

OpenVX 기반 비전처리와 머신러닝을 활용한 PCB 외관 불량 검사 방법

배수영, 석종수, 이문수, 김정시

한국전자통신연구원

manim75@etri.re.kr

PCB Visual Inspection using OpenVX-based vision processing and machine learning

Suyoung Bae, Jong-Soo Seok, Moon Soo Lee, Jeong-Si Kim

ETRI

요 약

IOT, 반도체, 디스플레이, 2차전지 등 여러 산업 분야에서 인쇄회로기판(PCB, Printed Circuit Board) 사용이 요구됨에 따라, 시제품 제작 및 소규모로 생산되는 PCB의 종류도 늘어나고 있다. 소규모로 제작되는 PCB의 경우, 생산 현장에서 전문가의 육안 검사로 진행하게 된다. 이는 작업자의 숙련도, 피로도 등에 따른 인적 오류(Human Error) 발생할 가능성이 높고, 복수 부품에 대한 검사 시 부품의 개수가 증가하는 만큼 작업자의 검사 속도와 효율이 낮아진다. 본 논문은 육안 검사를 대신하여 빠르고 정확한 결함 검출 서비스를 제공하면서 저렴한 구축 비용이 드는 임베디드 시스템 기반의 PCB 외관 검사 장치를 제안한다. 빠르고 정확한 결함 검출을 위해 고화질 PCB 영상을 입력받아 비전 가속 처리를 통한 결함 후보를 찾고, 머신러닝을 이용하여 결함 여부를 판정 구조를 가진다. 또한, OpenVX 표준 프레임워크를 활용하여 임베디드 응용 개발자가 하드웨어, 소프트웨어 가속기를 통한 알고리즘 최적화와 동시에 전체 시스템 수준의 최적화를 진행하여 실행 성능을 높이고, 저전력 소모를 유도한다.

I. 서 론

인쇄 회로 기판(PCB, Printed Circuit Board)의 외관 검사(Visual Inspection)는 탑재된 부품의 불량 여부를 자동으로 검사하는 자동광학검사(AOI: Automated Optical Inspection)와 검사자가 현미경을 사용하거나 직접 육안으로 검사하는 육안 외관 검사(Visual Inspection)등이 있다. 자동광학검사는 부품 생산 공정에서 고가의 장비를 이용하여 진행되며, 육안으로 진행되는 외관 검사는 소규모로 생산되는 PCB의 결함 검사와 AOI 장비를 통해 검출된 다수 불량 후보군에 대해서 진성불량을 판단하기 위한 재검사에 활용된다. 육안 외관 검사는 작업자의 숙련도, 피로도 등에 따른 인적 오류(Human Error)가 발생할 가능성이 있고, 복수 부품에 대한 검사 시 부품의 개수가 증가하는 만큼 속도와 효율이 낮아지므로, 안정적이고 빠르게 검사하기 위한 자동화 방법 및 장치가 필요하다.

육안 검사를 대신하여, 검사 속도를 높이면서 설치 비용이 부담스럽지 않은 장치를 구성하기 위해서는 비교적 저렴한 임베디드 보드 활용이 권장된다. 그러나, 제한된 하드웨어와 소프트웨어 리소스를 갖는 임베디드 보드 상에서 고효율 비전 응용 서비스의 개발은 쉽지 않은 일로서, 실행 성능은 최대화 하고 전력 소비는 최소화하기 위해 많은 노력이 필요하다.

본 논문은 임베디드 플랫폼과 같이 저전력, 고성능을 요구하는 도메인에서 시스템에 최적화된 비전 가속 기능을 제공하면서 플랫폼 이식이 용이한 PCB 외관 검사 방법을 제안한다. 빠르고 정확한 결함 검출을 위해 고화질 PCB 영상을 입력받아 비전 가속 처리를 통한 결함 후보를 찾고, 머신러닝을 이용하여 결함 여부를 판정하는 2단계 구조를 갖는다. 또한,

OpenVX[1] 표준 프레임워크를 활용하여 임베디드 응용 개발자가 하드웨어, 소프트웨어 가속기를 통한 알고리즘 최적화와 동시에 전체 시스템 수준의 최적화를 진행하여 실행 성능을 높이고, 전력 소모를 줄일 수 있게 한다. 본 방식은 저렴한 비용으로 PCB 외관 검사 장치를 구축하고, 기존 육안 검사에서 발생하는 인적 오류(Human Error)를 줄여 일정한 검사 품질을 유지하면서 단일 부품 및 복수 부품에 대한 불량 검사를 빠른 시간 내에 진행할 수 있게 한다.

II. 본론

OpenVX는 이중 임베디드 플랫폼 상에서 최적화된 컴퓨터 비전 처리 응용을 개발, 실행할 수 있게 해주는 가속 표준이다. 인텔, 구글, 엔비디아, 삼성, 퀄컴, AMD, 애플 등 전세계 소프트웨어 및 하드웨어 기업 컨소시엄으로 구성된 비영리 표준 단체인 Khronos 그룹을 통해서 표준이 제정되었다. OpenVX는 일반적으로 많이 사용되는 비전 기능과 이를 실행하는 프레임워크 API를 객체로 정의하여, 다양한 플랫폼에서 비전 응용을 구현하고 실행 가능하게 한다. 비전 기능 객체 내부는 각 플랫폼에서 지원하는 가속 기능을 최대한 활용하여 구현 가능하므로, 다양한 플랫폼 상에서 플랫폼에 최적화된 비전 알고리즘 기능 구현이 가능해진다. 또한, OpenVX 응용은 필요한 비전 기능 객체들과 이들이 연결되는 입출력 메모리 사용 모델을 순차적으로 연결한 단방향 그래프로 표현한다. 데이터의 종속성에 따라 실행의 순서가 정해지는 비순환적 모형의 그래프로서, 응용이 실행되기 전에 전체 동작과 데이터 검

토가 가능하다. 데이터 연결 정확성, 일관성, 병목구간을 검증하여, 전체 시스템 실행에서 발생하는 비효율적인 곳을 확인하여 응용 프로그램 전체 구조의 최적화 작업을 가능하게 한다.

그림 1은 본 논문에서 제시하는 PCB 외관 검사 응용에 대한 OpenVX 그래프를 보인다. 응용은 PCB 영상 입력 모듈, 결합 후보 검출 모듈, 결합 판별 모듈로 크게 구성된다. 영상 입력 모듈은 카메라를 통해 PCB 영상을 실시간으로 입력 받는 부분으로서, 카메라로부터 PCB 영상을 입력받아, 카메라 왜곡에 대한 보정을 수행한다. 결합 후보 검출 모듈은 다양한 영상 처리 방법을 적용하여 PCB 내의 결합후보 영역들을 검출하며, 결합 판별 모듈은 검출된 결합 후보에 대해 기존 머신 러닝 학습 데이터를 기반으로 결합 여부를 판정하고, 결합의 종류를 분류하여 알려준다.

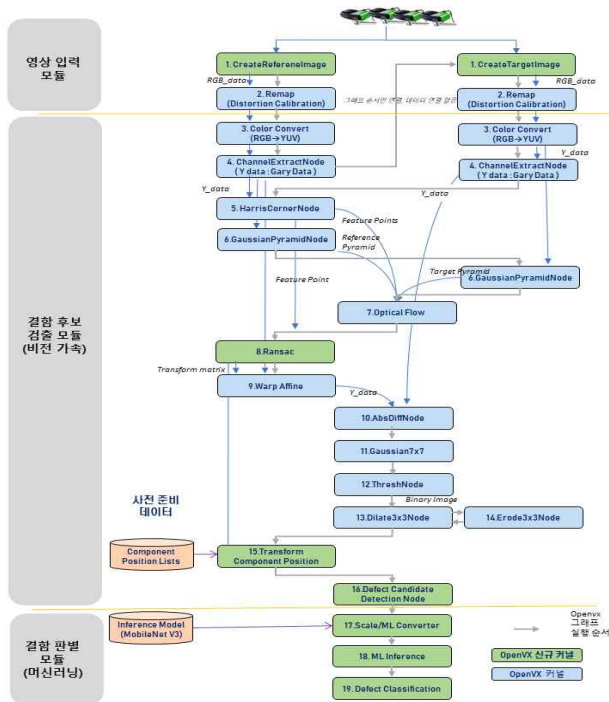


그림 1. PCB 외관 검사 응용에 대한 OpenVX 그래프

리 알고리즘을 통해 실시간으로 결합 후보를 검출하게 한다. 영상 데이터의 연산량을 줄이기 위해 YUV 채널을 분리하여 추출하고, 영상 정합의 정확도를 높이기 위해 두 영상간의 특징점을 추출하고 매칭하여 변환 매트릭스를 구한다. 두 영상 간 픽셀 위치 차이를 변환 매트릭스로 보정한 후 정합하여 차영상을 구한다. 두 영상 차이 값이 발생하는 영역이 불량 검출 후보 영역군으로서, 노이즈를 제거하고 차이 값에 대한 특징을 강화하거나 줄이면서 부품의 크기를 고려하여 일정량 이상의 차이가 발생하는 후보영역을 선별하게 된다.

결합 판별 모듈은 각 부품별 학습 데이터로 학습된 추론 모델을 기반으로 검출된 결합 후보들에 대해 불량 판정을 내린다. 결합 후보들은 부품 영역별로 추출되어 머신러닝 판별부에 전달되며, 머신러닝 추론에 적합한 크기와 형태로 변환되어 추론 모듈로 입력된다. 추론 모듈은 불량에 대한 판정뿐만 아니라, 부품이 빠져 있는지, 잘못 부착되어 있는지 등에 대한 불량 내용까지 판단이 가능하다.

그림 2는 고해상도(HD급 이상) 영상에서의 PCB내 부품과 레이아웃 정보를 이용하여 오류 가능성이 높은 부품에 대한 후보 영역 검출을 고속화하고, 머신러닝 추론 모델을 적용하여 불량을 판단한 결과를 보인다. 사용된 임베디드 시스템은 Firefly RK3399(CPU: CorTex A72 2core, GPU:ARM Mali-T860 MP4 GPU) 보드에 Ubuntu 16.04와 OpenCL Profile 1.2를 설치하였다. OpenVX 1.2를 기반으로 구현되었다. 결합 후보 영역 검출을 위해 사용된 비전 처리 기능은 OpenVX 1.2 표준을 확장하여 사용하였고, 추론 엔진은 Mobilenet V3가 사용되었다.

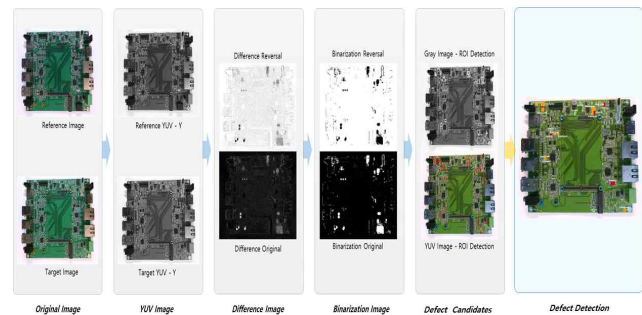


그림 2. PCB 외관 검사 응용 실행 결과

PCB 외관 검사는 정상 PCB 영상을 기준으로 검사 대상 PCB 영상을 비교하여 결합 후보를 찾고 결함을 판정하는 방식으로 진행된다. 결합 검출의 참조 영상으로 사용될 정상 PCB는 카메라로 미리 입력 받고, 각 부품의 위치 정보는 거버 파일로부터 생성할 수 있다. PCB 부품들은 크기가 작고 미세한 것들이 많아 검사 정확도를 위해서 고화질 영상을 필요로 하며, 조명의 밝기, 그림자, 카메라 위치 등에 대해 동일한 환경을 만들어 주면 좋다. 카메라 입력은 렌즈 왜곡이 발생하기 때문에 영상 보정이 필요하며, 여러 카메라로부터 영상을 입력 받을 때에는 영상 통합 과정도 필요하다. 영상 입력 모듈은 이러한 처리들을 담당한다.

결합 후보 검출 모듈은 정상 PCB 영상과 검사 대상 PCB 영상을 비교하여 실시간으로 결합 가능성이 있는 후보 영역을 알려준다. 입력 영상 모듈에서 입력 받은 PCB 영상은 초고화질 영상으로서, 실시간으로 결합 후보 검출을 하기 위해서는 머신러닝 방식보다 전통적인 비전 가속 처리를 사용하는 것이 효율적이다. 인쇄 회로 기판의 고화질 영상을 머신러닝 입력에 필요한 작은 사이즈로 변경할 경우, 결함을 가려낼 수 있는 특징들이 소실될 확률이 높고, 고화질 영상을 머신 러닝 입력으로 사용할 경우 영상 처리에 많은 시간이 소요된다. 비전 가속 검출부는 임베디드 시스템 상에서 지원되는 하드웨어 및 소프트웨어 가속 기능을 활용한 다양한 비전 처

III. 결론

본 논문은 기존 임베디드 단말에 대한 이식이 용이하고, 성능 및 실행 효율을 높일 수 있는 OpenVX 기반의 임베디드 단말을 이용한 PCB 외관 검사 방법 및 장치를 제시하였다. 고화질 PCB 영상을 입력받아 저전력 비전 가속 처리를 통한 불량 후보 검출과 AI를 이용한 불량 판단으로, 효율성과 정확성을 높이는 동시에 다양한 임베디드 시스템 상에서 구성이 가능하여 설치비용을 최소화 하고, 운영 비용의 절감 효과를 유발한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원(No.2017-0-00142, 스마트기기를 위한 온디바이스 지능형 정보처리 가속화 SW플랫폼 기술 개발)을 받아 수행된 연구임

참 고 문 헌

- [1] Khronos Group, OpenVX Specification ver. 1.2, 2017
- [2] W. Huang and P. Wei, "A PCB Dataset for Defects Detection and Classification, Journal of LATEX Class files, Aug. 2018.