



카메라 모듈 검사 장비의 자동화를 위한 기계 학습의 활용

I. 서론

2008년 픽사가 제작한 애니메이션 “월-E”는 미래의 로봇을 중심으로 한 이야기로, 영화에는 지구인들이 쓰레기 더미로 변한 지구를 떠나면서 남겨둔 청소 로봇 “월-E”와 지구인들이 우주선에서 생활하며 지구로 보낸 생명체 탐사 로봇 “이브”가 등장한다. 영화에서 월-E가 이브의 관심을 끌기 위해 지구에서 수집한 물건들을 보여주며 소개시켜 주는 장면이 나온다. 월-E가 이브에게 새싹을 보여주자, 이브는 새싹을 스캔하고 식물이라 판단하여 우주선으로 임무 성공 메시지를 보낸다. 로봇인 이브는 새싹을 보고 어떻게 식물이라 판단한 것일까?

머신 비전(Machine Vision)은 기계에 시각 능력과 판단 능력을 부여하여 인간이 보고 판단하는 기능을 하드웨어와 소프트웨어의 시스템이 처리하도록 하는 기술이다. 용어가 낯설지라도 우리는 이미 일상 생활에서 머신 비전을 적용한 다양한 어플리케이션들을 사용하고 있다. 지문 인식, 얼굴 인식, 주차장의 자동차 번호판 인식 등이 그 예이다. 머신 비전은 각종 산업 분야가 자동화로 전환되면서 제조업 분야에서 여러 가지 검사를 수행하는데 활발히 사용되고 있다^[1-3]. 일반적으로 시각적 검사와 품질 관리는 전문적인 목시 검사자들이 수행 해 왔다. 사람이 직접 목시 검사를 수행할 경우, 사람이 원하는 검사 결과를 얻을 수는 있지만 검사자의 주관적인 기준이 개입되거나 검사자의 기분 및 컨디션에 따라 검사 품질의 일관성이 떨어질 수 있다. 또한 오랜 시간 동안 검사를 진행 하다 보면, 집중력이 저하되어 검사의 정확도가 떨어지며 목시 검사를 위한 인건비가 투입되어 검사 비용이 증가하게 된다. 이러한 점을 개선하기 위해 산업체에서는 머신 비전을 활용한 자동 결합 검출 시스템을 도입하고 있다^[3-4].

카메라 모듈은 스마트폰과 같은 모바일 기기에 장착된 카메라이



박순영
(주)탐엔지니어링



김상목
(주)탐엔지니어링

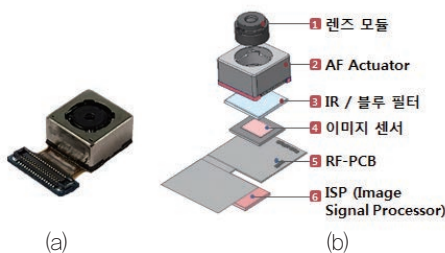


〈그림 1〉 카메라 모듈의 활용 분야

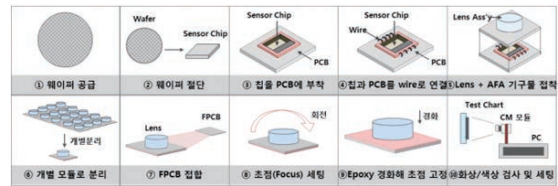
다. 최근에는 휴대폰 외에도 〈그림 1〉과 같이 자동차, CCTV, 의료기기, 로봇, 웨어러블 등 다양한 어플리케이션에 카메라 모듈이 적용되면서 카메라 모듈 시장이 점차 확대되고 있다. 또한 성능도 고화소화, 고기능화, 다양화되면서 카메라 제조 공정이 더 정밀해지며, 그에 따라 검사 장비도 더 높은 정밀도가 요구되고 있다^[5]. 본 고에서는 카메라 모듈 검사 장비에서의 머신 비전 응용에 대해서 살펴보고, 카메라 모듈 검사 장비 자동화의 당면 과제와 기계학습에 기반한 머신 비전을 응용한 해결 방안에 대해서 살펴본다.

II. 카메라 모듈 구조 및 제조 공정

카메라 모듈(Compact Camera Module)이란, 렌즈를 통해 들어온 이미지를 디지털 신호로 변환시키는 부품으로 〈그림 2(a)〉에 보인다. 카메라 모듈은 내부적으로 〈그림 2(b)〉와 같이 여러 부품들로 구성된다. 일반적으로 외부로부터 빛을 받아들이는 렌즈 모듈, 이미지 센서에 최적의 초점이 맺도록 렌즈 모듈을 상하로 움직이면서 자동으로 조절하는 AF 액추에이터(Auto Focus Actuator), 외부 광원 중 적외선부의 빛을 차단하고 가



〈그림 2〉 카메라 모듈 (a) 카메라 모듈 사진 (b) 카메라 모듈 분해도 (출처 : 삼성전기)



〈그림 3〉 카메라 모듈 제작 공정

시광선 영역만 통과시키는 IR/블루 필터, 받아들인 빛을 전기적 영상 신호로 변환시키는 이미지 센서, 이미지 센서에서 변환된 전기적 신호를 영상 신호로 변환하는 ISP 등으로 구성된다.

카메라 모듈은 〈그림 3〉에 보이는 여러 공정들을 거쳐서 제품으로 완성된다. 이러한 공정들은 유기적으로 연결되어 있으므로, 각 공정에서의 신뢰도가 중요하다^[6-7]. 제조 공정의 신뢰도 측면에서 여러 테스트를 수행하게 되는데, 특히 조립 후 수행하는 최종 검사기 혹은 제조 검사기는 제품의 품질과 직결되므로 매우 중요하다.

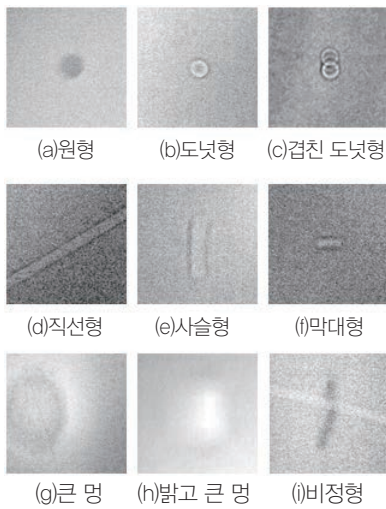
III. 카메라 모듈 검사 장비의 자동화

1. 카메라 모듈 검사 장비

카메라 모듈 제조 업체는 모듈 제작 완료 후, 제작 과정에 문제가 없었는지 결함을 검사하여 이상이 없는 양품 모듈을 납품한다. 검사 항목은 카메라 모듈 및 제조사에 따라 다르지만, 일반적으로 불량 화소 검사, Auto Focus 검사, Vignetting 검사, 얼룩 검사 등을 수행한다. 이는 머신 비전을 기반으로 한 자동 결함 검사 시스템을 활용한다. 자동 결함 검사 시스템은 〈그림 4〉와 같은 검사 장



〈그림 4〉 카메라 모듈 검사 장비의 예 (출처 : 탑엔지니어링)



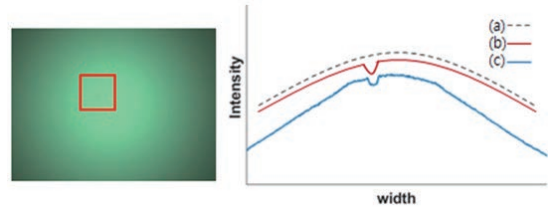
〈그림 5〉 얼룩의 유형

비에 카메라 모듈을 장착하고, 모듈을 사용하여 획득한 이미지를 분석함으로써 결함 유무를 판별한다.

2. 카메라 모듈 결함 검사

본 고에서는 결함 검사 항목들 중 얼룩 결함을 중심으로 살펴본다. 얼룩(stain 또는 mura)이란, 같은 밝기의 이미지를 촬영하였을 때 특정 영역의 밝기가 불균일하게 나타나는 결함이다. 얼룩은 배경 영역과의 밝기 대비가 크지 않고, 경계 영역에서의 밝기 대비가 매우 낮기 때문에 검출하는데 어려움이 있다. 얼룩이 발생할 수 있는 원인은 다양하지만, 대부분 부품들을 조립하는 과정에서 제 조 환경 및 사용자 부주의에 의해 발생하게 된다^[5]. 〈그림 5〉는 이미지에 보인 다양한 형태의 얼룩을 보인다.

카메라 모듈로 촬영한 이미지는 렌즈를 통해 받은 빛을 영상 신호로 변환한 출력 결과이다. 카메라 모듈로 아무 것도 없는 광원만을 촬영한다면 이미지의 밝기는 〈그림 6(a)〉와 같이 중심부는 밝고 가장자리로 갈수록 어두워진다. 이는 렌즈의 특성상 광원의 불균일성에 의한 영상의 불균일 조명이 발생하기 때문이다. 즉, 이미지 센서의 중심 부분으로 빛이 모여 중심부의 밝기 값은 높고, 가장자리로 갈수록 빛을 적게 받아 가장자리 부분의 밝기 값은 낮아지는 lens shading이 발생한다. 만약 이미지에 얼룩이 존재할 경우에는 〈그림 6(b)〉와 같이 얼룩 부분의 밝기 값이 낮아진다.



〈그림 6〉 Lens Shading (왼쪽) 카메라 모듈을 사용하여 촬영한 이미지, 박스 안에 원형 얼룩 존재, (오른쪽) 이미지의 X축 방향으로 밝기 그래프 (a)얼룩이 없을 경우 밝기 그래프 형태 (b)얼룩이 있을 경우 밝기 그래프 형태 (c)얼룩이 존재하는 지점의 실제 밝기 그래프

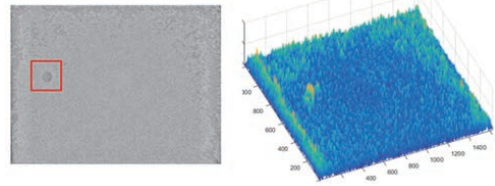
얼룩 검출 알고리즘 설계 시에는 얼룩의 특징과 렌즈의 특징을 함께 고려 해야 한다. 얼룩의 낮은 밝기 대비와 이미지상에 나타나는 렌즈 특징 때문에, 이미지의 모든 영역에 대해 같은 기준으로 얼룩을 검출하면 오검이 발생할 확률이 높아진다. 지금까지 여러 업체와 연구 분야에서 다양한 얼룩 검출 알고리즘을 개발하고 사용 중이다. 가장 보편적인 방법은 크게 두 가지로 입력 이미지로부터 양품 이미지를 추정하여 두 이미지의 밝기 차이가 큰 영역을 얼룩으로 검출하는 방법과 입력 이미지에서 주변과 밝기 차이가 많이 나는 영역을 얼룩으로 검출하는 방법이 있다. 첫 번째 방법은 입력 이미지로부터 이물이 없는 양품 이미지의 밝기를 추정하여 추정한 이미지와 입력 이미지의 밝기 차에 의한 얼룩을 검출한다^[1]. 입력 이미지의 밝기는 〈그림 6(a)(b)〉처럼 조명 성분이 균등하게 표현될 수 있다. 하지만 실제로는 〈그림 6(c)〉와 같이 픽셀 별 밝기 차가 발생하게 되게 된다. 알고리즘은 입력 이미지로부터 〈그림 6(a)〉와 같이 균등한 조명 성분을 가진 양품 이미지의 밝기 곡선을 추정하고, 추정한 조명 성분과 입력 이미지와 밝기 차를 계산하여, 미리 정해 놓은 문턱치(threshold)값과 비교함으로써 결함 판정을 하게 된다. 이 방법은 양품 이미지를 정확하게 추정하는 것이 검출 성능에 영향을 미친다. 그러나 입력 이미지에 얼룩이 있을 경우에는 양품 이미지의 밝기 곡선을 정확하게 추정하지 못하는 경우가 발생하며 이미지의 lens shading의 정도, 즉 이미지 중심부와 가장 자리의 밝기가 어느 정도 차이가 나는지에 영향을 받을 수 있다. 특히 이미지의 네 꼭 지점 부근은 다른 부분에 비해서 더 어둡기 때문에 이 부분의 얼룩은 검출하기 더 어려운 경향이 있다.

두 번째 방법은 특정 크기의 윈도우를 사용하여 입력 이미지 안에서 윈도우를 이동시키며 주변 윈도우 안의 밝기 평균과 현재 윈도우 안의 밝기 평균의 차이를 비교하여 얼룩을 검출한다^[8]. 이 방법은 얼룩이 없는 곳은 주변과 밝기 차가 크지 않지만, 얼룩이 있는 곳은 주변과 밝기 차가 크다는 특징을 이용한 것이다. 그러나 이 방법은 윈도우의 크기에 영향을 많이 받아, 사용하는 윈도우보다 아주 크거나 작은 얼룩은 검출하기 어려우며 <그림 3(b)>에 보이는 도넛 형태처럼 얼룩 내에서 밝기 변화가 있는 경우에는 밝기 값이 평균화되어 얼룩을 정확하게 검출하지 못하는 문제가 발생한다.

3. 기존 검사 방법의 한계

얼룩은 여러 가지 이유로 다른 결함보다 검출하기가 까다롭다. 얼룩은 이미지에서 선명하게 보이는 경우보다 희미하게 보이는 경우가 많으며, 얼룩의 유형도 다양하다. 또한 점처럼 보이는 작은 얼룩부터 이미지 크기의 약 20%까지 차지할 정도로 큰 얼룩까지 발생하는 등, 얼룩의 크기를 예측할 수 없다. 뿐만 아니라 얼룩 영역은 밝기 대비가 약하기 때문에 이미지에 노이즈가 발생하게 되면, 얼룩 영역과 노이즈 영역의 경계가 모호해져 오검이 많이 발생한다. 얼룩 검출이 노이즈에 취약하다는 점은 생각보다 큰 단점이다. 최근 들어 카메라 모듈 제작의 원가 절감을 위하여 구성 부품을 글라스에서 플라스틱으로 교체하는 추세인데 플라스틱이 글라스에 비해서 노이즈가 많이 발생하는 경향이 있다. 또한 인건비 절감을 위하여 모듈 제작 공장을 옮기는 경우에도 공장 환경에 영향을 받아 노이즈가 많이 발생한다. 따라서 부품 소재, 제조 공정 등에 따른 검사 조건 및 문턱치 값 조절이 필요하게 되어 자동 검사기 측면에서 관리의 어려움이 있다. 이러한 취약점 때문에 얼룩 검출은 검출 결과를 사람이 재검사하는 목시 검사를 전수 검사로 수행하는 실정이다^[6].

알고리즘 검출 결과를 목시 검사로 재검사 하다 보면, 얼룩 모델링의 한계를 확인하게 된다. 알고리즘으로 얼룩을 최대한 명확하게 정의하더라도 노이즈에 영향을 받아 얼룩을 정확하게 검출하는 게 어렵다. <그림 7>의 얼룩 이미지를 보면, 육안으로 보기에 사각형 안의 원 영역만



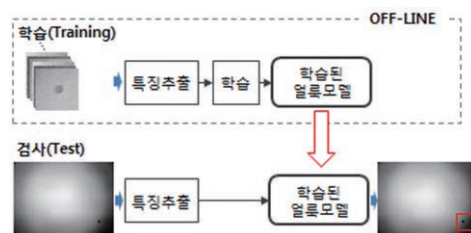
<그림 7> 얼룩과 노이즈의 밝기 값이 비슷한 예 (왼쪽) 얼룩과 노이즈가 존재하는 이미지 (오른쪽) 이미지의 밝기 값을 3차원으로 표시

얼룩으로 보인다. 그러나 오른쪽에 표현한 이미지 밝기 값을 보면, 이미지 양측 및 상단 가장자리 부분의 노이즈 영역이 얼룩 영역과 비슷한 값을 가진다. 따라서 알고리즘은 두 영역을 같은 영역으로 판단하여 모두 얼룩으로 검출하거나 모두 노이즈로 판단하여 얼룩으로 검출하지 않는다. 이를 개선하기 위해 결함의 모델링 및 개선된 결함 수준 측정 기법을 통한 알고리즘을 적용할 수 있다^[9]. 특히 사람의 목시 검사와 유사한 판단을 할 수 있는 기계 학습 기반의 얼룩 결함 검출 방법을 적용할 수 있을 것이다.

4. 기계 학습을 활용한 해결 방안

앞 절은 얼룩 검출 알고리즘의 목표가 '사람이 얼룩으로 판단하는 영역을 컴퓨터도 얼룩으로 판단하라'임을 보여준다. 알고리즘이 최대한 정교하게 얼룩을 정의하고 정확하게 검출하더라도, 결국은 사람이 보기에 얼룩으로 보이는 영역을 검출해야 하기 때문이다. 다시 말해서, 우리의 목표는 컴퓨터가 사람과 같은 판단을 하기를 바라는 것이다. 사람은 지금까지 봐온 얼룩 이미지들을 바탕으로 얼룩 모델(얼룩의 형태와 크기, 밝기 대비 정도)을 무의식 중에 정의하고, 입력 이미지에 그와 비슷한 영역이 보이면 얼룩으로 검출한다. 기계 학습(machine learning)은 이와 비슷한 방식으로 문제를 해결하는 기법이다.

기계 학습으로 문제를 해결하기 위해서는 <그림 8>와



<그림 8> 기계 학습을 활용한 얼룩 검출 과정



같이 학습(training) 과정과 테스트(test) 과정이 필요하다. 학습 과정은 사람이 얼룩 이미지들을 보면서 얼룩에 대해서 이해하는 것과 유사한 과정으로, 얼룩 이미지들을 입력하고 컴퓨터가 얼룩에 대해 모델링을 하는 과정이다. 이는 검사 장비로 얼룩을 검출하기 전의 오프라인 환경에서 수행한다. 이 때, 얼룩 이미지가 많으면 많을수록 얼룩을 더 정확하게 모델링 할 수 있다. 테스트 과정은 학습을 완료한 후에 실제 검사 장비에서 얼룩을 검출하는 과정으로, 학습된 얼룩 영역이 입력 이미지에 발견되면 얼룩을 검출한다.

학습 과정에서 얼룩의 유형을 함께 학습 시킬 경우, 테스트 과정에서 얼룩 검출과 동시에 얼룩의 유형도 함께 구분(classification)할 수 있다. 얼룩의 유형과 제조 공정상의 문제점 사이의 관계를 파악한다면, 검출된 얼룩의 유형을 통해 공정상에 문제가 발생하는 부분을 파악 및 개선이 가능하며 최종적으로는 수율(yield)을 높일 수 있다. 기계 학습을 기반으로 한 얼룩 검출 알고리즘은 검사를 진행할수록 장비의 성능이 더 좋아질 수 있다는 장점이 있다. 학습 데이터(얼룩 이미지)의 양이 많을수록 모델을 더 정확하게 정의할 수 있기 때문에 장비로 검출한 얼룩 이미지를 폐기하지 않고 다시 학습 데이터로 사용하면 장비(알고리즘)의 성능을 더 향상시킬 수 있다.

일반적인 얼룩 검출 알고리즘은 새로운 형태의 얼룩이 발견되면 그에 맞도록 알고리즘을 업데이트 해야 한다. 이에 비하여 기계 학습을 사용한 알고리즘은 새로운 형태나 크기의 얼룩에 대해서 학습만 시키면 해결이 가능하다. 작업 공정의 작은 변화에도 새로운 유형의 얼룩이 발생할 수 있다. 예를 들어 제조 공정상의 청결 상태 변화에도 얼룩의 형태나 노이즈가 바뀐다. 이런 경우에 기존 알고리즘들은 새로운 유형의 얼룩 검출을 위해 파라미터를 수정하거나 알고리즘을 업데이트하기 위하여 엔지니어가 현장에 투입될 필요가 있었다. 그러나 기계 학습을 기반으로 한 알고리즘은 학습을 통해서 새로운 유형의 얼룩을 검출할 수 있기 때문에 엔지니어가 매번 대응할 필요가 없어 비용을 절감할 수 있다.

최근 들어 결함 검출 장비 개발 업계에서는 결함 검사 자동화 시스템이 사용하는 일반적인 알고리즘의 한계를

깨닫고 기계 학습을 기반으로 한 알고리즘을 시도하는 업체가 늘고 있다. 이런 장비의 성능은 알고리즘 자체뿐 아니라, 장비를 개발하는 업체가 확보할 수 있는 학습 데이터의 양에도 영향을 받는다. 즉, 얼룩 검사 장비는 얼룩 이미지를 많이 확보한 업체의 장비가 얼룩 모델을 더 정교하게 정의할 수 있으며, 그에 따라 장비의 성능이 더 좋아져 경쟁력을 확보할 수 있을 것이다.

IV. 결론 및 기대 효과

본 고에서는 카메라 모듈 검사 장비 자동화의 문제점과 기계 학습을 기반으로 한 해결 방안에 대해서 살펴보았다. 사람과 다른 접근 방식을 사용하는 알고리즘을 통해 사람과 같은 결과를 출력하기를 기대한 기존 검사 장비의 취약점과 그에 비해 기계 학습을 기반으로 한 접근 방식의 타당성을 보였다. 사실 기계 학습 기반 알고리즘은 오래 전부터 연구하고 시도해왔다. 하지만 알고리즘에서 사용하는 복잡한 연산 처리를 위한 CPU의 성능, 학습 데이터를 저장하기 위한 하드웨어의 용량 및 데이터 관리 문제 때문에 알고리즘을 개발하고 이를 산업 현장에 적용하는 게 쉽지 않았다. 최근들어 하드웨어의 성능 향상 및 그에 비해 저렴한 가격, 빅데이터의 발전 등을 배경으로 기계 학습의 연구가 활기를 띠기 시작했고, 이를 실제 산업 현장에 적용하는 게 가능해졌다. 카메라 모듈 검사 장비 외에도 의료용 진단 장비, PCB 검사 장비 등 다양한 검사 장비에 기계 학습을 접목시키면 여러 분야에서 검사 자동화를 실현할 수 있을 것이라 기대된다.

참고 문헌

- [1] Jae Y. Lee and Suk I. Yoo, "Automatic Detection of Region-Mura Defect in TFT-LCD", IEICE Transactions on Information and Systems, E87-D, 2004.
- [2] 문경수, "Robust Regression을 이용한 TFT LCD의 MURA 검출에 관한 연구", 아주대학교, 2008.
- [3] Robert Sablatnig, "A Flexible Concept for Automatic Visual Inspection", Proceeding of Czech Pattern Recognition Workshop'97, 1997.



- [4] 주영복, 허경구, “영상기반 자동결함 검사시스템에서 재현성 향상을 위한 결함 모델링 및 측정 기법”, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, 2013.
- [5] 적용 분야가 확대되는 카메라(모듈)과 영상 기반 응용 시장의 신사업 전략 모색을 위한 종합 분석, IRS 글로벌, 2015.
- [6] 송청호, 정연욱, 송준엽, 김영규, “휴대폰 카메라용 렌즈단품 이물 자동검사장비”, 한국정밀공학회 추계학술대회 논문요약집, 2005.
- [7] 유성진, 강부식, 홍한국, “휴대용 카메라 모듈(CCM) 제조 라인에 대한 데이터마이닝 기반 품질관리시스템 구축”, Journal of intelligence and information systems, 2008.
- [8] Sehee Hong and Chulhee Lee, “Stain Defect Detection for mobile phone camera modules”, Proceeding SPIE 9024, Image Processing: Machine Vision Applications VII, 2014.
- [9] Mitesh Popat and S. V. Barai, “Defect Detection and Classification using Machine Learning Classifier”, World Conference on NDT, 2004.



박순영

- 2007년 2월 경북대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2011년 8월 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 박사
- 2011년 9월~2013년 2월 경북대학교 박사후연수(Post-
Doc.)연구원
- 2013년 4월~2014년 1월 (주) 일렉스 연구원
- 2014년 1월~현재 (주) 탑엔지니어링 선임연구원

〈관심분야〉
신호처리, 컴퓨터비전, 패턴인식, 인공지능



김상목

- 2003년 2월 경북대학교 전자전기공학부 학사
- 2005년 8월 경북대학교 전자전기공학부 석사
- 2005년 8월~2008년 6월 (주) 일렉스 선임연구원
- 2008년 7월~2010년 2월 티맥스코어 책임연구원
- 2010년 11월~2014년 3월 (주) 삼성전자 메모리사업부
SW 개발팀 책임연구원
- 2014년 4월~현재 (주) 탑엔지니어링 수석연구원

〈관심분야〉
임베디드 시스템, Soc 설계