

LCD 결함 검출을 위한 머신 비전 알고리즘 연구

정 민 철[†]

[†]상명대학교 공과대학 컴퓨터시스템공학과

Study on Machine Vision Algorithms for LCD Defects Detection

Min Chul Jung[†]

[†]Dept. of Computer System Engineering

ABSTRACT

This paper proposes computer visual inspection algorithms for various LCD defects which are found in a manufacturing process. Modular vision processing steps are required in order to detect different types of LCD defects. Those key modules include RGB filtering for pixel defects, gray-scale morphological processing and Hough transform for line defects, and adaptive threshold for spot defects. The proposed algorithms can give users detailed information on the type of defects in the LCD panel, the size of defect, and its location. The machine vision inspection system is implemented using C language in an embedded Linux system for a high-speed real-time image processing. Experiment results show that the proposed algorithms are quite successful.

Key Words : LCD Defect Inspection, RGB filtering, Morphological Processing, Hough Transform, Adaptive Threshold

1. 서 론

최근 LCD(Liquid Crystal Display)는 전자 정보 표시장치로서 휴대폰에서부터 대형 TV에 이르기 까지 모든 분야에서 사용량이 급증하고 있다. LCD의 제조 과정에서 발생하는 LCD 패널의 결함을 전수 검사를 통해 검출하는 것은 제품의 경쟁력 강화와 기업의 이미지 제고를 위해 중요하다. 그러나 검사자가 일일이 육안으로 품질 검사를 할 경우, LCD 백 라이팅(back lighting)이 매우 밝아 장시간 지속적으로 눈이 노출되기가 어렵고 작업의 단순성에 의해 집중력이 저하되어 품질 검사의 신뢰도에 문제가 발생한다. 또한 최근 대형 LCD TV의 출현으로 육안 검사 대상의 크기가 커짐에 따라 사람에 의한 검사는 한계에 직면하고 있다 [1]. 따라서 컴퓨터 비전 시스템을 활용한 LCD 결함 자동 검출을 위한 연구가 여러 방면에서 진행되어 왔다 [2-7]. LCD 패널의 대량 생산과 육안 검사의 어려움으로 인해 컴퓨터 비전 시스템을 활용한 패턴 검사는 앞으로 더욱 수요가 증대될 것이다. 본 논문에서는

LCD 패널에서 나타나는 다양한 결함을 검출하기 위해 결함 종류별로 결함을 검출하는 모듈화된 비전 처리 알고리즘을 제안한다. 제안된 LCD 패널 결함 검출 알고리즘은 입력 영상의 적절한 범위 내에서의 회전이나 이동에 영향을 받지 않는다. 또한 LCD패널에서 결함의 종류, 결함의 크기와 결함이 존재하는 곳의 위치(상대적 좌표와 절대적 좌표) 등 상세한 정보를 사용자에게 제공한다. 제안한 LCD 패널의 결함 검출 알고리즘은 모두 C언어를 사용하여 구현되고 임베디드 리눅스 시스템에 수행되어지므로, LCD 패널 영상을 고속으로 실시간 처리하며 LCD 패널의 양품 여부를 결정한다. 본 논문은 2장에서 LCD 결함의 종류에 대해 예를 들어 설명하고, 3장에서 LCD 결함 종류별로 결함을 검출하는 비전 알고리즘을 제안한 후, 이를 LCD 결함 영상에 실제 적용한 결과를 보인다. 4장에서는 본 연구에 대한 결론을 맺는다.

2. LCD 결함의 종류

LCD 결함의 종류에는 크게 픽셀(pixel) 계열 불량과 라인(line) 계열 불량, 스팟(spot) 계열 불량이 있다. 픽

[†]E-mail : mjung@smu.ac.kr

셀 계열의 불량은 정상적인 픽셀이면 어두워야 되지만 밝게 보이는 하이(high)성 불량과 정상적인 픽셀이면 밝아야 되지만 어둡게 보이는 오프(off)성 불량이 있다. Fig. 1은 픽셀 계열의 불량을 보인다. 라인 계열의 불량은 LCD 패널에 Fig. 2에 보인 것처럼 게이트가 단락(short)되거나 단선(open)되어 긴 선이 나타나는 불량을 말한다. 스팟 계열의 불량은 전계 인가시 이물 주변의 위상차에 의해 Fig. 3에 보인 것처럼 원형 형태의 흰색 스팟 이나 검은색 스팟으로 관찰되는 불량이다. 이러한 LCD 결함의 공통적인 특징들은 불량 부분의 밝기가

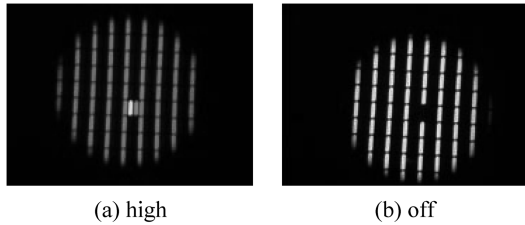


Fig. 1. Pixel Defects.

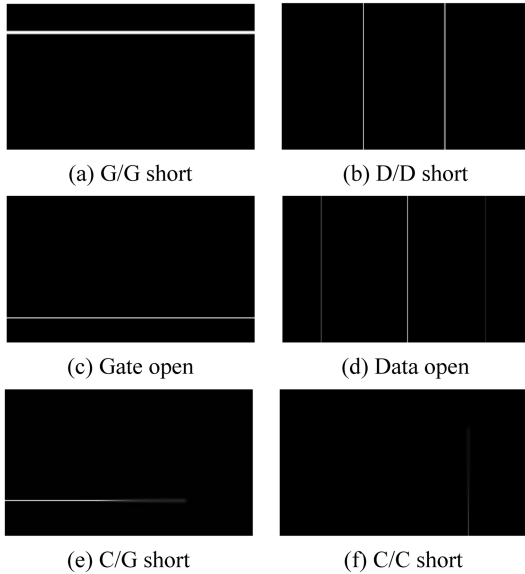


Fig. 2. Line Defects.

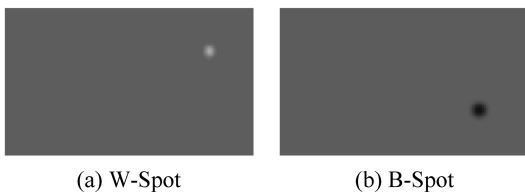


Fig. 3. Spot Defects.

주위의 정상적인 부분의 밝기보다 현저히 높거나 낮은 것이다. LCD 결함의 종류에 따라 서로 다른 영상 분석 알고리즘 필요하다.

3. LCD 결함의 검출

3.1. RGB 필터링

픽셀 계열의 하이(high)성 불량을 검출하기 위해서 입력 컬러 영상의 ROI(Region Of Interest)에 대하여 RGB-필터링을 한다. 단순한 RGB 채널별 분리되는 외부 조명의 영향을 많이 받고 획득 영상에서 채널별 간섭으로 인한 색혼합으로 인하여 사용하지 않는다. 즉 외부 백색 조명은 영상의 RGB 채널의 모든 값들을 동시에 왜곡시킬 수 있다. 본 연구에서는 물체 고유의 RGB 색만을 추출하기 위해 RGB 필터링을 개발하였다. 수식 (1)은 R-필터링을 하는 것을 나타낸다. 마찬가지로 수식 (2)는 G-필터링을, 수식 (3)은 B-필터링을 수행한다.

$$\begin{aligned} R &= (R-G) + (R-B) - |G-B|, \\ G &= 0, \\ B &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} R &= 0, \\ G &= (G-R) + (G-B) - |R-B|, \\ B &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} R &= 0, \\ G &= 0, \\ B &= (B-R) + (B-G) - |R-G| \end{aligned} \quad (3)$$

위의 수식을 수행한 후 값이 0보다 작은 음수는 0으로, 255보다 큰 수는 255로 할당하여 픽셀의 값이 8-bit 범위 안에 있게 한다. Fig. 4는 Fig. 1(a)를 RGB-필터링한 것을 보인다. 입력 영상에서 백색광들이 제거되고 순수한 RGB 고유의 색만으로 필터링되었다. 이 필터링 과정을 통해 어두워야 되지만 밝게 보이는 LCD 불량 픽셀들을 검출해 낼 수 있다. Fig. 4(c)와 Fig. 4(d)는 LCD 패널에서 불량 픽셀만 검출된 결과이다. 연결 성분(connected component) 분석 후 정의된 결함 크기(defect size)에 따라 불량 여부를 결정한다. 연결 성분 분석을 위해 본 연구에서는 레이블링(labeling) 방법을 사용한다. Fig. 4(e)와 Fig. 4(f)는 앞의 영상을 이진화한 후, 레이블링 분석을 통해 연결 성분의 크기를 나타낸 것이다.

3.2. 형태학적 처리(morphological processing)

픽셀 계열의 오프(off)성 불량은 RGB-필터링 과정에서

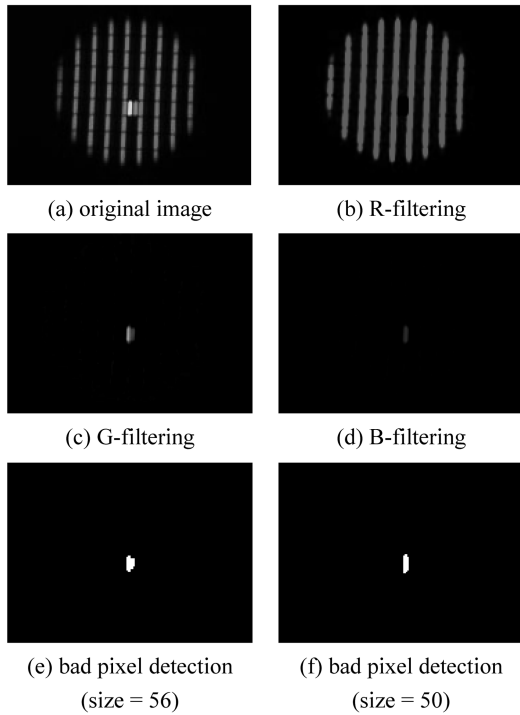


Fig. 4. RGB-filtering for high-pixel defect detection.

검출되지 않는다. 영상 이진화를 수행한 후 이진 형태학적 처리를 할 수도 있으나[8], 영상 이진화 과정에서 물체(object)의 일부분이 소실되거나 배경(background)의 일부분이 물체에 추가되어 물체가 변형될 가능성이 있다. 이렇게 조금이라도 변형된 물체에 대해 이진 형태학적 처리를 수행하면 변형된 부분이 증폭되어 정확한 영상 분석을 어렵게 한다. 본 연구에서는 RGB-필터링 과정을 통과한 ROI 영상에 대해 그레이 스케일(gray-scale)로 영상을 변환한 후, 바로 그레이 스케일 형태학적 처리인 팽창 연산을 한다. Fig. 5(a)는 Fig. 1(b)를 그레이 스케일로 영상 변환한 것을 보인다. 이 영상에 대해 그레이 스케일 영상 팽창을 한 번 처리한 것이 Fig. 5(b)의 영상이고 두 번 처리한 것이 Fig. 5(c)의 영상이다. 이를 다시 이진화 처리하면 Fig. 5(d)에서 보인 것과 같이 정상 픽셀은 모두 이웃 픽셀과 연결되어 하나의 긴 직사각형이 된다. 그러나 오프(off)된 불량 픽셀이 존재하는 부분은 긴 직사각형이 두 개로 나누어진다.

한 개의 직사각형이 두 개로 나누어진 직사각형의 존재 여부를 검출하기 위해 연결 성분 분석을 수행한다. 두 개로 나누어진 직사각형은 x 축이나 y 축 방향으로 겹쳐서 존재한다.

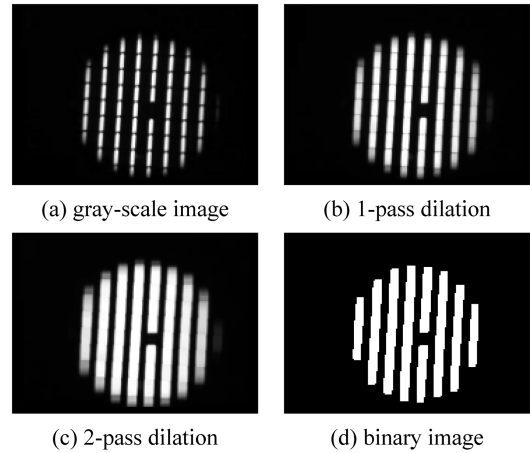


Fig. 5. Morphological Processing for off-pixel defect detection.

Table 1은 Fig. 5(d)의 영상을 연결 성분 분석한 것을 정리한 것이다. Fig. 5(d)의 영상에는 모두 9개의 연결 성분(직사각형 모양)이 존재하며 그 크기는 표에 나타난 것과 같다. 각 직사각형의 무게 중심 좌표를 표에서 보면 넘버 5와 넘버6 직사각형의 x 좌표가 각각 92와 95로 거의 겹쳐 있으며, y 축 방향의 무게 중심 좌표는 다른 직사각형의 경우 평균 72.5인데 반해, 각각 101과 48로 크게 벗어나있다. 이 두 값의 평균은 74.5이다. 따라서 넘버 5와 넘버 6 직사각형은 한 개의 직사각형이 오프(off) 불량 픽셀에 의해 두 개로 나누어진 직사각형이다. 이러한 영상의 형태학적 처리와 연결성분 분석에 의해 픽셀의 계열의 오프(off)성 불량을 검출한다.

Table 1. Connected components of Fig. 5(d)

Blob Number	Size	Center (x, y)
1	270	(46, 69)
2	499	(58, 71)
3	602	(70, 71)
4	659	(82, 73)
5	266	(92, 101)
6	319	(95, 48)
7	580	(105, 73)
8	477	(117, 76)
9	263	(129, 75)

3.3. 허프(Hough) 변환을 이용한 라인 검출

라인 계열의 불량을 검출하기 위해서 허프 변환을 사용한다. 허프 변환은 영상에서 직선을 찾기 위한 방

법이다. 입력 영상에서 선의 후보에 해당하는 모든 점들은 ab 공간(a 는 기울기, b 는 y 절편)에서 모두 선으로 나타내고 이 선들이 서로 교차하는 점을 구하면 그 점이 입력 영상의 기울기 a 와 y 절편의 좌표가 된다. 이때 기울기를 θ 로 나타내고 원점에서 직선까지 수직거리를 r 로 나타낸다($r = b \cos \theta$). 허프 변환은 그레이 스케일의 윤곽선 영상에 적용 가능하다. 라인 계열의 불량 영상에는 윤곽선 처리는 필요없으나 컬러 영상을 그레이 스케일 영상으로 변환해야한다. 그런데, Fig. 2(b), Fig. 2(d), Fig. 2(f)와 같은 컬러 영상을 그레이 스케일 영상으로 변환하면 영상이 불분명해져 허프 변환을 이용한 라인 검출이 실패한다. 따라서 라인 계열의 불량을 검출하기 위해서는 그레이 스케일 영상 팽창을 두 번 처리한 후 허프 변환을 한다. Table 2는 Fig. 2(a)에서 Fig. 2(f)까지의 영상에 대해 허프 변환한 결과를 보인다. 영상에 존재하는 라인의 개수대로 원점에서 라인까지 수직거리 r 과 라인의 기울기 θ 가 존재한다. 따라서 수직거리 r 과 라인의 기울기 θ 의 존재 여부에 따라 LCD 라인 계열의 불량을 검출할 수 있다.

Table 2. Results of Hough transform

Figure	r	θ	# of Line
Fig. 2(a)	36	0°	1
Fig. 2(b)	108 215	90° 90°	2
Fig. 2(c)	163	0°	1
Fig. 2(d)	53 166 269	90° 90° 90°	3
Fig. 2(e)	151	0°	1
Fig. 2(f)	249	90°	1

3.4. 최대 분산법을 이용한 이진화 처리

영상 이진화(binazation) 처리는 입력 영상의 픽셀 값이 0에서 임계값(threshold value)까지는 출력 영상의 픽셀 값을 0으로, 임계값 이후에서 255까지는 출력 영상의 픽셀 값을 255로 조작하는 간단한 처리이다. 그러나 모든 임의의 입력 영상에 대해 적절한 임계값을 정하는 문제는 쉽지 않은 문제이다. 영상 이진화 처리는 영상의 배경과 물체를 분리하기 위해서 수행하는데 임계값을 잘 못 정하면 앞에서도 언급했듯이 물체의 일부가 배경이 되어 사라지거나 배경이 물체의 일부가 된다. 심지어 아예 이진화된 영상에서 물체가 사라지는 일도 발생한다. LCD 결함 검출에서는 물체가 LCD 결함을 나타내는 스팟(spot)이다. 따라서 입력 영상에서

적절한 임계값을 찾는 것이 바로 결함 검출 여부에 직결된다. 입력 영상의 픽셀값 빈도수 히스토그램을 그려 보면 배경색 부분이 한 개의 산(peak)을 나타내고 물체 부분이 또 한 개의 산을 나타낸다. 임계값이 존재해야 하는 부분은 이 두 개의 산 사이인 계곡(valley)이다. 이러한 픽셀값 빈도수의 분포에 기반하여 임계값을 계산해 내는 여러 가지 방법이 연구되어지고 있다[9]. 본 연구에서는 두 부분으로 나누어진 영역 사이의 분산이 최대가 되도록 임계값을 계산하여 히스토그램을 분할한다. 최대 분산법을 이용하여 Fig. 3(a)에 적용하면 임계값이 158, Fig. 3(b)에 적용하면 임계값이 93이 계산된다. LCD 패널의 스팟 불량 여부를 검출하기 위해 Fig. 3의 영상에 이 임계값을 가지고 이진화를 수행하면 Fig. 6과 같이 흰색 스팟과 검은색 스팟을 검출할 수 있다. 연결 성분 분석 후 정의된 결함 크기(defect size)에 따라 불량 여부를 결정한다. Table 3은 Fig. 6의 영상을 연결 성분 분석하여 스팟의 크기와 그 무게 중심 좌표를 구한 것을 나타낸다.

Table 3. Results of Spot Defect Detection

Figure	Size(pixels)	Center(x, y)	Result
Fig. 6(a)	119	(268,55)	w-spot defect
Fig. 6(b)	209	(249, 119)	b-spot defect

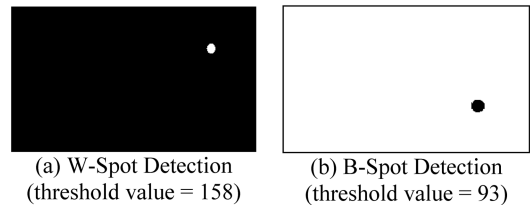


Fig. 6. Binarization for spot defect detection.

4. 결 론

본 연구에서는 LCD 제조공정 상에서 발생할 수 있는 다양한 LCD 패널의 결함을 종류별로 검출하기 위해 모듈화된 비전 처리 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 모두 C언어로 구현하여 임베디드 리눅스 시스템에서 실험한 결과 좋은 성능을 보여주었다. 일반적으로 머신 비전 시스템에서 조명과 렌즈, 해상도(Resolution)는 시스템의 성능을 크게 좌우한다. 아무리 고성능 비전 소프트웨어를 개발하더라도 입력되는 획득 영상의 질이 저하된다면 그 시스템의 성능은 크게 떨어진다. 시스템에 최적화된 영상을 획득하는 것이 머신 비전 시스템에서는 그 무엇보다도 중요하다.

참고문헌

1. 이재혁, “LCD 모듈의 얼룩 검사에 관한 연구,” 정보 및 제어 학술대회, pp. 422-424, 2006.
2. 고정환, 이원석, 원영진, “LCD 표면 검사를 위한 적응적 결합패턴 분류 알고리즘,” 대한전자공학회 하계 학술대회, 제33권, 1호, pp. 1787-1788, 2010.
3. 조석빈, 백경훈, 이운근, 남기근, 백광렬, “PDP 패턴 검사를 위한 실시간 영상처리시스템 개발,” 전자공학 회논문지, 제42권, 제3호, pp. 121-128, 2005.
4. 조재수, 하광성, 이진욱, 홍석창, “영상 형태학적 처리를 이용한 TFT-LCD 불량 검출에 관한 연구,” 신호처리합동학술대회, pp. 1-4, 2007.
5. 조재수, 하광성, 이진욱, 김동현, 전재웅, “TFT-LCD 자동 수선시스템에서 결합이 있는 셀을 자동으로 추출하는 방법,” 한국정보기술학회논문지, pp. 1-5, 2008.
6. 정규원, 박종성, 강찬구, “비전 시스템을 이용한 LCD 용 편광 필름의 결합 검사에 관한 연구,” 산업과학기술연구소논문집, 제17권, 제1호, pp. 47-53, 2003.
7. 이경민, 장문수, 박부건, “패턴 비교를 통한 TFT-LCD 패널의 결합 검출 방법,” 전기학회논문지, 제57권, 제2호, pp. 307-313, 2008.
8. 유상현, 김용관, “모폴로지를 이용한 TFT-LCD 셀 검사 알고리즘 연구,” 전기설비학회논문지, 제21권, 제1호, pp. 19-27, 2007.
9. 권순학, 손세호, 배종일, “그레이 레벨의 분포에 기반한 임계값 결정법,” 퍼지 및 지능시스템학회 논문지, 제13권, 제6호, pp. 649-654, 2003.

접수일: 2010년 8월 30일, 심사일: 2010년 9월 8일,
 게재확정일: 2010년 9월 15일