

논문 2024-13-32

영상 처리를 이용한 디스플레이 화질 결함 자동 검출 시스템 (Automatic Display Defect Detection System Using Image Processing)

권 동욱, 손혜원, 전소연, 이원일*
(Dong-Uk Kwon, Hye-Won Son, So-Yeon Jeon, Won Il Lee)

Abstract : In this paper, we propose an automatic display defect detection system using image processing. The existing inspection by operators has the disadvantage that human errors may occur due to the operator's skill level, fatigue, etc., and that standardization and quantification are difficult. It also has disadvantages such as the limited inspection speed and the cost of the operator's education. The proposed system automatically detects various display defects through image processing algorithms. It was developed based on the Jetson Nano, one of the most popular SBCs (Single Board Computers), and it has a conveyor belt to automatically moves the display to the inspection position. By providing a human machine interface (HMI), the operator can check the inspection information in real time, and control the inspection flow. By storing the inspection results as a log file, the operator can check the inspection results at any time, such as the time taken to perform each algorithm and the location of the detected defects. In addition, a multi-threaded structure was adopted. The camera's operations and inspection algorithms are executed in parallel in different threads, which can shorten the inspection time compared to the system based on a single-threaded structure. The experimental results prove the defect detection capability of the system and the efficiency of the inspection time.

Keywords : Display, Defect detection, Automation, Stability analysis, Multi-threaded program, Image Processing

1. 서론

스마트폰, 태블릿, 노트북, TV 등 다양한 전자기기뿐만 아니라 자동차나 지하철 광고판까지 일상생활에서 마주하는 많은 제품이 사용자에게 시각적으로 데이터를 전달하는 디스플레이를 탑재하고 있다. 특히 비대면 환경에서 필수적으로 사용되는 IT 기기에서 디스플레이는 중요한 부품 중의 하나이다 [1, 2]. 최근 스마트 기기의 수요 증가로 인하여 LCD, OLED 패널과 같은 평판 패널 디스플레이 산업은 다양한 응용 제품 산업에 광범위하게 적용되고 있다 [3]. 디스플레이 제품이 보편화됨에 따라 디스플레이 기술도 굉장히 빠른 속도로 발전해 왔으며, 형태 변형이 가능한 flexible, stretchable 디스플레이까지 개발되고 있다 [4].

디스플레이 패널 수요의 증가에 따라 패널 생산 과정에서 디스플레이 결함 검출의 중요성이 커지고 있다 [5]. 디스플레이 제조 기술이 빠르게 발전했음에도 여전히 생산 과정에서 다양한 디스플레이의 결함이 발생하고 있다. 애플의 아이폰 12시리즈에서는 화면 전체가 녹색 화면을 띄는 녹조 현상이 발견되었으며, 닛싱의 닛싱폰원 (Nothing Phone 1)에서는 펀치 홀 카메라 주변으로 픽셀 불량 결함이 보고된 바

있다. 또한, 삼성의 갤럭시 S22 울트라 일부 모델에서도 디스플레이의 상단 부분에 가로줄이 발생하여 픽셀이 제대로 표현되지 못하는 결함이 보고되었다. 디스플레이 결함은 공정의 작업 실수 및 부적합한 환경으로 인하여 발생하며, 잦은 결함의 발생은 디스플레이의 생산성을 감소시키는 요인 중의 하나이다.

이처럼 디스플레이에 결함이 발생할 때 디스플레이의 품질 및 성능이 저하되고, 이는 소비자 만족도 하락으로 이어지기 때문에 제조 과정에서 결함을 빠르게 찾아내고 보상하는 작업이 반드시 필요하다. 초기 디스플레이 패널의 생산 과정에서 발생하는 결함 검출 검사는 주로 육안으로 수행되었다. 육안 검출 방법은 작업자의 주관적인 판단에 의존하므로 표준화 및 정량화가 어렵고, 이에 따라 검출 결과가 달라질 수 있다 [2, 6, 7]. 또한, 작업자의 숙련도, 피로도 등에 따른 인적 오류 (Human Error)가 발생할 가능성이 있고, 작업 시간이 증가함에 따라 속도와 효율이 낮아지게 된다 [8]. 그 뿐만 아니라 육안 검출 방법은 검사자의 교육에 따른 비용과 검사 속도 차이에 의한 한계점도 가지고 있다.

디스플레이 생산의 효율성을 높이기 위해서는 안정적이고 빠르게 검사할 수 있는 검사 자동화 방법 및 장치가 필요하다 [8]. 자동 검출 방식은 비교적 객관적이며 환경의 영향을 받지 않아 신뢰성이 높을 뿐만 아니라 검사 시간이 짧아 생산성을 향상할 수 있다는 장점을 가진다 [9]. 결함 검출의 수행 시간과 성능은 생산 효율 및 제품 품질과 직결되기 때문에 개별 공정 환경에 맞는 적합한 검출 알고리즘이 필요

*Corresponding Author (wilee@kumoh.ac.kr)

Received: Jun. 30, 2024, Revised: Jul. 11, 2024, Accepted: Sep. 11, 2024

D. U. Kwon: Kumoh National Institute of Technology (Senior Student)

H. W. Son: Kumoh National Institute of Technology (Senior Student)

S. Y. Jeon: Kumoh National Institute of Technology (Senior Student)

W. I. Lee: Kumoh National Institute of Technology (Assist. Prof.)

* 이 연구는 국립김요공과대학교 대학 연구과제비로 지원되었음 (2021).

하며 [10], 이를 위한 다양한 결함 검출 알고리즘이 제안되었다 [3, 5, 11-13]. [5]에서는 새로운 얼룩을 정확도 높게 검출하기 위해 가버 웨이블릿 영상과 이에 대한 후처리를 이용하는 방법이 제안되었으며, [11]에서는 가버 필터링과 DCT를 이용한 결함 검출 방법이 제안되었다. 경계가 불명확한 얼룩형 결함 검출의 성능 향상을 위하여 [3]에서는 Saliency map 기반의 결함 강조 기법이 제안되었으며, [12]에서는 규칙적인 픽셀 형상을 가지는 디스플레이 기판에 적용될 수 있는 회절 현상 분석을 통한 고해상도의 결함 검출 방법이 제안되었다. 업체의 부담을 최소화하면서도 높은 수준의 정확도로 결함을 검출하기 위해 [13]에서는 강판 제조 과정에서 발생할 수 있는 표면 결함을 소량의 학습 데이터와 라벨 데이터를 사용하는 데이터 증강 기법과 준 지도 학습 기법을 제안하였다.

본 논문에서는 SBC (Single Board Computer)를 활용한 디스플레이 화질 결함 자동 검출 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 Jetson Nano와 카메라, LCD, 컨베이어 벨트 등의 하드웨어와 OpenCV를 활용한 영상 처리 알고리즘을 활용하여 구현 및 개발한다. 검출하고자 하는 결함은 선 결함, 점 결함, 얼룩 결함 및 색상 결함으로 화질 결함의 전반적인 결함들을 검출하여 화질 개선 및 디스플레이 제품 품질 향상에 도움이 되고자 한다. 자동 결함 검출 시스템의 중요한 요소는 검사 알고리즘 수행 시간 및 전체 검사 시간을 단축하는 것이다 [12]. 제안하는 시스템은 멀티 스레드 구조의 검사 소프트웨어를 이용하여 검사 시간을 보다 단축할 수 있도록 설계하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 서론에 이어 II장에서 전체 시스템 구성에 대하여 설명하고, III장에서 결함 검출 알고리즘을 제안한다. IV장에서 실험 결과를 분석한 후, 마지막으로 V장에서 결론을 다룬다.

II. 시스템 구성

1. 시스템 하드웨어

시스템을 구성하는 하드웨어는 그림 1에서 확인할 수 있다. 이 시스템은 SBC (Single Board Computer) 중 하나인 Jetson Nano를 기반으로 개발되었다. 해당 모델은 리눅스 환경을 지원하며, 임베디드 시스템 개발에 많이 사용되는 Raspberry Pi 4에 비해 GPU 성능이 더 뛰어나 영상 처리

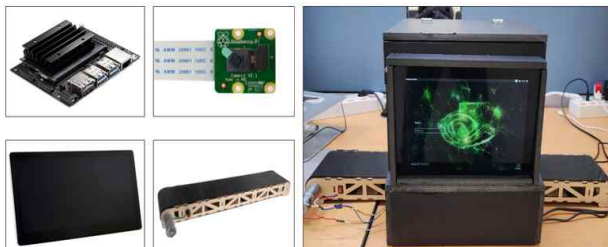


그림 1. 시스템 하드웨어
Fig. 1. System hardware

라이브러리인 OpenCV를 활용하기 좋은 장점이 있다. 디스플레이 영상을 얻기 위한 영상 획득 장치로는 Raspberry Pi 사의 8 MP Camera Board V2를 활용한다. 또한, HMI 검사 프로그램을 출력하기 위해 10.1인치 터치스크린을 내장하였으며 마지막으로 검사할 디스플레이를 검사 위치까지 자동으로 이동시켜 줄 컨베이어 벨트로 구성되어 있다. 다양한 크기의 디스플레이를 안전하게 이동시킬 수 있도록 폭 100mm, 길이 660mm의 컨베이어 벨트를 선정하였다.

2. 시스템 소프트웨어

2.1 HMI

그림 2는 작업자가 검사 영상과 검사 정보를 실시간으로 확인하고 제어하기 위한 HMI로, 검사 시작 버튼, 검사 중지 버튼을 활용하여 검사 흐름을 제어할 수 있다. 검사 대상 디스플레이의 모델을 선택할 수 있는데 모델에 따른 카메라 위치나 모서리 설정을 위한 좌표를 검사 전 설정하여 검사를 수월하게 하기 위함이다. 그리고 상단의 검사 진행 로그와 하단의 검사 결과 로그를 통해 검사 진행 상황을 확인할 수 있다. 또한, 상세 검사 결과를 로그 파일로 저장하여 각 알고리즘 수행에 걸린 시간, 검출된 결함의 위치 등의 검사 결과를 작업자가 언제든지 확인하고 필요한 조치를 할 수 있도록 개발되었다.

마지막으로 일반 모드와 시뮬레이션 모드를 선택할 수 있다. 일반 모드는 컨베이어 벨트를 통해 실제 패널이 이동하고 카메라로 촬상하여 검사를 진행하는 모드이고, 시뮬레이션 모드는 SBC 내에 저장된 패널의 영상을 활용하여 검사를 진행하는 모드이다. 시뮬레이션 모드를 통해 진행되었던 검사 영상을 활용한 디버깅 및 검사 알고리즘의 성능 테스트 등을 수행할 수 있다.

2.2 멀티 스레드 기반 검사 소프트웨어

한 패널당 여러 개의 패턴에 대해 다양한 검사를 수행해야 하므로, 멀티 스레드 구조를 채택하였다. 패턴 촬상이 완료되면 수행되어야 할 검사 알고리즘이 여러 개의 검사 스레드에서 병렬로 수행되며, 이에 따라 검사 시간이 단축되는 장점이 있다. 또한, 생성자-소비자 패턴을 적용하여 검사 스레드가 항상 수행되는 것이 아니라 카메라 스레드가 촬상을

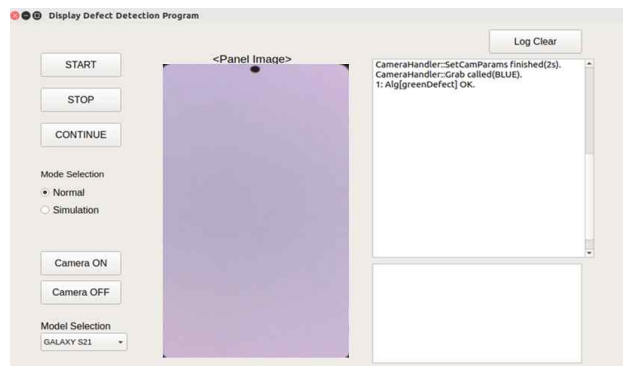


그림 2. HMI (Human Machine Interface)
Fig. 2. HMI (Human Machine Interface)

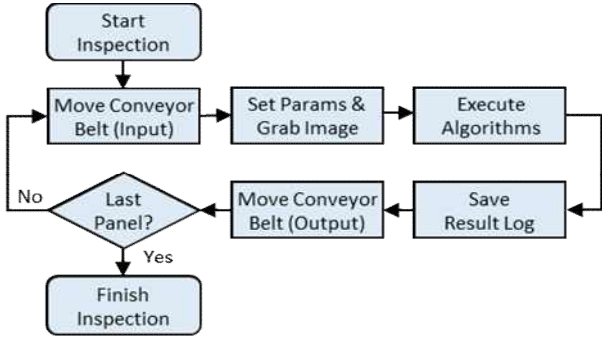


그림 3. 시스템 동작 (일반 모드)
Fig. 3. System operation (normal mode)

완료하여 검사할 대상이 있을 때만 작동하는 구조로 설계하여 하드웨어의 자원을 낭비하지 않고 소비 전력을 절약할 수 있게 설계하였다.

3. 시스템 동작 흐름

3.1 일반 모드

그림 3은 일반 모드에서의 시스템 동작을 순서도로 나타낸 것이다. 카메라를 연결하고 검사할 디스플레이 패널을 컨베이어 벨트에 올린 뒤 START 버튼을 누르면 검사가 시작된다. 먼저 컨베이어 벨트가 디스플레이를 시스템에 투입시키고, 카메라는 실시간으로 패널을 감지하여 영상 정중앙에 패널이 놓이게 되면 컨베이어 벨트를 정지하고 검사를 시작한다. 하나의 패널에 대해 모든 패턴 검사를 마치면 다음 패널 검사를 위해 벨트가 작동하며, 검사할 다음 패널이 없으면 벨트를 정지하고 검사가 종료된다.

3.2 시뮬레이션 모드

시스템에 저장되어 있는 패널의 영상을 로드하여, 사전 설정 파일에 기재된 패턴과 알고리즘 순서대로 검사를 진행한다. 필요한 영상이 누락 되었거나, 폴더 내 모든 패널 영상에 대한 검사가 끝나면 자동으로 검사를 종료한다.

III. 결함 검출 알고리즘

1. 영상 전처리

실제 검사를 위한 디스플레이 영역만 추출하기 위해 영상 전처리를 수행하며 전처리 과정은 그림 4와 같다. 먼저 컬러 영상을 회색조 영상으로 변환한 후에 이진화를 진행한다. 이때 노출 시간에 의해 영상마다 밝기가 다를 수 있으므로 영상에 따라 적응적으로 기준을 설정하기 위해 영상의 모서리 부분의 5%와 중앙 10%의 픽셀값의 평균을 구하고, 이 값의 2배를 임계치로 설정했다. 이후 이진화 영상에서 디스플레이의 네 개의 외곽선을 찾고, 외곽선의 교점을 통해 네 꼭짓점의 좌표를 구한다. 이를 기반으로 카메라에 의한 왜곡 등을 보완하기 위해 원본 영상과 회색조 영상을 원근 변환하고 배경이 제거된 직사각형의 디스플레이 영역의 영상을 획득

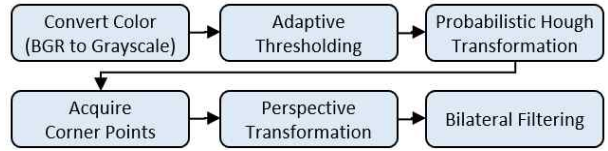


그림 4. 전처리 과정
Fig. 4. Preprocessing procedure

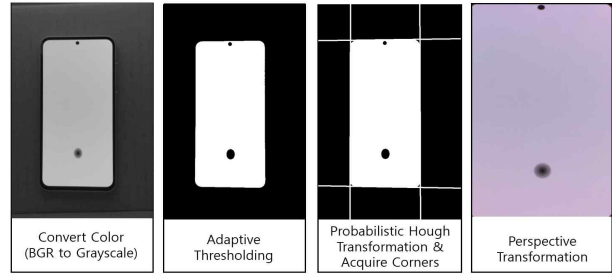


그림 5. 전처리 과정 결과 영상
Fig. 5. Result images of preprocessing

한다. 그리고 결함의 에지를 훼손하지 않으면서 노이즈를 제거하기 위해 두 픽셀의 거리, 픽셀값 차이를 반영하는 양방향 필터를 적용한다. 각 단계의 결과 영상을 그림 5에서 확인할 수 있다.

2. 선 결함 검출 알고리즘

선 결함은 그림 6의 (a), (b)와 같이 디스플레이 구동 회로 이상으로 한 줄의 픽셀 전체가 꺼져 가로선이나 세로선이 관측되는 결함이다. 선 결함을 검출하기 위해 무작위 픽셀을 선택하고 허프 변환을 수행하여 빠르게 선분을 검출하는 확률적 허프 선 검출을 사용한다. 본 시스템에서는 허프 변환 과정에서 에지를 구성하는 픽셀의 하한값을 200으로 설정하여 높은 정확도로 선 결함만 검출한다. 일반적으로 선 결함은 디스플레이의 한 줄 전체에서 발생하며 디스플레이의 세로 길이보다 가로 길이가 더 짧으므로, 최소 직선 길이를 디스플레이의 가로 길이로 설정한다. 또한, 확률적 허프 선 검출은 직선의 두께와 무관하게 한 직선 당 2개의 직선이 검출되기 때문에, 이를 하나의 직선으로 인식하기 위해 검출된 직선을 오름차순으로 정렬하여 인접한 2개의 직선의 정보를 이용하여 실제 선 결함의 위치와 두께를 획득한다.

3. 점 결함 검출 알고리즘

점 결함은 그림 6의 (c)처럼 픽셀의 이상으로 인해 검정 점이 관측되는 결함이다. 점 결함 검출을 위해 이진 영상으로부터 연결된 윤곽선을 그룹화하고 병합하는 과정을 거쳐 Blob을 찾아낸다. 이때 카메라 흔들림, 모서리 부분의 배경 그리고 직선 결함이 검출될 수 있으므로 이미 검출된 선 결함 정보를 사용하여 검출되지 않도록 제외한다. 이후 결함의 크기가 200픽셀 이하인 Blob을 점 결함으로 분류한다.

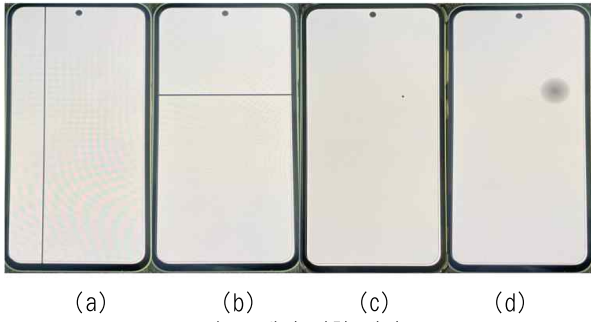


그림 6. 패널 결함 예시 :
 (a) 수직 직선 결함 (b) 수평 직선 결함
 (c) 점 결함 (d) 얼룩 결함
 Fig. 6. Example of panel defects :
 (a) Vertical line defect (b) Horizontal line defect
 (c) Point defect (d) Stain defect

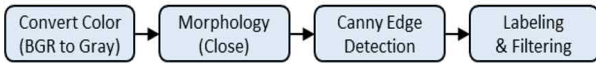


그림 7. 얼룩 결함 검출 과정
 Fig. 7. Stain defect detection procedure

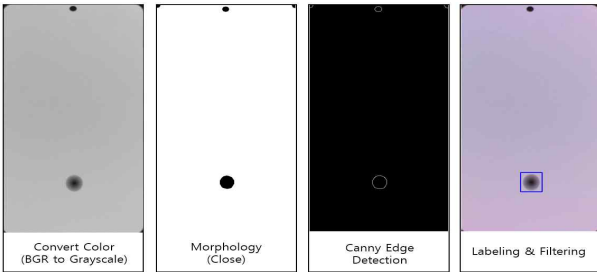


그림 8. 얼룩 결함 검출 결과 영상
 Fig. 8. Result images of stain defect detection

4. 얼룩 결함 검출 알고리즘

얼룩 결함은 그림 6의 (d)와 같이 멍 결함, 잔상 결함 또는 무라 현상이라고 불리는 결함을 총칭한다. 본 시스템에서는 크기가 200 픽셀을 초과하는 특징점을 얼룩 결함으로 분류하며, 그림 7의 얼룩 결함 검출 과정을 통해 검출한다. 얼룩 결함을 검출하기 위해 회색조 변환을 거친 뒤 모폴로지 닫기 연산으로 얼룩 결함의 끊어진 부분을 이어서 하나의 결함으로 검출되도록 한다. 이후 캐니 에지 검출을 통해 얼룩 결함의 에지를 획득한다. 캐니 에지 검출은 에지에 수직 방향 그래디언트 값이 가장 높은 부분을 찾고 최댓값이 아닌 픽셀의 값을 0으로 만들어서 사물의 에지 영상만 획득하는 필터링 기법이다. 에지 영상을 기반으로 4방향 또는 8방향의 이웃한 픽셀의 연결 관계를 판단하여 객체 단위 분석을 하여 레이블 맵을 생성한다. 이때 검출된 객체는 에지만 존재하므로 반환 값으로 확인할 수 있는 높이와 너비 곱인 총면적에 비해 객체가 차지하는 면적을 통해 밀도를 계산하여 점 결함보다 크기가 크지만, 밀도가 작은 얼룩 결함을 찾아낼 수 있다. 각 단계의 결과 영상을 그림 8에서 확인할 수 있다.

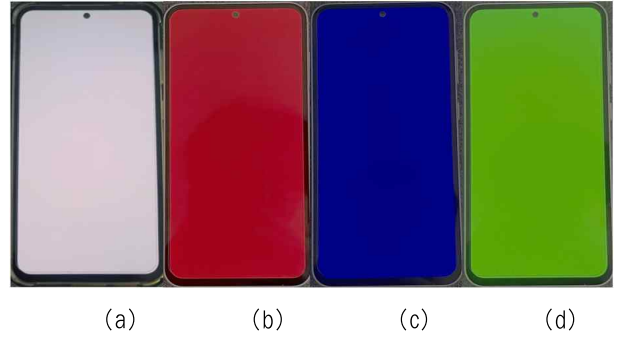


그림 9. 색상 결함 예시 :
 (a) 붉은 액정 결함 (b) R값이 200인 적색 결함
 (c) B값이 200인 청색 결함 (d) G값이 200인 녹색 결함
 Fig. 9. Example of color defects :
 (a) Red-tinted panel defect
 (b) Red color defect (R value = 200)
 (c) Blue color defect (B value = 200)
 (d) Green color defect (G value = 200)

5. 색상 결함 검출 알고리즘

색상 결함이란 그림 9와 같이 구동 회로 이상이나 설정 오류 등에 의해 원하는 색상이 제대로 출력되지 않는 결함이다. 이를 검출하기 위해 R, G, B값이 각각 255인 화면을 출력하는 디스플레이의 영상을 획득하고, 영상으로부터 R, G, B값이 240보다 작은 픽셀의 개수를 카운트한다. 이때 모든 픽셀을 확인하는 것은 검사 시간이 오래 걸리므로, 1 픽셀 간격을 두고 검사를 진행한다. 카운트된 픽셀 수가 전체 픽셀의 5% 이상이면 색상 결함으로 판단한다.

IV. 실험 및 평가

1. 결함 검출률 평가 실험

1.1 실험 환경

본 실험에서 결함 검출률 성능 평가를 위해 시스템의 일반 모드를 사용한다. 신뢰성 있는 결함 검출 성능 평가를 위해 선, 점, 얼룩 결함이 있는 영상을 각각 100개씩, 색상 결함이 있는 영상을 색상별로 10개씩 총 30개 제작하였다. 직선 결함은 직선의 두께를 5에서 15픽셀 사이 임의의 값을 갖도록 하며 위치를 임의로 설정하였다. 점 결함은 지름의 범위를 10에서 24픽셀로 하며 위치를 임의로 설정하여 제작하였고, 얼룩 결함은 지름이 200픽셀 이상인 타원과 원으로 제작하였다. 색상 결함은 R, G, B의 값이 각각 100에서 240 사이의 값을 가지도록 임의로 제작하였다. 마지막으로 시스템을 통해 결함 검사를 수행하고, 다음 수식에 의해 결함 검출률을 도출하였다.

$$\text{결함 검출률}(\%) = \frac{\text{검출패널수}}{\text{총결함패널수}} \times 100(\%) \tag{1}$$

1.2 실험 결과

표 1은 제작한 데이터셋을 대상으로 결함 검출률 평가 실험

표 1. 결함 검출률

Table 1. Detection rate of defects

Types	Total defective images	Detected defective images	Detection rate (%)
Line defect	200	178	89
Point defect	100	99	99
Stain defect	100	81	81
Color defect	30	22	73

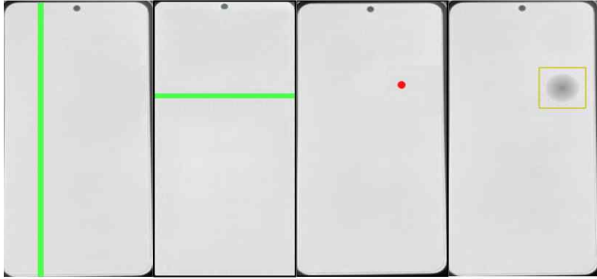


그림 10. 결함 검출 결과 영상
Fig. 10. Result images of defect detection

험을 수행한 결과이다. 표 1에서 볼 수 있듯이 선 결함은 89%, 점 결함은 99%로 비교적 높은 정확도를 가지고 결함이 검출된다. 반면에 얼룩 결함은 81%, 색상 결함은 73%로 비교적 낮은 정확도를 가지며, 분석 결과 시스템의 하드웨어 환경과 카메라 파라미터 설정에 따라 검출력의 차이가 발생하는 것을 확인하였다. 따라서 보다 더 해상도가 높은 카메라를 사용하고, 실험을 통해 최적의 하드웨어 환경을 구축함으로써 시스템의 검출 성능을 개선할 수 있다.

그림 10은 그림 6의 결함 영상을 대상으로 검출 알고리즘을 수행한 결과로, 선, 점, 얼룩 결함을 정상적으로 검출하는 것을 볼 수 있다.

2. 검사 시간 평가 실험

2.1 실험 환경

본 실험에서는 컨베이어 벨트를 통한 패널의 투입과 배출 시간을 제외한 순수 검사 시간을 측정하기 위해 시스템의 시뮬레이션 모드를 사용한다. 시뮬레이션 모드에서는 카메라를 사용하지 않지만, 멀티 스레드 기반 구조의 효율성을 평가하기 위해 패턴 영상을 로드하는 데 사전 설정 파일에 명시된 패턴의 노출 시간만큼 소요된다고 가정하였으며, 카메라 파라미터 설정 시간과 검사 알고리즘의 수행 시간이 각각 1초 소요되는 것으로 가정하여 시간 지연을 추가하였다. 비교를 위해 싱글 스레드 기반의 검사 프로그램을 별도로 제작하여 동일한 검사를 수행하였다.

표 2는 실험에 사용된 시스템의 사양이며, 표 3은 하나의 패널을 검사하는 패턴 순서와 패턴에 따른 검사 알고리즘을 표로 정리한 것이다. 패턴은 white, red, green, blue 순으로 촬영하고, 각 패턴 촬영 후 필요한 검사를 수행한다. 흰 배

표 2. 시스템 사양

Table 2. System specifications

Type	Specification
CPU	ARM A57 4-Core 1.43 GHz
GPU	128-Core Maxwell
Memory	4GB
OS	Linux (Ubuntu 18.04.6)
Development Language	Python 2.7.17

표 3. 검사 패턴별 수행 알고리즘

Table 3. Inspection patterns and algorithms

Sequence	Pattern	Inspection algorithm
1	white	line, point, stain algorithm
2	red	red algorithm
3	green	green algorithm
4	blue	blue algorithm

경에서 검출하기 쉬운 선, 점, 얼룩 결함 검사를 white 패턴에서 수행하고, 나머지 컬러 패턴의 경우 해당 패턴에서 발생할 수 있는 색상 결함을 수행한다. 신뢰성 있는 평가를 위해 검사 패턴 10개에 대해 각각 10번씩 검사를 진행하여 패턴당 평균 검사 시간을 비교하였다.

2.2 실험 결과

그림 11, 12는 싱글 스레드와 멀티 스레드의 동작을 도식화한 것이다. 그림 11과 같이 싱글 스레드 기반 프로그램에서는 카메라 파라미터 설정, 촬영, 검사 알고리즘이 모두 직렬로 수행되며, 표 3의 검사를 수행할 경우 총 예상 검사 시간은 패턴당 17초이다. 반면에 그림 12와 같이 멀티 스레드 기반 프로그램에서는 다음 패턴에 대한 카메라 파라미터 설정과 검사 알고리즘, 각 불량 별 검사 알고리즘이 서로 다른 스레드에서 병렬로 수행되며, 총 예상 검사 시간은 패턴당 12초이다.



그림 11. 싱글 스레드 동작 도식화
Fig. 11. Schematic of a single-thread behavior

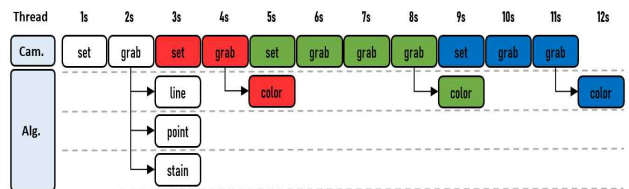


그림 12. 멀티 스레드 동작 도식화
Fig. 12. Schematic of a multi-thread behavior

표 4. 검사 시간 비교

Table 4. Comparison of inspection time

Program structure	Single Thread	Multi Thread
Estimated time	17 s	12 s
Actual time	17.85 s	12.38 s

표 4는 실험 결과 측정된 패널당 평균 검사 시간을 비교한 것으로 싱글 스레드 기반 프로그램에서는 17.85초, 멀티 스레드 기반 프로그램에서는 12.38초 소요되었다. 예상 검사 시간의 경우 영상 로드, 검사 수행, 로그 파일 저장 등에 소요되는 시간은 고려하지 않은 시간이기 때문에 실제 측정 결과와 약간의 오차가 발생하였다. 표 4에서 볼 수 있듯이 멀티 스레드 구조가 싱글 스레드 구조 대비 검사 시간을 패널당 약 5.47초 단축하였으며, 이를 실제 검사 공정에 적용할 경우 패널의 생산성을 약 30.6% 높일 수 있는 장점이 있다.

V. 결론

본 논문에서는 디스플레이의 화질 결함을 영상 처리 알고리즘을 통해 자동으로 검출하고 작업자에게 실시간으로 검사 정보를 제공하는 자동 디스플레이 화질 결함 검출 시스템을 제안하였다. 실험을 통해 제안된 시스템이 점, 선, 얼룩, 색상 결함 등의 화질 결함을 성공적으로 검출함은 물론, 멀티 스레드 구조를 활용하여 싱글 스레드 구조 대비 검사 소요 시간을 크게 단축할 수 있음을 보였다. 제안된 방법을 실제 제조 현장에 적용함으로써 실시간 자동 검사를 통해 이상 원인을 찾고 제거하여 공정의 안정성을 높일 수 있을 것으로 기대한다. 얼룩이나 색상 결함의 경우 비교적 검출률이 낮아 고화질의 카메라를 사용하거나 검출 알고리즘을 개선하는 후속 연구가 필요하다. 또한 제안된 시스템은 기존의 관측된 유형의 화질 결함 검출에는 쉽지만, 새로운 유형의 결함 검출에는 적용되기 어려운 단점이 있어 딥러닝을 활용하여 검출하기 힘든 새로운 유형의 화질 결함이나 디스플레이의 외관 결함까지 자동 검출할 수 있는 시스템을 구현하는 연구가 추가로 필요하다.

References

- [1] G. H. Jo, Y. W. Heo, Y. J. Song, "Image Extraction Method for Defect Detection of Display Panel," The Proceedings of the 2021 KIIT Autumn Conference, pp. 246-248, 2021 (in Korean).
- [2] G. H. Jo, Y. W. Heo, H. W. Cho, Y. J. Song, "Implementation of OLED Display Defect Detection System using CNN," Journal of KIIT., Vol. 20, No. 6, pp. 1-8, 2022 (in Korean).
- [3] E. Y. Lee, K. H. Park, "Mura Defect Enhancement based on Saliency Map in TFT-LCD Image," Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 19, No. 3, pp. 626-632, 2016 (in

Korean).

- [4] C. S. Hwang, "Technology Trends in Spatial Display," Journal of Broadcast and Media Magazine, Vol. 27, No. 4, pp. 66-78, 2022 (in Korean).
- [5] H. J. Lee, T. H. Park, "Mura Defect Detection of Display Panel Using Gabor Wavelet Transformation and Image Post-Processing," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 23, No. 4, pp. 287-293, 2017 (in Korean).
- [6] C. Oh, Y. K. Ryu, S. J. Shin, H. J. Yoo, B. U. Jun, "An Algorithm Development for Detecting Blister Defects of Display Glasses," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 24, No. 4, pp. 15-20, 2007 (in Korean).
- [7] H. Gu, J. W. Yun, J. W. Bae, T. H. Kim, S. J. Ko, "A New Feature Extraction Method for Mura Defect Classification," Autumn Annual Conference of IEIE, pp. 445-447, 2013 (in Korean).
- [8] S. Bae, J. S. Seok, M. S. Lee, J. S. Kim, "PCB Visual Inspection Using OpenVX-based Vision Processing and Machine Learning," The Proceedings of the 2021 KICS Summer Conference, pp. 918-919, 2021 (in Korean).
- [9] S. M. Lee, T. H. Kim, K. H. Park, "Sequential Defect Detection According to Defect Possibility in TFT-LCD Panel Image," Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 51, No. 4, pp. 799-806, 2014 (in Korean).
- [10] J. H. Kim, T. Y. Lee, Y. H. Ko, "Self-Reference PCSR-G Method for Detecting Defect of Flat Panel Display," Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 18, No. 3, pp. 312-322, 2015 (in Korean).
- [11] S. H. Cho, H. B. Kang, "Automatic TFT-LCD Mura Defect Detection Using Gabor Wavelet Transform and DCT," JBE Vol. 18, No. 4, pp. 525-534, 2013 (in Korean).
- [12] Y. J. Jung, K. Lee, "Application of Fourier Optics to Defect Inspection of Display Substrates," Korean Journal of Optics and Photonics, Vol. 28, No. 1, pp. 1-8, 2017 (in Korean).
- [13] A. Gaybulayev, N. H. Lee, K. H. Lee, T. H. Kim, "Development of a Steel Plate Surface Defect Detection System Based on Small Data Deep Learning," IEMEK J. Embed. Sys. Appl., Vol. 17, No. 3, pp. 129-138, 2022 (in Korean).

Dong-Uk Kwon (권 동욱)



2019~School of Electronic Engineering from Kumoh National Institute of Technology, Bachelor Student

Field of Interests: Embedded System

Email: ehddnr0116@naver.com

So-Yeon Jeon (전 소연)



2021~School of Electronic Engineering from Kumoh National Institute of Technology, Bachelor Student

Field of Interests: : Embedded System
Email: monica2170@kumoh.ac.kr

Hye-won Son (손혜원)



2021~School of Electronic Engineering from Kumoh National Institute of Technology, Bachelor Student

Field of Interests: : Embedded System
Email: hyewon.135@daum.net

Won Il Lee (이원일)



2010 School of Electrical Engineering and Computer Science from Kyungpook National University (B.S.)

2017 Department of Electronic and Electrical Engineering from Pohang University of Science and Technology (Ph.D.)

2020~ School of Electronic Engineering from Kumoh National Institute of Technology (Assistant Professor)

Career:

2017~2020 Senior Engineer, Samsung Display

Field of Interests: Robust Control, Embedded System, Image Processing, Artificial Intelligence

Email: wilee@kumoh.ac.kr