

УДК

## Лабораторний стенд для дослідження 3D сканера

*Бевза І.О., доц., к.т.н., Чадюк В.О.*

### Вступ

Останнім часом все більшої популярності набуває лазерний 3D друк деталей різних механізмів та їх прототипів. Для виготовлення деталі за допомогою лазерного друку потрібна цифрова модель поверхні цієї деталі, яку можна побудувати методом комп'ютерного дизайну об'єкта довільної форми або методом копіювання форми еталонного об'єкта. Перший метод набув поширення переважно в машинобудуванні, другий – у сфері збереження культурного надбання.

3D сканери знайшли застосування в таких сферах як [1]:

- машинобудування (виготовлення прототипів розроблених деталей та механізмів, виготовлення деталей та механізмів; контроль форми деталі в процесі виробництва на основі порівняння зі створеною сканером цифровою моделлю);
- архітектура (створення віртуальних або зменшених копій проєктованих або реконструйованих архітектурних споруд);

- мистецтво (реконструкція та копіювання скульптур, барельєфів та інших витворів мистецтва) [2];
- археологія (3D документування культурних шарів під час археологічних розкопок, коли для того, щоб дістатися до нижнього шару, треба зруйнувати верхній);
- медицина (протезування та ортопедія) [3];
- віртуальна та доповнена реальність (використання цифрових моделей сканованих об'єктів у проєктуванні, в комп'ютерних іграх та для накладання віртуальних об'єктів на зображення реальних сцен).

Метою дослідження є розроблення лабораторного стенду для аналізу можливостей апаратного та програмного забезпечення лазерного 3D сканера у процесі побудови цифрової моделі об'єкта невеликих розмірів (менше 0,3 м).

### Принцип дії лабораторного стенду

Невеликий розмір сканованого об'єкта і відповідно невелика відстань до нього зумовлюють вибір триангуляційного методу сканування,

більш точного на відстанях менше 10 м за часо-пролітний метод. Триангуляційний метод ґрунтується на вимірюванні лінійного зміщення на цифровій камері зображення підсвіченої точки об'єкта в залежності від відстані до нього, що є простішим за вимірювання часу прольоту лазерного імпульсу між сканером та об'єктом. Схема лабораторного стенду для дослідження 3D сканера зображена на рис. 1.

Джерелом випромінювання у стенді є лазерний діод неперервної дії з довжиною хвилі  $\lambda = 635$  нм та потужністю  $P = 50$  мВт. Випромінювання лазера за допомогою лінзи 1 формується у вузький паралельний пучок, який циліндричною лінзою 2 перетворюється на плоский розбіжний пучок, перпендикулярний площині рисунка. Цей пучок утворює на поверхні об'єкта лазерну лінію, яка з

боку лазера виглядає як пряма, а з боку цифрової камери – як крива, яка відображає рельєф поверхні об'єкта. Об'єктив, який стоїть перед цифровою камерою, формує на ній зображення поверхні об'єкта з накладеною на поверхню лазерною лінією.

Для калібрування сканера на довільній відстані  $b$  від циліндричної лінзи встановлюють вертикально матову контрольну пластину. Пряма лазерна лінія на поверхні пластини перетворюється об'єктивом та цифровою камерою в пряму вертикальну лінію на екрані монітора – базову лінію. Пересуваючи пластину вздовж осі лазерного пучка паралельно самій собі на відому відстань  $\Delta b$ , знаходять, на скільки міліметрів  $\Delta N_x$  перемістилася у горизонтальному напрямку пряма лінія на екрані монітора. Після калібрування контрольна пластинка зсувається убік.

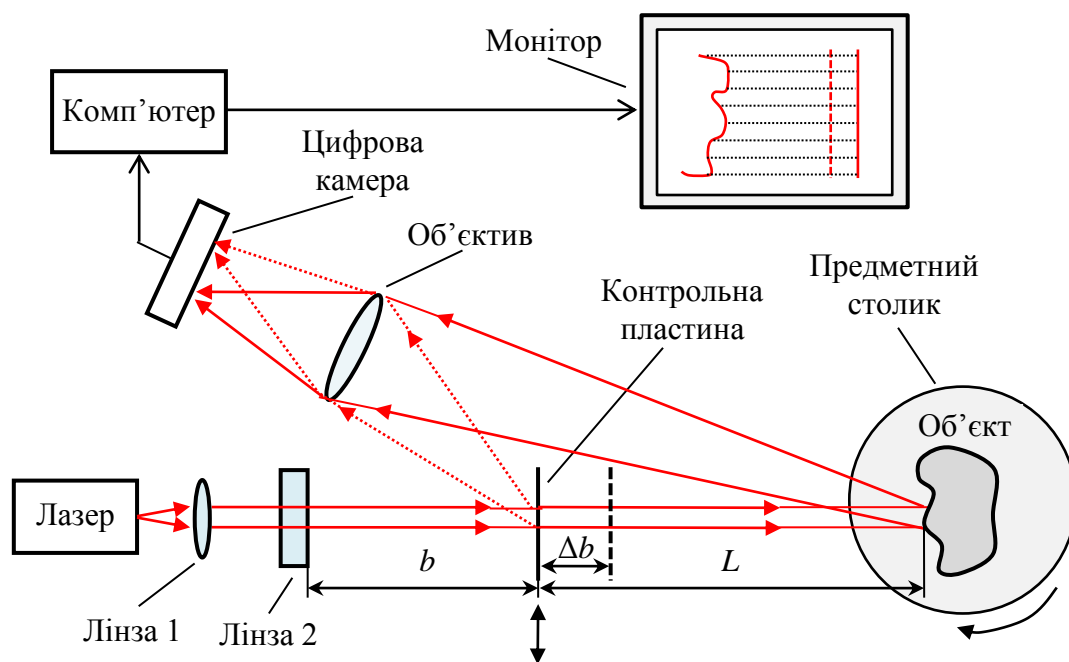


Рис. 1. Схема лабораторного стенду для дослідження 3D сканера невеликих

## об'єктів

Перемножуючи масштабний коефіцієнт  $m = \Delta b / \Delta N_x$  на горизонтальну відстань в міліметрах між відповідними точками базової та контурної ліній на екрані монітора, знаходять відстань певної точки поверхні об'єкта від контрольної пластини. За одного кутового положення предметного столика знімають у матричному вигляді одну контурну лінію об'єкта (множину відстаней між точками поверхні об'єкта, підсвічених лазерною лінією, та контрольною пластиною, взятих з певним кроком по висоті  $\Delta h$ ). Якщо об'єкт має висоту  $H$ , то контурна лінія буде задана  $M_h$  відліками відстаней між відповідними точками об'єкта та контрольної пластини, де  $M_h = H / \Delta h$ .

Для того, щоб задати поверхню об'єкта у матричному вигляді, предметний столик обертають з невеликим кроком  $\Delta\theta$ , отримуючи у результаті множину контурних ліній. За повного оберту ця множина складатиметься з  $M_\theta$  контурних ліній, де  $M_\theta = 2\pi / \Delta\theta$ . Отже, бічна поверхня об'єкта може бути задана множиною відстаней  $M$  між відповідними точками об'єкта та контрольної пластини, а саме  $M = M_h M_\theta = 2\pi H / \Delta h \Delta\theta$ .

Сформулюймо вимоги до досліджуваного об'єкта:

- об'єкт має бути з твердого матеріалу і мати жорстку конструкцію (зміщення

окремих точок поверхні за час вимірювань не повинно перевищувати 0,1 мм);

- поверхня об'єкта не повинна виблискувати, тому на неї бажано розпилити тонкий шар крейди;
- просторове положення об'єкта має зберігатись на протязі всієї серії вимірювань з точністю 0,1 мм;
- розмір об'єкта - не більше 0,3 x 0,3 x 0,2 м;
- відстань до об'єкта - не більше 0,5 м.

Вимоги до вимірювальної системи:

- точність вимірювання відстані до будь-якої точки поверхні об'єкта – не гірше 0,05 мм;
- максимальна відстань між сусідніми вимірюваними точками поверхні об'єкта – 1 мм;
- можливість розміщення об'єкта на поворотному предметному столику з точністю повороту 0,1 градуса;
- можливість передавання результатів вимірювання на комп'ютер.

Важливим параметром промислових сканерів є швидкодія, яку виражають у кількості точок,

вимірюваних за секунду. Деякі сканери обробляють за секунду до мільйона точок, але у даній роботі швидкодія не є предметом дослідження. Планується дослідити вплив освітлення на точність вимірювання геометричних параметрів об'єкта, зокрема, вплив структурованого світла [4].

На рис. 2 зображено приклад вимірювання відстані між точками цифрового зображення за допомогою графічного редактора GIMP. У цьому редакторі присутній інструмент *Вимірювач*, який дає змогу знайти відстань між будь-якими точками цифрового зображення, просто з'єднавши їх прямою лінією, причому відстань може бути виражена в дюймах, міліметрах, пікселях або інших одиницях. Результат вимірювання з'являється у віконці під зображенням. На жаль, редактор GIMP немає ні опції збереження та передачі результату вимірювання в іншу програму, ні опції множення отриманого результату на масштабний коефіцієнт  $m$ , щоб отримати відстань певної точки об'єкта до контрольної пластини безпосередньо у вікні редактора. Тому сформулюймо, яким вимогам має задовольняти програма, подібна до GIMP, але придатна для автоматичної побудови матричної 3D моделі об'єкта.

Вимоги до комп'ютерної програми:

- керування кроковим двигуном повороту предметного столика;

- передавання  $M\theta$  ракурсних знімків об'єкта в пам'ять комп'ютера;
- почергове введення ракурсних знімків з пам'яті комп'ютера у робоче поле програми і можливість візуального контролю вимірювального процесу;
- знаходження по кожному ракурсному знімку відстаней від  $Mh$  точок об'єкта до контрольної пластини;
- збереження усіх результатів вимірювання у вигляді матриці  $M_n \times M_0$ .

Подібним вимогам задовольняє інтегроване середовище швидкої розробки програм Delphi, яке побудовано на зручній для розробника концепції візуального програмування [5]. Таке середовище дозволяє конструювати вікна, подібні до вікна GIMP або до робочого столу Windows, де для кожного елемента існує заготовка програмного коду і розробнику залишається лише вписати в цей код властивості елемента і особливості його функціонування. Мова програмування для цього середовища також носить назву Delphi і побудована на основі Object Pascal. Хоча перша версія Delphi з'явилася ще у 1995 р. і з того часу з'явилося багато інших програм з візуальним програмуванням, але Delphi гідно витримувала конкуренцію, постійно оновлюючись і розширюючи свої можливості. Остання версія Delphi 10.3 Rio вийшла наприкінці 2018 р.

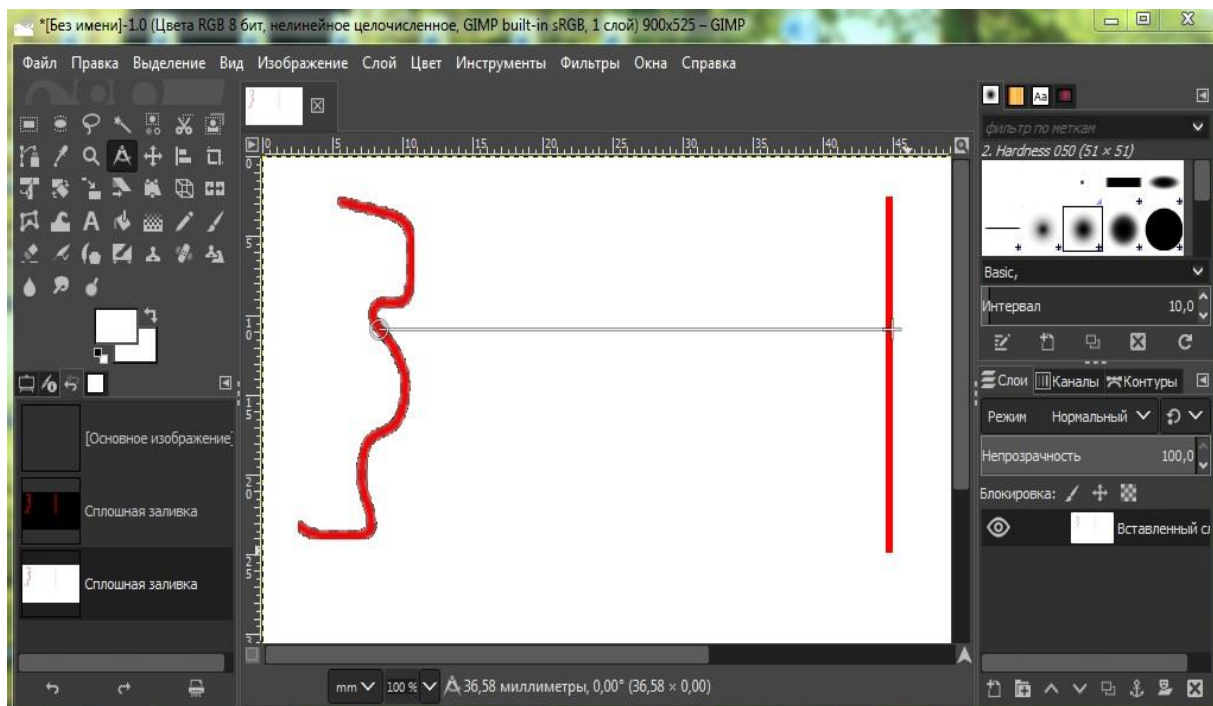


Рис. 2. Приклад використання графічного редактора GIMP для знаходження відстані між точками цифрового зображення (результат відображено під зображенням)

## Висновки

Розглянуто принципи побудови лабораторного стенду для дослідження різних можливостей побудови 3D моделей об'єктів невеликих розмірів. Проаналізовано вимоги, яким мають задовольняти об'єкти, вимірювальна система та програмне середовище. Планується дослідити вплив способу освітлення об'єкта на точність вимірювання відстані триангуляційним методом. Для оброблення і візуалізації результатів вимірювань запропоновано використати мову і середовище візуального програмування Delphi.

## Література

1. Toth T. A comparison of the outputs of 3D scanners / T. Toth, J. Zivcag. – Procedia Engineering. – 2014. – Vol. 69. – P. 393–401.
2. Remondino F. Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning / F. Remondino. – Remote Sensing. – 2011. – Vol. 3. – P. 1104–1138.
3. Telfer S. The use of 3D surface scanning for the measurement and assessment of the human foot / S. Telfer, J. Woodbum. – Journal of Foot and Ankle Research. – 2010. – Vol. 3. – Issue 19. – P. 1–9.

4. Volsin S. Study of ambient light influence for three-dimensional scanners based on structured light / S. Volsin et al. – OE Letters. – 2007. – Vol. 46. – Issue 3. – P. 1–3.
5. Фараонов В.В. Система програмування Delphi / В.В. Фараонов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 912 с.