

Топчій Н.В.

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України

**3D-СКАНЕРИ. ПРИНЦИПИ РОБОТИ ТА АНАЛІЗ
СУЧАСНОГО СТАНУ**

У даній статті проведено дослідження існуючих 3D-сканерів, завдань та головних напрямків використання 3D-технологій, історію виникнення та основні принципи роботи електронних 3D-сканерів.

Останнім часом технологічний розвиток в галузі лазерного 3D-сканування в промисловості та інфраструктурі є потужним інструментом, що дозволяє ефективно керувати та оптимізувати різні процеси. Потреба в передових технологіях стає все більш актуальною і однією з найбільш перспективних інновацій у цій галузі є 3D-сканування, за допомогою якого з'явилась можливість збирати інформацію, проектувати та виготовляти обладнання, а також виконувати технічне обслуговування та ремонт у промисловості. Однією з найважливіших переваг 3D-сканування є можливість швидко й точно вимірювати фізичні об'єкти, скорочуючи час і ресурси, необхідні для збору даних. Ця підвищена ефективність може бути застосована до ряду завдань, включаючи виробництво обладнання та запасних частин, а також обслуговування та ремонт існуючого обладнання. Також 3D-сканування можна використовувати для виявлення несправностей обладнання та надання детального розуміння необхідного ремонту. Цю інформацію можна використовувати для створення нестандартних деталей для ремонту, скорочуючи час простою та витрати.

3D-сканування наразі є найбільш передовим способом переведення фізичного об'єкта у цифровий формат, який допомагає суттєво оптимізувати виробничий процес. Сучасні 3D-сканери мають здатність проводити оцифрування різних об'єктів – від мікроскопічних деталей до габаритних об'єктів. Вони привабливі оптимальним співвідношенням ціни та точності, високою швидкістю вимірювань та можливістю автономної роботи. Технологія 3D-сканування знаходить застосування в багатьох галузях – автомобільній промисловості, машинобудуванні, медицині, ювелірній справі – там, де вона з успіхом вирішує завдання контролю геометрії та зворотного проектування.

Ключові слова: сканер, контроль якості, вимірювання, об'єкт вимірювання, метод, модель.

Постановка проблеми. Сучасний світ охопила глобальна тенденція стрімкого технологічного розвитку. Активне впровадження інновацій дозволяє більш ефективно виконувати завдання, підвищити якість роботи в усіх сферах людської діяльності, економити ресурси, забезпечити комфорт споживача та продуктивність праці, постійний і надійний доступ до інформації [1]. Тому задача застосування тривимірного сканування у виробничій сфері 3D використовується для контролю якості та покращення виробничих процесів. Воно дозволяє швидко та точно аналізувати геометричні параметри деталей, виявляти дефекти та оптимізувати виробничі лінії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз наукових надбань за темою дослідження показав масштабність сучасних досягнень.

Дослідженням проблемних питань аналізування вимірювань твердості займалися такі вітчизняні науковці, як Дуфенюк О.М., Кальченко В., Пасов Г. та інші.

Серед закордонних досліджень заслуговують на увагу праці Г. Гросса, В. Гершеля.

Тривимірне сканування – технологія, яка бере початок у 60-х роках минулого століття. Основною метою розробки є перенесення ключових фізичних характеристик об'єкту цифрову модель. Необхідність у віртуальних формах з'явилась результатом активного використання комп'ютерних технологій як у виробництві, і у повсякденному житті. Перші 3D-сканери випустила компанія Cyberware в 1991 році. Для їх виготовлення була використана лазерна технологія. В 1992 році 3D сканер, numerically controlled computer (NCC) і 3D-принтер були об'єднані фахівцями компанії Cyberscan. Найперші 3D сканери мали обмежений функціонал та були досить простими. Однак з роками пристрої вдосконалювалися, що дозволило деталізувати створювані моделі та суттєво покращити їхню якість. Поява лазера суттєво розширила спектр використання технології 3d-сканування:

військова промисловість, автомобілі та суднобудування, дизайн, медицина, дизайн і навіть кіно. Усі виміри виробляються пристроєм, який з допомогою датчиків зчитують інформацію про об'єкт, створюючи тривимірну модель.

Постановка завдання. Провести аналіз принципів реалізації існуючих технологій 3D-сканування, оцінити можливість якісного контролю геометричних параметрів деталей.

Виклад основного матеріалу. Перш ніж перейти до розгляду основного матеріалу дослідження, слід визначити, що таке 3D-сканер. Це пристрій, який призначений для швидкого аналізу фізичного об'єкта та створення точної комп'ютерної 3D-моделі. Принцип його роботи ґрунтується на обчисленні відстані до об'єкта за допомогою двох камер. На додаток до камер використовується підсвічування – світлодіодне або лазерне. 3D-сканери класифікуються як за формою виконання (стаціонарні та портативні), так і за сферами використання, в основному поділяючись на професійні та побутові.

Однією зі складових 3D технологій є методика 3D-сканування, яка дозволяє швидко і просто отримати цифрову модель необхідного виробу. Якщо коротко, 3D сканування об'єктів – це процес перетворення фізичної форми реального об'єкта в цифровий вигляд. При цьому зберігається текстура і навіть колір вихідного зразка. Таким чином, 3D-модель необхідного виробу можна отримати без зайвих зусиль. 3D сканування об'єктів допомагає підготувати необхідну модель до 3D друку і в ряді випадків може зіграти вирішальну роль в побудові цифрового виробу. Ключовим приладом в процесі 3D-сканування є 3D сканер – пристрій, що зчитує фізичні параметри об'єктів і створює на їх основі 3D-модель. 3D сканування об'єктів може виявитися корисним при проектуванні будь-яких складних елементів, 3D моделювання яких, вручну надзвичайно трудомістке. Зокрема, 3D-сканування доцільно застосовувати при моделюванні різних пристосувань, комплектуючих, основних і запасних частин. Часто воно використовується в разі відсутності креслень та іншої документації на виріб, а також при необхідності конверсії в цифровий вигляд фігурних поверхонь, включаючи художні форми і зліпки.

В цілому процес 3D сканування нагадує систему об'ємного зору людини. Процес отримання даних 3D сканером нагадує формування об'ємного зображення побаченого в мозку людини. Для цього 3D сканер порівнює два зображення, зміщених одна відносно одної. Точ-

ність побудови 3D моделі досягається за рахунок застосування додаткових технологічних прийомів, таких як періодичний спалах або підсвічування лазером.

Якщо справа стосується точності сканування, та вона залежить як від конкретного пристрою, так і від характеристик вихідного виробу. Тому цілком реально провести 3D сканування об'єктів від 1 см (з усіма дрібними деталями), максимальні габарити не обмежені. Для досягнення найкращої деталізації по завершенню процесу 3D-сканування, 3D модель може піддаватися додатковій доробці фахівцем. Таким чином, завдяки 3D-скануванню об'єктів цифрові моделі виходять практично бездоганними. Похибка для 3D сканування об'єктів з площею поверхні від 100 см² становить 1 мм і може бути усунена при подальшій доробці. 3D сканування великих об'єктів може бути реалізовано пакетною обробкою фотографій об'єкта з усіх боків.

Для того, щоб мати можливість застосувати скановану модель деталі для контролю її якості, необхідно перш за все забезпечити високу точність визначення координат точок деталі за високої роздільної здатності. Високоточне сканування забезпечують сканери метрологічного класу; висока точність вимірювання цих приладів напряму визначає їх високу ціну [2].

Пристрої для 3D-сканування дозволяють зняти багато обмежень, які є у традиційного вимірювального обладнання. Такі звичні для метролога інструменти, як шаблони, мікрометри, штангенциркулі коштують недорого, але відрізняються суб'єктивністю показань і не підходять для складних вимірів. Координатно-вимірювальні машини мають більшу точність, ніж 3D-сканери, але вони дорожчі, більш габаритні і вимагають спеціальної підготовки оператора. Оптичні системи контролю, до яких відносяться 3D-сканери, – найкраще рішення щодо співвідношення ціни та якості, оскільки вони забезпечують: швидкість вимірювань, високу точність оцифрування об'єктів складної геометрії, можуть працювати автономно, Прості в експлуатації. Завдяки 3D-сканеру істотно полегшується праця дизайнера, технолога, конструктора: виконання складних трудомістких вимірювань і створення дизайну з нуля йдуть у минуле.

Які ж завдання може вирішити процес 3D сканування? Перш за все це контроль якості, а саме можливість перевірки будь-яких геометричних параметрів, враховуючи вхідний та вихідний контроль, метрологічний контроль деталей та

виробничого оснащення. Також це реверс-інжиніринг виробів для оперативного отримання проектної документації та модернізації продукту, проектування та моделювання з метою прототипування та оцінки зовнішнього вигляду виробів, модернізації виробничих цехів та обладнання. З'являється можливість цифрового архівування будь-якого необхідного асортименту (наприклад, знятих із виробництва деталей). Моделі, що збережені у цифрових бібліотеках, можуть бути доступні віддалено з будь-якої точки земної кулі. Основний критерій вибору 3D-сканера – точність сканування. Високоточні пристрої (10–30 мкм) допоможуть отримати надзвичайний результат: вони здатні передавати в 3D найскладнішу геометрію поверхні з мінімальними похибками. Такі 3D-сканери застосовуються в реверс-інжинірингу, контролі якості, медицині, служать для оцифровки прес-форм, деталей пристроїв та ін. інженерні. Вибираючи 3D-сканер, слід враховувати дозвіл (деталізацію), тобто. ступінь дискретності, яка доступна під час оцифрування об'єкта. Максимально висока деталізація дозволяє відобразити у 3D-моделі найдрібніші елементи. Розмір об'єктів, що скануються, і, відповідно, мобільність 3D-сканера безпосередньо залежать від типу пристрою, який ви підбираєте. При оцифруванні деталей та об'єктів невеликих та середніх параметрів зазвичай використовують ручні сканери. Для захоплення складних виробів малих та середніх форм із дрібними деталями підходять стаціонарні сканери. Сканування великих об'єктів (будівель, споруд, комунікацій) виконується за допомогою наземних лазерних пристроїв (дальномірів). Вивчаючи функціональні можливості 3D-сканерів, необхідно звернути увагу на такі моменти, як умови використання, швидкість сканування, поверхню об'єкта сканування, кольоровість. Одним із найважливіших напрямків використання можливостей 3D-сканерів є перевірка точності виготовлення деталі. Для цього так само проводять сканування поверхонь деталі та визначають ступінь відхилення реальних розмірів від базових, тим самим визначаючи точність виробу

Виділяють два основні методи тривимірного сканування:

1. Контактний. Пристрій зондує предмет за допомогою фізичного контакту, поки об'єкт знаходиться на прецизійній повірочній плиті. Контактний 3D сканер відрізняється надточністю роботи. Проте, при скануванні можна пошкодити або змінити форму об'єкта.



Рис. 1. Контактний 3D-сканер

2. Безконтактний. Застосовується випромінювання або особливий світ (ультразвук, рентгеновські промені). В даному випадку предмет сканується через відображення світлового потоку [3].



Рис. 2. Контактний 3D-сканер

Контактний 3D-сканер – це пристрій, що має спеціальний щуп, який вивчає контури об'єкта і на основі цього буде його 3D-копію на екрані. Контактні сканери досить прості у використанні, володіють високою точністю і добре підходять для сканування об'єктів простих форм, наприклад, промислових деталей. Але їх застосування для об'єктів з більш складною геометрією, де, крім граней з чітко окресленими межами, є плавні лінії і переходи, буде вкрай незручним. Окрім того, цей спосіб створення цифрової моделі не підходить для роботи з великими текстурними об'єктами. Більш досконалим способом тривимірного сканування є безконтактний. Це пояснюється тим, що 3D-сканер також використовує ефект відбиття хвиль від поверхні об'єкта сканування. У результаті аналізу функціональних можливостей безконтактних 3D-сканерів, були виявлені основні їх переваги: використання 3D-сканерів дозволяє

швидше виводити товар на ринок і отримувати максимально точні моделі (що сприяє зменшенню браку); аналіз відповідності фізичних деталей заданим технічним вимогам; виявлення браку в інструментальному оснащенні і діагностування експлуатаційних проблем на ранніх стадіях виробництва; автоматизація виготовлення штампового оснащення в автомобільній промисловості; можливість контролю без руйнування зразка. [4].

У контактних сканерах основним робочим елементом є щуп, який послідовно переміщуючись по поверхні деталі визначає її загальну конфігурацію. Такі сканери мають високу точність, однак через необхідність контакту з досліджуваною поверхнею можливе псування деталі. Також сканування можливе тільки для нерухомих об'єктів і є досить повільним у порівнянні з іншими видами. Безконтактні сканери, на відміну від контактних, жодним чином не вносять зміни в геометрію деталі й розрізняються залежно від типу робочого проміння і технічного виконання. Розрізняють лазерні, оптичні, ультразвукові та інші сканери. При цьому найбільшою точністю вирізняються лазерні сканери, однак вони погано працюють для дослідження рухомих об'єктів. Оптичні сканери в роботі використовують більш безпечний лазер другого типу та добре відтворюють навіть рухомі тіла, можуть використовуватись для сканування людей. Однак для таких сканерів поверхня не може бути дзеркальною, прозорою або блискучою. Для сканування таких тіл їх попередньо покривають спеціальним матовим розчином. Ультразвукові сканери найбільш поширені в медичній галузі [5].

Сучасні технології сканування дозволяють досліджувати різні предмети незалежно від їхнього розташування (всередині приміщення або зовні), освітлення та габаритів. Робота з лазерним або спрямованим промінням дозволяє деталізувати моделі, використовуючи останні напрацювання. Габарити приладів для 3d-сканування є досить компактними, що робить його зручним для транспортування.

За технічним виконанням безконтактні сканери можуть бути портативні або стаціонарні. Портативні сканери мають меншу вартість та легші у використанні, немає прив'язки до робочого столу. Проте вони мають нижчу точність у порівнянні зі стаціонарними. Крім того, вима-

гають застосування спеціальних маркерів. Ці маркери перед скануванням необхідно розмістити на досліджуваній поверхні, за ними система буде визначати положення сканера в просторі. Однак маркери залишають сліди на отриманій моделі, чим зменшують її якість. Стаціонарні сканери мають масивну основу, найчастіше у вигляді триноги та оснащені маніпулятором. При цьому орієнтація в просторі сканованої голівки визначається положенням маніпулятора, і тому маркувати деталі на поверхні не треба. До того ж такі сканери мають значно більшу точність [5].

У більшості випадків точність скануючої системи описується в документації деяким числом, заданим в міліметрах або дюймах. Однак подібна інформація може дати лише дуже приблизне уявлення про характеристики системи. Справа в тому, що точність практично всіх 3d сканерів сильно залежить від умов вимірювання, від самого вимірюваного об'єкта і від його положення в просторі. Крім того, саме значення точності можна взяти як середню помилку вимірювання, як максимальну помилку вимірювання, або як параметр *std. dev.* (*standard deviation*) Гауссова розподілу помилок. Так що вказане в документації значення точності може відрізнятись від передбачуваного в рази [6].

При скануванні надто маленьких об'єктів виникають складності з фокусуванням структурованого підсвітки і зйомки відповідних ділянок камерами. Типовий розмір об'єктів, для яких ще можна застосовувати дані технології становить близько 10 мм. Сканування великих об'єктів також пов'язано з проблемою забезпечення структурованого підсвітки достатньої яскравості, а також із зростанням габаритів самої скануючої системи. Практичним обмеженням можна вважати розмір об'єктів в 10 м. Для сканування об'єктів інших діапазонів розмірів доцільно застосовувати скануючі системи засновані на інших принципах (електронні мікроскопи і лазерні далекоміри) [6].

Висновки. У роботі досліджено принципи дії та типи 3D-сканерів та методи роботи з отриманою інформацією. Наведено алгоритми роботи з детальним описом послідовності дій. Розглянуто галузі їх використання та переваги методів вимірювань. Проте перспективи подальших досліджень ґрунтуються на вдосконаленні алгоритму використання кожного методу з отриманою інформацією.

Список літератури:

1. Дуфенюк О.М., Марко О.І. Інноваційні технології 3D-сканування в криміналістичній діяльності «Порівняльно-аналітичне право» 2018, 1, с. 313-315. URL:<http://https://dSPACE.lvduvs.edu.ua/bitstream/1234>

567890/2429/1/%D0%94%D1%83%D1%84%D0%B5%D0%BD%D1%8E%D0%BA%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%8F%201%202018.pdf (дата звернення: 11.11.2024).

2. Іванов С.В., Олійник П.Б., Застосування тривимірного сканування для контролю деталей машин. Прикладна геометрія та інженерна графіка, Том 1 № 106 (2024) URL: <http://ageg.knuba.edu.ua/article/view/307897> (дата звернення: 11.11.2024).

3. Гривюк О., Технології 3D сканування. Інформаційно-комп'ютерні технології – 2018 (9). pp. 242-245. URL: <http://eprints.zu.edu.ua/26995/1/%D0%93%D1%80%D0%B8%D0%B2%D1%8E%D0%BA%20%D0%9E..pdf> (дата звернення: 11.11.2024).

4. Бойко С.В. Автоматизація підготовки виробництва корпусних деталей методом зворотного інжинірингу. Вісник чернігівського державного технологічного університету № 2 (65), Чернігів, 2013, с. 24-29.

5. Кальченко В., Кологойда А., Пасов Г., Сіра Н., Зюзько Д., Пивовар Д. «Сучасні 3D-технології в машинобудуванні та автомобільному транспорті» Технічні науки та технології № 2(32), 2023 с. 33-41. URL: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-2\(32\)-33-41](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-2(32)-33-41) (дата звернення: 11.11.2024).

6. Адитивні технології виробництва 3D-сканування. Електронний ресурс. URL: http://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/162378/mod_resource/content/0/3d_scan.pdf (дата звернення: 11.11.2024).

Topchii N.V. 3D-SCANNERS. PRINCIPLES OF OPERATION AND ANALYSIS OF THE CURRENT STATE

This article studies the existing 3D scanners, tasks and main directions of 3D technologies use, the history of their appearance and basic principles of electronic 3D scanners.

Recently, technological development in the field of laser

Recently, technological developments in the field of laser 3D scanning in industry and infrastructure have been a powerful tool that allows for effective management and optimization of various processes. The need for advanced technologies is becoming more and more urgent, and one of the most promising innovations in this area is 3D scanning, which has made it possible to collect information, design and manufacture equipment, as well as perform maintenance and repairs in industry. One of the most important advantages of 3D scanning is the ability to measure physical objects quickly and accurately, reducing the time and resources required for data collection. This increased efficiency can be applied to a number of tasks, including the production of equipment and spare parts, as well as the maintenance and repair of existing equipment. Also, 3D scanning can be used to identify equipment faults and provide a detailed understanding of the repairs required. This information can be used to create custom parts for repairs, reducing downtime and costs.

3D scanning is currently the most advanced way to digitize a physical object, which helps to significantly optimize the production process. Modern 3D scanners have the ability to digitize various objects, from microscopic parts to large objects. They are attractive due to their optimal price-to-accuracy ratio, high measurement speed, and the ability to operate autonomously. 3D scanning technology is used in many industries, including the automotive industry, mechanical engineering, medicine, and jewelry, where it successfully solves the problems of geometry control and reverse engineering.

Key words: scanner; quality control, measurement, measurement object, method, model.