

УДК 004.94, 004.8, 004.932

Решетило О.М., Смолянкін О.О., Фляк А.В.

Луцький національний технічний університет

## ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗРАЗКА ОПТИЧНИМ МЕТОДОМ

*Решетило О.М., Смолянкін О.О., Фляк А.В. Програмно-апаратний комплекс для вимірювання геометричних параметрів зразка оптичним методом. У роботі приведені результати розробки програмно-апаратного комплексу для вимірювання геометричних параметрів зразка методом оптичної лазерної триангуляції*

*Ключові слова: оптичні вимірювання, лазерна триангуляція, калібрування камери, Arduino, крокові мотори.*

*Решетило О.М., Смолянкин О.О., Фляк А.В. В работе приведены результаты разработки программно-аппаратного комплекса для измерения геометрических параметров образца методом оптической лазерной триангуляции.*

*Ключевые слова: оптические измерения, лазерная триангуляция, калибрование камеры, Arduino, шаговые моторы.*

*Reshetilo O.M., Smolyankin O.O., Flyak A.V. Programmatic vehicle complex for measuring of geometrical parameters of standard by optical method. This paper provides results of developing hardware-software complex for measuring geometrical parameters of the sample using optical laser triangulation.*

*Keywords: optical measurements, laser triangulation, camera calibration, Arduino, stepper motors.*

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ.3

На даний час оптичні методи вимірювання знаходять широке застосування в промисловості, наприклад в контролі поверхонь, контролі цілісності, розпізнаванні тривимірних об'єктів, системах відеоспостереження, системах комп'ютерного зору для роботів, навігації, тощо. Для усіх цих застосувань критично необхідне отримання тривимірної інформації (форма, поверхня, 3D-координати) про об'єкт, що досліджується. Нажаль при застосуванні стандартних оптичних методів одна з координат втрачається (найчастіше інформація про глибину або відстань до об'єкта). Саме тому одна з технік 3D реконструкції має бути застосована:

- Триангуляція
- Оптична інтерферометрія
- Вимірювання часу польоту

Перевагами оптичних методів є те, що вони швидкі, безконтактні та не руйнують об'єкт. Найчастіше вони використовуються з камерами та цифровою обробкою зображень

### ФОРМУЛЮВАННЯ МЕТИ ДОСЛІДЖЕННЯ (ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ).

3D сканер – це пристрій, який дозволяє отримати тривимірну інформацію, необхідну для оцифровки повної чи часткової поверхні об'єкта.

Побудова такого пристрою вимагає двох складових: апаратної та програмної.

Основними частинами апаратної складової є камера, яка отримує оптичну інформацію про об'єкт, та певний засіб проектування, найчастіше лазер.

Основною задачею програмної складової є обробка зображень у той чи інший спосіб для відбудови 3D інформації про об'єкт з певної кількості його 2D зображень.

Метою даної роботи є розробка та побудова програмно-апаратного комплексу для вимірювання геометричних параметрів зразка оптичним методом та побудови його 3D-моделі.

Новизна даної роботи полягає у тому, що технології вимірювання розмірів оптичними методами починають набувати широко розповсюдження через значний зріст доступності 3D-принтерів.

### ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для роботи була вибрана мікропроцесорна плата Arduino Uno на базі якої проводиться керування програмно-апаратним комплексом та веб-камера Logitech HD Webcam C270, яка використовується для отримання зображень.

3D сканери засновані на методі триангуляції є активним сканерами, що використовують лазерне випромінювання для отримання інформації про об'єкт. Такий сканер випромінює лазерне світло на об'єкт та використовує камеру для пошуку лазерної точки. Залежно від відстані до поверхні об'єкта лазерна точка буде знаходитись в певному місці в куті огляду камери. Цей метод називається триангуляцією тому, що лазерна точка, камера, та лазер формують трикутник. Довжина однієї сторони трикутника, відстань між камерою та лазером відома. Кут під яким знаходиться лазер теж є відомим. Кут під яким знаходиться камера може бути визначений за

допомогою визначення положення лазерної точки на зображенні з камери. Ці три складові повністю визначають форму і розміри трикутника і дозволяють отримати положення лазерної точки. У більшості випадків замість лазерної точки використовуються лазерна лінія для збільшення швидкості сканування. Сканери на основі тріангуляції мають обмежену відстань роботи і високу точність.

*Апаратна частина* в даному проекті представлена контролером, кроковим мотором, веб-камерою, лазером, драйвером крокового мотору, блоком живлення та корпусом .

Система з кроковими моторами складається з трьох основних частин:

- Контролер – це мікропроцесор, що здатний генерувати крокові імпульси для драйвера.
- Драйвер конвертує команди контролера в напругу необхідну для збудження котушок мотора.
- Кроковий мотор – це електромагнітний пристрій, що конвертує цифрові імпульси в механічні оберти валу.

*Програмні засоби* для даного програмно-апаратного комплексу повинні мати можливість виконувати наступні основні функції:

- 1) Керування Arduino
- 2) Отримання зображень з веб-камери
- 3) Калібрування веб-камери
- 4) Обробка зображень
- 5) Побудова поверхні з хмари точок

Пункти 1 – 4, за допомогою додаткових модулів, дозволяє виконувати пакет програмного забезпечення MathWorks MATLAB. Для виконання п'ятого пункту використовується система MeshLab.

До апаратної частини програмно-апаратного комплексу належать:

- Контролер – Arduino Uno
- Кроковий мотор – SY42STH47-1206A
- Драйвер – Polulu A4988 StepperMotorDriverCarrier
- Блок живлення – MW3R15GS/6XC
- Веб-камера – Logitech HD Webcam C270
- Лазер – 5mW LaserModuleEmitter
- Корпус

До програмної частини належать:

- MATLAB
- MATLAB ArduinoIOPackage
- ImageAcquisitionToolboxfor MATLAB
- CameraCalibrationToolboxfor MATLAB
- ImageProcessingToolboxfor MATLAB
- MeshLab

Діаграма під'єднання комплектуючих зображена на рис. 1.

Програмно-апаратний комплекс у зібраному вигляді зображений на рис. 2.

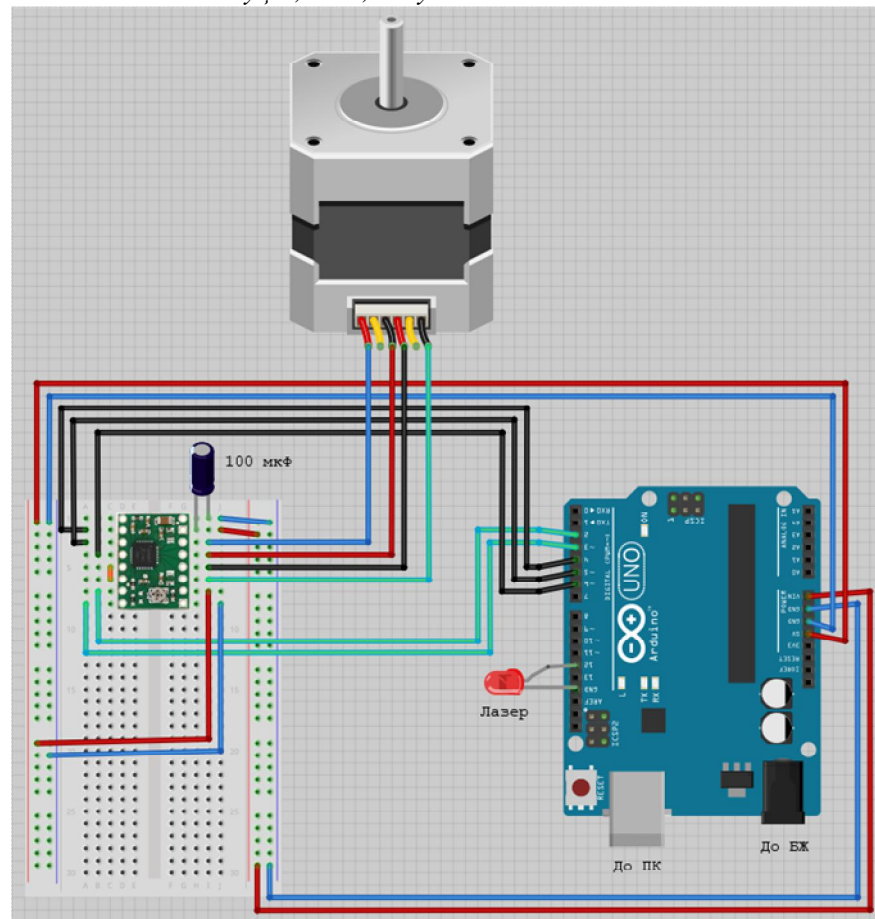


Рис. 1. Діаграма під'єднання комплектуючих



Рис. 2. Програмно-апаратний комплекс у зібраному вигляді

Оскільки світло рухається по прямій (в однорідних середовищах, таких як повітря), то для отримання рівнянь для 3D реконструкції використовуються рівняння лінійної алгебри. Основними елементами є точки, прямі, промені та площини.

© Решетило О.М, Смолянкін О.О., Фляк А.В.

**Пряма**  $L$  може бути представлена за допомогою однієї з її точок  $q$  та вектором напрямку  $v$  (рис 3.2). Будь-яка інша точка  $p$  на прямій  $L$  може бути представлена як додавання скалярного множника вектору напрямку  $\lambda v$ , до точки  $q$  ( $\lambda$  може бути додатнім, від'ємним чи нулем):

$$L = \{ p = q + \lambda v : \lambda \in \mathbb{R} \}$$

Це параметричне рівняння прямої, де число  $\lambda$  є параметром. Таке рівняння не є унікальним, точка  $q$  може бути замінена на будь-яку точку на прямій  $L$ , а вектор  $v$  може бути замінений на будь-який ненульовий множник вектору  $v$ .

**Площина**  $P$  може бути представлена у неявній формі за допомогою точки  $q$  на ній та нормального векторів  $n$  (рис 3.3). Будь-яка інша точка  $p$  належить площині  $P$  тоді і тільки тоді, коли вектори  $p - q$  та  $n$  ортогональні:

$$P = \{ p : n^t(p - q) = 0 \}$$

Лазери, що використовуються для проєкції створюють лінії або точки на зображенні, що можуть бути ідентифіковані. Користуючись моделлю пінхол камери спроектована лінія створює площину світла (унікальну площину, що містить лінію на площині зображення та центр проєкції), а спроектована точка створює промінь світла (унікальну пряму, що містить пряму на площині зображення та центр проєкції).

Перетин площини випромінювання з об'єктом містить багато підсвічених викривлених сегментів. Кожен з цих сегментів складається з багатьох підсвічених точок. Кожна підсвічена точка, видима камерою створює промінь камери. Якщо положення камери та лазера відомі, то рівняння спроектованої площини і рівняння променів камери можуть бути створені. З цих рівнянь положення підсвічених точок можуть бути знайдені за допомогою обчислення перетину площини лазера та променя камери.

Обчислення перетину площини та прямої можливе якщо пряма представлена в параметричній формі:

$$L = \{ p = q_L + \lambda v : \lambda \in \mathbb{R} \},$$

а площина представлена в неявній формі:

$$P = \{ p : n^t(p - q_P) = 0 \}$$

Пряма та площина можуть не перетинатись у випадку, коли вони паралельні. Тоді вектори  $v$  і  $n$  ортогональні і  $n^t \cdot v = 0$ . Якщо вектори  $v$  і  $n$  не ортогональні і  $n^t \cdot v \neq 0$ , тоді пряма і площина перетинаються тільки в одній точці  $p$ . Оскільки точка  $p$  належить прямій то вона може бути записана як  $p = q_L + \lambda v$ , для значення  $\lambda$ , яке необхідно знайти. Оскільки точка  $p$  належить і площині, вона має задовольняти лінійне рівняння:

$$n^t(p - q_P) = n^t(\lambda v + q_L - q_P) = 0,$$

звідки:

$$\lambda = \frac{n^t(q_P - q_L)}{n^t v}$$

Оскільки пряма проходить через точку, то це рівняння можна розв'язати. Геометрична інтерпретація перетину площини і прямої зображена на рис. 3.

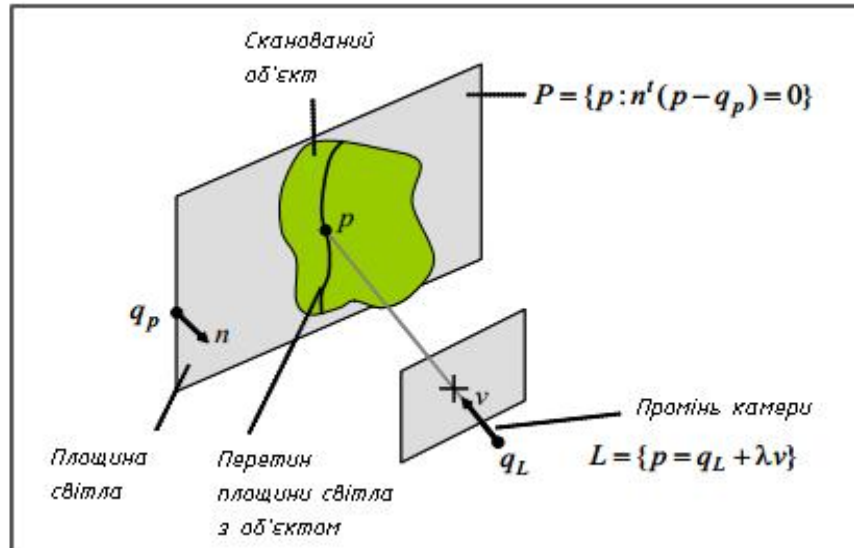


Рис. 3. Перетин площини та прямої

Точка на зображенні з координатами  $u = \begin{pmatrix} u^1 \\ u^2 \\ 1 \end{pmatrix}$  є частиною унікальної прямою, що проходить через неї та центр проєкції. Необхідно знайти параметричне рівняння  $L = \{p = q + \lambda v : \lambda \in \mathbb{R}\}$  цієї прямої. Оскільки ця пряма містить центр проєкції усі її точки будуть мати одні й ті ж координати на зображенні. Якщо  $p_w$  – це вектор координат точки на цій прямій, тоді глобальні координати та координати на зображенні пов'язані рівнянням  $\lambda \cdot u = R \cdot p_w + T$ . Оскільки  $R$  є матрицею повороту, то  $R^{-1} = R^t$  і рівняння проєкції може бути записане у вигляді

$$p_w = (-R^t T) + \lambda (R^t u)$$

Дана пряма описується точкою  $q$  з координатами  $q_w = -R^t T$ , що є центром проєкції та вектором  $v_w = R^t u$ .

Результати роботи програми зображені на рис. 4.

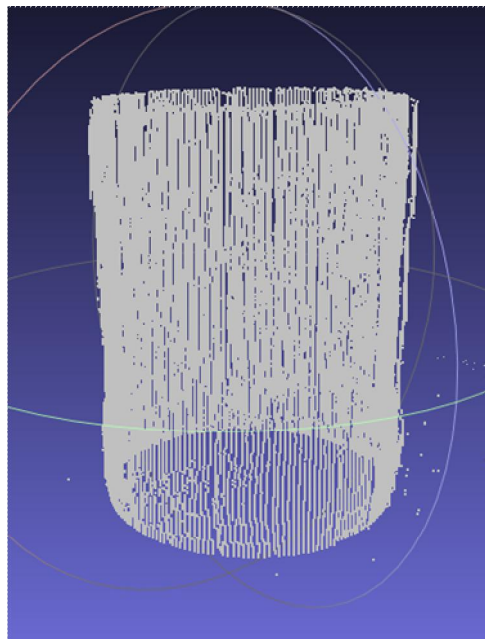


Рис. 4. Отримана хмара точок об'єкта після виконання триангуляції усіх знятих файлів

### **ВИСНОВОК.**

Використання лазерної триангуляції дозволяє отримувати 3D-модель досліджуваної деталі з високою точністю та швидкістю.

В даній роботі було розроблено програмно-апаратний комплекс для вимірювання геометричних параметрів зразка методом оптичної лазерної триангуляції. Створено установку для отримання фотографій зразка з усіх кутів огляду. Побудовано алгоритм для обробки фотографій отриманих за допомогою установки та створення його 3D-моделі.

Подальша робота в даному напрямку є перспективною, зокрема удосконалення апаратної та програмної частин комплексу для підвищення точності його роботи та використання у галузі 3D-друку.

### **Список використаної літератури**

1. Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 22, 11 (2000)
2. Arduino Uno // <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
3. Matthew Burris. Stepper Motors vs Servo Motors - Selecting a Motor // <http://components.about.com/od/Components/a/Stepper-Motors-Vs-Servo-Motors-Selecting-A-Motor.htm>
4. Pololu - A4988 Stepper Motor Driver Carrier // <http://www.pololu.com/product/1182>
5. Arduino Support from MATLAB // <http://www.mathworks.com/hardware-support/arduino-matlab.html>
6. Camera Calibration Toolbox for Matlab // [http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib\\_doc/](http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/)
7. Gary Bradski and Adrian Kaehler. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. O'Reilly Media, 1st edition, October 2008.
8. David Acosta. Laser Triangulation for shape acquisition in a 3D Scanner Plus Scanner. Proceedings of the Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference. – 2006. – 6 с.
9. Bagus Arthaya. Point Clouds Construction Algorithm From a Home-made Laser Scanner. Eighth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications. – 2008. – 6 с.
10. Iona Kalova. Industrial Applications of Triangulation Technique. – 2005. – 6 с.
11. Douglas Lanman Build Your Own 3D Scanner: 3D Photography for Beginners, SIGGRAPH 2009. – 94 с.