

РОЗРОБКА МЕТОДІВ АНТРОПОМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Вінницький Національний Технічний Університет

Анотація

Розроблено та представлено новий метод антропометричних вимірювань на тривимірних моделях з використанням методів тривимірної обробки даних та алгоритмів антропометрії.

Ключові слова: тривимірне моделювання, область тіла людини, полігональна модель, антропометричні вимірювання, відстані між тривимірними точками, скелетна модель.

Abstract

A new method of anthropometric measurements on three-dimensional models using three-dimensional data processing methods and anthropometry algorithms is developed and presented.

Keywords: three-dimensional modelling, human body area, polygonal model, anthropometric measurements, distances between three-dimensional points, skeletal model.

Сучасний етап розвитку технологій вимагає постійного вдосконалення методів аналізу та вимірювань, зокрема в області антропометрії. Однією з важливих проблем у вимірюваннях масо-вагових параметрів людського тіла є висока точність та надійність отриманих даних.

Традиційні методи антропометрії часто обмежені двовірними підходами та недостатньою деталізацією. У цьому контексті, використання 3D-сканерів, здатних реєструвати геометричні особливості тіла в тривимірному просторі, відкриває нові перспективи для точного визначення параметрів, що має значущий потенціал для розвитку як у медичній галузі, так і в суміжних областях.

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.

Важливість точності отриманих даних визнається суттєвим внеском у підвищення надійності та об'єктивності результатів антропометричних вимірювань на тривимірних моделях. У медичній галузі точні дані про антропометричні параметри відіграють важливу роль у діагностиці та лікуванні та пацієнтів. Наприклад, точне визначення об'єму тіла та розподілу маси може бути критичним для ефективного лікування захворювань, пов'язаних із зайвою масою тіла.

Для визначення масо-вагових характеристик людини по її антропометричних параметрах використовують 3D-сканери для оцифровки тіла. Це дає можливість створювати в 3D просторі модель тіла людини на повний зріст. Для цього вони роблять множину кадрів і потім збирають їх разом в одне зображення, на основі якого створюється 3D-модель (рисунок 1).

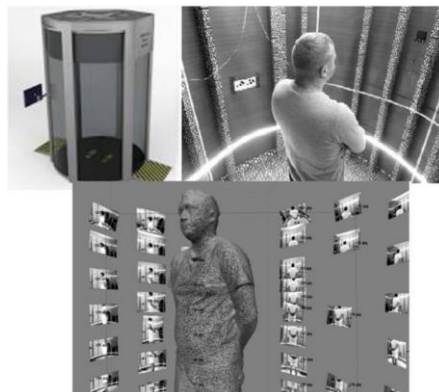


Рисунок 1 – Панорамний тривимірний сканер

Для визначення масо-вагових характеристик людини з використанням тривимірного моделювання необхідно виконати безконтактні виміри деяких параметрів по тривимірній моделі. Тому проведено систематизацію методів і формул для подальших розрахунків.

Для визначення площі тіла людини пропонується розробити тривимірну модель людини за допомогою тривимірних сканерів. Далі виконується мозаїка (рисунок 2), яка полягає в заміні поверхні багатокутниками, які примикають один до одного без пропусків і не перекриваються.

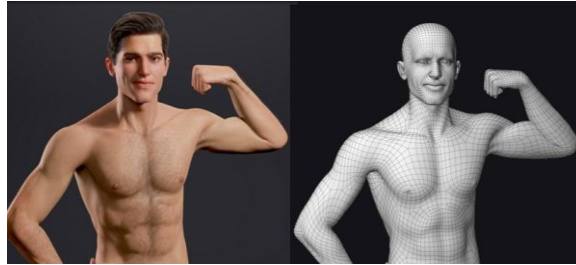


Рисунок 2 – Полігональна тривимірна модель

У графічних пакетах виконується тріангуляція, кінцевим результатом якої є полігональна модель з трикутниками як клітинками. У цьому випадку тесселяція є підготовчим етапом. Точність визначення площі визначається густотою полігональної мережі. Багатокутну мережу можна розгорнути до площини (рисунок 3). За допомогою алгоритмів обробки зображень, таких як сегментація, можна виділити структури тіла, створюючи точковий хмару для подальшого моделювання.

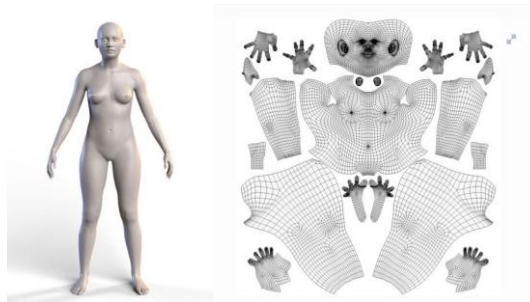


Рисунок 3 – Розгортання полігональної моделі на площині

Щоб визначити площу поверхні, потрібно визначити площі складових трикутників і знайти їх суму. Це дозволить врахувати особливості будови людини і позбавить від необхідності поділу на чоловічу і жіночу. Для точного визначення об'єму тіла можна ефективно використовувати тривимірне моделювання. Зрізи тривимірної моделі людини пропонується виконувати різними типами площин (рисунок 4).

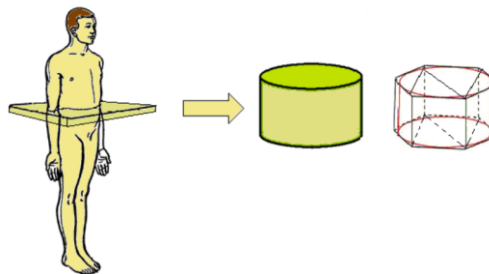


Рисунок 4 – Етапи визначення об'єму сегмента

В результаті виходить сегмент тіла. Отриманий верхній зріз тріангулюють, щоб замінити сегмент трикутними призмами. Для цього використовують вертикальні площини, які перпендикулярні до основи відрізка. Далі для визначення криволінійної площі та об'єму тіла людини використовують метод об'ємних пікселів. Виділені структури перетворюються в тривимірну точкову хмару, де кожна точка відповідає вокселю з певними координатами x, y, z . До кожної точки додається інформація про інтенсивність та геометричні властивості, такі як координати.

Нехай $I(x, y, z)$ – інтенсивність точки в тривимірному просторі. Визначимо функцію $f(x, y, z)$ так, що $f(x, y, z) = I(x, y, z)$. Це означає, що значення функції відповідає інтенсивності точки.

Для отримання функції $f(x)$, будемо використовувати значення $f(x, y, z)$ на поверхні тіла. Тоді, функцію $f(x)$ можна визначити як:

$$f(x) = \max_{y,z} I(x, y, z)$$

Для визначення криволінійною площі одного трикутника розглянемо функцію $f(x)$, яка представляє координати точок поверхні тіла у тривимірному просторі. Для виведення формули для криволінійної площі S , розглянемо елементарний відрізок поверхні між двома сусідніми точками $P(x, f(x))$ і $Q(x + dx, f(x + dx))$, використовуючи теорему Піфагора, довжина цього відрізка буде:

$$dS = \sqrt{dx^2 + [f'(x)dx]^2}$$

Виведемо вираз для похідної $f'(x)$. Якщо $f(x) = \max_{y,z} I(x, y, z)$, то $f'(x)$ можна апроксимувати як $\frac{dI}{dx}$ в точках, де $I(x, y, z)$ максимальне. Визначимо криволінійну площу одного трикутника за формулою:

$$Area(T_i) = \iint_b^a \sqrt{1 + \left(\frac{df}{dx}\right)^2} dx$$

Знайшовши криволінійну площу одного трикутника на сегменті тривимірної моделі, виведемо формулу загальної площі тіла людини:

$$S = \sum_{i=1}^n Area(T_i)$$

Для обрахунку об'єму тіла використаємо аналогічний підхід, $A(x)$ - площа поперечного перерізу тіла у площині, паралельній осі x . Розглянемо відрізок цього перерізу між x і $x+dx$. Площа такого сегменту обраховується за формулою Паскаля:

$$dA = \pi[R(x)]^2$$

, де $R(x)$ позначає криволінійну площу усіх сегментів що входять до перерізу. Тоді об'єм тіла людини буде обраховуватись як:

$$V = \pi \int_c^d [R(x)]^2 dx$$

Визначивши основні формули для обрахунку площі та об'єму тіла, необхідно розробити алгоритм обрахунку відстані між двома точками на тривимірній моделі. Для цього необхідно використати узагальнену систематизацію параметрів тривимірних моделей.

Зазвичай 3D-поза кодується як набір спільних координат (наприклад, файли `trc`) або орієнтацій (наприклад, файли `bvh`, `asf/amc` файли). Популярні 3D моделі людського тіла `MakeHuman`, `SCAPE`, `BlendSCAPE` та `SMPL` мають схожу параметризацію моделі $\{T, S, O\}$, де T початкова модель у "канонічній формі" та "канонічній позі", S визначає деформацію форми та O визначає позу. Параметризація тривимірної моделі базується на скелетному каркасі з J суглобів.

Тому для визначення відстані між двома точками необхідно визначити J основних суглобів та обчислити параметризацію утвореної тривимірної моделі. Обчислена параметризація дозволить визначити точність вимірювання та мінімальну кількість суглобів, які необхідні для вимірювання.

Для аналізу основних компонентів тривимірної моделі використаємо метод PCA, де головні компоненти представляють найважливіші осі варіації в тривимірній моделі. У просторі PCA будь-яка форма може бути реконструйована шляхом лінійного додавання головних напрямків до середньої форми (нульової форми):

$$T + B(\beta) = T + \sum_{n=1}^{|\beta|} \beta_n S_n$$

Для вимірювання антропометричних відстаней на тривимірній моделі будемо використовувати 16-суглобну скелетну модель (див. рисунок 6), так як відстань у тривимірній моделі пов'язана лише з конфігурацією основних суглобів тіла.

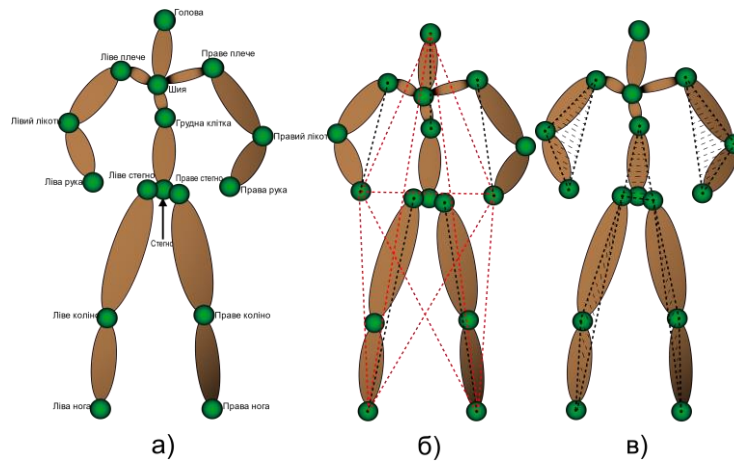


Рисунок 6 – Модель скелета
а) суглоби та кінцівки, б) корелюючі лінії в) площини

Варто зазначити, що позиції 16 основних суглобів визначаються автоматично при створенні тривимірної моделі. Для обрахунку відстані між суглобами використаємо формулу Евклідової відстані:

$$f_{JJ_d}(J_1, J_2) = \|\vec{J_1 J_2}\|$$

$$f_{JJ_o}(J_1, J_2) = \text{unit}(\vec{J_1 J_2})$$

, де J_1, J_2 – відповідні суглоби, $\text{unit}()$ - масштабує вектор до одиничної довжини.

Для обрахунків відстані між лінією суглобів $f_{JJ_d}(J_1, J_2)$ та окремим суглобом J використовується розширена формула Хелена:

$$f_{JL_d}(J, L_{J_1 \rightarrow J_2}) = 2 * \frac{S_{\Delta J J_1 J_2}}{f_{JJ_d}(J_1, J_2)}$$

де $S_{\Delta J J_1 J_2}$ – площа трикутника утвореного позиціями суглобів.

Для обрахунку відстані між суглобом J та площиною $P_{J_1 \rightarrow J_2 \rightarrow J_3}$, використаємо формулу перехресного добутку двох тривимірних векторів:

$$f_{JP_d}(J, P_{J_1 \rightarrow J_2 \rightarrow J_3}) = f_{JJ_o}(J_1, J_2) * \text{unit}(f_{JJ_o}(J_1, J_2) * f_{JJ_o}(J_1, J_3))$$

На рисунку 7 показано візуалізація наведених формул.

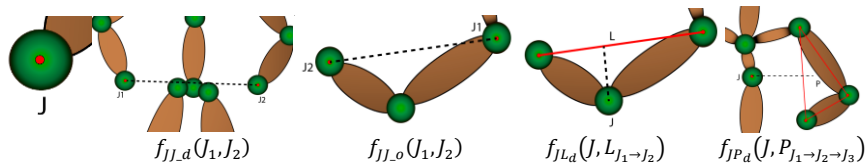


Рисунок 7 – Візуалізація вимірювань

Перетворимо формули антропометричних метрик для тривимірних моделей, для цього визначимо набір даних, що буде представляти собою матрицю точок $\{x_1, x_2 \dots x_{n-1}, x_n\}$ отриману з тривимірної моделі. Щоб запобігти надмірному відхиленню, слід подбати про те, щоб метрика відстані не відходила надто далеко від початкової метрики відстані. Для цього введено регуляризатор.

Нехай d_{ij} – це відстань L_2 між x_i та x_j . Відхилення від початкового співвідношення даних вимірюється за допомогою формули Махаланобіса:

$$\sum_{i,j} |d_{ij} - \hat{d}_{ij}| = \sum_{i,j} (x_i - x_j)^T (x_i - x_j) - T * r * I$$

, де r – регуляризатор, I - стовпчикова ортогональна матриця, що складається з набору даних суглобів через які проходить шукана лінія відстані. Тоді для знаходження відстані між двома точками на тривимірній моделі використовується наступна формула:

$$d_{ij} = \sum_{k=0}^m d_E^2(c_i^k, c_j^k) + \lambda \sum_{k=0}^m d_E^2(\dot{c}_i^k, \dot{c}_j^k)$$

де c_i^k, c_j^k – тривимірна координата 3D моделі, \dot{c}_i^k, \dot{c}_j^k – тривимірні координати 3D моделі відносно позицій суглобів, d_E^2 – евклідова відстань між заданою точкою і найближчим суглобом.

Висновки

Розроблено та вперше представлено алгоритми антропометричних вимірювань на тривимірних моделях, використовуючи передові техніки обробки тривимірних даних та алгоритмів антропометрії. Запропоновано розбиття тривимірної моделі на матрицю точок, що дозволяє досягти підвищення точності вимірювань. Отримано формули для обрахунку відстаней між двома точками на тривимірній моделі. Вперше запропоновано виконувати антропометричні вимірювання тривимірної моделі людини за позиціями 16 основних суглобів. Практичне значення роботи полягає в розробці на основі теоретичних досліджень алгоритмів і програм для антропометричних вимірювань та їх інтеграції в професійний графічний рушій idx3d.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Олександр РОМАНЮК, Максим ЗАХАРЧУК, Роман ЧЕХМЕСТРУК, Анатолій СНИГУР, Наталя ТІТОВА. Використання морфінгу зображень для аналізу медичних даних, діагностики та лікуванні захворювань Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Актуальні завдання медичної, біологічної фізики та інформатики», 7 квітня 2023 року м. Вінниця, -С.23-25.
2. Романюк О. Н. Захарчук М. Д. Коробейнікова Т. І. Використання тривимірної графіки у медичній галузі // Матеріали молодіжної науково-практичної інтернет-конференції студентів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2020)»: збірник матеріалів. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 3 с.
3. РОМАНЮК, О., ЗАХАРЧУК, М., СНИГУР, А., КОВАЛЬ, Л., МИХАЙЛОВ, П., & ЧЕХМЕЙСТРУК, Р. (2021). Використання тривимірного моделювання для визначення масо-вагових характеристик людини по її антропометричним параметрам. Прикладні питання математичного моделювання, 4(2.1), 188-198.
4. Романюк О.Н., Кокункін В.Л., Захарчук М.Д., Котлик С.В. Використання морфінгу 3D- зображень обличчя людей в медицині. Інформаційні технології і автоматизація – 2021/ Матеріали XIV міжнародної науково- практичної Конференції . Одеса, 21-22 жовтня 2021р. -Одеса, Видавництво ОНАХТ, 2021 р. –С. 252-255.
5. Романюк О.Н., Захарчук М. Д., Михайлов П.І., Чехмєструк Р.Ю., В.М., Перун І.В. Визначення генетичних захворювань людини за тривимірною моделлю лица . Електронні інформаційні ресурси: створення, використання , доступ. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної Інтернет конференції, 9-10 листопада 2021 р . –Суми/Вінниця: НІКО/ВНТУ, 2021. – С. 179-184. .
6. Романюк О.Н., Захарчук М.Д., Чехмєструк Р.Ю., Романюк О.В., Коробейнікова Т.І. Визначення векторів нормалей у довільній точці трикутника. Актуальні проблеми сучасної науки та освіти (частина I): матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції м. Львів, 20-21 січня 2022 року. –Львів: Львівський науковий форум, 2022. – с.64-67.
7. Романюк О.Н., Захарчук М. Д., Коваль Л. Г., Чехмєструк Р. Ю., Михайлов П. І Аналіз воксельної технології. Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій / Матеріали XXII Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів. Одеса, 21-22 квітня 2022 р. - Одеса, Видавництво ОНТУ, 2022 р. С.74-75.
8. 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 II): матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції м. Київ, 12-13 січня 2022 року. – Київ: МЦНІД, 2022. – с. 64-66.
9. Романюк О.Н., Захарчук М.Д. Метод процедурного текстуровання. Інноваційні дослідження та перспективи розвитку науки і техніки у XXI столітті, Рівне, 19 жовтня 2023 р. Рівне, Редакційно-видавничий центр Приватного вищого навчального закладу «Міжнародний економіко-гуманітарний університет імені академіка Степана Дем'янука» , 2023 р. ЧЗ. С.175-178.
10. Романюк О. Н., Чехмєструк Р. Ю., Станіславенко Є. Г., Вінтонюк В. В., Захарчук М. Взаємозв'язок між векторами нормалі до поверхні, вектором спостерігача та вектором джерела світла для задач рендерингу. The 8 th International scientific and practical conference “Topical issues of modern science, society and education” (February 26-28, 2022) SPC “Sciconf.com.ua”, Kharkiv, Ukraine. 2022. pp 300-303.

Романюк Олександр Никифорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, rom8591@gmail.com.

Захарчук Максим Дмитрович – студент групи 2ПІ-20б, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, mz764233@gmail.com.

Romanyuk N. Oleksandr - doctor of technical sciences, professor, head of the Software Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, rom8591@gmail.com.

Zakharchuk D. Maksym – student of the group 2PI-20b, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Faculty of Information Technology and Computer Engineering, mz764233@gmail.com.