

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Факультет комп'ютерних наук та кібернетики
Кафедра інтелектуальних програмних систем

Кваліфікаційна робота

За спеціальністю

121 Інженерія програмного забезпечення: програмна інженерія
на тему:

**АНАЛІЗ ФОТО ТІЛА ЛЮДИНИ І ПОБУДОВА
РЕКОМЕНДАЦІЙ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЗДОРОВ'Я І
ФІЗИЧНОЇ ФОРМИ**

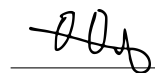
Виконав студент 4-го курсу
Олексій ОЛЕКСИШИН


(підпис)

Науковий керівник:
кандидат фізико-математичних наук, асистент
Костянтин ЖЕРЕБ

(підпис)

Засвідчую, що в цій роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань
Студент


(підпис)

Роботу розглянуто й допущено до захисту
на засіданні кафедри інтелектуальних
програмних систем
«__» _____ 2022р.,
протокол № __
Завідувач кафедри
Провотар О.І.

(підпис)

РЕФЕРАТ

Обсяг роботи 26 сторінок, 7 використаних джерел, 2 рисунки.

Ключові слова: АНАЛІЗ ФОТОГРАФІЙ, КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР, ВИЯВЛЕННЯ ПРОБЛЕМ З ЗДОРОВ'ЯМ, ВИЯВЛЕННЯ ТА АНАЛІЗ ФІЗИЧНИХ ВАД, ПОБУДОВА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ФІЗИЧНИХ АКТИВНОСТЕЙ

Об'єктом цієї роботи є програма, що дозволяє аналізувати тіло людини за фотографіями, виявляти вади та можливі проблеми з здоров'ям, аналізувати виявлені проблеми та деякі потрібні показники для рекомендацій фізичних вправ. Предметом роботи аналіз фотографій тіла, розрахунок показників які дозволяють робити висновки про стан здоров'я, а також сам їх аналіз.

Метою роботи було дослідження різних підходів до аналізу фізичного здоров'я людини по фотографіям, розрахунок важливих показників за допомогою комп'ютерного зору, аналіз 3D-моделей тіла з ціллю розробки рекомендацій фізичних вправ для виправлення чи покращення даних проблем. Дуже важливою є саме точність діагностування виявлених проблем та ефективність рекомендованих вправ.

Інструменти розробки програмного забезпечення: мова програмування Python (3.7), інтегроване середовище розробки PyCharm IDE 2022 (Professional edition for students) та багато допоміжних open-source бібліотек для спрощення процесу розробки та візуалізації результатів: numpy, keras, tensorflow, opencv аналізу тіла фотографій тіла людини, matplotlib для візуалізації проміжних результатів, та інші (повний список можна побачити у файлі requirements.txt практичної частини роботи).

У результаті виконання роботи було досліджено існуючі алгоритми виявлення проблеми з фізичним здоров'ям, розглянуті важливі показники та сигнали що допомагають при аналізі фізичної форми людини, розглянуті

методики та алгоритми рекомендацій фізичних вправ людям з певними фізичними вадами. Компонуючи розглянуті показники та критерії, був розроблений алгоритм визначення головних проблем людини. Розроблена програма дозволяє виміряти кожен з них, для того щоб його в подальшому могли проаналізувати спеціалісти, а також може рекомендувати потрібні фізичні вправи. Сама програма підтримує усі можливі платформи, на яких є інтерпретатор мови Python версії не нижче 3.7. Програма не містить графічного інтерфейсу користувача, адже це не було метою даної роботи, проте вона може бути легко інтегрована в потрібну систему як окремий сервіс.

В майбутньому планується розширення кількості показників які вміє аналізувати програма, покращення обраних в роботі моделей та співпраця з спеціалістами фізіологами для правильного тестування та покращення якості рекомендацій, які дає розроблена програма.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ | 5 |
| ВСТУП | 6 |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ФОРМИ ТІЛА ЛЮДИНИ | 8 |
| 1.1 Підхід на основі комп'ютерного зору. | 8 |
| 1.2 Тіло людини з точки зору "soft"біометрики. | 9 |
| 1.3 Тіло людини з медично-наукової точки зору. | 9 |
| 1.3.1 Індекс маси тіла. | 10 |
| 1.3.2 Площа поверхні тіла людини. | 11 |
| 1.3.3 Відсоток жиру в тілі. | 12 |
| 1.4 Новий підхід до аналізу форми тіла людини | 13 |
| РОЗДІЛ 2. ВІРТУАЛЬНИЙ ДАТАСЕТ ДЛЯ АНАЛІЗУ ФОР- МИ ТІЛА | 16 |
| 2.1 Семантика форми | 16 |
| 2.2 3D модель тіла та фреймворк для її створення. | 17 |
| 2.2.1 Генерація віртуальних (синтетичних) людей | 18 |
| РОЗДІЛ 3. АЛГОРИТМИ ЗНАХОДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФОРМИ ТІЛА ЛЮДИНИ. | 21 |
| 3.1 WBSA | 21 |
| 3.2 BFP | 22 |
| ВИСНОВКИ | 24 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ | 26 |

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

IDE – Integrated Development Environment, інтегроване середовище розробки;

CV – computer vision, комп'ютерний зір

ML – machine learning, машинне навчання

DL – deep learning, глибоке навчання

BMI – body mass index, індекс маси тіла

WBSA – whole body surface area, (повна) площа тіла людини

BFP – body fat percentage, відсоток жиру в тілі

MH – Makehuman, програма для створення 3d моделей тіла людини

VBSA – Visible body surface area, видима площа тіла людини

ВСТУП

Оцінка сучасного стану об'єкта розробки. Використання штучного інтелекту, зокрема нейронних мереж, є дуже поширеним у сучасних дослідженнях в сфері медицини, адже вони можуть революційно змінювати підхід до діагностики та лікування хвороб усіх видів. В даній сфері дуже важливою є точність, адже неправильне виявлення симптомів чи хвороб загалом можуть спричинити погані наслідки в лікуванні. Тому на розробці критеріїв, аналізі та виявленні та їх точному розрахунку зроблений величезний наголос, що дуже добре для даної роботи.

Використань отриманих результатів досліджень та аналізів є дуже багато, що дозволяє розвивати одразу безліч різних напрямків. В даній роботі розглянута сфера, для якої точність є відносно не такою критичною, як для інших напрямів, адже автор не володіє потрібною експертизою в медицині, що потрібна для покращення точності. Проте, в майбутньому можна покращити результати даної роботи співпрацюючи з медиками-спеціалістами в даному напрямку.

Актуальність роботи та підстави для її виконання. Протягом останніх років кількість людей з поганим фізичним станом тіла стає більшою через сидячий спосіб життя та роботи. Багато хто з них намагається ліквідувати ці проблеми роблячи фізичні вправи та займаючись спортом. Через високий темп життя і брак часу, не всі мають достатньо часу на повноцінні заняття спортом, а також часто не ефективно його використовують при заняттях спортом. Тому рекомендація ефективних вправ є дуже важливою та може сильно вплинути на здоров'я та фізичний стан багатьох, особливо якщо результати стають помітними значно швидше, ніж при звичайних заняттях.

Багато людей спираються на рекомендації лікарів та фізіотерапевтів, проте не всі мають час та можливість їх відвідати. Програма, що дозволила б надавати рекомендації такого ж рівня в домашніх умовах стала б дуже

корисною для таких людей.

Мета й завдання роботи. Розглянути критерії за якими визначаються та виявляються недоліки у фізичній формі тіла людини. Побудувати алгоритми виявлення даних неділіків за даними критеріями, аналізуючи фотографії тіла людини. Скомпонувати дані критерії для побудови системи рекомендацій фізичних вправ в залежності отриманих результатів аналізу. Розробити програму яка буде це робити.

Об'єкт, методи й засоби дослідження та розроблення. В процесі розробки проекту були дослідженні різні підходи до аналізу тіла людини, алгоритми які при цьому використовуються, методи аналізу отриманих результатів та їх класифікації, багато параметрів які впливають на результати досліджень тіла людини за фотографіями. Проведений аналіз можливостей таких систем задля комбінування показників та створення якнайточнішої програми для виявлення проблем. Окрім програмної частини, були розглянуті роботи та дослідження в суміжних галузях медицини та фізіології для кращого розуміння вибраної тематики та кращого аналізу отриманих результатів.

Взаємозв'язок з іншими роботами. Обрана галузь є предметом дуже багатьох робіт (наприклад [1]-[3]), адже обрана галузь є дуже важливою та цікавою, а її результати можуть добре впливають, а аноді навіть рятують життя людей. Прикладні результати роботи часто дуже легко застосувати на практиці і отримати від них значну матеріальну вигоду. Розглянуті в роботі методи вже використовують в багатьох напрямках медицини, проте для поставленої в роботі задачі не використовувалися.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ФОРМИ ТІЛА ЛЮДИНИ

1.1 Підхід на основі комп'ютерного зору.

Вимірювання характеристик людського тіла є дуже важливою, складною та старою темою досліджень, воно використовувалося при описі об'єктів для багатьох різних задач. В біометриці важливим є знаходження та вимірювання деяких характеристик для виявлення, ідентифікації та класифікації обраних якостей тіла. Нутриціоністи та фізики зацікавлені в показниках, які дають інформацію про стан здоров'я людини. Ергономісти та стилісти зацікавлені в вимірах розмірів тіла людини для створення аксесуарів, приладдя, одягу та комфортного інтер'єру. Для всіх цих науковців, як і для нашої роботи, важливою є компактна та надійна інтерпретація форми тіла людини як математичного об'єкта. Традиційні засоби для вимірів тіла і досі є дуже важливими у всіх сферах життя людини. Проте, не зважаючи на велику кількість метрик та підходів для опису форми тіла людини, компактний опис завжди був складною задачею через велику кількість поз які людина може приймати, велику кількість форм та, очевидно, ракурсів з яких на людину можна дивитися. Успішне та надійне вирішення даної складної нелінійної проблеми було б великим досягненням не лише для даної дисципліни, а й вплинуло б на весь світ, в якому стиль та вигляд є ледь не центром нашого життя. Зір людини може обробляти та аналізувати побачене за час значно менший, ніж якби це треба було зробити використовуючи інші системи чуття (слух, нюх, дотик чи смак). Ця надзвичайна можливість робить візуальну інформацію центром діяльності людини, проте одночасно і ускладнює систему візуального розуміння світу.

В зв'язку з зростанням значення візуальної інформації, область CV знала експоненціального росту в публікаціях та дослідженнях, що ще прискорюється в поєднанні з сучасними технологіями збереження та аналізу сигналів, немислимими 10 років тому. Більше того, ML це ще один напрям якому

технологічний прогрес сильно пішов на користь і який сприяє розвитку CV. Найновіші методи DL відіграють дуже важливу роль в розвитку та успіху методів CV.

1.2 Тіло людини з точки зору "soft" біометрики.

"Soft" біометрика [1] – анатомічна або поведінкова характеристика, за якою можна ідентифікувати людину, проте не нею не можна описати довільний предмет. Такими характеристиками є, до прикладу, гендер, етнічність, вік, ріст, маса, колір очей, шрами, татуювання. Вони зазвичай використовуються для того щоб доповнити традиційні характеристики "hard" біометрики (відпечаток пальця, "face id" , райдужна оболонка та інші). Ці характеристики не можливо застосувати в системах розпізнання людини та камерах дальньої зйомки, вони просто не помітні на знімках чи записах такого роду, тому тут приходять на допомогу "soft" характеристики.

Проте, "soft" характеристики приводять до іншої проблеми – точність та надійність виявлення. Комбінування кількох таких характеристик приводить до проблеми непостійності. Антропометричні характеристики можуть сильно відрізнятись у людей однієї вікової групи. Інша проблема – виразність. До прикладу, колір очей та шкіри не можна використовувати для розрізнення людей однієї етнічності. І насамкінець – час, зусилля та розмір тренувальної вибірки, потрібні для отримання достатньо точних результатів призводять до великої кількості помилок у вимірах. Необхідно вирішити дві великі проблеми, для того щоб використовувати "soft" біометрику на ряду з звичайними "hard" характеристиками. Перше – автоматичне та надійне виявлення "soft" ознак у людей ненав'язливим способом, при цьому не завдаючи їм дискомфорту. Цим ми будемо займатися в даній роботі. Друге – використання "soft" ознак разом із "hard" ознаками, це в даній роботі розглядатися не буде.

1.3 Тіло людини з медично-наукової точки зору.

В медицині тіло людини є центром усіх досліджень. Починаючи з культури Давньої Греції, Вітрувіанської людини Леонардо да Вінчі і до нинішніх

часів, композиція, функціональність та форма глибоко вивчалися. Частина сучасних досліджень стосується розуміння і боротьби з важливими хворобами. Сьогодні значна увага приділяється ролі форми тіла в розумінні, передбаченні та боротьбі з важливими хворобами.

Останніми десятиліттями фокус медичних та біомедичних досліджень був зміщений в бік життєво важливих ефективних інструментів діагностики, якими могли б користуватися усі лікарі. Часто ці засоби можуть використовуватися тільки в лікарнях спеціально навченим персоналом. Основні обмеження включають проблему планування частого аналізу з високою ймовірністю людської помилки, коли аналізи не повністю автоматизовані.

З вищезазначених причин медичне товариство шукає швидкі та надійні методи скринінгу, які можуть працювати в незалежних умовах, з меншим втручанням спеціалізованих, дорогих лікарів. Одним з підходів є визначення простих для обчислення показників, які відображають основні стани здоров'я. Лікарі та дієтологи використовували загальні показники для визначення маси тіла людини та співвідношення жиру. Менш традиційні заходи були використані в інших галузях, таких як фармакологія, для оцінки результатів прийому препаратів [2], а нещодавно і для прогнозування смертності [3].

1.3.1 Індекс маси тіла.

Індекс маси тіла (ВМІ – *body mass index*) – первинна характеристика при виявленні ожиріння. Рахується він як відношення маси тіла людини до квадрату висоти:

$$BMI = \frac{Weight_{kg}}{Stature_m^2} \quad (1)$$

ВМІ не є ідеальним показником, оскільки він безпосередньо не оцінює жир в організмі. М'язи та кістки мають більшу густину, тому атлети або мускулісті люди будуть мати високий ВМІ, не маючи при цьому ожиріння. Але більшість людей не є атлетами тому для них цей індекс буде чудово оцінювати кількість жиру в тілі. Дослідження показують, що цей показник

корелює з найкращими методами вимірювання кількості жиру [4]. І це дуже простий показник за яким можна легко дізнатися на скільки людина схильна до зайвої ваги та супутніх проблем з здоров'ям. Інтерес до індексу для вимірювання кількості жиру в організмі прийшов зі збільшенням кількості людей з ожирінням в процвітаючих західних суспільствах. Деякі дослідники стверджують, що ця помилкова і надмірно редуційна міра спотворює результати дослідження в галузі охорони здоров'я. Протягом багатьох років критики ВМІ стверджували, що за допомогою нього не вдається розрізнити худу і жирову масу (м'язистих людей часто неправильно класифікують як людей з зайвою вагою або з ожирінням). Ця міра ігнорує розподіл жиру в організмі, що важливо враховувати у питаннях ризику для здоров'я.

1.3.2 Площа поверхні тіла людини.

Точне визначення площі площі поверхні тіла людини (WBSA) – одна з тем, яка активно вивчається протягом останнього століття. Від початкових оцінок Дю Буа в 1916 р. [4] до нещодавніх робіт, і, незважаючи на багато критики, індекс WBSA привернув велику увагу, зумовлену перш за все різноманітністю його застосувань. Для багатьох клінічних цілей WBSA є кращим показником метаболічної маси, ніж маса тіла, оскільки на нього менше впливає аномальна жирова маса. WBSA використовується головним чином у фармакології для оцінки дозування ліків, оскільки вона пропорційна швидкості поглинання. WBSA використовується в медицині щоб допомогти визначити норми дозування та стратегії для протипухлинних препаратів та оцінку дози опромінення. Нирковий кліренс зазвичай поділяють на BSA, щоб отримати оцінку правильноого необхідного рівня клубочкової фільтрації. WBSA також використовується для кількісної оцінки ділянок опіків шкіри. Оцінка площі обпеченої поверхні тіла є незамінною оцінка того, чи потрібна пацієнту госпіталізація для внутрішньовенної рідинної реанімації.

Ми вважаємо, що **WBSA у поєднанні з методами комп'ютерного зору може успішно подолати звичайні проблеми з ВМІ, а саме не-**

можливість охопити розподіл маси тіла, а також нездатність розрізнити м'язову та жирову масу.

Однак, вимірювання WBSA це складна задача, пов'язана з оцінкою поверхні складного тривимірного об'єкта. WBSA як міра площі поверхні, на відміну від BMI, є фізичним атрибутом. Цей факт є важливим, оскільки WBSA можна виміряти безпосередньо за допомогою методів комп'ютерного зору, замість оцінки за допомогою пари ваги та зросту.

Історично, єдиний простий спосіб отримати цей показник (WBSA) — це за допомогою деяких емпіричних формул, які враховують лише два параметри людського тіла (масу тіла та зріст). Велика різноманітність форми тіла, композиція тіла та раса роблять використання фіксованої формули дуже сумнівним. Проте багато науковців зробили наголос у своїх дослідженнях саме на цьому. Серед інших найновіших підходів є використання прямих вимірювань за допомогою тривимірного (3D) сканера всього тіла. Проблема в тому що такі сканери дорогі самі по собі та дорогі в експлуатації, що обмежує їх доступність для користувачів. Аналіз проблем таких підходів можна знайти в [5].

Знаходження способу автоматичного вимірювання WBSA, який був би точним, дешевим, надійним і зручним, все ще залишається невирішеним фундаментальним завданням.

1.3.3 Відсоток жиру в тілі.

Відсоток жиру в організмі (BFP) є мірою рівня фізичної підготовки і є одним з небагатьох вимірювань який може виміряти відносний склад тіла людини незалежно від зросту чи ваги. BFP людини або тварини — це загальна маса жиру ($Weight_{fat}$), поділена на загальну масу тіла ($Weight_T$). Жир в організмі включає необхідний жир і накопичений запасний жир.

$$BFP(\%) = \frac{Weight_{fat}}{Weight_T} \quad (2)$$

Основний жир необхідний для підтримки життя і репродуктивних функцій. Відсоток необхідного жиру для жінок більше, ніж для чоловіків через вимоги виношування дитини та інші гормональні функції. Відсоток незамінних жирів у чоловіків становить 3–5%, а у жінок – 8–12%. Зберігання жиру складається з накопичення жиру в жировій тканині, частина якої захищає внутрішні органи грудної клітки та живота. Мінімальний рекомендований загальний жир в організмі відсоток перевищує зазначене вище значення відсотка необхідного жиру.

Існує ряд методів для визначення відсотка жиру в організмі, таких як вимірювання штангенциркулем, підводне зважування, плетизмографія з витісненням повітря всього тіла, яке також називають BodPod, ближня інфрачервона взаємодія або за допомогою аналізу біоелектричного імпедансу. Існують також деякі антропометричні методи для оцінки жиру, часто з використанням формули залежності розмірів тіла до щільності. Ці методи поступаються прямим вимірюванням щільності тіла та застосування лише однієї формули для оцінки відсотка жиру в організмі. Одна із переваг цих методів полягає в тому, що вони втрачають точність, натомість досягаючи зручності, оскільки набагато зручніше зробити кілька вимірювань тіла, ніж занурювати людину повністю у воду.

Головна проблема всіх статистично отриманих формул полягає в тому, що для масово застосування, вони мають базуватися на широкій вибірці осіб. Ідеальний метод статистичної оцінки для індивіда базується на вибірці серед подібних за параметрами та характеристиками осіб.

1.4 Новий підхід до аналізу форми тіла людини

У цьому розділі ми представили деякі проблеми, пов'язані з виміряти людського тіла, "soft" біометрією, і медичною наукою. Ми знайшли в цих проблемах деякі спільні підстави, щоб зробити висновок що можна застосувати унікальний підхід. Ми також зрозуміли, що є місце для нового уявлення та методу аналізу людського тіла. Основним для нашого підходу є використа-

ння методів CV та ML, а також останні інновації в пристроях для отримання даних. Зокрема, поточні підходи, керовані даними, демонструють чудову продуктивність і більшу надійність результати порівняно з модельним підходом.

Однією з ключових проблем аналізу форми тіла є відсутність відповідних наборів даних для масштабованого аналізу. Очікується, що відповідний набір даних відповідатиме деяким ключовим критеріям:

- Датасет включає в себе точні вимірювання, а також пов'язані 2D/3D дані (можливо фото)
- Достатньо велика кількість особин
- Величезна різноманітність у вибірці що формує набір даних
- Він має бути у вільному доступі

Незважаючи на тенденцію в CV, де кількість даних зростає в геометричній прогресії, інші галузі зазнали лише помірні або обмежені зростання. Причини в основному пов'язані з характером даних: 3D-дані все ще дорого отримувати і зберігати, а процес маркування повільний і дорогий. На даний момент датасетів які відповідають даним критеріям все ще немає (або такі нами не були знайдені). Датасет даних CAESAR [6] частково відповідає цим критеріям. CAESAR 3D, який складається з вимірювань і тривимірної сітка тіла людини використовується для такого аналізу, але не безкоштовно, вартістю 10 000 доларів США і містить лише 2300 осіб.

Щоб подолати проблему з обмеженою кількістю даних, ми вирішили використовувати синтетичні дані у вигляді сітчасті моделей. Зокрема, ми створили віртуальне середовище, здатне генерувати віртуальні предмети, з критичною можливістю контролювати процес генерації. Ця особливість дозволяє створити новий набір даних, що складається з «віртуальних» суб'єктів з антропометричними вимірюваннями, що нагадують популяцію справжніх людей. Тим не менш, віртуальне середовище дозволяє контролювати інші

істотні аспекти нових зразків, як-от автоматичне маркування "досліджуваних". У розділі 2 ми представляємо новий набір даних, що складається з віртуальних суб'єктів, а також нове гнучке контрольоване середовище для автоматичного маркування. Ми доводимо корисність нового набору даних, проектуючи систему комп'ютерного зору для оцінки WBSA з однієї точки зору. Конкретний підхід, розроблений у розділі 3 унікальний і інтуїтивно досить зрозумілий, але ховає в собі добре відому проблему комп'ютерного зору: оцінку площі поверхні нетвердого тривимірного об'єкта (тіла) з одного виду.

РОЗДІЛ 2. ВІРТУАЛЬНИЙ ДАТАСЕТ ДЛЯ АНАЛІЗУ ФОРМИ ТІЛА

2.1 Семантика форми

У цьому розділі ми зосередимося на генерації значущих даних, для яких семантична інформація є найціннішим аспектом. Семантика (в нашому випадку це значення чи функціональність) досі не була важливою частиною даних для аналізу форми тіла людини. Це частково зумовлено браком методів для автоматичного виявлення семантичного вмісту інформації з оцифрованих форм тіл, також відомого як семантична анотація. Розвиток досліджень моделювання форм останніми роками був сфокусований більше на шеометричних аспектах форм. Основна перевага створення віртуального набору даних — це можливість пов'язувати важливі семантичні функції зі згенерованими даними. Ця особливість дозволить нам у наступних розділах розробити потужні методи, здатні «навчитися» функціям та концепціям зазвичай недоступним або таким що важко описати в реальних даних. Коли ми кажемо про семантику пов'язану з людським тілом, ми можемо визначити різні рівні ознак, для різних застосувань.

Через характер нашого дослідження нас цікавлять усі величини та якості предмета, які впливають на зовнішній вигляд. Таким чином, кількість ознак може бути досить великою, оскільки людське тіло може приймати різні форми залежно від віку, статі, раси, стану здоров'я та пози тіла. Хоча була проведена значна робота щодо зниження складності аналізу форми тіла, уявлення про людське тіло досі залишається відкритою проблемою. Підхід, який здається найбільш перспективним, полягає у використанні параметричної моделі, яка може описати тіло за допомогою набору параметрів. Ці параметри можна розглядати як багато семантичних ознак (антропометричні вимірювання) або як окремі ознаки, коли набір параметрів визначає предмет, наприклад як товстий, чи худий. У нашому підході ми використовуємо пара-

метричну модель для визначення кожного предмета. Тоді графічний движок створить остаточну сітку з урахуванням параметрів моделі та даних пози тіла. Тут ми більше зосереджуємось на аналізі форми без руху, що є найпоширенішою ситуацією в умовах клінічних аналізів. Однак цю саму структуру можна використовувати для відстеження та аналізу предметів в різних позах.

2.2 3D модель тіла та фреймворк для її створення.

Makehuman (МН) — програма для комп'ютерної 3D-графіки з відкритим вихідним кодом, призначена для створення прототипів фотореалістичних гуманоїдів для використання в тривимірній комп'ютерній графіці. МН використовує переваги технології 3D-морфінгу. Починаючи з середньої людської базової сітки, її можна перетворити на велику різноманітність персонажів (чоловіків, жінок, африканців, європеїдів, азіатів, дорослих, дітей тощо) з використанням лінійної інтерполяції різних цільових моделей. За допомогою цієї техніки можна відтворити різних персонажів з дуже різними формами тіла. Модель має два типи параметрів:

- **макро параметри:** зріст, вага, стать, етнічність, мускулистість (порція жиру та м'язів)
- **мікро параметри:** розміри частин тіла (торсу, грудної клітини, живота тощо)

Макро та мікропараметри складають набори параметрів, які визначають кожного суб'єкта. МН спеціально розроблений для моделювання віртуальних людей як персонажів у віртуальній реальності та іграх, з простою і повною системою поз, яка включає моделювання м'язового руху. Параметризована модель і надзвичайна простота створення персонажів роблять МН зручним інструментом для нас. Проте наша мета — створити цілу популяцію з тисяч або більше осіб з деяким заданим статистичним розподілом. Для реалізації цього завдання МН не можна було використовувати безпосередньо, оскільки він був створений для проектування ігрових персонажів по одному.

Щоб подолати це обмеження, ми розробили програму, яка зможе скористатися перевагами графічного движка MN.

2.2.1 Генерація віртуальних (синтетичних) людей

MakeHuman раніше використовувався для створення набору даних реалістичних людських тіл. Головні застосування були в поколінні людської популяції для пристосування до ліжка, для навчання "random forest" у системі комп'ютерного зору, та при позиціонуванні камери. Проте, всі ці роботи, не представляють ефективної техніки для створення сукупності суб'єктів з дисперсією параметра, подібною до реальної сукупності.

Оскільки набір даних, який ми хочемо згенерувати дуже великий, то нам довелося робити генерацію використовуючи скрипт, який використовує Make human для створення моделей та зберігає їх. При цьому "soft" характеристики, яким має відповідати згенерована людина ми задавали наперед, зберігаючи потрібний розподіл по кожному з них серед усього датасету.

Ми створили два датасети з різними параметрами:

- повністю випадковий датасет з випадковими характеристиками у згенерованих людей, розмір 20000 моделей
- датасет на основі статистики NHANES, розмір 12500 моделей

Датасет на основі NHANES.

Цей віртуальний набір даних має на меті імітувати реальну людську популяцію для досліджень з оцінки стану здоров'я. Оскільки є дуже багато наборів даних із вимірюваннями частин тіла, ми вирішили використати ці вимірювання для побудови відповідної сітки віртуальних суб'єктів. Ми використовуємо предметні вимірювання, доступні в National Health and Nutrition Survey III [7] (вік 10-85 років). Використавши виміри тіла від NHANES ми створили відповідний набір макро- та мікропараметрів для нашої моделі, а потім трикутні сітки та таблицю виміряних параметрів. Параметри, які використовуються для генерації: стать, вік, зріст, раса, розмір грудей, висота

гомілки, довжина плеча, окружність плеча, окружність стегна і окружність талії.

Фактично, аналізуючи набір даних NHANES, ми виявляємо, що багато людей дуже схожі, і ми не могли отримати більшої неперервної варіації форми. Зауважимо, що фізичні вимірювання, отримані як вихідні вимірювання, є реальними значеннями в сантиметрах, і це частина значень, що зберігаються у вихідній таблиці.

Датасет на основі випадкових даних.

Датасет на основі даних NHANES спрямований на імітацію реального населення. Однак фактичні дані часто надходять у вигляді суб'єктів із випадковою статистикою, що може мати інший розподіл. Такі дані можуть бути дуже складними, тому що людей з такими параметрами насправді може не існувати. Тому ми вирішили створити більший датасет з випадково згенерованими характеристиками.

Наводимо порівняння отриманих датасетів за деякими з характеристик:

| | NHANES | Random |
|---------------------|--------|--------|
| Всього | 12500 | 19995 |
| Чоловіки | 6348 | 10049 |
| Жінки | 6152 | 9946 |
| Діти (до 15) | 4123 | 5786 |
| Дорослі (від 15) | 8377 | 14209 |
| Низькі (до 130см) | 3172 | 14209 |
| Середні (130-200см) | 9213 | 12449 |
| Високі (>200см) | 76 | 4612 |
| Вік | 10-85 | 12-70 |
| Середній WBSA | 137 | 167 |
| Відхилення WBSA | 51 | 66 |

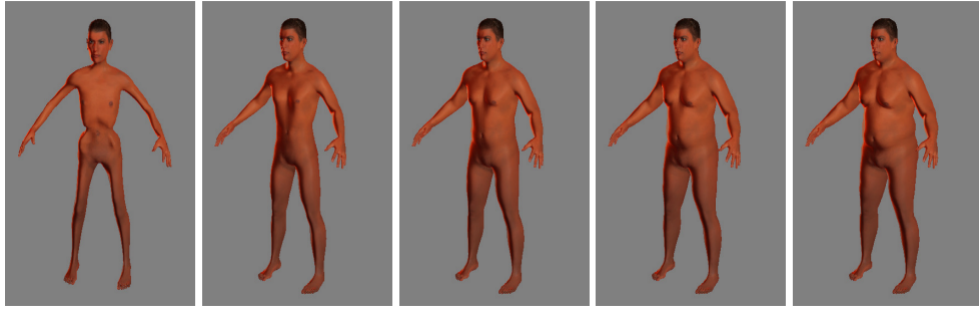


Рис 1. Приклад моделей чоловіків з різними характеристиками



Рис 2. Приклад моделей жінок з різним характеристиками

РОЗДІЛ 3. АЛГОРИТМИ ЗНАХОДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФОРМИ ТІЛА ЛЮДИНИ.

3.1 WBSA

Для визначення WBSA ми будемо рахувати VBSA – Visible Body Surface Area, тобто видиму площу тіла людини. Її за фотографією тіла знайти дуже просто, але не так просто знайти відношення між WBSA та VBSA. Для цього ми використаємо статистичні методи.

Ми будемо аналізувати знімки тіла людини з різних ракурсів. Використаємо кілька фото з різних кутів відносно осі обертання навколо вертикалі тіла людини. Виберемо точку зору спереду людини, як точку відліку кута, назвемо цей кут θ . Азимут відносно тіла людини по вертикальній осі назвемо ϕ . Будемо рахувати VBSA для різних пар значень (θ, ϕ) . Після попереднього аналізу ми зрозуміли, що для вирішення нашої задачі знаходження залежності WBSA та $VBSA(\theta, \phi)$ підійде метод лінійної регресії.

Отже, будемо шукати WBSA за формулою:

$$WBSA = a(\theta, \phi)VBSA(\theta, \phi) + I(\theta, \phi) \quad (3)$$

При цьому, для знаходження WBSA по фото, нам доведеться робити кілька фотографій людини для різних пар (θ, ϕ) , рахувати для кожної з них площу видимої поверхні тіла а потім підставляти у формулу (3). Для зручності використання у роботі ми будемо використовувати значення $\phi = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$, та $\theta = -45^\circ, 0^\circ, 45^\circ$. На перший погляд, це буде не дуже зручно для користувача робити такі фото, проте, на нашу думку, завдяки вдалому ці/их це можна зробити не таким вже й складним. В даній роботі ми таку задачу не ставили, але можливість реального використання розроблених алгоритмів для нас є дуже важливим.

Для уникнення перенавчання ми використали метод k-fold кросвалідації. Оскільки у нас достатньо великий датасет, то ми використали $k = 10$,

тобто навчали на наборах по 10 елементів. При цьому обиралися спеціально моделі людей з різними "soft" характеристиками, різного росту, маси, статі, національності, етнічності, фактури і т.д.

Для перевірки того що VBSA та WBSA справді корелюють і наша робота дає достатньо точні виміри, ми розрахували коефіцієнт кореляції рангу Спірмена. Отриманий результат:

$$\rho = 0.9992 \quad (4)$$

Це означає що дана залежність справді має місце і підтверджує нашу гіпотезу.

3.2 BFP

Для визначення BFP нам доведеться використати нейронні мережі. Для цього також треба зробити попередню обробку, адже фото тіла людини не можна просто так передати в нейронну мережу для навчання.

Для початку для фотографії тіла людини ми застосуємо feature extraction, тобто виділимо потрібні нам ознаки на тілі людини. Далі застосуємо метод siHKS (scale invariant Heat Kernel Signature). Ці методи реалізовані в бібліотеках CV, які ми використовували, та є дуже поширеними в даній галузі. Вже по отриманим даним ми зможемо судити в яких місцях тіла людини у неї опуклі частини, а де впуклі. Це ближче до того що нам, власне, потрібно. Після цього, застосувавши метод k-середніх для кластеризації, ми вже зможемо навчати нейронну мережу.

Для зручності ми будемо поділяти статуру на худу (W0), середню (W1) та товсту (W2). Це не зовсім стандартний поділ, проте він дуже зрозумілий так зручний для аналізу. При цьому результатом аналізу фото буде число, яке буде показувати на скільки близько людина до тієї чи іншої категорії.

Класифікувати ми будемо використовуючи також відомий та поширений метод SMV (support vector machine – метод опорних векторів) класифі-

кації. Ми поділили весь датасет на навчальну та тестову вибірку: навчальні 2/3 усіх, тестова 1/3.

Результати навчання мережі:

| Результати | Чоловіки | | Жінки | |
|-------------------------------------|----------|--------|--------|--------|
| | W0-W1 | W1-W2 | W0-W1 | W1-W2 |
| Всі статури та всі вікові категорії | | | | |
| Точність | 71.93% | 77.19% | 84.93% | 86.32% |
| Ріст > 140, вік > 15 років | | | | |
| Точність | 95.49% | 96.39% | 89.74% | 89.10% |

Як бачимо, на загальній тестовій вибірці результат добрий, біля 80 % в середньому. Проте, цікавим є те, що для дорослих людей не дуже низького зросту результати вимірювання ще кращі, біля 95 % для чоловіків та 90 % для жінок.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання роботи були досліджені методи діагностики та визначення проблем людини з фізичною формою тіла, проблем з зайвою вагою та ожирінням. Були розглянуті головні показники що дозволяють з певного боку кількісно та якісно оцінити фізичну форму тіла та параметри форми тіла. Також ми оцінили якість та порівняли вибрані критерії для того щоб результат нашої роботи був якомога кращим.

На основі розглянутих критеріїв були розроблені алгоритми їх розрахунки за фотографіями тіла людини. Для цього ми використали як статистичні алгоритми, так і методи машинного навчання та комп'ютерного зору.

При дослідженні залежностей ми зрозуміли, що існуючі датасети не підходять для обраної задачі. Саме тому ми згенерували потрібний датасет власноруч використавши існуючий інструмент 3D моделювання тіла людини Make human. Він відповідає усім вимогам які були нами поставлені, володіє широкою різноманітністю за багатьма характеристиками. Це дозволить отримувати точні результати роботи розроблених алгоритмів для людей усіх етнічностей, комплекцій, віку та ін. Для описаних алгоритмів були порашовані їх точності вимірювань на основі тестової вибірки датасету.

На основі цих алгоритмів були побудовані програми, що за фотографіями людини можуть визначати обрані параметри. Нажаль, розглянутих двох параметрів ще не достатньо щоб зрозуміти повністю ситуацію з фізичним здоров'ям людини. Проте, маючи готові визначені ці характеристики можна вже спростити прийом у лікаря та пришвидшити діагностику. Головною проблемою є відсутність алгоритмів визначення потрібних параметрів тіла людини, що потрібні для сформування остаточних рекомендацій фізичних вправ. Для кожного з них потрібен свій підхід у визначенні, на дослідження кожного треба витратити дуже багато часу.

В майбутньому ми плануємо розширити кількість параметрів тіла лю-

дини, які будуть використовуватися для аналізу; розробити алгоритми розрахунку для усіх них та вже на основі отриманих результатів багатьох критеріїв формувати рекомендації щодо фізичних вправ.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- [1] Stan Z. Li and Anil Jain. *Encyclopedia of Biometrics*. Springer US, Boston, MA, 2009.
- [2] D Du Bois and E F Du Bois. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known, 1916. *Nutrition*, 5(5):303–311, 1989
- [3] Syed Ashiqur Rahman and Donald Adjeroh. Surface-based body shape index and Its relationship with all-Causeuse mortality. *PloS one*, 10(12):e0144639, 2015.
- [4] D Gallagher, M Visser, D Sepulveda, R N Pierson, T Harris, and S B Heymsfield. How useful is body mass index for comparison of body fatness across age, sex, and ethnic groups? *Am. J. Epidemiol.*, 143(3):228–239, feb 1996.
- [5] C. Y. Yu, C. H. Lin, and Y. H. Yang. Human body surface area database and estimation formula. *Burns*, 36(5):616–629, Aug 2010.
- [6] K M Robinette, H Daanen, and E Paquet. The CAESAR project: a 3-D surface anthropometry survey. *In 3-D Digital Imaging and Modeling, 1999. Proceedings. Second International Conference on.* pages 380–386, 1999.
- [7] Centers for Disease Control and Prevention (CDC). National Center for Health Statistics (NCHS). National Health and Nutrition Examination Survey Data., 1999-2013.