоступеневу систему SieveNet для створення реалістичного одягу, яка складається із кількох нейромереж. На першому етапі відбувається сегментування частини кофти та тіла, на другому – деформація тканини на сформовану маску. Третім етапом стає накла-

дання тканини на тіло. Модель дає хороші результати на складних частинах тіла, зокрема, вигинах рук. Проте вона може не впоратися зі складними варіаціями одягу та тканини та спричинити оклюзії на частинах тіла з волоссям. На жаль, система може припасувати лише один тип одягу. Однак, порівняно з мережею CP-VTON (Characteristic-Preserving Image-based Virtual Try-On Network), SieveNet надає набагато кращі результати.

У статті [21] йдеться про повну примірку верхнього і нижнього одягу одночасно, чого не було досягнуто у жодній з попередніх робіт. Створена нейромережа FB-VTON складається з модулів:

- CGM – clothing guide module, відповідає за створення маски та форми семантичних об'єктів, таких як кофта, руки, штани;
- GMM – geometric matching module, накладає і згинає одяг відповідно до маски вхідної моделі;
- TOM – синтезує деформований одяг з оригінальним зображенням.

Ця стаття вирішила проблему недостатніх даних повного тіла за рахунок видобування їх з оригінального зображення у CGM (clothing guide module). Так система сама навчала себе правильному припасуванню. Недоліками є те, що система працює лише із двовимірними зображеннями, недостатньо точно зберігає волосся, яке могло перекривати одяг, та не вилучає оклюзій кофти біля створеної руки тіла.

Дослідження [9] описує та порівнює наявні AR технології. Основна мета роботи – створити нейронну мережу, яка забезпечуватиме реалістичне припасування окулярів за допомогою відеореєстру камери. Система генерує моделі з даних про окуляри. Під час роботи камери система робить фото та генерує 3D геометрію обличчя, водночас приблизно оцінюючи його параметри. Потім система визначає ключові точки отриманої реконструкції та підлаштовує їх під параметри припасування, далі змішує дані зі сценою та результат повертає користувачу. У системі використано визначення пропорцій обличчя за ключовою особливістю будови тіла (розміром ока, яке коливається у малих межах) з метою точнішого відображення окулярів. Недоліком системи є те, що окуляри відображаються не на відео, а на згенерованому 3D обличчі, що не дуже привабливо. Також зауважимо, що на такій реконструкції обличчя окулярам бракує реалістичності, а саме обличчя не має вух, що теж зумовлює специфічний ефект.

У статті [22] описано створення Snapchat фільтра, який накладає повне вбрання на тіло людини. До одягу додаються ключові точки згину суглобів тіла, тому він згинається у потрібних місцях. 3D модель створено у Blender-і. На жаль, вона не розтягується на тіло, а зроблена одним варіантом на стандартні пропорції тіла з CAESAR датасету, тобто на усередненому єдиному тілі. Згинання і деформація тканини здійснюються за допомогою Autodesk Maya. Порівнюючи з результатами попередніх робіт, бачимо малореалістичну деформацію, уривчасту. Отримана модель може слугувати фільтром для Snapchat. У ній немає тіней та рукавів, погана деформація тканини, кольори занадто яскраві. Однак модель успішно застосовують у системі з онлайн-приміркою.

Автори [23], розглядаючи мережу VITON, стверджують, що вона не може зберегти ідентичність одягу. Тому в своїй роботі вони створили власну нейронну мережу CP-VITON, яка зберігає характеристики текстури, логотипу і вишивки та складається з двох основних модулів:

- Geometric Matching Module – формування деформації одягу та відрізання зайвих ділянок, наприклад, тих, де є волосся чи рука;
- Try-On Module – формування маски та об'єднання зображення людини з синтезом кінцевої примірки.

CP-VITON ліпше справляється зі збереженням унікальних характеристик одягу за рахунок покращення стратегії об'єднання. Проте вона не здатна чітко окреслити краї рук, має проблему з сітковою тканиною, не може відтворити невидимі частини тіла.

У статті [24] запропоновано нову архітектуру, яка полегшує комбінування одягу, який надають продавці, візуалізує його на користувачах за технологією Neural Body Fit. У роботі описано сегментування важливих семантичних частин тіла за локальними подібностями. Після цього визначають позу

людини і накладають маску. Отримані значення дають можливість знайти викривлення тканини та приблизне її закінчення, визначаючи частину кофти та штанів. Створений алгоритм може конкурувати з методами маски, проте це початковий етап для створення візуалізації одягу на тілі.

Робота [25] досліджує автоматичний конвеєр для реконструкції та деформації 3D моделі одягу за допомогою еталонної моделі людини. В конвеєрі спочатку відбувається сегментація одягу на людині. Модель одягу узгоджується з цільовими областями одягу в еталонній моделі людини простої форми. На простій 3D моделі людини здійснюється деформація одягу і формування невидимих частин тіла. Зображення деформованого одягу поєднують з маскою за допомогою нейронних мереж, щоб зафарбувати та змішати усі ділянки. Отриманий результат повертається користувачу. Недоліком є те, що алгоритм частково може накладати одяг поверх іншого та потребує більших обчислювальних потужностей.

У дослідженні [26] йдеться про нову нейронну мережу Flow-based Virtual Try-on Network (FVTN), яка складається з трьох модулів:

- Parsing Alignment Module (PAM) – вирівнює вихідний одяг з тілом особи на семантичному рівні, передбачаючи семантичну карту аналізу;
- Flow Estimation Module (FEM) – навчає швидку надійну модель деформації одягу, оцінюючи багатомасштабні щільні поля потоку без нагляду за навчанням;
- Fusion and Rendering Module (FRM) – синтезує остаточне зображення для примірки, інтегруючи деталі деформованого одягу та елементи людського тіла.

FVTN генерує краще зображення, ніж VITON та CP-VITON, проте, як і будь-яка інша система, яка за фото припасовує одяг, вона погано справляється зі складними позами та спиною людини.

Як бачимо, упродовж останніх років тематика онлайн-примірки одягу та аксесуарів набуває популярності, про що свідчать численні статті, які описують використання з цієї метою нейронної мережі VITON та запропонованих на її основі інших мереж. У нових дослідженнях з'являються ефективніші алгоритми для вирішення завдань правильної реконструкції одягу. Однак існують загальні проблеми у сучасних системах віртуальних онлайн-примірок, які використовують доповнену реальність:

- більшість проаналізованих алгоритмів оснований на нейронних мережах формувань зображень, а не на відео в реальному часі;
- системи примірок за зображеннями не розуміють, чи людина повернута до них обличчям, чи потилицею;
- системи за зображеннями важко застосувати на відео, бо вони генеруватимуть щоразу нове фото з різною деформацією тканини;
- недостатній реалізм 3D одягу на тілі: це ніби зображення поверх тіла. 2D об'єкти не підходять, бо не містять всієї інформації, яку може дати 3D об'єкт;
- низька якість деформації тканини у 3D об'єктів: одяг не може огинати людину;
- відсутність тіней у об'єктів: весь одяг дуже світлий і з дуже яскравими кольорами;
- відтворення невидимих частин тіла: коли людина у кофті хоче приміряти футболку;
- одночасне припасування різних частин одягу: кофти і джинсів;
- оклюзії: системи можуть генерувати одяг поверх важливих частин тіла, таких як волосся, руки. Одяг може бути погано натягнутий чи зникнути в складному місці;
- спотворення логотипу: логотип може бути розтягнутий до невпізнання;
- використання тільки одної камери ускладнює визначення глибини об'єктів.

Ці проблеми ставлять під сумнів ефективність і реалізованість сучасних систем віртуальних онлайн-примірок, визначаючи актуальні напрями для подальших досліджень та вдосконалення.

### **Формулювання мети статті**

*Об'єктом дослідження* є процес симуляції примірки аксесуарів та головних уборів з використанням камери та доповненої реальності у вебзастосунках.

*Предметом дослідження є методи та алгоритми реалістичного припасування аксесуарів та головних уборів до людини з урахуванням появи тіней і деформацій, математичний опис 3D моделей цих товарів та підбирання параметрів тіла людини.*

Основна мета статті – дослідження методів і засобів машинного навчання для удосконалення методу онлайн-симуляції припасування аксесуарів та головних уборів до людини з появою тіней, динамічного освітлення, урахуванням рухів суб'єкта та неоднотонності кольору, усуненням оклюзії та переплетенням віртуального навколишнього середовища з реальним на 3D моделі.

Для досягнення поставленої мети виконано такі завдання:

- проаналізовано наявні методи, технології та використані для реалізації віртуального онлайн-примірювання архітектурні підходи до моделювання;
- розглянуто конкретні сфери використання різних підходів віртуальних приміряльних, оцінено та порівняно їхню ефективність;
- розроблено та здійснено тестування застосунку MLight-VTON, який припасовує головні убори та аксесуари у реальному часі, використовуючи відео із вебкамери користувача та відстежуючи ключові точки його обличчя.

### **Розроблення архітектури для приміряння віртуальних 3D аксесуарів та головних уборів у доповненій реальності на вебсайті *Технології для розв'язування поставленої задачі***

На вхід отримують 3D модель одягу та відео з камери. Процес накладання 3D моделі одягу на тіло людини можна описати такими кроками: виявлення та відстеження тіла людини, його сегментація, перетворення 3D моделі одягу, рендеринг та візуалізація. Для виконання завдання вибрано такі технології:

- **Three.js** [27] уможливорює високоефективне розроблення вебпроектів із 3D графікою. Ця бібліотека є однією з найпопулярніших у своєму класі, забезпечує потужні інструменти для завантаження, відображення та взаємодії з 3D моделями. Численна спільнота розробників, велика кількість прикладів та документація роблять її вибором номер один для проєктів, пов'язаних із вебграфікою.
- **MindAR** [28] – відкрита для використання і пропонує розширену реальність на вебплатформі. Здатна до відстеження зображень та облич.
- **JavaScript** [29] – динамічна об'єктно-орієнтована мова програмування з прототипною реалізацією стандарту ECMAScript, ідеально підходить для вирішення різноманітних завдань веброзробки.
- **Tensorflow.js** [30] – бібліотека машинного навчання JavaScript, використовується для виявлення об'єктів або сегментації тіла людини. Three.js можна застосовувати для відображення 3D моделі одягу на вебсторінці, тоді як TensorFlow.js – для виявлення тіла і його сегментації, щоб точно вирівняти та відстежити моделі вбрання та аксесуарів на тілі.

### ***Вибір типу 3D файлу***

Вибрано формат 3D файлу GLTF, кращий від OBJ, який уже є застарілим і містить лише геометрію та базові матеріали. GLTF також кращий від FBX, оскільки FBX – запатентований формат і з ним важко працювати через недостатню кількість інформації. GLTF сьогодні є одним із найкращих виборів, він відкрито визначений та може зберігати практично усе на сцені. В Three.js легко працювати з цим типом файлів та модифікувати його об'єкти на сцені.

### ***Архітектура віртуальної онлайн-приміряльної з використанням доповненої реальності***

Як архітектуру вибрано модель MVP, яка дає змогу ефективно відокремити бізнес-логіку від користувацького інтерфейсу програми. Першим компонентом системи є Model, який описує GLTF об'єкти із відповідними сервісами та репозиторіями для маніпуляцій. Файли HTML та CSS – це

подання View у проєкті із адаптивною розміткою вебсайту для всіх пристроїв. Файлами-роботами, які слугують посередниками між представленням і моделлю, є Presenter, які оновлюють View та контролюють Model.

Віртуальна онлайн-приміряльна складається із трьох основних компонентів:

- браузера, на якому буде виконуватися код та відображатися Canvas з відео користувача;
- Mind AR, який взаємодіятиме з камерою на сцені й отримуватиме дані від TensorFlow Face Landmark Detection;
- Three.js відповідатиме за віртуальну сцену, рендеринг та 3D об'єкти на сцені.

На рис. 1 зображено архітектуру програмного забезпечення.

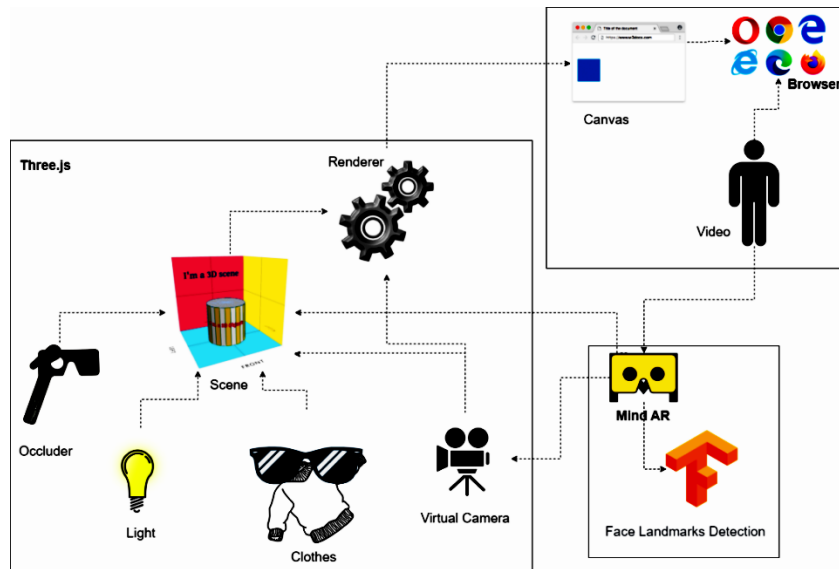


Рис. 1. Архітектура віртуальної онлайн-приміряльної з використанням доповненої реальності

### Результати дослідження

На рис. 2 зображена запропонована віртуальна онлайн-приміряльна із використанням доповненої реальності MLight-VTON. Вона працює з відео з камери в реальному часі та має стабільний FPS: на віртуальній сцені увімкнено три головні убори складної форми, застосунок видає більше ніж 40 кадрів за секунду. На скріншоті верхня панель відповідає за вибір головного аксесуару, права – за налаштування об'єктів, панелі статусу зліва – за статистику швидкодії системи.

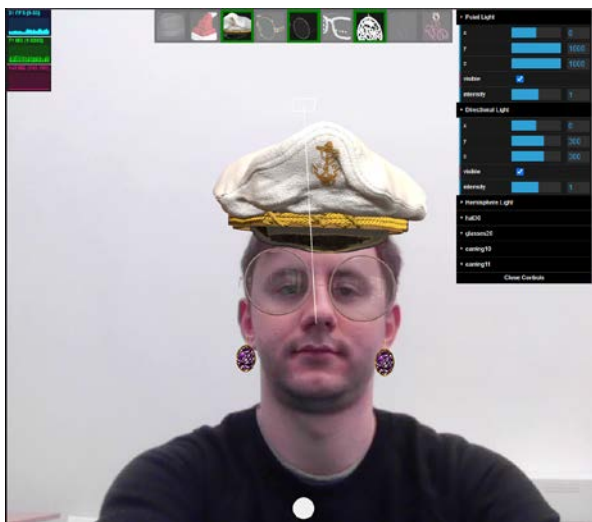


Рис. 2. Віртуальна онлайн-приміряльна із використанням доповненої реальності MLight-VTON

Для приєднання 3D елементів використано FaceMesh з Tensorflow Face Landmarks Detection. З бібліотеки отримують 468 ключових точок обличчя. 3D моделі приєднують до цих ключових точок на обличчі за допомогою бібліотеки Mind AR на віртуальній 3D сцені.

### Формування тіні та освітлення 3D сцени

Тінь створює ефект присутності об'єкта на тілі та багатогранність тривимірності припасування. Для симуляції тіні на сцену додано три типи джерел світла:

- PointLight – джерело, яке випромінює у всі сторони. Застосовується для симуляції точкового джерела світла;
- DirectionalLight – нескінченно віддалене світло, яке випромінює у деякому напрямі, промені якого паралельні. Використовується для симуляції денного світла, на рис. 3 джерелом є ромб, промені якого спрямований на ніс;
- HemisphereLight – джерело, яке задає перехід світла від неба до землі.

Світло, додане на сцену, взаємодіє із об'єктами 3D сцени, а за допомогою рушія Three.js у результаті утворюється необхідна тінь. На рис. 3, 4 відображено тіні, утворені паралельними променями та точковим джерелом світла відповідно. На скріншотах видно, що обидві тіні хорошої якості, але можна досягти кращих результатів, змінюючи налаштування джерел світла на правій панелі.



Рис. 3. Тінь, утворена від DirectionalLight



Рис. 4. Тінь, утворена від PointLight

### Динамічне освітлення

Природне освітлення є ключовим аспектом у розумінні та відтворенні зображень. Використовуючи освітленість, можна зробити зображення реалістичнішим для розуміння припасування, застосовуючи відповідні коригування освітлення та контрасту. Для адаптації відображення об'єктів на сцені використано середнє значення яскравості (1) за формулою (2):

$$\text{Average Luminosity} = \frac{\sum_{i=1}^N L_i}{N}, \quad (1)$$

де  $L_i$  – значення яскравості  $i$ -го пікселя;  $N$  – загальна кількість пікселів на зображенні.

Яскравість кольору в просторі sRGB – стандарт подання колірного спектра з використанням моделі RGB, уніфікований для використання на інтернет-сайтах. Можна розрахувати за формулою:

$$L = 0,2126 \times R + 0,7152 \times G + 0,0722 \times B, \quad (2)$$

де  $R$ ,  $G$ ,  $B$  – червона, зелена та синя складові кольору відповідно;  $L$  – освітленість у контексті кольору та світла, стосується сприйманої яскравості об'єкта або кольору. Це міра інтенсивності світла, випромінюваного або відбитого об'єктом. У цифрових зображеннях яскравість часто стосується яскравості пікселя на зображенні.

На рис. 5, 6 подано приклади динамічного освітлення головного убору в темному та світлому приміщеннях відповідно.





Рис. 5. Приклад динамічного освітлення головного убору в темному приміщенні



Рис. 6. Приклад динамічного освітлення головного убору в світлому приміщенні

### **Віртуальне навколишнє середовище**

Щоб симулювати перебування у приміщенні, створено карту середовища для всіх фізичних матеріалів на сцені. На рис. 7, 8 наведено ефекти відбиття віртуального навколишнього середовища, які залежить від матеріалу об'єкта та налаштувань його параметрів. Це надає відчуття примірки у разі обертання головою.

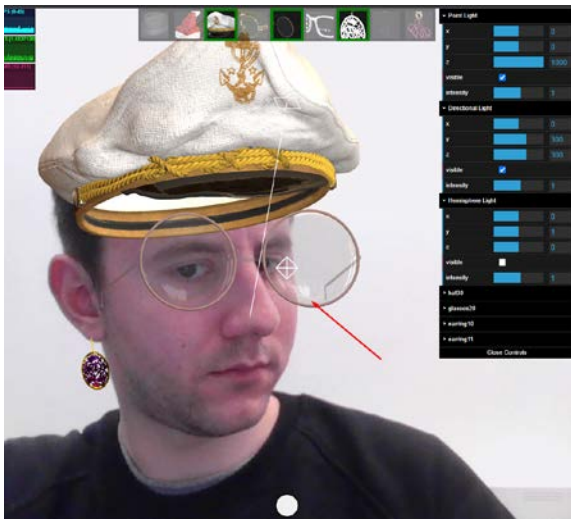


Рис. 7. Ефект відбиття навколишнього середовища на прикладі окулярів. Світло внизу

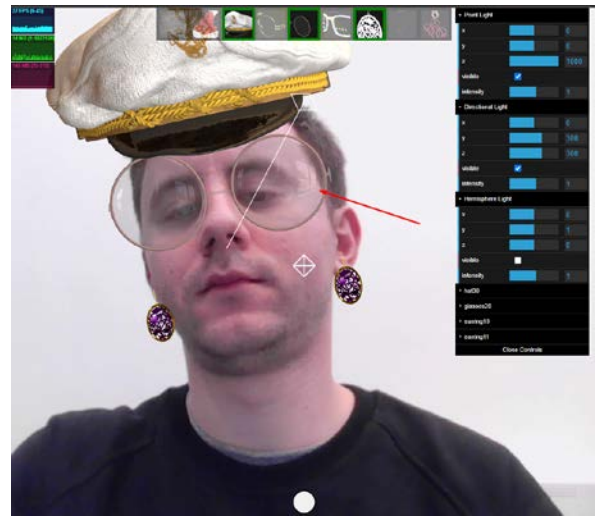


Рис. 8. Ефект відбиття навколишнього середовища на прикладі окулярів. Світло справа

### **Приховування 3D частин об'єктів позаду**

Оклюдер – об'єкт, який частково або повністю перешкоджає потраплянню іншого об'єкта в око. На рис. 9 зображено перетин сережки із оклюдером, а на рис. 10 – перетин оклюдера з окулярами. Зі скріншотів видно, що результат надає симуляції онлайн-приміральної з доповненою реальністю кращого користувацького досвіду. Оклюдер-об'єкт вибирають з конфігурацією, яка запобігає запису кольору матеріалу в буфер кадру. По суті, це робить матеріал невидимим з погляду виведення кольорів, що часто використовують для об'єктів-оклюдерів у AR для створення дірок у сцені.

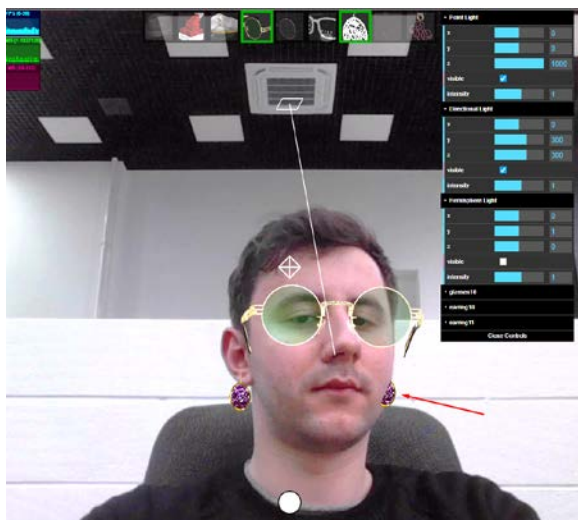


Рис. 9. Приховування частини сережки, невидимої для ока

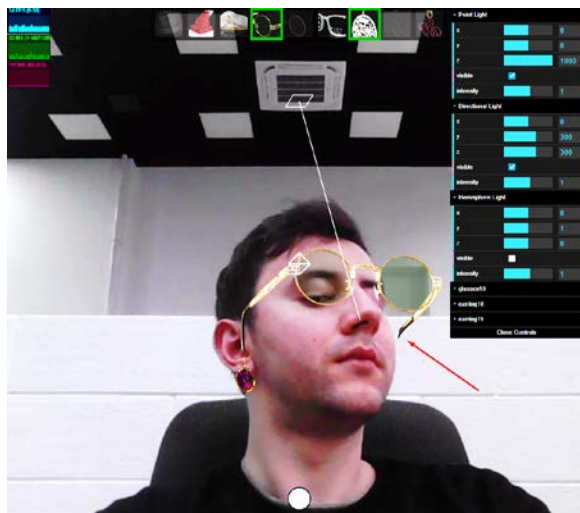


Рис. 10. Приховування частини окулярів, невидимої для ока

### Управління пам'яттю

Щоб забезпечити вищу швидкість та менший обсяг використаної пам'яті, застосовано динамічне завантаження об'єктів на сцену, тобто 3D-об'єкти завантажуються тільки у разі їх відображення на сцені. Після завантаження об'єктами можна маніпулювати з Gui панелі. У разі їх приховування об'єкт повністю видаляється зі сцени та звільняє ресурси. Завдяки цьому можна додати доволі велику кількість різних видів аксесуарів і головних уборів, програма використовуватиме ресурси тільки на вибрані товари.

### Обговорення результатів

Тестування віртуальної онлайн-приміркою з використанням доповненої реальності здійснено на комп'ютері з операційною системою Windows 10 та апаратними характеристиками з табл. 1.

Таблиця 1

#### Характеристики комп'ютера, на якому здійснено тестування

CPU	RAM	GPU	Browser
Intel Core i5-10310U 1.70 GHz	32 GB	Intel UHD Graphics	Google Chrome Version 119.0.6045.200 (Official Build) (64-bit)

Під час перевірки користувач виконував різні маніпуляції з MLight-VTON, щоб заплутати систему і знайти дефекти. Під час тестування відбувався профайлінг ресурсів, результати якого подано в табл. 2.

Таблиця 2

#### Використовувані ресурси (комп'ютера) віртуальної онлайн-приміркою із доповненою реальністю

3D-об'єкти на сцені	CPU	GPU	FPS (video)	RAM	FPS (MLight-VTON)	MS (MLight-VTON)
1. Оклодер 2. Головний убір 3. Окуляри 4. Сережки 5. DirectionalLight 6. PointLight	11 %	80 %	60	128 MB (89-213) ~128 МБ	41 FPS (0-50) Приблизно стабільно 41 кадр за секунду, 1 кадр – 24 мс	18 MS (0-1927120) Час створення кадру швидко змінюється

З отриманих результатів можна зробити висновок, що запропонований застосунок використовує небагато обчислювальних ресурсів для стабільного 41 кадру за секунду, тобто  $\sim 24$  мс на створення одного кадру. Потребує 128 МБ пам'яті, що дуже мало для можливостей сучасного комп'ютера. Зважаючи на кількість об'єктів, доданих на сцену, можна зробити висновок, що віртуальну онлайн-примірять аксесуарів і головних уборів можна запускати на середньостатистичних пристроях та удосконалювати складнішою логікою симуляції. Водночас є простір для подальшого розвитку застосунку: програмний комплекс можна удосконалювати складнішими підходами до розв'язання задачі та збільшувати кількість видів товарів.

У табл. 3 відображено ресурси мобільного телефону Xiaomi Redmi Note 9 Pro. Можна зробити висновок, що хоч телефону складно справлятися з такою кількістю об'єктів, але якщо користувач не робитиме різких рухів, буде зображення хорошої якості. Тому віртуальна онлайн-примірять з використанням доповненої реальності MLight-VTON підходить і для мобільних пристроїв.

Таблиця 3

**Використовувані ресурсів (Xiaomi Redmi Note 9 Pro)  
віртуальної онлайн-примірять із доповненою реальністю MLight-VTON**

3D об'єкти на сцені	CPU	GPU	FPS (video)	RAM (MLight-VTON)	FPS (MLight-VTON)	MS (MLight-VTON)
1. Оклодер 2. Головний убір 3. Окуляри 4. Серезки 5. DirectionalLight 6. PointLight	50 %	100 %	60	$\sim 117$ МБ	Стабільно 10 кадрів за секунду, 1 кадр – 100 мс	$\sim 100$ мс Час створення кадру швидко змінюється

На рис. 11, 12 можна візуально порівняти генерування окулярів на обличчі. Варто вказати одну із переваг запропонованого підходу: окуляри можна приміряти в доповненій реальності в онлайн-режимі зі всіх сторін, на відміну від методу автора [9], який лише за одним фото генерував обличчя з окулярами лицеву та бічну площинами.

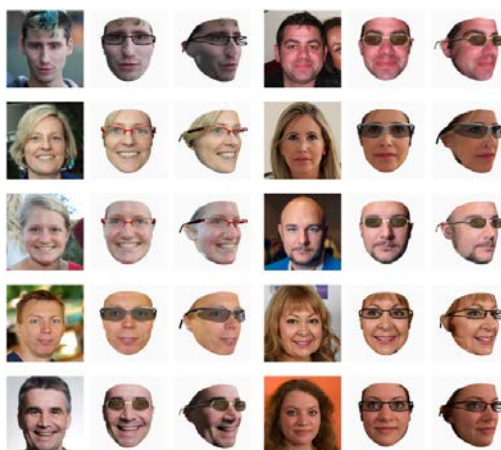


Рис. 11. Припасування окулярів зі статті *Designing an AI-Based Virtual Try-On Web Application* [9]

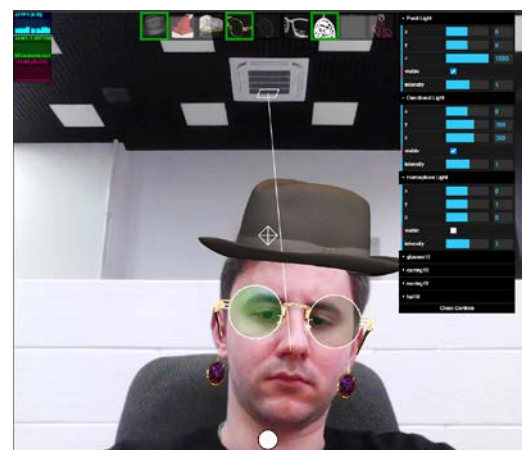


Рис. 12. Запропонований підхід: MLight-VTON віртуальна онлайн-примірять з використанням доповненої реальності

Сформовано таблицю порівняння двох способів припасування (табл. 4), яка дає підстави зробити висновок, що віртуальна онлайн-примірять з використанням доповненої реальності MLight-

VTON забезпечує переваги в освітленні, роботі з відео, видами об'єктів для припасування, наявністю віртуального середовища, візуалізації тіні, динамічній яскравості освітлення та можливості побачити аксесуари і головні убори зі всіх боків, але не дуже чітко збереження пропорцій об'єктів щодо їх реальних розмірів.

Таблиця 4

**Таблиця порівняння MLight-VTON і Try-on [9]**

	MLight-VTON	Designing an AI-Based Virtual Try-On Web Application [9]
Індивідуальне освітлення на 3D об'єкти	+	–
Вхідні дані	Video/image	Image
Без маркерів	+	+
Можливість припасування	Сережки, головні убори, окуляри	Окуляри
Доступно із пристроїв	Будь-який пристрій із веббраузером та камерою	Будь-який пристрій із веббраузером
Можливість побачити убрання зі всіх сторін	+	–
Приховування сліпих зон	+	+
Обчислення розмірів 3D об'єкта за допомогою сітківки ока	–	+
Віртуальне середовище	+	–
Візуалізація тіні	+	–
Динамічне яскравість освітлення	+	–
Реконструкція обличчя	–	+

### **Подальші вдосконалення**

Розроблений прототип віртуальної онлайн-приміряльної надалі можна вдосконалювати за рахунок використання нейронних мереж, таких як: Tensorflow Body Segmentation для створення маски тіла людини. Тоді проєкт переходитиме до фази приміряння й інших видів одягу: штанів, светрів. Також можна буде зменшити оклюзії, продовживши кінцівки людини за допомогою бібліотеки Tensorflow Pose Detection. Нейромережі можна використовувати одночасно для опрацювання більшої кількості корисних даних.

Можливе ще одне поліпшення із сережками, а саме додавання їм фізичних властивостей: зокрема, щоб вони хиталися, як природні, коли користувач повертатиме голову. Це можна зробити за допомогою бібліотеки Cannon-es: треба надати сережкам вагу та вибрати середню статичну точку, а у разі повертання голови оновлювати силу дії на сережку. Бібліотека візьме на себе реалізацію “хитання” і в результаті отримаємо якіснішу симуляцію примірки сережок.

### **Висновки**

У статті розроблено метод, який дасть змогу онлайн-користувачам симулювати приміряння аксесуарів та головних уборів без їх фізичного припасування за допомогою нейронних мереж із відображенням тіні. Вибрано комбінування технологій Three.js, MindAR, Tensorflow.js і JavaScript та тип даних для 3D моделей GLTF, бо він містить усю інформацію про об'єкти на сцені та є широким використанням. Метод працює із віртуальною сценою, на яку додають 3D об'єкти для подальшої маніпуляції з ними. Світло на сцені взаємодіє з моделями на сцені, утворюючи тіні. Розроблений

прототип MLight-VTON має переваги над 2D алгоритмами програм-аналогів, а саме: 3D світло, тіні, зменшені оклюзії, віртуальне середовище, динамічна яскравість освітлення, приховування невидимих частин. На основі концепту алгоритму та бібліотеки Three.js можна додавати натреновані моделі TensorFlow.js для подальшого вдосконалення деформації тканини та сегментації тіла. Згідно із даними тестування навантажених моделями розроблений алгоритм генерує на Intel Core i5-10310U 1.70GHz 41 кадр за секунду, тоді на кадр припадає 18 мс, використовує 128 МБ пам'яті та має невеликі вимоги CPU та GPU. Його можна запустити на будь-якому пристрої з веббраузером та камерою. Беручи до уваги візуальне сприйняття, примірка у відеоформаті надає кращі можливості користувачу, ніж 2D аналоги.

#### Список літератури

1. Adikari, S. B., Ganegoda, N. C., Meegama, R. G. N., & Wanniarachchi, I. L. (2020). Applicability of a Single Depth Sensor in Real-Time 3D Clothes Simulation: Augmented Reality Virtual Dressing Room Using Kinect Sensor. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2020, e1314598. <https://doi.org/10.1155/2020/1314598>.
2. Apparel return rates: The stats retailers CANNOT ignore in 2023. (2022, December 22). 3DLOOK. <https://3dlook.me/content-hub/apparel-return-rates-the-stats-retailers-cannot-ignore>.
3. Bai, S., Zhou, H., Li, Z., Zhou, C., & Yang, H. (2022). Single Stage Virtual Try-On Via Deformable Attention Flows. In Avidan S., Brostow G., Cissé M., Farinella G.M., & Hassner T. (Eds.), *Lect. Notes Comput. Sci.: Vol. 13675 LNCS* (pp. 409–425). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; Scopus. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-19784-0\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-031-19784-0_24).
4. Battistoni, P., Di Gregorio, M., Romano, M., Sebillio, M., Vitiello, G., & Brancaccio, A. (2022). Interaction Design Patterns for Augmented Reality Fitting Rooms. *Sensors*, 22(3), 982. <https://doi.org/10.3390/s22030982>.
5. Enisa. (2022, January 18). Using AR technology to lower your ecommerce return rate. *Loop Returns*. <https://www.loopreturns.com/blog/using-ar-technology-to-lower-your-ecommerce-return-rate>.
6. Gavaskar, S. (2022). A Novel Approach of Virtual Visualization of Cloth Fitting. *International Journal of Engineering Research in Computer Science and Engineering*, 9(8), 97-103. <https://doi.org/10.36647/ijercse/09.08.art001>
7. Ge, C., Song, Y., Ge, Y., Yang, H., Liu, W., & Luo, P. (2021). Disentangled Cycle Consistency for Highly-realistic Virtual Try-On. *Proc IEEE Comput Soc Conf Comput Vision Pattern Recognit*, 16923–16932. Scopus. <https://doi.org/10.1109/CVPR46437.2021.01665>.
8. Hashmi, M. F., Ashish, B. K. K., Keskar, A. G., Bokde, N. D., & Geem, Z. W. (2020). FashionFit: Analysis of Mapping 3D Pose and Neural Body Fit for Custom Virtual Try-On. *IEEE Access*, 8, 91603–91615. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2993574>.
9. Hu, P., Kaashki, N., Dadarlat, V., & Munteanu, A. (2020). Learning to Estimate the Body Shape Under Clothing From a Single 3-D Scan. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, PP, 1–1. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3016591>.
10. Jandial, S., Chopra, A., Ayush, K., Hemani, M., Kumar, A., & Krishnamurthy, B. (2020). SieveNet: A unified framework for robust image-based virtual try-on. *Proc. - IEEE Winter Conf. Appl. Comput. Vis., WACV*, 2171–2179. Scopus. <https://doi.org/10.1109/WACV45572.2020.9093458>.
11. Learn JavaScript Online—Courses for Beginners—Javascript.com. (n.d.). Retrieved December 13, 2023, <https://www.javascript.com>.
12. Lee, H.-J., Koo, B., Ahn, H.-E., Kang, M., Lee, R., & Park, G. (2021). Full body virtual try-on with semi-self-supervised learning. *Electronics Letters*, 57(24), 915–917. Scopus. <https://doi.org/10.1049/el12.12307>.
13. Liang, J., & Lin, M. C. (2021). Machine learning for digital try-on: Challenges and progress. *Computational Visual Media*, 7(2), 159–167. <https://doi.org/10.1007/s41095-020-0189-1>.
14. Marelli, D., Bianco, S., & Ciocca, G. (2022). Designing an AI-Based Virtual Try-On Web Application. *Sensors*, 22(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/s22103832>.
15. Minar, M. R., Tuan, T. T., & Ahn, H. (2021). CloTH-VTON+: Clothing Three-Dimensional Reconstruction for Hybrid Image-Based Virtual Try-ON. *IEEE Access*, 9, 30960–30978. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3059701>.
16. MindAR | mind-ar-js. (n.d.). Retrieved December 13, 2023, <https://hiukim.github.io/mind-ar-js-doc>.
17. Most returned online purchases by category in the U.S. 2022. (n.d.). Statista. Retrieved May 13, 2023, <https://www.statista.com/forecasts/997235/most-returned-online-purchases-by-category-in-the-us>.

18. Oikonomou, K., Chatzilari, E., Nikolopoulos, S., Kompatsiaris, I., Gavilan, D., & Downing, J. (2021). Snapwear: A Snapchat AR filter for the virtual try-on of real clothes. *Proc. - IEEE Int. Symp. Mixed Augment. Real. Adjun., ISMAR-Adjunct*, 46–51. Scopus. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct54149.2021.00019>.
19. Prakash, D., J, J. V., Ghosh, S., B, S. N., Deborah, S. A., & Chandran, K. R. S. (2020). Virtual Fashion Mirror. 2020 4th International Conference on Computer, Communication and Signal Processing (ICCCSP), 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICCCSP49186.2020.9315257>.
20. Rajan, D. S. P., & Al, E. (2021). Virtual Dressing Room with Web Deployment. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 12(7), Article 7. <https://doi.org/10.17762/turcomat.v12i7.3640>.
21. Igor, Santesteban., Miguel, A., Otaduy., Dan, Casas. (2019). Learning-based animation of clothing for virtual try-on. *Computer Graphics Forum*, 38(2):355–366. doi: 10.1111/CGF.13643.
22. Shirsat, A., Sonimindia, S., Patil, S., Kotecha, N., & Koparde, P. (2019). Virtual Trial Room. *International Journal of Research in Advent Technology*, 7, 182–185. <https://doi.org/10.32622/ijrat.75201976>.
23. Smink, A. R., Frowijn, S., van Reijmersdal, E. A., van Noort, G., & Neijens, P. C. (2019). Try online before you buy: How does shopping with augmented reality affect brand responses and personal data disclosure. *Electronic Commerce Research and Applications*, 35, 100854. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2019.100854>.
24. TensorFlow.js | Machine Learning for JavaScript Developers. (n.d.). TensorFlow. Retrieved December 13, 2023, <https://www.tensorflow.org/js>.
25. Three.js – JavaScript 3D Library. (n.d.). Retrieved February 29, 2024, <https://threejs.org>.
26. Turner, C. (2022). Augmented Reality, Augmented Epistemology, and the Real-World Web. *Philosophy & Technology*, 35(1), 19. <https://doi.org/10.1007/s13347-022-00496-5>.
27. Vakaliuk, T. A., & Pochtoviuk, S. I. (n.d.). (2021). Analysis of tools for the development of augmented reality technologies. *AREdu 2021: 4th International Workshop on Augmented Reality in Education*, 2898, 119–130. <https://ceur-ws.org/Vol-2898/paper06.pdf>
28. Wang, B., Zheng, H., Liang, X., Chen, Y., Lin, L., & Yang, M. (2018). Toward characteristic-preserving image-based virtual try-on network. In Ferrari V., Sminchisescu C., Weiss Y., & Hebert M. (Eds.), *Lect. Notes Comput. Sci.: Vol. 11217 LNCS* (pp. 607–623). Springer Verlag; Scopus. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-01261-8\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01261-8_36).
29. Wang, T., Gu, X., & Zhu, J. (2022). A Flow-Based Generative Network for Photo-Realistic Virtual Try-on. *IEEE Access*, 10, 40899–40909. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3167509>.
30. Yang, Z., Chen, J., Shi, Y., Li, H., Chen, T., & Lin, L. (2023). OccluMix: Towards De-Occlusion Virtual Try-On by Semantically-Guided Mixup. *IEEE Transactions on Multimedia*, 1–12. Scopus. <https://doi.org/10.1109/TMM.2023.3234399>.

## References

1. Adikari, S. B., Ganegoda, N. C., Meegama, R. G. N., & Wanniarachchi, I. L. (2020). Applicability of a Single Depth Sensor in Real-Time 3D Clothes Simulation: Augmented Reality Virtual Dressing Room Using Kinect Sensor. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2020, e1314598. <https://doi.org/10.1155/2020/1314598>.
2. Apparel return rates: The stats retailers CANNOT ignore in 2023 (2022, December 22). 3DLOOK. <https://3dlook.me/content-hub/apparel-return-rates-the-stats-retailers-cannot-ignore>.
3. Bai, S., Zhou, H., Li, Z., Zhou, C., & Yang, H. (2022). Single Stage Virtual Try-On Via Deformable Attention Flows. In Avidan S., Brostow G., Cissé M., Farinella G.M., & Hassner T. (Eds.), *Lect. Notes Comput. Sci.: Vol. 13675 LNCS* (pp. 409–425). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; Scopus. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-19784-0\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-031-19784-0_24).
4. Battistoni, P., Di Gregorio, M., Romano, M., Sebillio, M., Vitiello, G., & Brancaccio, A. (2022). Interaction Design Patterns for Augmented Reality Fitting Rooms. *Sensors*, 22(3), 982. <https://doi.org/10.3390/s22030982>.
5. Enisa. (2022, January 18). Using AR technology to lower your ecommerce return rate. *Loop Returns*. <https://www.loopreturns.com/blog/using-ar-technology-to-lower-your-ecommerce-return-rate>.
6. Gavaskar, S. (2022). A Novel Approach of Virtual Visualization of Cloth Fitting. *International Journal of Engineering Research in Computer Science and Engineering*, 9(8), 97–103. <https://doi.org/10.36647/ijercse/09.08.art001>
7. Ge, C., Song, Y., Ge, Y., Yang, H., Liu, W., & Luo, P. (2021). Disentangled Cycle Consistency for Highly-realistic Virtual Try-On. *Proc IEEE Comput Soc Conf Comput Vision Pattern Recognit*, 16923–16932. Scopus. <https://doi.org/10.1109/CVPR46437.2021.01665>.

8. Hashmi, M. F., Ashish, B. K. K., Keskar, A. G., Bokde, N. D., & Geem, Z. W. (2020). FashionFit: Analysis of Mapping 3D Pose and Neural Body Fit for Custom Virtual Try-On. *IEEE Access*, 8, 91603–91615. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2993574>.
9. Hu, P., Kaashki, N., Dadarlat, V., & Munteanu, A. (2020). Learning to Estimate the Body Shape Under Clothing From a Single 3-D Scan. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, PP, 1–1. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3016591>.
10. Jandial, S., Chopra, A., Ayush, K., Hemani, M., Kumar, A., & Krishnamurthy, B. (2020). SieveNet: A unified framework for robust image-based virtual try-on. Proc. – IEEE Winter Conf. Appl. Comput. Vis., WACV, 2171–2179. Scopus. <https://doi.org/10.1109/WACV45572.2020.9093458>.
11. Learn JavaScript Online – Courses for Beginners – Javascript.com. (n. d.). Retrieved December 13, 2023, <https://www.javascript.com>.
12. Lee, H.-J., Koo, B., Ahn, H.-E., Kang, M., Lee, R., & Park, G. (2021). Full body virtual try-on with semi-self-supervised learning. *Electronics Letters*, 57(24), 915–917. Scopus. <https://doi.org/10.1049/ell2.12307>.
13. Liang, J., & Lin, M. C. (2021). Machine learning for digital try-on: Challenges and progress. *Computational Visual Media*, 7(2), 159–167. <https://doi.org/10.1007/s41095-020-0189-1>.
14. Marelli, D., Bianco, S., & Ciocca, G. (2022). Designing an AI-Based Virtual Try-On Web Application. *Sensors*, 22(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/s22103832>.
15. Minar, M. R., Tuan, T. T., & Ahn, H. (2021). CloTH-VTON+: Clothing Three-Dimensional Reconstruction for Hybrid Image-Based Virtual Try-ON. *IEEE Access*, 9, 30960–30978. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3059701>.
16. MindAR / mind-ar-js. (n. d.). Retrieved December 13, 2023, <https://hiukim.github.io/mind-ar-js-doc>.
17. Most returned online purchases by category in the U.S. 2022. (n. d.). Statista. Retrieved May 13, 2023, <https://www.statista.com/forecasts/997235/most-returned-online-purchases-by-category-in-the-us>.
18. Oikonomou, K., Chatzilari, E., Nikolopoulos, S., Kompatsiaris, I., Gavilan, D., & Downing, J. (2021). Snapwear: A Snapchat AR filter for the virtual try-on of real clothes. Proc. – IEEE Int. Symp. Mixed Augment. Real. Adjunct., ISMAR-Adjunct, 46–51. Scopus. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct54149.2021.00019>.
19. Prakash, D., J., J. V., Ghosh, S., B., S. N., Deborah, S. A., & Chandran, K. R. S. (2020). Virtual Fashion Mirror. 2020 4th International Conference on Computer, Communication and Signal Processing (ICCCSP), 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICCCSP49186.2020.9315257>.
20. Rajan, D. S. P., & Al, E. (2021). Virtual Dressing Room with Web Deployment. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 12(7), Article 7. <https://doi.org/10.17762/turcomat.v12i7.3640>.
21. Igor, Santesteban., Miguel, A., Otaduy., Dan, Casas (2019). Learning-based animation of clothing for virtual try-on. *Computer Graphics Forum*, 38(2):355–366. DOI: 10.1111/CGF.13643.
22. Shirsat, A., Sonimindia, S., Patil, S., Kotecha, N., & Koparde, P. (2019). Virtual Trial Room. *International Journal of Research in Advent Technology*, 7, 182–185. <https://doi.org/10.32622/ijrat.75201976>.
23. Smink, A. R., Frowijn, S., van Reijmersdal, E. A., van Noort, G., & Neijens, P. C. (2019). Try online before you buy: How does shopping with augmented reality affect brand responses and personal data disclosure. *Electronic Commerce Research and Applications*, 35, 100854. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2019.100854>.
24. TensorFlow.js / Machine Learning for JavaScript Developers (n. d.). TensorFlow. Retrieved December 13, 2023, <https://www.tensorflow.org/js>.
25. Three.js – JavaScript 3D Library (n. d.). Retrieved February 29, 2024, <https://threejs.org>.
26. Turner, C. (2022). Augmented Reality, Augmented Epistemology, and the Real-World Web. *Philosophy & Technology*, 35(1), 19. <https://doi.org/10.1007/s13347-022-00496-5>.
27. Vakaliuk, T. A., & Pochtoviuk, S. I. (n. d.) (2021). Analysis of tools for the development of augmented reality technologies. AREdu 2021: 4th International Workshop on Augmented Reality in Education, 2898, 119–130. <https://ceur-ws.org/Vol-2898/paper06.pdf>
28. Wang, B., Zheng, H., Liang, X., Chen, Y., Lin, L., & Yang, M. (2018). Toward characteristic-preserving image-based virtual try-on network. In Ferrari V., Sminchisescu C., Weiss Y., & Hebert M. (Eds.), Lect. Notes Comput. Sci.: Vol. 11217 LNCS, 607–623. Springer Verlag; Scopus. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-01261-8\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01261-8_36).
29. Wang, T., Gu, X., & Zhu, J. (2022). A Flow-Based Generative Network for Photo-Realistic Virtual Try-on. *IEEE Access*, 10, 40899–40909. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3167509>.
30. Yang, Z., Chen, J., Shi, Y., Li, H., Chen, T., & Lin, L. (2023). OccluMix: Towards De-Occlusion Virtual Try-On by Semantically-Guided Mixup. *IEEE Transactions on Multimedia*, 1–12. Scopus. <https://doi.org/10.1109/TMM.2023.3234399>.

## VIRTUAL ONLINE GARMENT FITTING USING AUGMENTED REALITY

Mykola Lehkyi<sup>1</sup>, Liubov Zhuravchak<sup>2</sup>

Lviv Polytechnic National University, Software Engineering Department, Lviv, Ukraine

<sup>1</sup> E-mail: mykola.lehkyi.mnpzm.2022@lpnu.ua, ORCID: 0009-0008-3177-4507,

<sup>2</sup> E-mail: liubov.m.zhuravchak@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-1444-5882

© *Lehkyi M., Zhuravchak L., 2024*

In recent years, the number of accessories and headwear purchased on the Internet has been increasing, and at the same time, the percentage of product returns has not decreased. One approach to solving this problem is virtual fitting rooms. Accessibility to the online fitting system for accessories and headwear and the quality of fitting are important criteria for users. Existing systems for online fitting have shortcomings with occlusions, reflection of lighting and shadows, and the accuracy of reproduction of goods on a person in relation to the environment. The article is devoted to solving the problem of online fitting of accessories and headgear to a person with the appearance of shadows and lighting on a 3D model due to the use of neural networks. A method is proposed that simulates high-quality human stocking with a high number of frames per second, the ability to play from any device with a web browser, and low CPU and GPU requirements. The algorithm prototype has advantages compared to 2D counterparts: 3D lighting, dynamic change of its brightness, shadows, virtual environment and reduced occlusions. Created a virtual online fitting using augmented reality – MLight-VTON. It is noted that based on the proposed method and the Three.js library, trained TensorFlow.js models can be added to further improve tissue deformation and body segmentation.

**Key words:** augmented reality; accessories; virtual fitting; fitting room; hats.