УДК 004.9

Захарчук М.Д.,
Ліщинська Л.Б.

АВТОМАТИЗОВАНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КЛЮЧОВИХ ТОЧОК АНТРОПОМЕТРІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті представлено метод автоматизованого визначення ключових точок антропометрії за допомогою тривимірного моделювання, що дозволяє з високою точністю ідентифікувати головні точки антропометрії на поверхні 3Д моделі людини.

Ключові слова: антропометрія, тривимірне моделювання, 3D-сканування, точка антропометрії, антропометричні дані, , SMPLX.

Abstract

The article presents a method for automated determination of key anthropometry points using three-dimensional modeling, which allows to identify the main anthropometry points on the surface of a 3D human model with high accuracy.

Keywords: anthropometry, three-dimensional modeling, 3D scanning, anthropometry point, anthropometric data, , SMPLX.

Вступ

Сучасний етап розвитку технологій вимагає постійного вдосконалення методів аналізу та вимірювань, зокрема в області антропометрії.

Антропометрія – це наука, що вивчає фізичні розміри та форми людського тіла. Вона використовується для вимірювання, аналізу та інтерпретації різноманітних параметрів тіла, таких як довжина, ширина, об'єм та інші анатомічні показники.

Основні антропометричні показники включають лінійні та об’ємні вимірювання людського тіла. До лінійних параметрів належать зріст, довжина рук, відстань від потилиці до тазового суглоба та від таза до колінного суглоба. Об’ємні показники охоплюють обхвати голови, шиї, грудної клітки, талії, стегон, зап’ястя, біцепса та гомілки [1].

Традиційні методи антропометрії, хоча і залишаються важливими, часто обмежені двомірними підходами та недостатньою деталізацією. Вони включають в себе використання стрічок, лінійок, кліперів та інших інструментів для вимірювання різних параметрів тіла. Однак ці методи мають деякі недоліки, такі як обмежена точність, низька швидкість, можливість помилок вимірювань через людський фактор та важкість вимірювання певних параметрів. У цьому контексті, використання тривимірних сканерів, здатних реєструвати геометричні особливості тіла в тривимірному просторі, стає дедалі більш поширеним.

Метою дослідження є підвищення точності і швидкості антропометричних вимірювань, забезпечення відповідності їх міжнародним стандартам.

Використання 3D-моделювання для автоматизованого визначення точок антропометрії

Розвиток цифрових методів аналізу сприяв інтеграції 3D-сканування в антропометрію, що дозволяє отримувати детальні цифрові копії тіла людини з високою точністю. Тривимірні моделі людини є найреалістичнішими, відображають анатомічну структуру, точно передають рельєфні та кольорові особливості об’єкта, підлягають модифікації для зміни зовнішності. 3D-модель людини є багатофакторним джерелом інформації про пацієнта, дозволяє істотно знизити необхідний обсяг взаємодії з користувачем порівняно з існуючими методами [2].

Однак, однією з ключових проблем є необхідність ідентифікації антропометричних точок на поверхні 3D-моделі, що є критичним для медичних застосувань, де навіть невелика похибка може призвести до неправильних діагностичних висновків. У зв’язку з цим актуальним є розроблення нового методу автоматизованого визначення антропометричних точок на основі даних тривимірного моделювання.

Для визначення антропометричних параметрів використовують 3D-сканери (боді-сканери) для оцифровки тіла. Це дає можливість створювати в 3D просторі модель тіла людини на повний зріст, а також окремих частин тіла: рук, ніг, голови, тощо. Для цього виконується множина кадрів і збірка кадрів в одне зображення, на основі якого створюється оцифрована 3Д-модель тіла людини [3].

Для визначення точок антропометрії на основі тривимірної моделі людини необхідно розробити метод, який апроксимує реальні антропометричні точки на поверхні тривимірної моделі. Для цього, необхідно визначити позиції точок антропометрії відповідно до прийнятий міжнародних стандартів, таких як ISO 7250 та ASTM F1930. Дані стандарти дозволять ідентифікувати положення точок антропометрії на тривимірній моделі незалежно від віку, статі та пози моделі людини. На рисунку 1 зображено розміщення основних точок антропометрії.

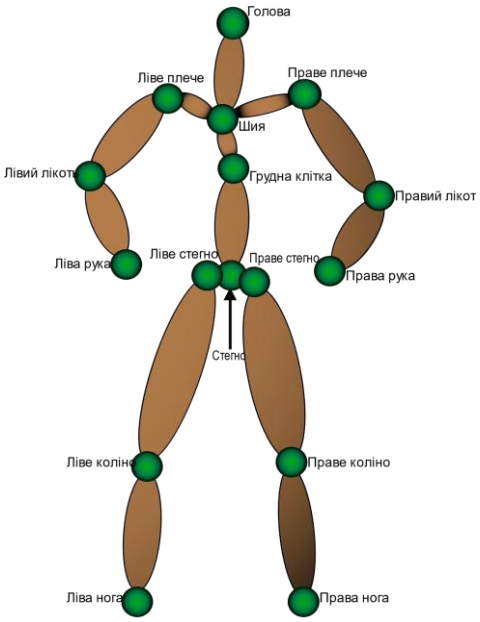


Рисунок 1 – Розміщення точок антропометрії на 3Д моделі тіла людини

Програмне забезпечення для ідентифікації антропометричних точок

Один із ключових аспектів розробки методів автоматизованого визначення антропометричних точок на основі тривимірного моделювання полягає у створенні ефективного програмного забезпечення, що здатне обробляти великі масиви тривимірних даних, здійснювати аналіз геометричних параметрів і виконувати складні обчислення у реальному часі. Реалізація таких алгоритмів потребує ретельного проектування інструментального програмного забезпечення, що включає вибір оптимальних структур даних, побудову ефективних алгоритмів обробки 3D-моделей та розробку інтерфейсу для взаємодії з користувачем.

Значну роль у розробці відіграє модульна структура програмного забезпечення, що дозволяє забезпечити масштабованість та зручність модифікації окремих компонентів системи. Впровадження алгоритмів комп’ютерного зору та методів машинного навчання для ідентифікації антропометричних точок вимагає гнучкої архітектури, яка підтримує інтеграцію нових функцій та можливість оновлення алгоритмів аналізу.

Програмне забезпечення буде спроможне зчитувати дані з тривимірних моделей форматів .obj та .pkl. Дані формати тривимірних моделей дозволяють виконувати зчитування координат усіх точок, що формують тривимірну модель. Наступним кроком програмне забезпечення буде формувати хмару точок відтворення поверхні тіла людини. Після завершення цього процесу буде виконуватися тріангуляція тривимірної моделі – це метод побудови 3Д моделі на основі базових точок, де базові точки розміщуються таким чином, що вони утворюють взаємопов'язану систему трикутників.

При виконанні тріангуляції для планування поверхні S дуже важливим є принцип розташування трикутників. Найчастіше використовується принцип екстремумів, коли вершини трикутників

визначаються найвищою і найнижчою точками в найближчій області, попередньо визначаючи максимальну відстань між точками [4].

Антропометричні виміри знімаються за допомогою розрізів по периметру тривимірної моделі тіла людини, вимірів проміжних антропометричних точок та кореляційних ліній. Після обробки даних отримують тривимірні дані з трьома рівнями роздільної здатності - найнижча роздільна здатність (~26 000 точок), найвища роздільна здатність (~70 000 точок) та 3D модель тіла людини. У кожному файлі отримуються два типи параметрів: - значення x, y і z 3D-координат (позначені літерою v), - послідовність з'єднання трикутників (позначена літерою f). Координати точок поверхні тіла, отримані при скануванні, використовуються для розробки 3D моделі. Файл з координатними параметрами зберігається і створюються підфайли для визначення координат точок і положення трикутників.

Після цього система циклічно зчитує положення точок, послідовність і відстані трикутників і розміщує точки. З розміщених точок збирається поверхня моделі і створюється індивідуальна тривимірна модель тіла людини.

У програмне забезпечення було додано інформацію про антропометричні точки та міжнародні стандарти проведення антропометричних вимірювань. Дана інформація містить дані про кожну точку антропометрії, з якими суглобами вона пов'язана та як знайти її. Усі точки знаходяться на певній відстані від суглобів, так як суглоби є основними анатомічними орієнтирами на тривимірній моделі. Після завантаження інформації про точки антропометрії, необхідною задачею стає знаходження цих точок шляхом обрахування відстані.

Для знаходження позиції суглобів на тривимірній моделі було вирішено використовувати алгоритми комп'ютерного зору та імплепентувати алгоритм SMPLX, що дозволить знаходити позиції та точні тривимірні координати суглобів.

Алгоритм ідентифікації точок антропометрії

Для знаходження точок антропометрії у тривимірному просторі пропонується виконувати зчитування трикутників послідовно. Кожна вершина трикутника має відомі координати x, y та z. Для кожного трикутника обчислюються необхідні дані (довжина ребер, кути). Наступним кроком, координати перетворюються у хмару точок. Знаючи координати вершин можна обрахувати довжини сторін трикутника, висоту, косінуси кутів.

Для апроксимації точок антропометрії на поверхні тривимірної моделі використовується метод найближчих точок. Нехай P_i – антропометрична точка, яку необхідно визначити, Q_j – точка на поверхні тривимірної моделі. Тоді відстань між P_i та Q_j обчислюється за допомогою евклідової відстані:

$$d(P_i, Q_j) = \sqrt{(x_{P_i} - x_{Q_i})^2 + (y_{P_i} - y_{Q_i})^2 + (z_{P_i} - z_{Q_i})^2}$$

Наступним кроком, виразимо координати P_i – точки антропометрії, при умові, що Q_j – це відома точка суглобу на тривимірній моделі, а $d(P_i,\ Q_j)$ – відома відстань, отримана з міжнародних стандартів антропометрії. Виведемо формулу, що буде знаходити координати точки P_i. Для цього використаємо формули для визначення трьох координат $(x_{P_i}, y_{P_i}, z_{P_i})$.

$$x_{P_i} = x_{Q_i} + \sqrt{d(P_i, Q_j)^2 - \left(y_{Q_i}\right)^2 - (z_{Q_i})^2}$$

$$y_{P_i} = x_{Q_i} + \sqrt{d(P_i, Q_j)^2 - \left(x_{Q_i}\right)^2 - (z_{Q_i})^2}$$

$$z_{P_i} = x_{Q_i} + \sqrt{d(P_i, Q_j)^2 - \left(x_{Q_i}\right)^2 - (z_{Q_i})^2}$$

Отже, було виконано розробку методів визначення точок антропометрії на тривимірних моделей тіла людини з використанням тривимірного моделювання. Було отримано формули та методики, що дозволяють визначити позиції та координати точок антропометрії, використовуючи засоби тривимірного моделювання. Розроблені методи базуються на інформації міжнародних стандартів та дозволяють визначити основні точки, що необхідні для антропометричних вимірювань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Романюк О. Н., Захарчук М. Д., Снігур А. В., Коваль Л.В., Михайлов П. І., Чехмейструк Р. Ю. Використання тривимірного моделювання для визначення масо-вагових характеристик людини по її антропометричним параметрам/ Прикладні питання математичного моделювання т. 4, № 2.1, 2021. С.188-199.
2. Романюк О.Н., Бажан В.М., Захарчук М.Д. , Романюк О.В., Коробейнікова Т. І. Комп'ютерні програми для медичного діагностування за зовнішніми ознаками людини. Сучасна наука: проблеми та перспективи (частина ІІ): матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції м. Київ, 12-13 січня 2022 року. Київ: МЦНіД, 2022. С. 64-66.
3. Романюк О. Н., Захарчук М. Д., Коробейнікова Т. І. Використання тривимірної графіки у медичній галузі // Матеріали молодіжної науково-практичної інтернет-конференції студентів аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2020)» : збірник матеріалів. Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 112-115.
4. Романюк О.Н.,Захарчук М.Д., Чехместрук Р.Ю., Романюк О.В., Коробейнікова Т.І. Визначення векторів нормалей у довільній точці трикутника. Актуальні проблеми сучасної науки та освіти (частина І): матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції м. Львів, 20-21 січня 2022 року. Львів: Львівський науковий форум, 2022. С.64-67.

Захарчук Максим Дмитрович – студент групи 2ПІ-24м, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, mz764233@gmail.com.

Ліщинська Людмила Броніславівна – д-р техн. наук, професор, професор кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: llb@vntu.edu.ua

Zakharchuk D. Maksym – student of the group 2PI-24m, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia, faculty of information technology and computer engineering, mz764233@gmail.com.

Lishchynska Lyudmyla Bronislavivna – Dr. Sc. (Eng.), Full Professor, Professor of Program Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: llb@vntu.edu.ua