

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Одеська національна академія харчових технологій

НА ШЛЯХУ ДО ІНДУСТРІЇ 4.0: ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, МОДЕЛЮВАННЯ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, АВТОМАТИЗАЦІЯ

Монографія

За загальною редакцією
С. В. Котлика

Одеса
«Астропринт»
2021

PLA-пластик — головний конкурент ABS-пластику з температурою плавлення від 190 °С. Екологічно чистий. До того ж PLA-пластик з часом розкладається, що є як плюсом, так і мінусом. Менш міцний, ніж ABS, втрачає свої властивості вже при температурі 80 °С. Найчастіше використовується для друку найменш вразливих місць.

Металевий порошок використовується в професійних моделях принтерів, оскільки для створення якісних деталей вимагає специфічних умов. Плавлення порошку забезпечується оптоволоконним лазером потужністю від 200 Вт і відбувається в герметичній камері, заповненій інертним газом. Найбільш популярним металом є титан, що не викликає алергії. Проте можливе використання міді, золота, срібла, алюмінію. Використання такого матеріалу є досить дорогим порівняно з іншими матеріалами, але забезпечує максимальну міцність та оптимальну вагу протеза.

Тривимірні сканери ніг широко використовуються в різних галузях для діагностики та лікування, підбору взуття, протезування, виготовлення устілок.

Використання тривимірного сканування ніг дає можливість підвищити діагностику захворювань, зменшує час дослідження, підвищує точність виготовлення устілок та взуття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 3D-сканер [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/3D-%D1%81%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%80>.
2. Чан А. Л. В., та Романюк О. Н. Аналіз пристроїв 3D-сканування. *Матеріал XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*. — Вінниця, 2020. — С. 143–147.
3. Романюк О. Н., Марущак А. В., Шмалюх В. А. Аналіз боді 3D-сканерів людини. *Матеріал XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*. — Вінниця, 2020. — С. 181–184.
4. Профессиональные решения для 3D-сканирования | Artec3D. 2020. *3D-Сканеры*. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.artec3d.com/ru/portable-3d-scanners>. Доступ 23 листопада 2020.
5. Романюк О. Н., Кательников Д. І., Шмалюх В. А. Комп'ютерне моделювання протезів Використання інформаційних та комунікаційних технологій в сучасному цифровому суспільстві : колективна монографія / За загальною редакцією Райко Г. О. — Херсон: ФОП Вишемирський В. С., 2020. — С. 19–32.

6. Сравнительный анализ 3D-сканирования стопы с традиционными методами исследования. Информационно-обучающий портал травматологов-ортопедов [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-strict.dtd>. Доступ 23 листопада 2020.
7. Представляем ортопедические 3D-сканеры ScanPod3D [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://3dtoday.ru/blogs/cvetmir3d/orthopedic-3d-scanners-scanpod3d/>. Доступ 23 листопада 2020.
8. Этапы 3D-производства ортопедических стелек в Москве [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://cvetmir3d.ru/blog/primenenie/ortopedicheskie-stelki/>. Доступ 23 листопада 2020.
9. На мировом рынке 3D-сканеров ожидается быстрый рост [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://3dnews.ru/1002491/>. Доступ 23 листопада 2020.
10. Willaston Physio & Rehab представили 3d сканер стоп [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://3d-daily.ru/medicine/foot-3dscanner.htm/>. Доступ 23 листопада 2020.
11. Composites: going bone-deep into medical applications [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <http://www.healthcareasia.org/2016/materials-news-composites-going-bone-deep-into-medical-applications/>. Доступ 23 листопада 2020.

АНАЛІЗ 3D-BODY СКАНЕРІВ

Романюк О. Н., Марущак А. В., Шмалюх В. А., Михайлов П. І., Чехместрук Р. Ю., Перун І. В.

Сьогодні широко застосовуються 3D-сканери у науці, медицині, комерції. Вони стають все більш доступними й інтегруються у повсякденне життя людей. 3D-сканери застосовуються не лише для сканування статичних об'єктів неживої природи, а й для формування моделі людини. Цифрова копія людини може надати багато корисної інформації, наприклад, відобразити точні розміри будь-якої частини тіла, дати можливість сформуванню цифровий 3D-аватар чи спроектувати ідеальний протез для пацієнта. Зокрема поєднання передових технологій та 3D-сканерів можуть формувати багатозадачність пристроїв, такі як 3D-рентген. Ринок 3D-сканерів постійно розвивається, поширюючи асортимент доступних товарів для застосування в різних галузях. Популяризація використання призводить до появи принципово нових технологій сканування та створення програмного забезпечення для формування більш якісних моделей сканованого тіла.

Today, 3D scanners are widely used in science, medicine, commerce. They are becoming more accessible and integrated into people's daily lives. 3D scanners are used not only to scan static inanimate objects, but also to form a human model. A digital copy of a person can provide a lot of useful information, such as displaying the exact dimensions of any part of the body, enabling the formation of a digital 3D avatar, or designing the perfect prosthesis for a patient. In particular, a combination of advanced technology and 3D scanners can form multifunctional devices, such as 3D X-rays. The 3D scanner market is constantly evolving, expanding the range of products available for use in various industries. The popularization of use leads to the emergence of fundamentally new scanning technologies and the creation of software for the formation of better models of the scanned body.

3D-сканери тіла людини [1–4] — це сканери, які можуть сканувати все тіло людини або лише окремі частини, такі як руки, ноги, вуха або голова. Виконавши необхідну множину знімків тіла людини методом обробки програмним забезпеченням, формують цифрову 3D-модель, яка готова для подальшого опрацювання.

Існують сканери для всього тіла, що називаються 3D-кабінками, вони можуть захопити людину у повний ріст, і портативні 3D-сканери, які підходять для зйомки як всього тіла, так і окремих частин тіла. Окрім апаратного забезпечення, яке сканує тіло, існує також програмне забезпечення для обробки 3D, яке аналізує всі вихідні дані та отримує моделі вимірювань. Існують 3D-сканери тіла, засновані на технології структурованого світла, лазерної триангуляції ліній, фотogramметрії. Існують також мобільні додатки, які використовують камеру смартфона й алгоритми машинного навчання для створення реалістичних 3D-аватарів та моделей людини.

Одним із ранніх і найбільш простих методів 3D-сканування є отримання 3D-сітки за допомогою контактного методу. Цей процес здійснюється за допомогою механічних датчиків, що отримують інформацію про висоту точок тіла над поверхнею сканування, як зображено на рис. 1.

За допомогою отриманих замірів будується 3D-макет [1]. Матриця будується за допомогою набору даних трьох позицій кожного датчика та його розміщенню у площині заміру. Відповідно до рис. 1, H — загальна висота датчика від поверхні сканера до точки дотику до тіла, h — висота висуву, L — відстань між датчиками. За допомогою цього проектується відповідний 3D-макет у програмному забезпеченні. Недоліком такої технології є те, що якість сітківки сканування залежить від розміру та кількості елементів заміру. Також це не є доцільним і

раціональним способом для заміру усього тіла людини, адже прилад такого розміру коштуватиме дорого, буде громіздким і може бути небезпечним для застосування, адже механічні датчики можуть дати збій, що може призвести до травм. Також такий замір не є практичним для застосування на будь-якій частині тіла, адже не передбачає високоточного рельєфного сканування. 3D-сканери на основі контактів досить прості та недорогі. Однак вони повільні порівняно з іншими сканерами [2].

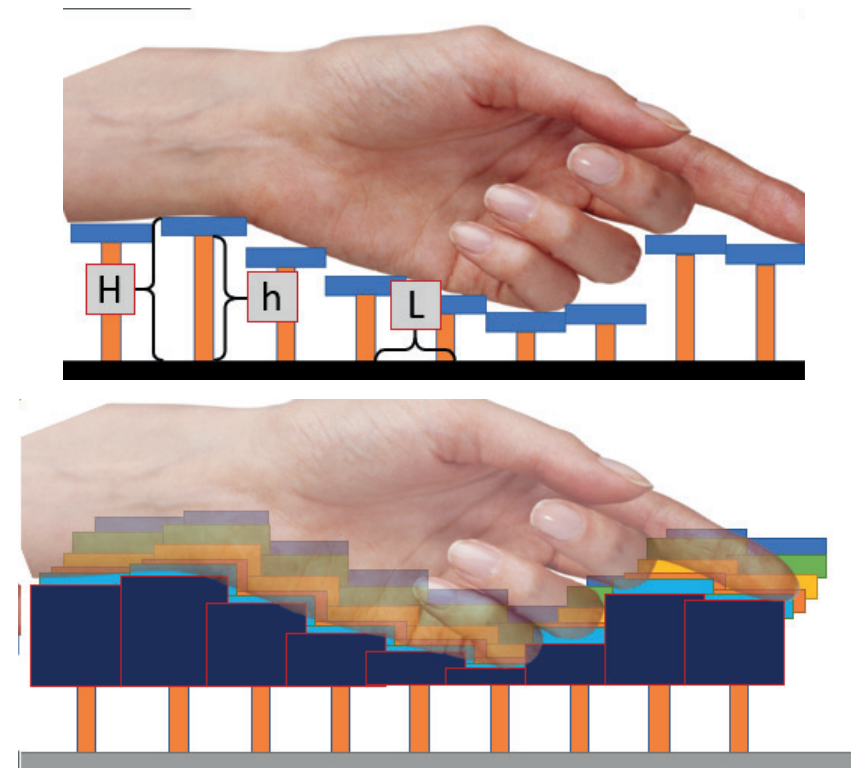


Рис. 1. 3D-сканування контактним методом

Кабіни 3D-сканування тіла — це стаціонарні кабінки або платформи, які зазвичай оснащені сканерами, датчиками або дзеркальними фотокамерами (або комбінацією всіх трьох) навколо особи, щоб захопити тіло з усіх кутів [3]. У той час, як людина (або кілька людей)

знаходиться у центрі кабіни у певній позі, як зображено на рис. 2 [3], оператор сканування виконує всі необхідні підготовки та запускає налаштування системи для отримання 3D-моделі.



Рис. 2. Кабіна 3D-сканування тіла

Залежно від апаратного та програмного забезпечення, встановленого у кабіні, весь процес може зайняти всього кілька секунд, що полегшує людині зберегти позу, не рухаючись. Результатом сеансу сканування кабіни є кольорова 3D-модель, яку можна надрукувати на 3D-принтері або провести ряд дій у програмному забезпеченні для формування рухомої комп'ютерної моделі. Поєднуючи зображення об'єкта, зафіксованого під різними кутами, та точки збігу між різними зображеннями для ідентифікації особливостей, створюють 3D-модель за допомогою комп'ютерного обладнання, як зображено на рис. 3.

Така техніка заснована на інтелектуальному програмному алгоритмі для пошуку границь об'єкта, виявлення відповідних повторів і реконструкції у тривимірному просторі. Найбільшою перевагою використання фотограмметрії є те, що метод не вимагає складного обладнання. Для використання необхідно мати декілька або одну високоякісну камеру.

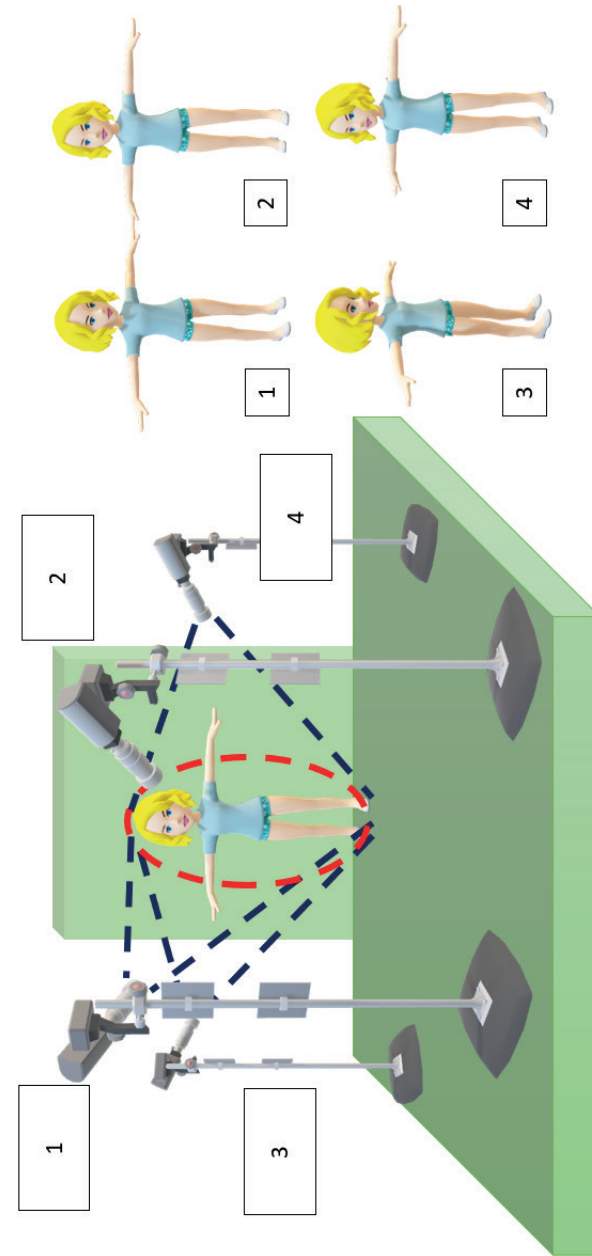


Рис. 3. Отримання 3D-моделі за допомогою статичного методу

Сучасним прогресивним прикладом використання такої технології є TOB 3D GENERATION [4] (<https://www.3dgeneration.com>) та дочірня 3D GENERATION UA, які професійно займаються розробкою та виготовленням панорамних сканерів високої розподільної здатності, які ефективно можуть бути використані в медичній практиці. На рис. 4 [4] зображено один з них, який включає 112 камер з сенсором IMX219, кожна з яких має 8 мегапікселів.



Рис. 4. Панорамні сканери TOB GENERATION: а) зовнішній вигляд сканера; б) внутрішній вигляд сканера; в) набір точок у спеціалізованому пакеті програм для фотограмметрії

Такий підхід гарантує тривимірне сканування, що забезпечує високу точність передачі кольору. Для отримання високої якості 3D-моделей використовуються новітні підходи в електроніці та ав-

томатизації процесів, а для обробки зображення відбувається коригування власними технологіями штучного інтелекту для досягнення максимальної якості кінцевого продукту.

Іншими прикладами 3D-систем захоплення тіла є 3D-дзеркала, 3D-примірки та набори для домашнього сканування тіла. Такі пристрої зазвичай використовують комбінацію технологій тривимірного зображення. Вони можуть бути інтегровані в дзеркало або підставку, яка обертається навколо людини, яка стоїть на спеціальній платформі, як зображено на рис. 5. Підставка може виконувати функцію ваг і передавати інформацію до програмного забезпечення. У деяких випадках сама платформа обертається на 360 градусів, тоді як стаціонарний сканер робить 3D-знімки тіла.

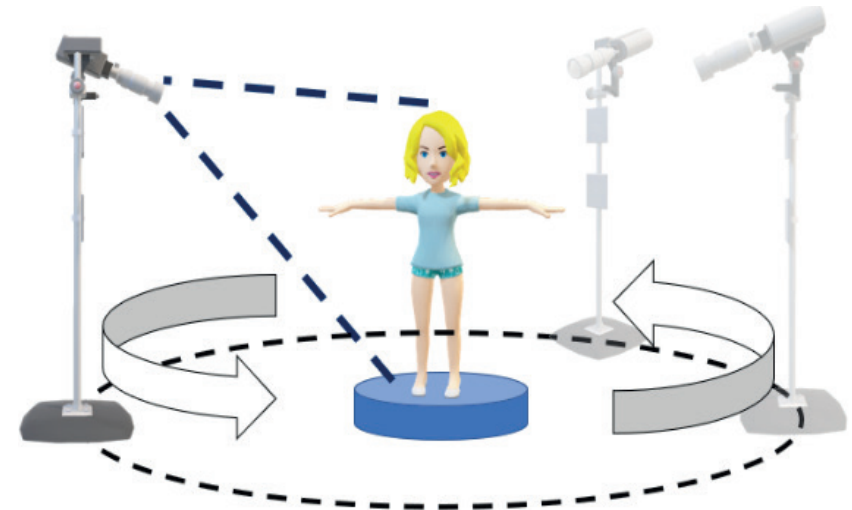


Рис. 5. Отримання 3D-моделі за допомогою динамічного методу

3D-сканери для тіла можна використовувати в різних додатках, починаючи від створення надрукованих 3D-фігурок до збору даних про вимірювання тіла, відкриваючи нові можливості для технологічного прогресу в таких галузях, як медицина, дієтологія та мода [3–5].

Результатом роботи 3D-сканерів є не просто модель людини (як правило, без текстури), а серія 3D-вимірювань і параметрів, які цей певний 3D-сканер здатний отримати. Зазвичай такі системи вико-

ристовуються у спорті та фітнесі для відстеження прогресу тіла під час фізичних вправ, а дієтичні програми або марки одягу для фіксації індивідуальних вимірів тіла для створення персоналізованого та спеціально підібраного одягу.

Портативні 3D-сканери для тіла є на ринку вже досить давно, і на відміну від статичних, ці сканери також можуть бути використані для зйомки з високою деталізацією окремих частин тіла, як зображено на рис. 6 [3], або кінцівок [3–4].

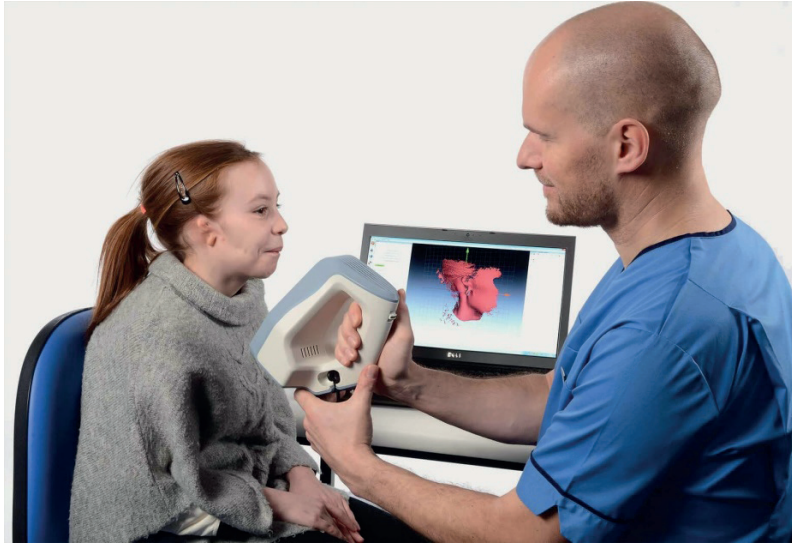


Рис. 6. Використання портативного сканера для сканування ураженої частини тіла пацієнта

Такі пристрої є більш функціональними, і їх можна переміщувати навколо об'єкта для виконання сканування. Після сканування вихідні 3D-моделі експортуються у спеціалізоване програмне забезпечення для подальшої обробки, наприклад, для створення спеціальних протезів, ортопедичних виробів або персоналізованих аксесуарів, таких як ювелірні вироби або окуляри.

Поява технологій 3D-сканування тіла надає можливість отримати множини точних вимірювань тіла пацієнта повністю автоматично всього за кілька секунд. Такі дані можуть використовуватися для [1–6]:

1. Створення індивідуальних протезів.

2. Оцінки стану шкіри, починаючи від зморшок та пігментації, закінчуючи меланомами, для раннього виявлення раку.

3. Контролю та аналізу тіла пацієнта, зміни форми та реакції під час вагітності, планування спеціального лікування (наприклад, ожиріння, гормони), дієтичних програм або фізичних вправ.

4. Розрахунку дози ліків, променевої терапії та хіміотерапії.

5. Моделювання та візуалізації результату косметичної хірургії.

3D-сканери та спеціальне програмне забезпечення для смартфонів, що формують 3D-моделі тіла, набувають все більшої популярності серед фітнес-клубів, тренажерних залів, спортсменів, персональних тренерів та їх клієнтів. Вони дають можливість відстежувати зміну тіла для досягнення певних цілей у фітнесі чи дієті, таких як нарощування м'язів або втрата жиру. Такі 3D-сканери не тільки здатні сканувати тіло в 3D, але також аналізують дані та отримують всі види вимірювань від базової лінії талії та стегон до форми тіла, постави та ваги. Крім того, вони надають інтерактивні сповіщення про те, як організм змінюється з часом, і дозволяють користувачам візуально бачити та відстежувати прогрес свого тренувального плану. Такі пристрої, як правило, не фіксують колір і текстуру тіла та в основному фокусуються на формі тіла та її зміні з часом [5].

Швейна промисловість вимірювала людські тіла задовго до того, як на сцену вийшли 3D-сканери. До початку XX століття одяг здебільшого виготовляли на замовлення та шили за індивідуальними мірками замовника, як правило, їх робив професійний кравець. Люди бувають різних форм і розмірів, і важко підібрати стандартний діапазон розмірів для усіх.

Сучасні бренди одягу [5] почали використовувати 3D-сканери, щоб надати послуги, що відповідають вимогам замовників, для додаткової персоналізації, а також заміни старих і тривалих методів ручного вимірювання. Замість того, щоб проводити замір мірною стрічкою, точні вимірювання тепер можна зафіксувати за короткий час та використати для створення ідеально підібраного одягу.

Деякі бренди включають 3D-сканери у свої примірки безпосередньо в магазині та дозволяють своїм клієнтам приміряти одяг віртуально, змінювати кольори, підбирати аксесуари — і все це без необхідності роздягатись. Інші бренди включають у свої веб-магазини віртуальні примірки, щоб допомогти своїм клієнтам вибрати одяг, який найкраще пасує, і приміряти його, не виходячи з дому. Клієнт може просто завантажити свій 3D-аватар та приміряти одяг [4].

3D-лазерне сканування — це передова технологія цифрового моделювання, яка здатна створювати високоточні 3D-моделі методом математики та лазерного світла. Незалежно від типу лазерного 3D-сканера сканування за допомогою лазерної точки або лазерної лінії — їх використання застосовується для отримання 3D-моделі об'єкта, як зображено на рис. 7.

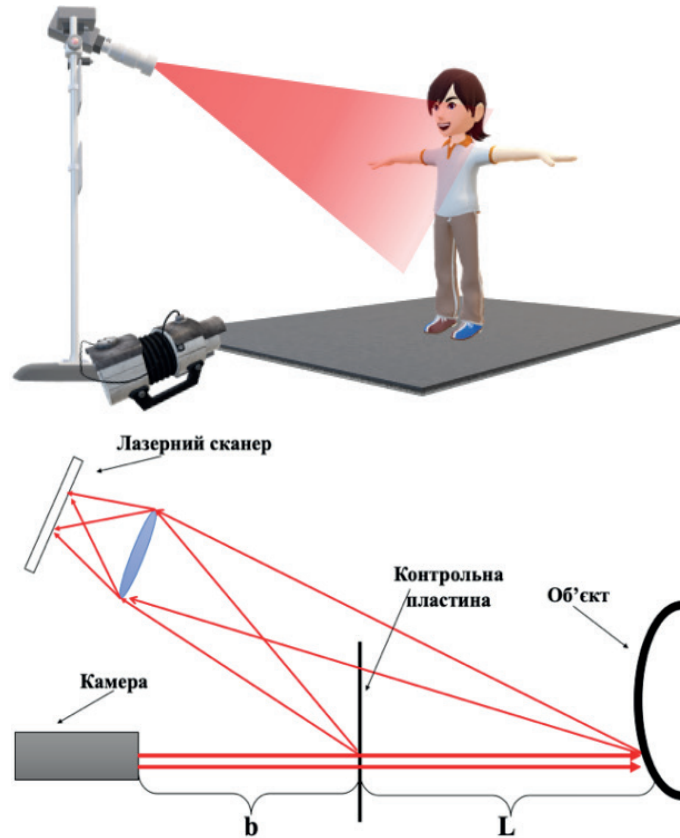


Рис. 7. Лазерний 3D-сканер та модель роботи сканера

Кожен пристрій постачається зі спеціалізованим програмним забезпеченням, яке опрацьовує отриманні дані під час сеансу сканування, створюється триангуляція для запису точок даних та контакту з матеріалом. Усі ці точки відображаються на програмному забезпе-

ченні як декартові координати (X , Y та Z). Під час кожного сеансу апарат може просканувати сотні тисяч точок даних і вони записуються під різним кутом, дозволяючи отримати дані з усіх сторін об'єкта. У подальшому використанні є можливість інженером чи програмним забезпеченням створення сітки або цифрового файлу об'єкта.

3D-лазерне сканування застосовується в різних галузях і може використовуватися для зворотного проектування, забезпечення якості, обстеження й аналізу розмірів. Точність сучасних лазерних 3D-сканерів коливається від 0,01 мм до 0,1 мм. Це значить, що використовуючи даний тип сканерів, можна досягти хорошої деталізації об'єкта.

Перспективним напрямком є створення рентген 3D-сканерів [7–8]. Комп'ютерна 3D-томографія — метод тривимірного дослідження внутрішніх органів й анатомічних структур за допомогою рентгенівського випромінювання. За час експозиції (близько 15 секунд) конусно-променевої комп'ютерний томограф фіксує позиції тіла в різних проекціях. Потім комп'ютер обробляє знімки та будує 3D-модель людини. Результат дослідження зберігається в електронній базі даних. Проект медичного сканера був розроблений у 2011 році, але був завершений лише в 2018 році. Апарат під назвою EXPLORER, який зображено на рис. 8 [7], використовує гібридну технологію комп'ютерної томографії в поєднанні з позитронно-емісійною томографією.

Сучасні комп'ютерні потужності, які застосовуються в апараті EXPLORER, дозволяють створювати статичну картинку внутрішніх органів людини в тривимірній моделі. Ще однією корисною функцією 3D-сканера є запис процесу поширення препаратів і ліків організмом. Для відстеження додаються спеціальні маркери, наприклад, ізотопи цукру.

Апарат створює квантові хвилі спеціальної довжини залежно від досліджуваного елемента — наприклад, кальцію. Кожен елемент отримує свій окремий колір, а потім отримані дані перетворюють у повноцінне тривимірне монохромне або кольорове зображення [7–8].

За прогнозами, ринок 3D-сканерів збільшиться в чотири рази за період з 2020 по 2030 роки, згідно з недавнім маркетинговим дослідженням Future Market Insights [9]. Це означає, що ринок сканерів щорічно зростатиме на 14 % за це десятиліття. Цей ріст стимулюється широким спектром галузей, що застосовують і налаштовують 3D-сканування для власних цілей та для комерційного використання.

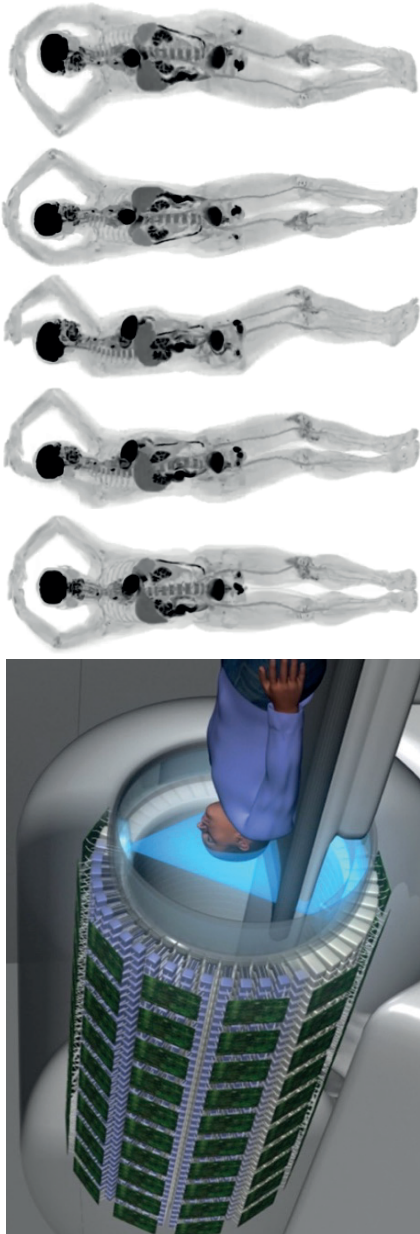


Рис. 8. Томографічний 3D-сканер та отримані моделі тіла

Наприклад, у секторі охорони здоров'я 3D-сканери збирають дані з органів і тканин пацієнта для моделювання органів тіла у трьох вимірах. Потім вони використовуються для створення спеціальних протезів, імплантатів, опор та биндажів. Моделі також можуть бути використані для полегшення управління ранами та формування імплантатів.

Це зростання також відбувається, незважаючи на стримування, спричинене пандемією COVID-19, яка серйозно поглинула норму прибутку виробників електроніки у всьому світі. Це, в свою чергу, створило тижні затримок для компаній, що займаються 3D-сканерами, через дефіцит сировини [9]. Крім того, виробнича та автомобільна промисловість є ключовими ринками для 3D-сканерів, і пандемія сильно вплинула на ці дві галузі. Більшість виробників прогнозували падіння продажів протягом перших двох кварталів 2020 року, але понад 60 % планували відновити ділові операції до жовтня цього року. 3D-сканери / апаратні засоби продовжуватимуть утримувати провідну частку ринку протягом наступного десятиліття через кілька факторів. Очікується, що серед усіх інженерних послуг протягом найближчих років тривимірне проектування та моделювання розширяться за найвищим рівнем показника CAGR. Учасники ринку продовжують концентрувати увагу на портативних 3D-сканерах, тоді як 3D-сканери, що встановлюються на роботах, пропонують потенційні можливості захоплення вартості. 3D-сканери короткого діапазону (менше 3 футів) отримують помітну частку доходу; 3D-сканери великого діапазону (більше 900 футів) отримують підйом у наступні роки.

Охорона здоров'я та обробна промисловість залишатимуться ключовими кінцевими споживачами тривимірних сканерів, і найближчим часом виробництво покаже найбільші перспективи.

Збільшення використання 3D-сканерів для виявлення зіткнень збільшить їхню частку на ринку в автомобільній промисловості. 3D-сканери використовуються для уникнення зіткнень, а також для навігації автомобіля [10]. Ці сканери оснащені такими функціями, як високоточні вимірювання та документація, що робить їх корисними для виявлення / уникнення зіткнень та відновлення аварій. Крім того, ручні 3D-сканери ширше використовуються для реєстрації салонів пошкоджених автомобілів, дозволяючи вимірювати та аналізувати пошкодження. Перехід на більш автономні транспортні засоби також зробить вбудовані

3D-сканери важливими для картографування автомобільних доріг та околиць.

Проаналізувано найкращі за версією ANIWAA панорамні сканери з метою вибору для конкретної предметної галузі. В таблиці 1 наведено відомості панорамних сканерів за версією ANIWAA [11].

Таблиця 1

Найкращі 3D-сканери 2020 за версією ANIWAA

3D-сканер	Країна виготовлення	Ціна*
TC2–21B	United States of America	\$30,000
3dMD 3dMDbody System	United States of America	
botspot botscan NEO	Germany	
Canfield Vectra XT	United States of America	
ESUN Display Twinlike 3D Body Scanner	China	
Fit3D Proscanner	United States of America	\$10,000
Size Stream SS20 3D Body Scanner	United States of America	\$15,000
Telmat Industrie Symcad III	France	\$15,900
Texel Portal MX	Russia	\$25,000
TG3D Studio Scanatic 360 Body Scanner	China	\$15,000

1. TC2–21B

Технологія — фотограмметрія. TC2 Labs TC2–21B здатний відсканувати людину за 1 секунду та витягувати дані всього за 9 секунд, що включає створення аватара. Забезпечене самообслуговування можливе за допомогою інтегрованого сенсорного екрану.

2. 3dMD 3dMDbody System (рис. 2)

Технологія — фотограмметрія. Сканувальна система фіксує 360 ° зйомки за лічені мілісекунди. Вона використовує велику кількість камер машинного зору із системою спалаху промислового рівня. За даними виробника, такий сканер може сканувати до 4 людей за хвилину.

3. botspot botscan NEO

Технологія — фотограмметрія. Цей сканер німецького виробника відрізняється своєю модульною конструкцією і піддається налаштуванню. Така система використовує комбінацію структурованого світла і фотограмметрії, щоб забезпечити точні кольорові сітки. Для легшого користуванням сканером застосовують спеціально створений мобільний додаток. Його максимальна ємність сканування становить 1000 x 1000 x 2000 мм.

4. Canfield Vectra XT

Технологія — структуроване світло. Canfield — американський виробник, який спеціалізується на медичних системах візуалізації для естетики та дерматології. Ця сканувальна система розроблена спеціально для пластичної хірургії. Програмне забезпечення, яке постачається разом з нею, дозволяє хірургам показувати пацієнтам, як виглядатиме їх тіло після операції або без неї.

5. ESUN Display Twinlike 3D Body Scanner

Технологія — фотограмметрія. Ця 3D-сканувальна система складається чотирьох веж, на яких розташовані чотири промислові камери, а саме: дві камери DSLR та два проектори. На сканування тіла необхідно всього дві секунди та ще 5 хвилин на обробку даних та генерацію 3D-моделі.

6. Fit3D Proscanner

Технологія — структуроване світло. Це тривимірний сканер тіла для додатків, орієнтованих на фітнес та медичні послуги. Він розроблений для надання всебічної оздоровчої оцінки, заснованої на детальному 3D-знімку тіла. Така система сканування в основному використовується в тренажерних залах та фітнес-студіях. На сканування тіла, а також на аналіз постави, оцінки стану форми тіла необхідно 40 секунд.

7. Size Stream SS20 3D Body Scanner

Технологія — структуроване світло. Ця система сканування є універсальною. Вона призначена для збору тисяч точок даних для створення тривимірної моделі тіла. В основному її використовують для створення одягу на замовлення. Також може використовуватися для 3D-друку, різного роду вимірювань, визначення розмірів, у сфері медичного обслуговування та для фітнес-додатків.

8. Telmat Industrie Symcad III

Технологія — структуроване світло. Сканер спеціально розроблений для 3D-вимірювання тіла та спеціальних модних додатків. Він використовує технологію структурованого світла (майже інфрачервоного), оснащений 16 і більше датчиками. Здатний сканувати тіло за 1,5 секунди, а також може бути оснащений додатковими модулями для окремого сканування рук та ніг.

9. Texel Portal MX

Технологія — структуроване світло. Сканер російського виробника, який може використовуватися для індустрії розваг та реклами, медичних додатків і навіть як кімната цифрового обладнання. Для

сканування тіла необхідно 30 секунд та лише 60 секунд для створення цифрової 3D-моделі.

10. TG3D Studio Scanatic 360 Body Scanner

Технологія — фотограмметрія. Ця система сканування призначена для індустрії моди. Вона легка, тому її неважко зрушити з місця, і може бути легко інтегрована всередині будь-якого приміщення. Сканування займає 3 секунди, а кінцевий результат можна отримати вже за 30 секунд. Виробник розробляє програмне забезпечення та додатки, призначені для індустрії моди.

За прогнозами розвитку тривимірного сканування адитивні технології все ще знаходяться на стадії розвитку, незважаючи на те, що вони активно проникають в кожну сферу людської діяльності. Якщо вірити даним Marketsand Matkets, ринок тривимірних скануючих пристроїв сьогодні переживає пік популярності. Із кожним днем її поріг підвищується.

Фахівці прогнозують річний обсяг у цій області до 6 мільярдів доларів. Саме таку цифру повинні побачити виробники 3D-сканерів до 2022 року. Іншими словами, очікується приріст щорічного прибутку в 9,6 %. Не обійдеться і без впровадження пристроїв в системи з контролем якості виробництва на промислових об'єктах. Все це спровокує швидкість випуску виробів.

Фахівці вважають, що велика частка ринку буде належати саме лазерним тривимірним сканерам. Така популярність забезпечується ціною доступністю, а також простотою експлуатації. Не можна не помітити, що швидкість розрахунків, які здійснюються із застосуванням фазового зсуву і лазерної триангуляції набагато вище, ніж у людини.

Що стосується самих сканерів, то вважається, що найпопулярнішою моделлю стане портативна координатно-вимірювальна машина. З її допомогою можна буде робити підрахунки і вимірювання в умовах обмеженого простору, де немає можливості помістити стаціонарний 3D-сканер.

Звіт Marketsand Matkets говорить, що найбільша частка ринку належатиме США. Саме там будуть розташовуватися найбільші центри з випуску тривимірного обладнання. Найбільш перспективними вважаються країни Азії за рахунок зростання попиту на лазерні 3D-сканери в сфері медицини, автомобілебудування, будівництва. Тісний взаємозв'язок тривимірного друку і сканування зумовлює зростання популярності адитивних технологій. У наступні кілька років вони стануть основою отримання фотореалістичних 3D- зображень [11].

Висновки. Отже, 3D-сканери широко застосовуються у промисловості й медицині завдяки здатності швидко і точно зчитувати необхідні дані. Без цих технологічних 3D-пристроїв вимірювання все ще проводилися б ручним способом, який є досить довгим та витратним. При виборі 3D-сканера для різних областей потрібно враховувати усі аспекти та спосіб, який планується в застосуванні. Дослідження, моніторинг стану та розробка індивідуальних рішень для кожного пацієнта. Швидкість, точність та безпека портативних 3D-сканерів дозволяють медикам впроваджувати такі передові технології, вдосконалюючи існуючу практику та створюючи нові методики. Медичні працівники можуть обробити дані сканування для моніторингу та аналізу змін параметрів тіла пацієнта. 3D-сканування також полегшує порівняння точних даних до та після хірургічних операцій. Ринок 3D-технологій перебуває у постійному розвитку. Створюються нові технології та підходи до сканування людського тіла.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Чан А. Л. В., Романюк О. Н. Аналіз пристроїв 3D-сканування. *Матеріал XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*. — Вінниця, 2020. — С. 143–147.
2. Романюк О. Н., Марущак А. В., Шмалюх В. А., Аналіз боді 3D-сканерів людини. *Матеріал XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*. — Вінниця, 2020. — С. 181–184.
3. Профессиональные решения для 3D-сканирования | Artec3D. 2020. 3D-Сканеры [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.artec3d.com/ru/portable-3d-scanners>. Доступ 23 листопада 2020.
4. 3D generation. 2020. 3D-Figuren Erstellen Bei 3D GENERATION. Perfekte 3D-Druck & 3D-Scan [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.3dgeneration.com>. Доступ 23 листопада 2020.
5. Центр Л. 3D тіла сканування від А до Z [Електронний ресурс. *Професійні рішення 3D-сканування*. Artec3D [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.artec3d.com/learning-center/3d-body-scanner>. [Доступ 23 листопада 2020].
6. Флінт. Що таке 3D-сканування? *3D Insider, 2020* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://3dinsider.com/what-is-3d-scanning>. Доступ 23 листопада 2020.
7. 3d сканер людини EXPLORER — технологія магнітного результату | Science Debate. *Sciencedebate2008.com, 2020* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.sciencedebate2008.com/3d-skaner-cheloveka-explorer>. Доступ 23 листопада 2020.

8. Ученые разработали медицинский сканер, что создает 3D-ролик всего тела. *Ukrinform.ru, 2020* [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.ukrinform.ru/rubric-technology/2585218-ucenye-razrabotali-medicinskij-skaner-cto-sozdaet-3drolik-vsego-tela.html>. Доступ 23 листопада 2020.
9. Itd R. Дослідження та ринки — Звіти про дослідження ринку [Електронний ресурс] *Researchandmarkets.com*. — Режим доступу: <https://www.researchandmarkets.com>. Доступ 23 листопада 2020.
10. Фінанси А. CAGR, Среднегодовой Темп Роста, Формула И Калькулятор [Электронный ресурс] А2 Фінанси. — Режим доступу: <https://a2-finance.com/ru/calculators/vse/cagr-srednegodovoi-temp-rosta>. Доступ 23 листопада 2020.
11. Романюк О. Н., Романюк О. В. Слуковська А. Ю. Аналіз найкращих панорамних сканерів. *Actual problems of science and practice ISG*. — Швеція, 2020. — С. 558–561.

ANALYSIS OF MICROFACET AND WAVE APPROACHES TO THE FORMATION OF REALISTIC IMAGES OF ANISOTROPIC SURFACES

Chan A., Romanyuk O. N.

Розглянуто особливості мікрофасетного та хвильового підходу до рендерингу візуально реалістичних зображень фізичних об'єктів на прикладі дистрибутивних функцій відбивної здатності та визначенні коефіцієнта шорсткості анізотропної поверхні за допомогою довжини хвилі світла.

Peculiarities of microphase and wave approach to rendering visually realistic images of physical objects on the example of distributive functions of reflectivity and determination of the roughness coefficient of an anisotropic surface using the wavelength of light are considered.

One of the important tasks of computer graphics today is to render images from existing digital models of physical objects. In most cases, the leading role is played by the correspondence to a certain level of photorealism, which allows to achieve a smaller difference between the image and the real object [1].

One of such situations is the process of visually realistic reproduction of anisotropic surfaces, which takes place in various information technology areas with computer graphics application — medicine (for example, to reproduce the surface of human skin), social security, game industry, cinema, design, visualization objects in various scientific studies, etc. Today, there

are many methods for modelling rough inhomogeneous surfaces with different approaches according to the field of application. However, many of them remain imperfect for a variety of reasons: the problem of real-time implementation; the complexity of calculations, which causes a high cost of resources, and, accordingly, increases the cost of the modelling process and so on. Therefore, in order to further address this type of shortcomings, it is important to study and compare existing methods of visually realistic reproduction of anisotropic surfaces using computer graphics.

When creating a visually realistic image of an object with a rough surface, you need to build a geometric model based on the reflectivity of the surface, which plays a leading role in photorealism. The directional reflectance distribution function of the surface is characterized by physical models built on the basis of algorithms for calculating the total illumination and of the incident light reflection. Accordingly, the reflective properties of any surface can be described by calculating the bidirectional reflectance distribution function (BRDF) [2].

Most of the existing models of BRDF today are not universal in relation to the surfaces for which they are used for modelling. A specific model of BRDF may be better for determining the reflective properties of one surface and worse for others. This is due in particular to different approaches to the formation of surface illumination depending on the type of surface material. For the formation of rough surfaces, we can distinguish two approaches to the construction of the model BRDF — microfacet and wave. The first considers a rough surface as a set of microscopic flat planes at different angles relative to each other. The light wavelength is ignored and transferred to the RGB colour model. The second is based on the wave nature of light and determines the roughness coefficient of the anisotropic surface taking into account the light wavelength.

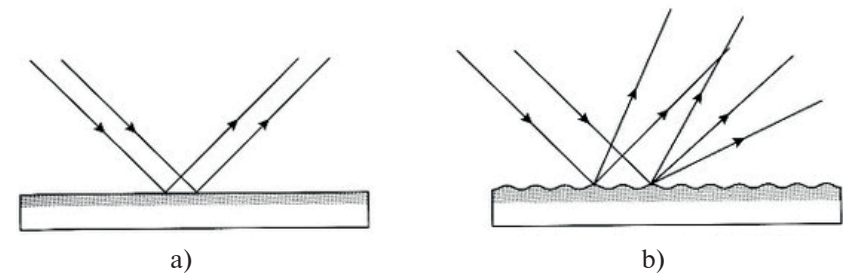


Fig. 1. Reflection of light on a homogeneous (a) and rough (b) surface

Наукове видання

АРТЕМЕНКО В_____ Б_____ ,
АРТЕМЕНКО Л_____ В_____ ,
АРТЕМЕНКО О_____ В_____
та інші

**НА ШЛЯХУ ДО ІНДУСТРІЇ 4.0:
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ,
МОДЕЛЮВАННЯ, ШТУЧНИЙ
ІНТЕЛЕКТ, АВТОМАТИЗАЦІЯ**

Монографія

Завідувачка редакції *Т. М. Забанова*
Технічний редактор *М. М. Бушин*

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 31,62.
Тираж 300 прим. Зам. № 798 (12).

Видавництво і друкарня «Астропринт»
65091, м. Одеса, вул. Разумовська, 21
Тел.: (0482) 37-14-25, 37-07-17, (048) 7-855-855
e-mail: astro_print@ukr.net; www.astroprint.ua; www.stranichka.in.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1373 від 28.05.2003 р.