

СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ В ОБЛАСТІ ДЕФЕКТОСКОПІЇ МАТЕРІАЛІВ ТА ВИРОБІВ

В. Я. Пуйда

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних обчислювальних машин
volodymyr.y.puida@lpnu.ua

© Пуйда В. Я., 2022

Для дефектоскопії матеріалів та виробів у багатьох випадках можна використовувати візуально-оптичні методи та засоби. З розвитком мікропроцесорних компонентів і, відповідно, значним розширенням сфер використання комп'ютерної техніки та методів і засобів оброблення та аналізу зображень стрімко розвивається використання візуально-оптичних методів та засобів дефектоскопії для серійного виробництва та в наукових дослідженнях.

У роботі запропоновано варіант побудови системи технічного зору для експериментальних досліджень дефектів матеріалів та виробів з можливістю використання сучасних методів оброблення та ідентифікації об'єктів за їх візуальними зображеннями. Система складається з установки для розміщення досліджуваного об'єкту з можливістю його обертання в горизонтальній площині, отримання з цифрової відеокамери відеозображень необхідної для контролю зони об'єкту, попереднього опрацювання відеокадрів локальним обчислювачем з метою покращення якості та передачі зображень на головний обчислювач для виявлення та ідентифікації можливих дефектів і прийняття рішення про відбраковку.

Для розміщення та обертання виробу чи матеріалу використовується кроковий двигун типу 17HS4401 з закріпленою на осі платформою. Керування кроковим двигуном здійснюється через Microstep Driver TB6600 з допомогою локального обчислювача на базі мікроконтролера з ядром ARM Cortex-M7. Введення відеопотоку відбувається з допомогою USB відеокамери-мікроскопа, яка забезпечує достатньо високу роздільну здатність для виявлення дефектів розміром від 50 мікрон і більше на поверхні досліджуваного об'єкту. Швидкістю обертання об'єкту можна керувати через локальний обчислювач. Введення зображень в локальний обчислювач може відбуватися як у вигляді неперервного відеопотоку так і покадрово. Локальний обчислювач обладнаний системою індикації на базі LCD індикатора типу BC1602A та функціонально програмованих одиночних світлодіодних індикаторів, локальною клавіатурою для вибору режимів керування кроковим двигуном, портом USB для підключення USB відеокамери-мікроскопа та портом SWD для програмування Flash пам'яті мікроконтролера і відлагодження програм в реальному часі. Передача в головний обчислювач відеокадрів після покращення якості або оригінального зображення без перетворення здійснюється через інтерфейс SPI.

Розроблено програмне забезпечення локального обчислювача для керування кроковим двигуном, отримання зображень ймовірної дефектної зони у вигляді відеопотоку чи окремих кадрів, покращення якості зображень та передачі їх на головний обчислювач для подальшого оброблення та аналізу. Отримані результати можуть бути використані в наукових дослідженнях та при проектуванні реальних автоматизованих систем неруйнівного контролю матеріалів та виробів.

Ключові слова: неруйнівний контроль, дефектоскопія, система технічного зору, відеокамера, мікроконтролер, кроковий двигун, LCD індикатор, інтерфейс USB, інтерфейс SPI, інтерфейс SWD.

Вступ

В процесі виготовлення матеріалів та виробів виникає актуальна проблема, пов'язана з виявленням дефектів, що появляються з різноманітних причин і проявляються як порушення суцільності або однорідності структури, зон корозійного ураження, відхилення форми та розмірів тощо. Часто вирішення задач в цій області проводиться методами та засобами неруйнівного контролю, які прийнято називати дефектоскопією. Особливістю дефектоскопії є контроль параметрів досліджуваного об'єкту без його пошкодження та руйнувань, що забезпечує можливість подальшої експлуатації та використання об'єктів. Розроблено широкий спектр методів та засобів дефектоскопії, які базуються на різних фізичних принципах отримання інформації про об'єкт для її подальшого аналізу з метою виявлення дефектів. Треба врахувати, що універсального методу для контролю якості матеріалів та виробів не існує. Вибір того чи іншого методу та засобів для дефектоскопії залежить від природи самих об'єктів та ймовірних дефектів.

Відомі методи неруйнівного контролю стандартизовані в Україні та представлені в низці документів ДСТУ, що затверджені Наказом Державного підприємства "Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості" [1], наприклад, група документів ДСТУ EN 1330-1:2016 «Неруйнівний контроль. Термінологія. Частина 1, 4, 8, 9, 10» тощо. У вказаних документах методи неруйнівного контролю поділяються на акустичні, капілярні, магнітні, оптичні, радіаційні, радіохвильові, теплові, електричні, електромагнітні. У дефектоскопії для контролю матеріалів та виробів крім ряду інших методів використовують візуально-оптичні, які базуються на аналізі візуальних зображень ймовірних дефектних зон та дають можливість в багатьох випадках автоматизувати процес контролю і таким чином покращити його характеристики.

Огляд літературних джерел

З розвитком методів цифрової обробки сигналів та зображень і появою потужних мікропроцесорних засобів область аналізу оптичних зображень отримала широке застосування в багатьох випадках для рішення задач неруйнівного контролю матеріалів та виробів [2]. Розроблено ряд стандартів ДСТУ для контролю якості по зображеннях, наприклад, [3], [4], [5], [6].

Такі методи використовують, наприклад, для вимірювання відхилень форми [7] та геометричних параметрів [8], [9], для контролю шорсткості деталей [10], дефектів на поверхні та в структурі прозорих матеріалів та виробів, в яких виявляють макро/мікрodefекти, структурні неоднорідності, внутрішні напруження [11] тощо.

Розвиток методів обробки та розпізнавання зображень і поява потужних обчислювальних засобів на базі новітніх мікропроцесорних компонентів дало поштовх до впровадження оптичних методів дефектоскопії у виробництво та наукові дослідження при розробці нових матеріалів та виробів з можливістю автоматизації процесу. Для рішення таких задач розробляються спеціалізовані системи технічного зору, наприклад, для дефектоскопії при виробництві друкованих плат [12]. Також завдяки досягненням в області розробки методів та засобів для аналізу зображень при проектуванні таких систем технічного зору проводяться наукові дослідження з використання новітніх методів, наприклад, проведення дефектоскопії керамічних виробів з використанням нейронних мереж, машинного навчання [13], [14].

Постановка задачі

Розробити структурну схему системи технічного зору для досліджень в області дефектоскопії матеріалів та виробів, яка забезпечує введення зображень ймовірних дефектних зон у вигляді відеопотоку чи окремих кадрів, при потребі виконання операцій покращення якості зображень і передачу цих зображень на головний обчислювач для виявлення дефектних зон на досліджуваних матеріалах та виробках. Локальний обчислювач повинен забезпечувати керування механізмом зміни положення матеріалу чи виробу в горизонтальній площині, введення візуальної інформації з цифрової відеокамери-мікроскопа, реалізації деяких простих операцій покращення якості введених зображень і передачі їх на головний обчислювач. Провести апаратне макетування основних вузлів

дослідного взірця системи технічного зору. Розробити базове програмне забезпечення для функціонування локального обчислювача.

Результати досліджень

На рис. 1 показано розроблену структурну схему системи технічного зору для проведення досліджень в області дефектоскопії матеріалів та виробів. Система складається з двох підсистем: з підсистеми на базі локального обчислювача, який забезпечує введення візуальної інформації про досліджувані на наявність дефектів зони матеріалу чи виробу та з підсистеми на базі головного обчислювача, що проводить аналіз зображень досліджуваних зон з метою виявлення дефектів, визначення їх допустимих параметрів, прийняття рішення про відбраковку матеріалу чи виробу і при необхідності формує команди на вузол керування системою відбраковки. Обмін інформацією між головним та локальним обчислювачами відбувається через інтерфейс SPI.

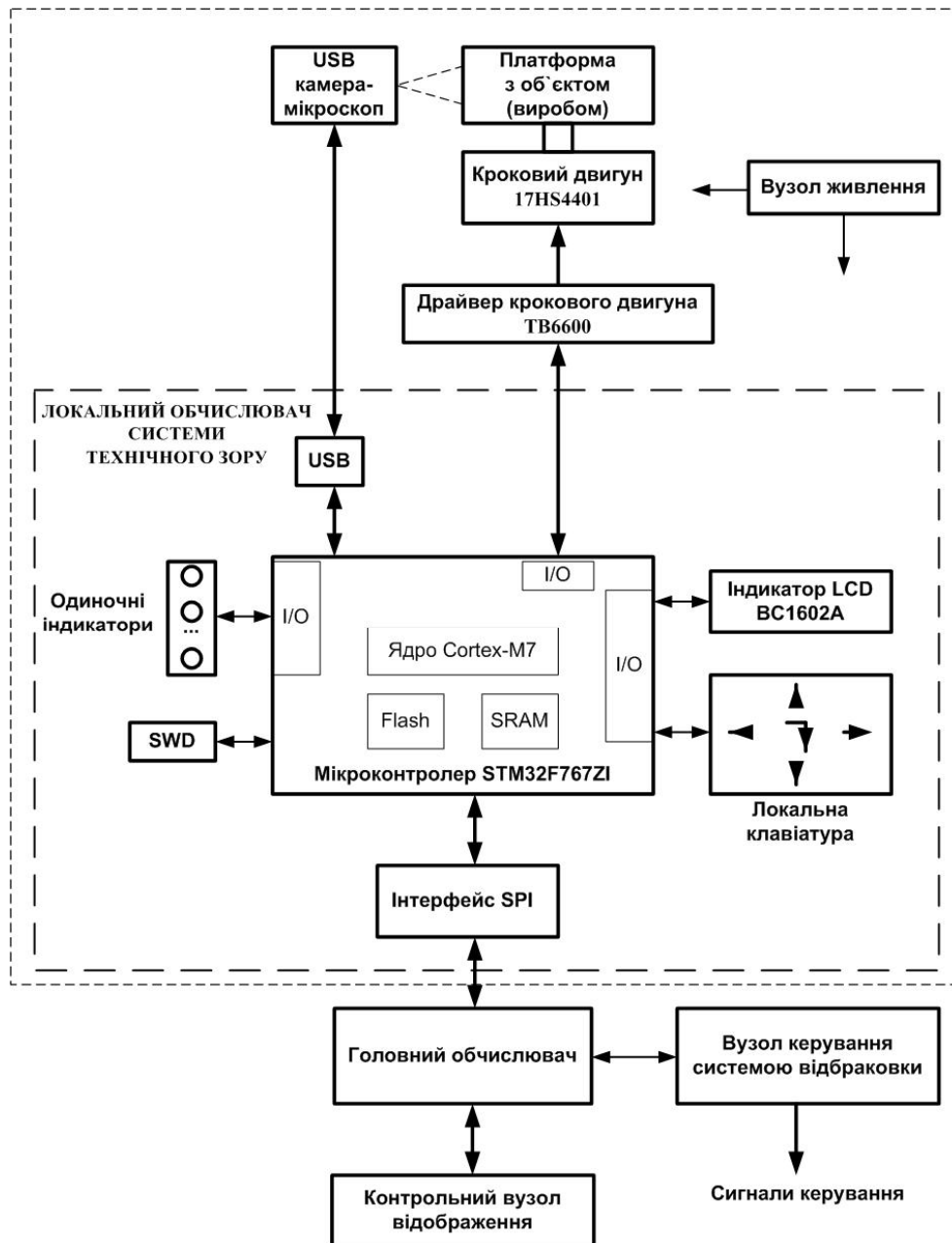


Рис. 1. Структурна схема системи технічного зору для проведення досліджень області дефектоскопії матеріалів та виробів

Введення цифрових зображень досліджуваних на дефекти зон матеріалу чи виробу здійснюється цифровою USB відеокамерою-мікроскопом. Можна використовувати різні типи таких пристроїв, наприклад, MU300-CK ... MU2003-CK з високою роздільною здатністю та інтерфейсом USB 3.0 [15], SIGETA M3CMOS 8500 8.5MP USB 3.0 [16] тощо, рис. 2. Такі відеокамери мають високі технічні характеристики і відповідно високу вартість.



Рис. 2. Професійні цифрові відеокамери для мікроскопу

В представленому макетному варіанті системи технічного зору використано просту відеокамеру-мікроскоп типу SNAP 40-1000x [17] з інтерфейсом USB 2.0, яка дозволяє вводити зображення у вигляді відеопотоку у форматі AVI з частотою 30 кадр/сек чи окремих кадрів у форматі JPEG з ZOOM від 40x до 1000x та розміром кольорового зображення 640×480 пікселів, що достатньо для відпрацювання базових принципів функціонування такої системи технічного зору, рис. 5, п. 4.

Досліджувані матеріали та вироби розміщуються на платформі, яка може обертатися в горизонтальній площині. Обертання здійснюється за допомогою крокового двигуна типу 17HS4401 [18], рис. 3, рис. 5, п. 3. На осі крокового двигуна закріплена сама платформа з матеріалом чи виробом, рис. 5, п. 1.

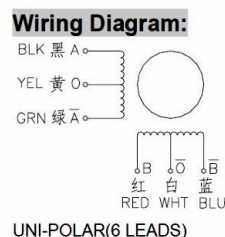


Рис. 3. Кроковий двигун 17HS4401

Керування кроковим двигуном здійснюється локальним обчислювачем програмно за допомогою драйвера типу Microstep Driver TB6600 [19], рис. 4.

Модуль драйвера використовує ШІМ модуляцію та гнучке керування струмом обмоток двигуна, що дозволяє підключати крокові двигуни широкого діапазону напруги живлення і струму. При чому мікросхема драйвера обмежує максимальний струм обмоток двигуна на необхідному рівні.

Базою для розробки локального обчислювача (рис. 1), вибрано мікроконтролер типу STM32F767ZI з ядром ARM Cortex-M7 [20]. Потужне 32-розрядне ядро з максимальною робочою частотою 216 MHz, вбудований FPU для обчислень з плаваючою комою з подвійною точністю та DSP інструкції забезпечують достатню продуктивність для реалізації покладених на локальний обчислювач функцій.

Об'єм інтегрованої на кристалі пам'яті типу Flash, в якій розміщується програма та константи з можливістю захисту від несанкціонованого копіювання вмісту, становить 2 Мб. Також на кристалі мікроконтролера інтегровано SRAM об'ємом 512Kb та вузол з 32-х розрядною шиною для підключення зовнішньої пам'яті різних типів: SRAM, PSRAM, SDRAM/LPSDR SDRAM, NOR/NAND.



Рис. 4. Драйвер керування Microstep Driver TB6600

На кристалі мікроконтролера інтегровано апаратний JPEG кодек, що суттєво підвищує продуктивність при обробці введених зображень. Крім цього, обраний мікроконтролер має широкую номенклатуру інтегрованих периферійних пристроїв та вузлів, різноманітних інтерфейсів. Мікроконтролер локального обчислювача обслуговує різноманітні зовнішні периферійні компоненти: інтерфейс USB для підключення відеокамери-мікроскопа, одиночні світлодіодні індикатори, функціональне призначення яких може бути перепрограмоване через спеціальне меню, інформаційне табло меню на базі рідкокристалічного індикатора LCD типу BC1602A на 2 рядки по 16 символів, кнопки локальної клавіатури для керування опціями меню, інтерфейс SPI для обміну інформацією з головним обчислювачем, інтерфейс SWD для програмування Flash та відлагодження програмних модулів введення зображень з USB відеокамери-мікроскопа, покращення якості введених зображень, передачі їх в головний обчислювач, керування кроковим двигуном поворотної платформи з матеріалом чи виробом. Операції відлагодження через інтерфейс SWD підтримує більшість інтегрованих середовищ IDE для розроблення програмного забезпечення.

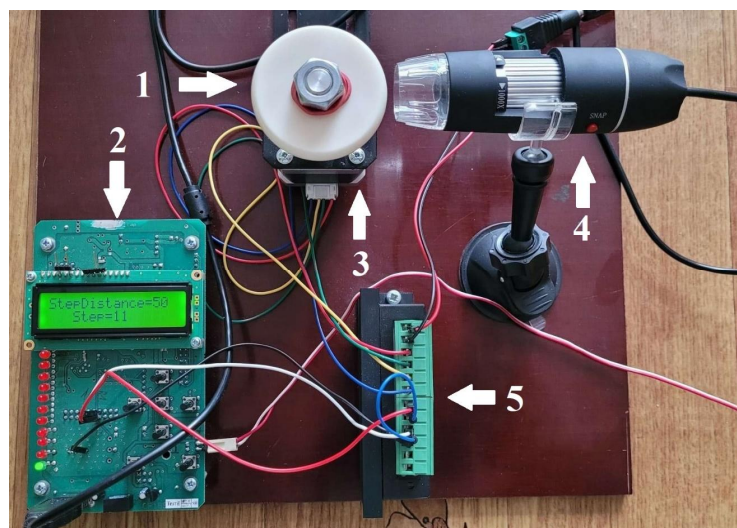


Рис. 5. Фото компонентів локального обчислювача з підключеною цифровою USB-відеокамерою-мікроскопом та вузлом керування платформою для розміщення матеріалу чи виробу

На рис. 5 зображено: 1 – виріб на горизонтальній платформі; 2 – локальний обчислювач з системою індикації на базі одиночних світлодіодних індикаторів та LCD індикатором типу BC1602A, локальною клавіатурою, портами USB, SPI та SWD; 3 – кроковий двигун; 4 – цифрова USB відеокамера-мікроскоп, яка забезпечує введення зображень ймовірних дефектних зон виробу або матеріалу у вигляді відеопотоку чи окремих кадрів; 5 – драйвер керування кроковим двигуном.

Програмне забезпечення локального обчислювача забезпечує керування поворотною платформою з досліджуванним на наявність дефектів матеріалом чи виробом, введення у вигляді відеопотоку чи окремих кадрів цифрових зображень досліджуваних на дефекти зон матеріалу чи виробу з цифрової USB відеокамери-мікроскопа, опцію покращення якості введених зображень та передачу їх в головний обчислювач через інтерфейс SPI. Режими функціонування локального обчислювача та їх параметри вводяться з допомогою локальної клавіатури та меню, що відображає необхідну інформацію на алфавітно-цифровому індикаторі.

Головний обчислювач проводить аналіз зображень досліджуваних зон з метою виявлення дефектів, визначення допустимих параметрів виявлених дефектів, прийняття рішення про відбраковку матеріалу чи виробу і формує команди на вузол керування системою відбраковки. Він може бути реалізований на базі стандартного персонального комп'ютера чи спеціалізованого обчислювача побудованого з використанням мікропроцесорних компонентів з потужними обчислювальними можливостями. Якщо алгоритмічна база рішення задач, покладених на головний обчислювач, передбачає використання методів штучного інтелекту, нейронних мереж та машинного навчання то він може включати спеціальні апаратні розширювачі, наприклад, типу Intel Neural Compute Stick 2 [21], який можна підключати до стандартного персонального комп'ютера чи спеціалізованого обчислювача через USB 3.0, рис. 6.



Рис. 6. Нейпорозширювач Intel Neural Compute Stick 2

Розроблення програм локального обчислювача виконувалося у free-середовищі STM32 CubeIDE. Для спрощення процесу розробки драйверів периферійних пристроїв використовувалося free-середовище генератора проектів STM32CubeMX. Також можна використовувати, наприклад, Visual Studio 2019 Community з плагіном VisualGDB, який підтримує розробку програм під Embedded з досить широкою номенклатурою мікропроцесорів. Однак треба врахувати, що плагін VisualGDB є платним і фірма надає можливість безплатного використання плагіну тільки протягом 1 місяця. Всі функції локального обчислювача реалізовані на C з використанням стандартних бібліотек для мікроконтролерів типу STM32F7xx. Відлагодження програм проводилося в реальному часі на апаратній платформі через інтерфейс SWD. На рис. 7 зображено скріншот фрагменту програми керування кроковим двигуном з відображенням параметрів обертання платформи з виробом на екрані локального обчислювача. Введені локальним обчислювачем з цифрової відеокамери-мікроскопа через USB-порт зображення ймовірних дефектних зон виробу у вигляді окремих кадрів показано на рис. 8.

Ймовірні дефектні зони відповідної поверхні виробу на зображеннях виділені. Прийняття рішення про наявність дефекту та необхідність відбракування виробу проводиться програмним забезпеченням головного обчислювача.

```

=====
int Distance = 0; //
int StepDistance = 50; //
int Step = 0; //

sprintf(str, "StepDistance=%u", StepDistance); //Distance
StrPrint(str);

sprintf(str, " Step=%u", Step);
StrLowPrint(str);

SwitchOffRL1F(); //DIR
DelayuS(100);
while(1)
{
// AskMenu(); //TODO:: Please write your application code

SwitchOffRL2F(); //PUL
DelayuS(25);
SwitchOnRL2F(); //PUL
DelayuS(25);

Distance = Distance + 1;

if (Distance == StepDistance) //500
{
Distance = 0;
DelaymS(1000000);

Step = Step + 1;

sprintf(str, " Step=%u", Step);
StrLowPrint(str);
}
}

```

Рис. 7. Скріншот фрагменту програми керування кроковим двигуном

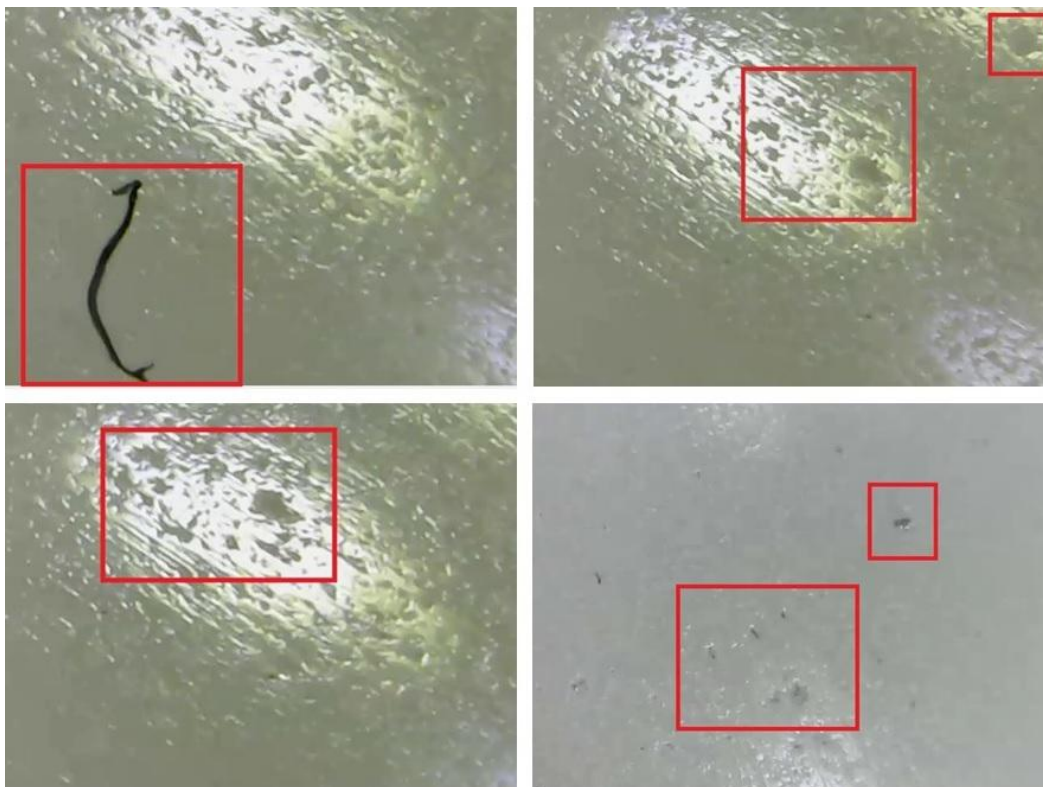


Рис. 8. Фото зображень дефектних зон виробу на платформі

Висновки

Розроблено структурну схему системи технічного зору для експериментальних досліджень дефектів матеріалів та виробів з можливістю використання сучасних методів оброблення та ідентифікації об'єктів по їх візуальних зображеннях. Система складається з двох підсистем: з підсистеми на базі локального обчислювача, який забезпечує введення візуальної інформації про досліджувані на наявність дефектів зони матеріалу чи виробу та з підсистеми на базі головного обчислювача, що проводить аналіз зображень досліджуваних зон з метою виявлення дефектів та виконання операцій після відбракування.

Виготовлено макет локального обчислювача та розроблено базове програмне забезпечення для його функціонування. Локальний обчислювач реалізований на базі мікроконтролера з ядром ARM Cortex-M7 і забезпечує з допомогою крокового двигуна обертання в горизонтальній площині платформи для розміщення досліджуваного об'єкту, введення з USB відеокамери-мікроскопа зображень ймовірної дефектної зони у вигляді відеопотоку у форматі AVI 30 кадр./сек чи окремих кадрів розміром 640×480 пікселів у форматі JPEG, покращення якості введених зображень і передачі їх на головний обчислювач по інтерфейсу SPI для ідентифікації дефектів та прийняття рішення про відбраковку. В статті наведено приклад введених зображень ймовірних дефектних зон виробу.

Список літератури

1. Nakaz 21.06.2016 № 184. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0184774-16#Text> (accessed: 3 October 2022).
2. Vizualno-optychnyi kontrol. [Elektronnyi resurs]. // URL: <http://ua.tuev-dieks.com/> – Rezhym dostupu do resursu: <http://ua.tuev-dieks.com/services/technical-diagnosis/methods-of-survey/vizualno-opticheskij-kontrol/> (accessed: 3 October 2022).
3. DSTU EN ISO 19232-4:2016. Kontrol neruinivnyi. Yakist zobrazhennia na renthenivskykh znimkakh.
4. DSTU ISO 3057:2016. Kontrol neruinivnyi. Metalohrafichnyi metodreplik dlia obstezhennia poverkhni.
5. DSTU ISO 3058:2016. Kontrol neruinivnyi. Dopomizhni zasoby dlia vizualnoho kontroliu.
6. DSTU 2498-94. Osnovni normy vzaizmozaminosti. Dopusky formy ta roztashuvannia poverkhon. Terminy ta vyznachennia.
7. Klasyfikatsiia vidkhylen i dopuskiv formy ta roztashuvannia poverkhon. [Elektronnyi resurs]. – URL: <https://buklib.net/books/36030/> (Accessed: 3 October 2022).
8. Tochnist heometrychnykh parametriv. [Elektronnyi resurs]. – URL: <https://naurok.com.ua/konspekturoku-vstv-za-temoyu-tochnist-geometrichnih-parametriv-177808.html> (accessed: 3 October 2022).
9. Varga B. The effect of the point sampling to the result of coordinate measuring of free-form surface / B. Varga; B. Mikó // Rizannia ta instrumenty v tekhnolohichnykh systemakh = Cutting & tools in technological systems : mizhnar. nauk.-tekhn. zb. Kharkiv : NTU "KhPI", 2022. Vyp. 96. – S. 89–98.
10. Zenkin M. A., Nazarenko A. S. Suchasni optychni metody kontroliu shorstkosti vidpovidalnykh detalei mashyn. Visnyk Inzhenernoi akademii Ukrainy. 2014. No 2. S. 220–224.
11. Matematychni problemy mekhaniky neodnorodnykh struktur / Pid zah. red.O. Lukovskoho, H. S. Kita, R. M. Kushnira. Lviv: Instytut prykladnykh problem mekhaniky i matematyky im. Ya. S. Pidstryhacha NAN Ukrainy, 2014. – 412 s.
12. Bozhuk A. M., Denbnovetskyi S. V. Elektronna sistema tekhnichnoho zoru dlia defektoskopii pry vyrobnytstvi plat. Materialy XIII-yi naukovopraktychnoi konferentsii «Perspektyvni napriamky suchasnoi elektroniky», KPI im. Ihoria Sikorskoho, FEL, 4 kvitnia 2019 r.,s. 100–104.
13. Havryliv D., Ivakhiv O. and Semenchenko M. "Defect detection on the surface of the technical ceramics using image processing and deep learning algorithms", 2020 21st International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM), 2020. Pp. 1–3. DOI: 10.1109/REM49740.2020.9313910.
14. Havryliv D. V., Semenchenko M. O. Vykorystannia hlybynnoho navchannia ta mashynnoho zoru dlia vyjavlennia defektiv na poverkhni keramichnykh dyskiv // Technical using of measurement-2020 : tezy dopovidei VI Vseukrainskoi naukovopraktychnoi konferentsii molodykh vchenykh u tsaryni informatsiino-vymiriuvalnykh tekhnolohii ta metrolohii, 4–7 liutoho 2020 r., Slavske. 2020. – Pp. 39–41.

15. *Profesiini kamery do mikroskopiv Microtech. [Elektronnyi resurs]. – URL: <http://microtech.ua/img/cms/price50.pdf> (accessed: 3 October 2022).*
16. *Tsyfrova kamera SIGETA M3CMOS 8500 8.5Mp USB3.0. [Elektronnyi resurs].– URL: <https://sigeta.com.ua/products/tsyfrova-kamera-sigeta-m3cmos-8500-8-5-mp-dlia-mikroskopa.html> (accessed: 3 October 2022).*
17. *Mikroskop-elektronnyj-tsifrovij. [Elektronnyi resurs]. – URL: <https://mega-shopua.com.ua/ua/p838304224-mikroskop-elektronnyj-tsifrovij.html> (accessed: 3 October 2022)*
18. *17HS4401 Datasheet. Phase Hybrid Stepper Motor. [Elektronnyi resurs]. – URL: <https://www.datasheet4u.com/datasheet-pdf/MotionKing/17HS4401/pdf.php?id=928661> (accessed: 3 October 2022).*
19. *Microstep Driver TB6600. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://bulkman3d.com/wp-content/uploads/2019/06/TB6600-Stepper-Motor-Driver-BM3D-v1.1.pdf> (accessed: 3 October 2022).*
20. *STM32F767ZI. Datasheet. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f767zi.html> (accessed: 3 October 2022).*
21. *Intel® Neural Compute Stick 2 (Intel® NCS2). [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/tools/neural-compute-stick/overview.html> (accessed: 3 October 2022).*

COMPUTER VISION SYSTEM FOR RESEARCH IN THE AREA OF DEFECTOSCOPY FOR MATERIALS AND PRODUCTS

V. Puyda

Lviv Polytechnic National University
Computer Engineering Department

© Puyda V., 2022

In many cases, visual and optical methods can be used in defectoscopy for different materials and products. With the development of microprocessor components and significant expansion of usage of computer technologies and image processing and analysis techniques in different areas, the use of visual and optical methods in defectoscopy for production and research purposes is rapidly developing.

In this paper, the author proposes a computer vision system for experiments and research in the area of studying defects of materials and products. The system uses modern methods of image processing and object identification based on their images. The system allows to install the object so that it can be rotated horizontally, take high-quality images of the object using a digital video camera, pre-process images to enhance image quality using a local computing module, transfer images to the main computing module to identify defects and make decisions about rejection of the material or product.

To install and rotate the material or product, the author uses the stepper motor 17HS4401 and a horizontal platform fixed on the vertical axis. The stepper motor is controlled using Microstep Driver TB6600 and a local computing module based on a microcontroller with an ARM Cortex-M7 core. The video stream is recorded using a USB microscope video camera which provides sufficiently high image resolution allowing to find defects on the object surface of size 50 micron and larger. Rotation speed can be controlled using a local computing module. The input data for the local computing module can be provided in the form of a video stream or a sequence of images. The local computing module has an LCD screen based on the BC1602A indicator, programmable LEDs, a keyboard to select operating modes for the stepper motor, a USB port to connect the microscope video camera and an SWD port to program the Flash memory and debug the firmware in real time. Original images or the images after quality enhancement are passed to the main computing module using the SPI interface.

The author has developed software for the local computing module to control the stepper motor, record a video stream or series of images of the object area with possible defects, quality enhancement and passing the video stream or images to the main computing module for further processing and analysis. The results can be used in scientific research and in development of automated systems for non-destructive defectoscopy for materials and end products.

Keywords: non-destructive testing, defectoscopy, computer vision systems, digital video camera, microcontroller, stepper motor, LCD indicator, USB interface, SPI interface, SWD interface.