Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 21, No.1, pp. 19~27 January 2007 논문 21-1-3

모폴로지(Morphology)를 이용한 TFT-LCD 셀 검사 알고리즘 연구

(On the TFT-LCD Cell Defect Inspection Algorithm using Morphology)

유상현 · 김용관*
(Sang-Hyun Yu · Yong-Kwan Kim)

요 약

본 논문에서는 모폴로지 기법을 이용한 TFT-LCD 셀의 라인 결함과 픽셀 결함을 검사할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 이때 LCD 셀의 브라이트 라인 결함, 다크 라인 결함, 브라이트 픽셀 결함, 다크 픽셀 결함들을 검출하기 위하여, 셀의 크기 특성을 고려한 모폴로지 연산자의 모양을 결정하고, 팽창 연산, 침식 연산 및 차분 기법을 이용하여 결함 정보를 추출하였다. 이후 다양한 실험을 통하여 결정된 적절한 임계값을 이용한 최적의 이진화 알고리즘을 적용하였다. 마지막으로 결함정보의 인식을 위한 라벨링 과정을 통하여, 결함들을 검출하였다. TFT-LCD 판넬의 다양한 검사 실험을 통하여, 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 결함정보 검출 성능이 매우 우수함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we develope and implement a TFT-LCD cell defects detection algorithm using morphology. To detect the bright line or dark line defects and the bright pixel or dark pixel defects of the TFT-LCD cells, we determine the shape of the morphology operators considering the shape characteristics of the TFT-LCD sub pixels. Using dilation, erosion, and the subtraction operators, we extract gray level defects information. Then, we apply the optimal threshold method which shows the best results in terms of several criteria. Finally, we determine the defects using labelling method. From various experiments using TFT-LCD panels , the proposed algorithm shows superior results.

Key Words : Machine vision, Defects detection, Morphology, Erosion, Dilation, TFT-LCD, Cell, Subpixel

1. 서 론

머신 비전(machine vision)은 90년대 들어 CPU의 놀라운 처리 성능 향상, 고속 대용량 메모리의 발전, 고성능 카메라의 탄생 등 주변기술의 고성능화 및 저가격화가 이루어지면서 비약적으로 발전하고 있

* 주저자 : 호서대학교 정보통신공학과 부교수
Tel : 041-540-5688, Fax : 041-540-5693
E-mail : ykkim@office.hoseo.ac.kr
접수일자 : 2005년 8월 22일
1차심사 : 2005년 8월 25일, 2차심사 : 2005년 12월 12일
심사완료 : 2006년 12월 13일

는 분야이다. 머신 비전 기술은 영상처리와 영상분석을 함께 사용하는 기술로 획득된 영상데이터가 제조 공정을 제어할 수 있도록 처리하는 산업기술이다. 비전 기술은 공장 자동화의 검사와 조립 라인, 형상 및 결함 검사, 비파괴 검사, 산업용 Robot 등 최근 들어 광범위하게 사용되기 시작하였다[8]. 특히 반도체 분야에서 비전 기술이 많이 사용되는데 리드 프레임(Lead Frame) 검사, BGA(Ball Grid Array) 검사, CD(Compact Disc) 검사, LCD/PDP 검사 등 거의 모든 분야에서 비전 기술이 사용되고 있다.

FPD(Flat Panel Display)와 같은 고가 제품의 경우 생산 과정에서 발생하는 결함으로 인한 FPD 불량의 발생은 그 피해가 막대하다. 따라서 비전 검사 시스템을 통하여 생산 라인에서 발생하는 불량을 인식하여 제거하는 것은 제품의 최종적인 상품가치와 신뢰성을 높이는 데 중요하다. 특히 이 분야의 제품들이 점점 대형화, 고성능화 되고 FPD 셀들이 극소화됨에 따라 사람의 시각을 이용한 검사는 검사 속도 및 능률의 저하를 가져오고, 생산된 제품에 대한 일정한 품질을 보장받을 수 없다.

본 논문에서는 FPD 중에서 TFT-LCD의 불량 검사를 다루었다. TFT-LCD는 생산 과정의 특수성으로 인해 R, G, B 각 서브픽셀(Subpixel)들에 대한 결함이 단 몇 개라도 발생할 경우 그 경제적 손실이 크기 때문에 제품 생산 과정에서 검사 시스템은 필수적이라 할 수 있다.

기존 논문의 검사 알고리즘[7, 9]은 촬영된 LCD 영상내의 잡음을 제거하는 과정을 거친 후 결함 검출 알고리즘을 사용하는 방식이다. 본 논문에서 제안하는 기법은 모폴로지 기법을 통하여 잡음을 제거하면서 동시에 결함을 추출할 수 있는 방법으로 처리 단계를 줄임으로써 연산시간을 줄일 수 있다. 제안한 TFT-LCD 검사 알고리즘의 목적은 모폴로지를 적용하여 최대한 결함 부분을 뚜렷이 나타나게 하는 데 있다. 이진화하여 결함 정보만을 추출하기 위해서는 전처리 과정을 통하여 결함에 해당하는 부분의 화소값 분포가 기타 다른 부분에 비해 최상위 부분 혹은 최하위 부분을 차지하여야 한다. 이러한 전처리 과정을 본 논문에서는 모폴로지를 이용하여 처리하였다.

본 논문에서는 TFT-LCD 패널 상에 존재하는 결함을 다크 픽셀 결함, 브라이트 픽셀 결함 및 다크 라인 결함, 브라이트 라인 결함으로 분류하여 강인하고, 효율적인 검사 알고리즘을 개발하여 향후 현장에서 적용이 용이하도록 하였다.

2. 모폴로지, 이진화 및 라벨링 기법

2.1 모폴로지(Morphology)

모폴로지 기법의 기본 아이디어는 미리 기하학적 형태를 알고 있는 대상 물체의 정보를 반영하여 영상 내에서 원하는 부분만을 추출하는 것이다[1]. 일반적인 영상의 경우 영상 내에서는 다양한 물체들이 혼합되어 있으며 우리가 관심을 가지는 나머지 물체들은 노이즈 성분이라고 볼 수 있다[1-2]. 모폴로지 연산은 마스크 역할을 수행하는 구조 요소(structuring element)를 사용하여 영상 내의 원하는 부분만을 추출하는 연산이다[2].

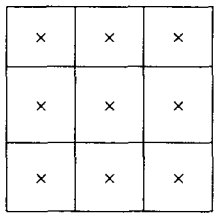

그림 1. 3×3 연산 마스크의 형태를 가진 구조 요소
Fig. 1. Structuring element of 3×3 operation mask shape

그림 1은 침식·팽창의 모폴로지 연산의 수행을 위해 사용하는 3×3 구조 요소의 형태로서 마스크 중심위치를 포함한 인근의 8개 픽셀을 선택하여 결과 영상의 위치에 값을 할당한다.

침식 연산은 배경(어두운 영역)에 대해 배경을 확장시키고 물체(밝은 영역)의 크기를 축소하는 역할을 한다. 침식 연산은 주로 물체와 배경사이의 스파크 잡음 제거와 같이, 전체 영상에서 아주 작은 물체를 제거하거나 또는 전체 영상에서 배경확장에 따른 물체를 축소하는 역할을 한다[1-2].

$$A \oplus B = \{z | (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (1)$$

식 (1)은 침식의 정의로서 A는 영상 내의 물체이고 B는 A를 침식하기 위해 사용한 구조요소이다. z는 구조요소인 B를 이동시킬 때의 결과 영상 내의 좌표를 나타낸다. 구조요소 B를 이동시킨 위치가 A의 내부 위치에 있어야 함으로 3×3 마스크 형태의 구조요소인 경우 물체 A는 외곽의 1픽셀의 두께가 침식되는 결과가 나타나게 된다.

팽창 연산은 침식 연산과 반대의 성질을 갖는 것으로 이는 물체의 최외각 픽셀을 확장시키는 역할을 한다. 그러므로 물체의 크기는 확장되고 배경은 축소된다. 팽창 연산은 물체 안의 홀과 같은 빈 공간을 메우는 역할을 하거나 서로 짧은 거리만큼 끊어진 영역을 연결시켜준다[1-2, 4].

$$A \ominus B = \{z | (B)_z \subseteq A\} \quad (2)$$

식 (2)는 팽창의 정의로서 $\hat{B}$는 B의 투영(refelection)[1]으로서, $\hat{B}$위치 이동시 A와 겹쳐지는 부분이 결과 영상으로 나타내게 되므로 3×3 마스크 형태의 구조요소인 경우 물체 A는 외곽의 1픽셀의 두께가 팽창되는 결과가 나타나게 된다.

이진 영상에서의 모폴로지 처리에서는 이진 영상과 구조 요소 모두 취할 수 있는 값의 범위가 '0'과 '1'로서 두 가지 상태인 반면 그레이 영상에서는 각 픽셀이 취할 수 있는 값의 범위가 0~255이다[5]. 구조 요소 또한 취할 수 있는 값의 범위가 더 이상 0과 1이 아니다. 이진 영상 모폴로지에서는 구조 요소가 주어진 영상에 포함되어 있는지 아닌지로 판단하였으나 그레이 영상 모폴로지에서는 구조 요소의 밝기 값의 분포가 주어진 그레이 영상의 밝기 값 분포와 비교하여 포함 또는 비 포함을 비교하게 된다[6]. 본 논문에 사용된 모폴로지는 구조 요소 내에 할당되는 그레이 영상 픽셀의 명도 값 중 가장 작은 값을 선택하는 침식, 가장 큰 값을 선택하는 팽창기법을 사용하였다[1-2, 5].

2.2 이진화(Thresholding)

일반적으로 그레이 영상을 직접 처리하기 보다는 이진 영상을 획득하여 사용하는 것이 정보량이 비교적 적고, 고속 처리가 가능하며, 알고리즘 처리의 용이성 때문에 널리 이용되고 있다[1].

2진 영상은 그레이 스케일 영상에 이진화(Thresholding) 작업을 거쳐 얻어질 수 있다. 식 (3)에서 $f(i, j)$는 그레이 영상의 좌표 (i, j)에 대한 명암 값을 나타내며 T는 임계값(threshold value)이다. 즉, 명암 영상에서 임계값 T 이상의 명암 값에 대해서는 HIGH(화소 값 255) 값을, 임계값 T 이하의 명암 값에 대해서는 *LOW*(화소 값 0)의 값으로 변환하는 알고리즘이다. 영상에서 원하는 부분(결함 영역)만을 추출하여 검사하기 위해 영상의 화소의 밝기가 임계값 이상인 경우 대응하는 출력 영상의 화소 값을 *HIGH*로 변환하고, 그 이외의 경우는 *LOW*로 변환하여 오브젝트를 추출할 때 사용하게 된다[1-2].

$$f(i,j) = \begin{cases} HIGH & : f(i,j) \geq T \\ LOW & : f(i,j) < T \end{cases} \quad (3)$$

최적의 이진화 영상을 선택하기 위해서는 적절한 임계값 선택이 필수적이다. 본 논문에서는 히스토그램 분석에 근거한 이진화를 수행하는 MRT(Minimum Residue Threshold) 방법, MET(Maximum Entropy Threshold) 방법, ISODATA 방법을 검출하고자 하는 결함의 특징에 따라 선별하여 사용하였다[3].

MRT 방법은 원영상과 이진화 된 영상간의 quadratic difference가 최소가 될 때의 임계값을 선정하는 방식이며 MET 방법은 이진화된 영상의 엔트로피(정보량)가 최대가 될 때의 임계값을 선정하는 방식이다. ISODATA 방법은 원영상의 임계값 밑에 있는 픽셀들의 명도 값을 합한 것의 평균과 임계값 위에 있는 픽셀들의 명도 값을 합한 것의 평균을 구했을 때, 평균과 평균 사이의 중간 값이 임계값과 일치할 경우의 임계값을 선택하는 방식이다[3].

2.3 라벨링(Labling)

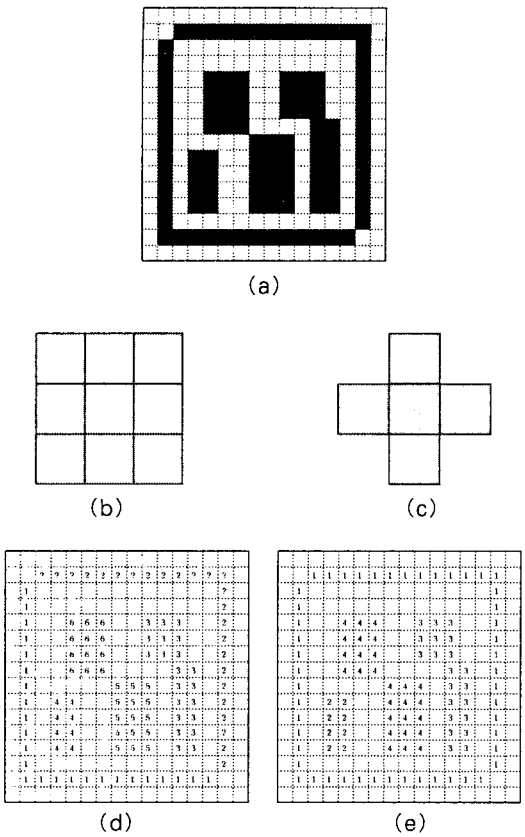

그림 2. 라벨링에 사용되는 마스크와 결과 영상
(a) 원 영상
(b) 4이웃 마스크
(c) 8이웃 마스크
(d) 4이웃 마스크 사용 결과,
(e) 8이웃 마스크 사용 결과

Fig. 2. Used mask for labeling and the result image
(a) Original image
(b) 4-neighborhood mask
(c) 8-neighborhood mask
(d) Result using 4-neighborhood mask
(e) Result using 4-neighborhood mask

라벨링 방법은 이진 영상에 존재하는 각 화소간의 연관성을 이용하여, 같은 라벨 값을 가지는 화소들을 하나의 독립된 물체 단위로 처리하도록 하는 알고리즘이다. 라벨링의 기본 원리는 같은 연결 성분에 속하는 픽셀에 같은 번호를 부여하고, 다른 연결 성분에는 서로 다른 번호를 부여하여 물체를 구별한다[1].

그림 2의 (d), (e)는 라벨링을 할 경우 4-이웃 마스크와 8-이웃 마스크를 사용한 결과의 차이를 나타낸 것이다. 동일한 영상에 대해서도 사용되는 마스크에 의해 전혀 다른 물체로 인식될 수 있음을 보여준다. 본 논문에서는 연결성을 최대한 고려하여 라벨링을 할 경우 8-이웃 마스크의 원리를 사용하였다.

3. 라인 결함 검출 알고리즘

3.1 다크 라인 결함(Dark line defect)

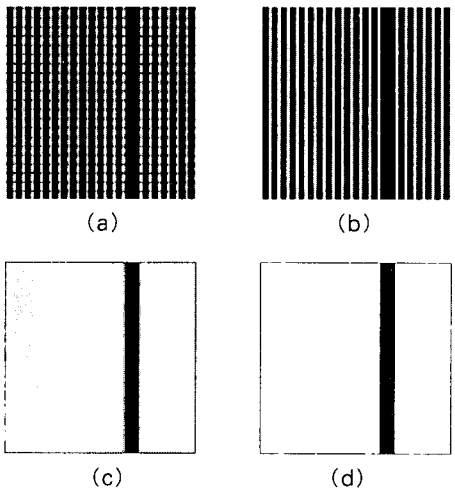

그림 3. 다크 라인 결함
(a) 원영상
(b) (a)에 대한 팽창후 침식한 영상
(c) (b)에 대한 팽창 후 침식한 영상
(d) 이진화 영상

Fig. 3. Dark line defect
(a) Original image
(b) Dilation of (a) followed by erosion
(c) Dilation of (b) followed by erosion
(d) Threshold image

다크 라인 결함은 한 열의 서브픽셀이 연달아 꺼져 나타나는 결함을 말한다. 그림 3의 (a)는 B(blue) 패턴 입력을 하였을 때 다크 라인 결함이 나타나는 영상이다. 결함 부분만을 추출하기 위해서는 결함을 제외한 서브픽셀들이 병합되는 처리 과정이 필요하다. (b)는 서브픽셀들이 병합되는 첫 과정으로서 (a)와 같이 다크 라인 결함이 있는 영상을 1×19 크기를 갖는 마스크 형태(폭이 1픽셀, 높이가 19픽셀의 직방행렬)의 구조

요소를 사용하여 팽창 후 침식기법을 통하여 서브픽셀 열들을 하나의 라인으로 병합시킨 영상이다. (c)는 (b)의 영상을 가지고 라인과 라인을 병합시키기 위하여 9×1 크기를 갖는 마스크 형태의 구조 요소를 사용하여 팽창 후 침식 기법을 거친 영상으로 다크 라인 결함 부분이 뚜렷이 보인다. (c)와 같이 모폴로지 처리를 거친 영상을 이용하여 다크 라인 결함을 검출하기 위해서 이진화 방법을 사용한다. (d)는 (c) 영상에 대해 MRT 방법을 적용한 이진화 영상으로서 본 논문에서는 (d)와 같이 MRT 방법을 사용하여 다크 라인 결함 검출에 사용하였다. 그림 4는 다크 라인 결함 검출 과정에 대한 알고리즘을 도식화한 것이다.

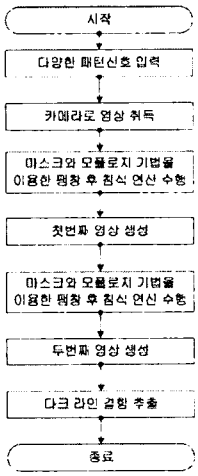

그림 4. 다크 라인 결함 검출 알고리즘 플로우 차트
Fig. 4. Dark line defect detection algorithm flow chart

3.2 브라이트 라인 결함 (Bright line defect)

브라이트 라인 결함은 꺼져 있어야 할 서브픽셀이 켜져 나타나는 결함을 말한다. 그림 5의 (a)는 R(red) 패턴을 입력하였을 때, 브라이트 라인 결함이 나타나는 영상이다. 결함 부분만을 추출하기 위해서는 정상적인 서브픽셀들을 제거해야 하는 과정이 필요하다. (b)는 1×19 크기를 갖는 마스크 형태의 구조 요소 구조 요소를 사용하여 브라이트 라인 결함이 있는 영상을 팽창 후 침식기법을 통하여, 서브픽셀 열들을 하나의 라인으로 병합시킨 영상이다.

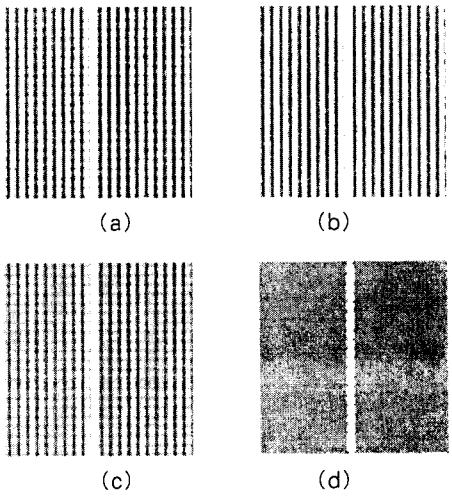

그림 5. 브라이트 라인 결함
(a) 원영상
(b) (a)에 대한 팽창후 침식한 영상
(c) (b)에 대한 침식 후 팽창한 영상
(d) 이진화 영상
Fig. 5. Bright line defect
(a) Original image
(b) Dilation of (a) followed by erosion
(c) Erosion of (b) followed by dilation
(d) Threshold image

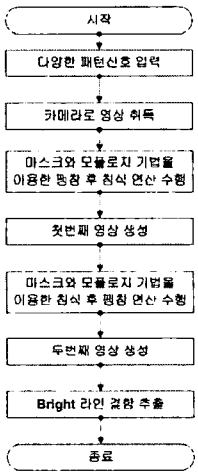

그림 6. 브라이트 라인 결함 검출 알고리즘 플로우 차트
Fig. 6. Bright line defect detection algorithm flow chart

(c)는 3×1 크기를 갖는 마스크 형태의 구조 요소를 이용한 침식 후 팽창 기법을 통하여, 정상적인 서브픽셀 병합 라인만의 명도 값을 약화시켜, 브라이트

라인 결함이 비교적 원 영상에 비해 뚜렷이 나오는 영상이다. (d)는 (c)와 같은 영상에 대해 MET 방법을 적용한 이진화 영상으로서 본 논문에서는 (d)와 같이 MET 방법을 사용하여 브라이트 라인 결함 검출에 사용하였다. 그림 6은 다크 라인 결함 검출 과정에 대한 알고리즘을 도식화한 것이다.

4. 픽셀 결함 검출 알고리즘

4.1 다크 픽셀 결함 (Dark pixel defect)

그림 7의 (a)는 R(red) 패턴을 입력하였을 때, 다크 픽셀 결함이 나오는 영상이다. 결함 부분만을 추출하기 위해서는 결함 부분을 밝은 명도값으로 만들어 주고 나머지 정상적인 서브픽셀들을 제거해야 하는 과정이 필요하다.

본 논문에서 다크 픽셀 결함을 검출하기 위해서, 어두운 영역이 돋보이게 나타내는 방식인 BlackTopHat 연산을 사용하였다[1, 4]. BlackTopHat 연산은 원 영상을 팽창 후 침식 연산을 통한 영상에서 원 영상을 픽셀 단위로 명도값을 빼준 영상으로서, 어두운 영역을 밝은 명도 값을 가진 물체로 인식되게 만들어 줄 수 있다. (b)와 같이 다크 픽셀 결함이 나타나는 영상을 1×41 크기를 갖는 마스크 형태의 구조 요소를 이용한 BlackTopHat 연산을 거치면 세로방향으로 나열된 서브픽셀열의 검은 부분이 밝게 표시되는 영상을 얻을 수 있다. (b)와 같이 BlackTopHat 연산을 한 영상은 정상적으로 세로 상에 나열된 서브픽셀 사이의 검은 부분은 결함이 나타나는 부분에 비해 작은 면적을 차지하고 또한 규칙적이라는 것을 알 수 있다. 이후 결함부분만을 검출하기 위해서 규칙적으로 나타나는 서브픽셀 사이의 검은 부분만을 제거할 수 있도록 1×3 크기를 갖는 마스크 형태의 구조 요소를 이용한 침식 후 팽창 연산을 수행한다. (c)는 (b)의 BlackTopHat 연산을 한 영상에 대하여 침식 후 팽창 연산을 수행한 영상으로서 다크 픽셀 결함 부분만이 뚜렷이 나타나는 것을 볼 수 있다[5]. 그 후 이진화 후 라벨링 기법을 통하여 다크 픽셀 결함만을 추출할 수 있게 된다. (d)는 MET 방법을 적용한 이진화 영상으로서 본 논문에서는 MET 방법을 사용하여 다크 픽셀 결함검출에 사용하였다. 그림 8은 다크 픽셀 결함 검출 과정에 대한 알고리즘을 도식화한 것이다.

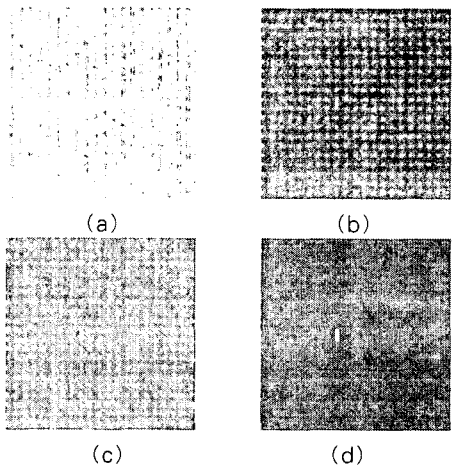

그림 7. 다크 픽셀 결함
(a) 원영상
(b) BlackTopHat 연산 영상
(c) 침식 후 팽창한 영상
(d)이진화 영상
Fig. 7. Dark pixel defect
(a) Original image
(b) Image that performed BlackTopHat operation
(c) Erosion followed by dilation
(d)Threshold image

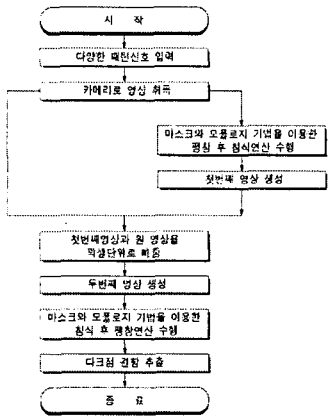

그림 8. 다크 픽셀 결함 검출 알고리즘 플로우 차트
Fig. 8. Dark pixel defect detection algorithm flow chart

4.2 브라이트 픽셀 결함(Bright pixel defect)

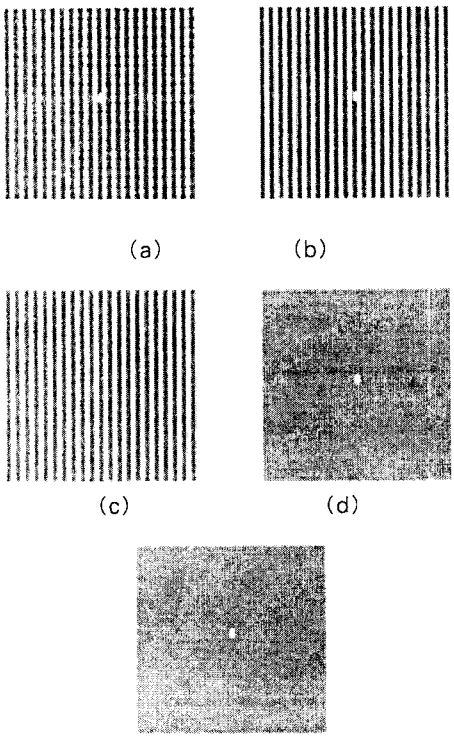

그림 9. 브라이트 픽셀 결함
(a) 원영상
(b) (a)에 대한 팽창 후 침식 연산 영상
(c) (b)에 대한 침식 후 팽창 영상
(d) 차분 영상
(e) 이진화 영상
Fig. 9. Bright pixel defect
(a) Original image
(b) Dilation of (a) follwed by erosion
(c) Erosion of (b) followed by dilation
(d) Subtraction image
(e) Threshold image

그림 9의 (a)는 TFT-LCD의 서브픽셀 중 R(red) 서브픽셀만 켠 영상에서 브라이트 픽셀 결함이 나타나는 부분만을 잘라낸 영상이다. 결함 부분만을 추출하기 위해서는 결함 부분을 제외한 정상적인 서브픽셀들을 제거해야 하는 과정이 필요하다.

브라이트 결함을 검출하기 위한 첫 번째 과정으로 입력 영상에 대해 1×19 크기를 갖는 마스크 형태의 구조 요소를 이용한 팽창 후 침식 기법을 수행한다. 그러면 세로로 정렬되어 있는 서브픽셀 열을 하나의 라인과 같은 모양으로 병합된 것과 브라이트 픽셀 결함이 동시에 존재하는 영상((b))을 얻을 수 있다. 다음으로 이 영상을 가지고 다시 같은 구조 요소를 이용한 침식 후 팽창 기법을 수행하면 결함은 제거되고 라인만이 존재하는 영상((c))이 만들어진다. 이렇게 만들어진 두 영상((c), (d))을 가지고 픽셀단위로 명도 값을 빼주면 결함만이 나타나는 영상((d))을 구할 수 있다. (e)는 (d)의 차분 영상에 대해 MET 방법을 적용한 이진화 영상으로서 본 논문에서는 (e)와 같이 MET 방법을 사용하여 브라이트 픽셀 결함 검출에 사용하였다. 그림 10은 다크 픽셀 결함 검출 과정에 대한 알고리즘을 도식화한 것이다.

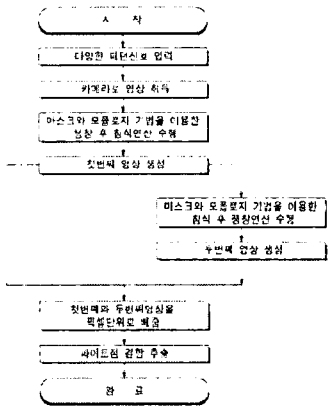

그림 10. 브라이트 픽셀 결함 검출 알고리즘 플로우 차트
Fig. 10. Bright pixel defect detection algorithm flow chart

5. 실험 및 결과 분석

본 논문의 TFT-LCD 검사 알고리즘 실험을 위해서 불량으로 판정된 도트 피치(dot pitch)가 0.28 [mm]인 TFT-LCD 패널 9개를 패턴 입력별로 촬영한 그레이 영상(2048×2048)을 입력으로 사용하였다. TFT-LCD 패널의 R, G, B 세 개의 서브 픽셀이 이미지에서 6×6의 크기를 차지하고 있다.

프로그램 구현은 Microsoft 사의 Visual C++ 6.0과 Euresys 사의 eVision 라이브러리를 사용하였다.

그림 11은 본 논문에서 개발된 알고리즘을 적용시켜

완성된 프로그램 인터페이스 목록, 형태를 보여준다.

그림 11. GUI 프로그램 인터페이스
Fig. 11. An example of the GUI Program Interface

메뉴 바에서 '다영상 로드' 메뉴를 클릭 하면, R(red), G(green), B(blue) 패턴 영상 및 Gray, Black, White 패턴 영상을 불러들여 알고리즘을 적용시킬 준비를 한다. 이 후, 각기 다른 종류의 메뉴 버튼을 클릭함으로써 추출하고자 하는 영상 내의 결함 정보를 각기 다른 색으로 표시하여, 한 번의 연산과정을 통하여 찾고자 하는 결함의 위치정보를 파악할 수 있다. 또한 입력된 영상 중 원하는 패턴의 영상으로 변환하여 볼 수 있고, 결함 표시된 영상과 원 영상을 비교하여 볼 수 있도록 색으로 표시된 결함을 표시 ON/OFF('모두제거' 메뉴)할 수 있도록 하였다.

그림 12는 R(red) 서브픽셀만 켠 원 영상을 로드하여 프로그램 상에서 '밝은 세로라인' 메뉴를 클릭하여 브라이트 라인 결함 정보를 적색으로 표시한 것을 부분 확대한 그림이다.

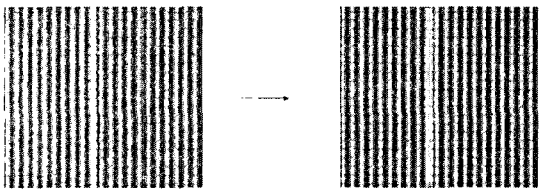

그림 12. 브라이트 라인 결함 표시
Fig. 12. Bright line defect indication

그림 13은 프로그램 상에서 '어두운 세로라인' 메뉴를 클릭할 경우 원 영상에 존재하는 다크 라인 결함이 표시되는 영상을 부분 확대한 그림이다.

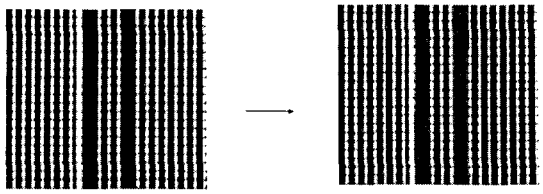

그림 13. 다크 라인 결함 표시
Fig. 13. Dark line defect indication

그림 14는 프로그램 상에서 '검은 이물 검출' 메뉴 클릭할 경우 원 영상에 존재하는 다크 픽셀 결함이 표시되는 영상을 부분 확대한 그림이다. 정상적으로 켜진 서브픽셀의 최대 명도값은 200이었다. 이 때 0~130까지의 밝기를 갖는 다크 픽셀 결함을 검출할 수 있었다.

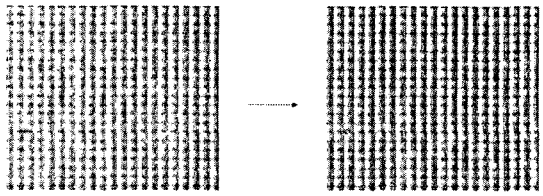

그림 14. 다크 픽셀 결함 표시
Fig. 14. Dark pixel defect indication

그림 15는 프로그램 상에서 '밝은 이물 검출' 메뉴 클릭 시 원 영상에 존재하는 브라이트 픽셀 결함을 표시한 영상을 부분 확대한 그림이다. 결함 부분이 yellow 컬러값으로 뚜렷이 검출되는 것을 볼 수 있다. 정상적으로 꺼진 서브픽셀의 최소 명도값은 19이었다. 이 때 59~255 밝기를 갖는 브라이트 픽셀 결함을 검출할 수 있었다. 본 논문에서 제안한 기법을 이용하여 육안으로 확인이 어려운 부분도 실험에서 사용한 9가지의 시료 영상에 대해서 100[%]의 정확도로 빠르게 실시간 검출이 가능하였다.

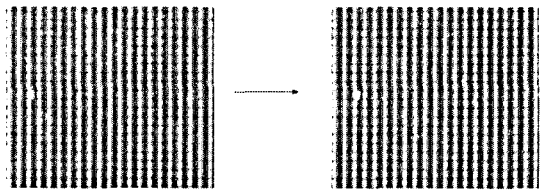

그림 15. 브라이트 픽셀 결함 표시
Fig. 15. Bright pixel defect indication

6. 결 론

본 논문에서는 TFT-LCD 패널을 검사하여 픽셀 결함 및 라인 결함을 추출하는 방법에 관한 4가지 알고리즘을 제안하였다.

다크 라인 결함, 브라이트 라인 결함, 다크 픽셀 결함, 브라이트 픽셀 결함 영역을 정확한 검출하기 위해 관심 영역을 배경 영역과 분리해 내는 데 중점을 두었다. TFT-LCD 패널상의 서브 픽셀의 형태에 근거하여 설계한 구조 요소를 가지는 모폴로지 기법을 이용하여 결함영역을 분리하였다. 기존 논문의 제안된 검사 알고리즘[7 ,9]은 촬영된 TFT-LCD 영상내의 잡음을 제거하는 과정을 거친 후 결함 검출 알고리즘을 사용하는 방식이다. 본 논문의 제안된 기법은 모폴로지 기법을 통하여 잡음을 제거하면서 동시에 결함을 추출할 수 있는 방법으로 처리 단계를 줄임으로서 이전의 방식에 비해 빠른 연산시간을 기대할 수 있다. 모폴로지 기법을 적용한 영상을 이진 영상으로 만든 후 라벨링을 이용해 결함 영역을 추출하였다. 또한 결함 정보를 육안으로 확인할 수 있도록 각 결함별로 색을 입혀 표시하였다.

정상적으로 켜진 서브픽셀의 최대 명도값은 200이었다. 이 때 0~130까지의 밝기를 갖는 다크 픽셀 결함을 검출할 수 있었다. 정상적으로 꺼진 서브픽셀의 최소 명도값은 19이었다. 이 때 59~255 밝기를 갖는 브라이트 픽셀 결함을 검출할 수 있었다. 본 논문에서 제안한 기법을 이용하여 육안으로 확인이 어려운 부분도 실험에서 사용한 9가지의 시료 영상에 대해서 100[%]의 정확도로 빠르게 실시간 검출이 가능하였다. 본 논문에 사용된 입력 영상은 모아레 현상이 일어남에도 불구하고, 모폴로지 기법을 이용하여 결함을 검출할 수 있었다. 앞으로 보다 정밀한 서브픽셀 결함 검출을 위해서는 입력영상의 취득할 때, 모아레 현상을 방지하는 방안을 도입할 필요가 있다. 또한, 본 논문에서 다루지 않은 mura 결함을 검출하기 위해서는 두 대의 카메라를 사용한 3차원 비전 검사가 필요할 것으로 생각된다.

이 논문은 2004년도 호서대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

References

[1] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, "Digital Image Processing", 2nd Edition, Prentice Hall, 2001.

[2] I. Pitas, "Digital Image Processing Algorithms And Applications", WILEY, 2000.

[3] eVision 6.2 C++ Reference Manual, Euresys, 2002.

[4] Ikenaga, T. and Ogura, T., "Real-Time Morphology Processing Using Highly Parallel 2-D Cellular Automata CAM2", Image Processing, IEEE Transactions on Volume 9, Issue 12, pp.2018-2026, Dec. 2000.

[5] Heijmans, H.J.A.M, "Theoretical aspects of gray-level morphology", Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on ,Volume 13, Issue 6, pp. 568-582, Jun. 1991.

[6] Postaire, J.-G. and Zhang, R.D and Lecocq-Botte, C., "Cluster analysis by binary morphology", Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, Volume 15, Issue 2 , pp.170-180, Feb. 1993.

[7] Jung-Hun Kim, Suk Ahn, Jae Wook Jeon, Jong-Eun Byun, "A high-speed high-resolution vision system for the inspection of TFT LCD", Proceedings. ISIE 2001. IEEE International Symposium, Vol. 1, pp. 101-105, Jun. 2001.

[8] Antti Soini, "Machine vision technology take-up in industrial applications", Image and Signal Processing and Analysis, 2001. ISPA 2001. Proceedings of the 2nd International Symposium on, pp.332-338, Jun. 19-21, 2001.

[9] Seung-Il Baek, Woo-Seob Kim, Tak-Mo Koo, Il Choi, Kil-Houm Park, "Inspection of defect on LCD panel using polynomial approximation", TENCON 2004. 2004 IEEE Region 10 Conference Volume A, pp.235-238, Vol.1, Nov. 21-24, 2004.

◇ 저자소개 ◇

유상현 (柳相賢)

1978년 8월 30일생. 2004년 2월 호서대학교 공과대학 정보통신공학과 졸업. 2004~2006년 호서대학교 일반대학원 정보통신공학과 석사졸업.

김용관 (金容寬)

1965년 3월 9일생. 1998년 2월 서울대학교 공과대학 제어계측공학과 졸업. 1990년 2월 서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 1996년 8월 서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(박사). 1997년~현재 호서대학교 정보통신공학과 부교수.