

A New Defect Inspection Method for TFT-LCD Panel using Pattern Comparison

李 旻 玟* · 張 聞 秀* · 朴 符 堅†
 (Kyong-Min Lee · Moon-Soo Jang · Poo-Gyeon Park)

Abstract -In this paper, we propose a novel defects inspection algorithm for TFT-LCD panels. We first compensate the distorted image caused by the camera distortion and the uneven illumination environment using the least squares method and the bezier surface. We find a starting point of each pattern for restricting each pattern. A clean image is compared to each pattern to find defects using modified PCSR-G algorithm. The simulation example shows that our algorithm not only inspects the defects well, but also is robust to the 1-pixel error.

Key Words : PCSR-G, TFT-LCD, 검출, 결함, 베지어, 패널, 패턴.

1. 서 론

현재 TFT-LCD패널은 평면TV, 컴퓨터 모니터, 휴대폰 등등의 다양한 분야의 전자기기의 표시장치로 널리 사용되고 있다. 이렇게 각광을 받고 있는 TFT-LCD가 치열한 시장 경쟁에서 살아남기 위해서는 패널의 완성도와 신뢰성을 높일 필요성이 있다. 이와 관련하여 TFT-LCD패널의 컬러 필터 결점을 검사하는 방법에 대해서는 많은 연구가 진행되어왔다[1-5]. 하지만 TFT-LCD패널에 에칭 트랜지스터가 배열된 상태에 대한 결점 검출을 하는 방법에 대해서는 연구가 미진한 상태이다[6-7].

이에 본 논문에서는 패널 검사를 위해 최소 자승법과 베지어 곡면(Bezier Surface)을 이용한 사진 밝기 보정을 실시하고, 패턴 이미지의 특성을 이용하여 패턴의 위치를 찾고, 각 패턴별로 나눈다. 패턴별로 잘라진 이미지는 결점이 없는 기준 이미지와 비교하여 결점을 검출 하게 된다. 결점 검출 과정에서는 1-pixel 에러에 강하고 빠른 결과를 얻을 수 있는 Modified PCSR-G알고리즘을 이용 할 것이다.

이어지는 2장에서는 결점 검출 과정에서의 문제가 되는 두 가지 부분에 대해서 논의 하도록 하고, 3장에서는 실제적인 밝기의 보정 및 패턴 비교를 통한 결점의 검출하는 방법에 대해서 이야기 할 것이다. 이 연구에서 제안한 결점 검출 방법에 대한 실험을 4장에서 보일 것이며, 5장에서는 제안된 방법과 그 결과를 다시 살펴보고 정리하도록 할 것이다.

2. 패널 결함 검출의 문제점

점차 커지는 TFT-LCD 패널의 크기에 따라서 결함 검출에 더 넓은 범위의 Field of View(FOV)를 가지는 카메라가 사용된다. 이러한 큰 FOV를 가지는 환경에서는 우리가 실제 처리해야 할 이미지가 기존에 비해 해상도가 낮기 때문에 여러 가지 문제가 발생하게 된다.

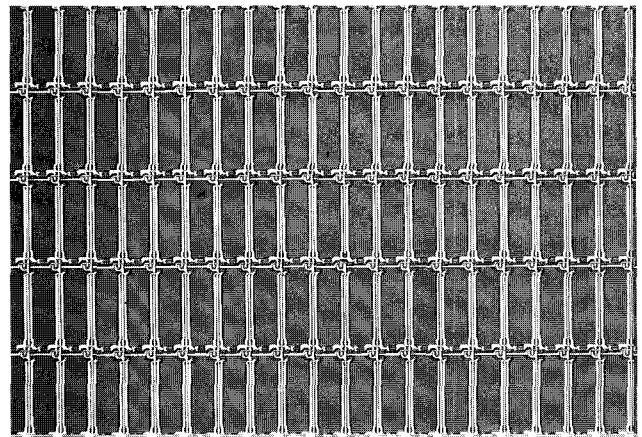


그림 1 결점 검사를 할 이미지

Fig. 1 A target image

2.1 불균일한 밝기의 분포

이상적이지 못한 조명 환경은 넓은 FOV를 가지는 환경에서 큰 영향을 미치게 되고, 전체에 걸쳐 고르지 못한 밝기를 가지는 이미지를 얻게 된다. 이러한 불균일한 밝기의 차이가 결점을 검출하는 과정에 악영향을 미치게 된다. 실제로 그림 2에서 보듯이 제일 좌측의 Gray Level과 제일 우측의 Gray Level이 61정도의 차이를 보이며, 이 정도의 크기는

† 교신저자, 正會員: 浦港工科大学 電子電氣工學科 教授 · 工博
 E-mail : ppg@postech.ac.kr

* 正會員 : 浦港工科大学 電子電氣工學科 博士課程
 接受日字 : 2007年 10月 31日
 最終完了 : 2008年 1月 2日

결점의 Gray Level과 제일 좌측의 Gray Level의 차이 43보다 훨씬 큰 수치이다. 그러므로 이러한 밝기의 불균형을 결점 검출 과정 전에 해결해 주어야 한다.

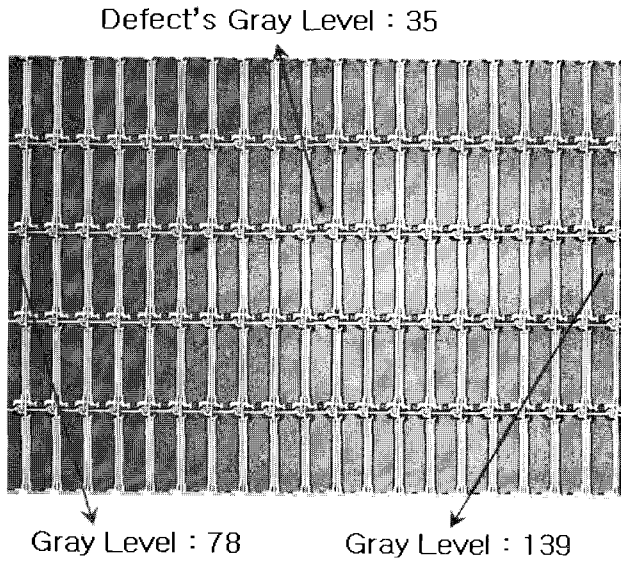


그림 2 원본 이미지 각 부분의 Gray Level 값들
Fig. 2 Gray Levels of Target Image

2.2 낮은 해상도의 이미지

우리가 카메라를 통해 얻은 이미지가 패널에 배열된 트랜지스터의 변화하는 상태를 한 개의 픽셀단위로 표현하지 못한다. 이러한 환경에서 여러 가지 형태의 1-pixel 에러가 발생하게 된다. 그림 3에서 보듯이 하나의 이미지 내의 인접 패턴에서 하나의 패턴에는 두 개의 픽셀단위의 진한 회색 선이 다른 패턴에서는 하나의 픽셀단위의 진한 검은 선으로 나타난다. 이러한 1-pixel 에러는 패턴간의 단순한 차이 값을 구하는 방법으로는 결점을 찾지 못하게 만든다.

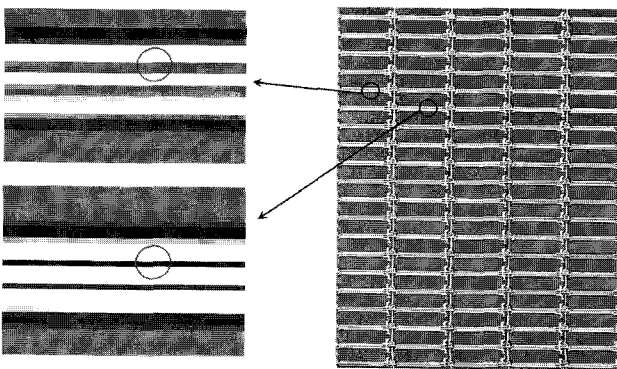


그림 3 1-pixel 에러
Fig. 3 1-pixel Error

대상으로 하는 이미지는 1-pixel 에러뿐만 아니라 패턴의 Align이 맞지 않는 문제가 발생하는데, 이는 낮은 해상도의 이미지뿐만 아니라 카메라의 굴곡의 영향도 포함하여 나타

나는 문제이다. 그림 4를 보면 위아래로 길게 배치된 트랜지스터의 배열이 제일 위의 패턴의 Align에 다른 패턴들이 오른쪽으로 두 개의 픽셀 차이로 어긋나 있는 것을 알 수 있다.

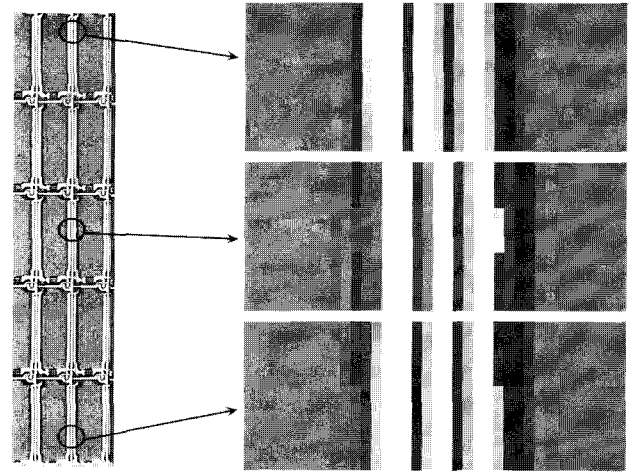


그림 4 Align이 맞지 않는 문제
Fig. 4 Misaligned problem

3. 검출 방법

위에서 설명한 두 가지의 문제점을 해결하고 우리가 원하는 결점을 정확하게 검출하기 위하여 아래와 같은 과정을 따라 진행하여 나갈 것이다. 처음으로 불균일한 밝기의 분포를 해결하기 위하여, 최소자승법과 베지어 곡면을 이용하여 이미지 전체에 걸쳐 균일한 밝기를 가지도록 만들 것이다. 다음으로 Align이 맞지 않는 문제를 해결하기 위하여 각각의 패턴을 잘라서 패턴간의 비교를 통해 결점을 검출할 것이다. 1-pixel 에러를 극복하고 결점을 정확하게 찾기 위하여 Printed wiring board와 Patterned wafer의 결점을 검사하기 위해 개발된 PCSR-G 알고리즘 [8]을 이 연구에 이용하였다. 하지만 PCSR-G의 알고리즘은 그 계산시간이 너무 오래 걸리므로 이를 해결하기 위하여, 우리는 Modified PCSR-G 알고리즘을 개발하고 이를 적용 하였다.

3.1 베지어 곡면을 이용한 밝기의 보정

베지어 곡면을 이용하여 밝기를 보정하기 위해서는 이미지 전체적으로 적절한 간격의 위치에서의 밝기 값들을 얻어야 한다. 이를 위해서 일정한 간격의 선들을 택하여 그 값을 얻었다. 그림 5의 왼쪽 그림에 있는 붉은 선들을 따라 값들을 얻으면 오른쪽에 보이는 파란 선들과 같이 나타난다. 실험에 사용하는 이미지는 패턴으로 이루어진 이미지이므로 주기적으로 패턴의 형태가 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 최소 자승법을 이용하면 이 값들의 대략적으로 변화하는 형태를 오른쪽 그림의 붉은 선과 같이 표현 할 수 있다. 이렇게 왼쪽 그림의 붉은 선을 따라 얻은 값들은 선들의 교차점에서 수직, 수평의 두 값들의 평균을 구하게 된다. 이 과정을 통하여 얻은 값들은 그림 6의 왼쪽 그림과 같이 나타나게 된다.

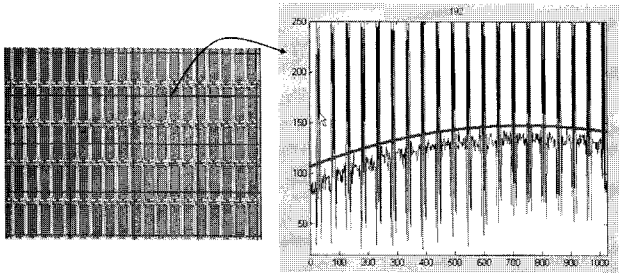


그림 5 최소 자승법을 이용한 밝기 분포의 근사화
Fig. 5 Approximated gray value by least square method

그림 6의 샘플 포인트 값들은 베지어 곡면을 이용하여 전체적으로 완만하고 실제에 가까운 밝기의 모델로 만들어진다. 베지어 곡면은 수식 1과 같이 parametric coordinate u 와 v 로 이루어진 함수 p 로 나타내어진다. $k_{i,j}$ 는 베지어 곡면의 제어점으로 $(n+1)(m+1)$ 개로 이루어진다. 함수 p 는 각각의 제어점의 값과 bernstein polynomial $B_i^n(u)$ 와 $B_j^m(v)$ 의 곱들의 합으로 이루어진다.

$$p(u,v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m B_i^n(u) B_j^m(v) k_{i,j} \quad (1)$$

여기에서 $B_i^n(u)$ 는 bernstein polynomial 이라고 하며, 각 제어점이 베지어 곡면에 영향을 미치는 정도를 계산하여 주며, 이는 식 2와 같이 계산 되어진다.

$$B_i^n(u) = \frac{n!}{i!(n-i)!} u^i (1-u)^{n-i} \quad (2)$$

위의 베지어 곡면 식을 통하여 얻은 결과는 그림 6의 오른쪽 그림과 같이 완만하게 밝기를 나타낸다.

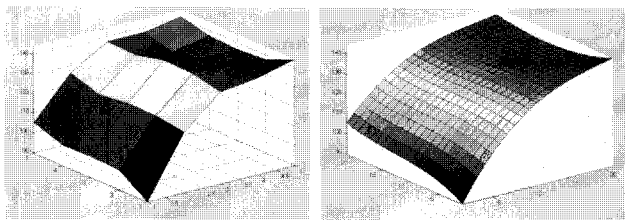


그림 6 베지어 곡면을 이용한 밝기의 3D 모델링
Fig. 6 3D modelling of gray level with Bezier surface

이 모델을 이용하여 밝기의 보정을 한 결과는 아래의 그림 7과 같이 나타난다. 이 결과는 좌우의 Gray Level의 차이가 7밖에 나지 않는다. 보정 전의 61의 값에 비해서 획기적으로 좋아진 것을 확인 할 수 있다.

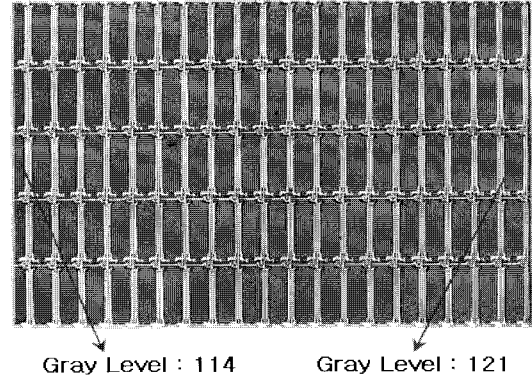


그림 7 밝기 보정 후의 Gray Level
Fig. 7 Compensated gray level

3.2 패턴위치 조사

완벽한 Align이 아닌 문제로 인해 각 패턴의 위치를 직접 찾아 지정하고, 각 패턴들을 잘라 내어야 한다. 이러한 작업을 위하여 우리는 그림 8에 나타난 것과 같은 순서로 패턴을 찾는 과정을 진행 한다.

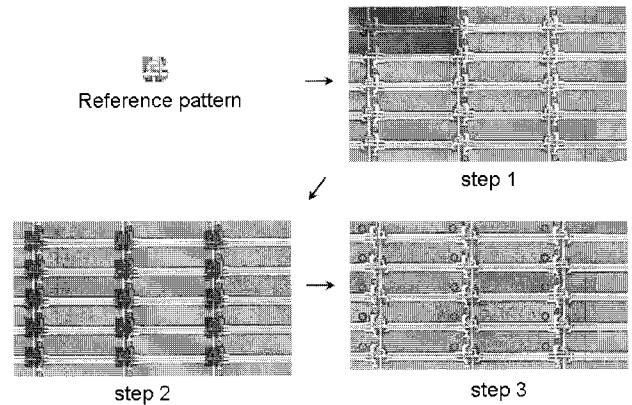


그림 8 패턴을 찾기 위한 단계
Fig. 8 Steps for finding pattern

처음으로 패턴을 찾기 위해 기준이 될 reference pattern을 정한다. 하나의 생산라인 상에서는 같은 패턴으로 트랜지스터가 패널에 배열되어 있으므로, 우리가 검사해야 할 이미지는 항상 같은 형태이다. 각각의 생산라인에서 검사하여야 할 패턴의 형태를 미리 알고 있으므로, reference pattern은 그 패턴의 가장 특색이 있는 부분을 잘라 이용하게 된다. 이렇게 얻어진 reference pattern을 이용하여 패턴들의 시작위치를 찾게 되는데, 그 첫 단계로 이미 알고 있는 패턴의 크기를 이용하여 제일 처음으로 검색할 부분을 그림 8의 step 1에서의 붉은 부분과 같이 지정한다. 이 범위 내에서 제일 처음의 패턴의 위치를 찾는다. 이렇게 찾은 패턴의 위치를 이용하여 이웃하는 패턴의 위치를 대략적으로 알 수 있는데, step 2에 보이는 것처럼 붉은 부분만 검색한다면, 각각의 패턴의 정확한 위치를 찾을 수 있다. 우리는 reference pattern의 패치와의 correlation을 구하여 가장 큰 값을 가지는 위치를 step 3과 같이 각 패턴들의 시작 위치

로 나타내었다. 그리고 다음 단계를 위하여 시작위치와 패턴의 일정한 크기를 이용하여 패턴들을 잘라낸다.

3.3 패턴 비교를 통해 차이 값 구하기

각 패턴들로 나누어진 이미지를 Modified PCSR-G의 방법을 이용하여 결점을 찾아낸다. 비교를 할 기준 이미지와 비교를 할 대상 이미지를 정하여 각각의 최대 인가 이미지와 최소 인가 이미지 ($Rmax$, $Rmin$, $Imax$, $Imin$)를 아래의 식 3과 식 4를 통하여 구한다. 여기에서 변수 p 와 q 는 $[-1,0,1]$ 의 값들을 가지며, 각 (x,y) 좌표의 인접 좌표를 나타내기 위하여 사용된다. 변수 ρ 는 인접의 최댓값 또는 최솟값과의 차이를 얼마만큼 반영 할 것인가를 결정하여 준다. $Rmax$ 와 $Rmin$ 와의 차는 후에 결점인지 비교하는 과정에서 쓰이며, 이는 결점이 아닌 범위를 의미하게 된다. 변수 ρ 의 값이 커진다면 $Rmax$ 와 $Rmin$ 의 차이 값이 커지며, 그 값이 커진다는 것은 1-pixel 에러를 결점이 아닌 것으로 허용하는 범위가 커진다는 것이다. 그림 9에 R 을 이용하여 $Rmax$ 와 $Rmin$ 을 구한 결과를 보여준다.

$$Rmax(x,y) = R(x,y) + \rho \{ \max_{p,q} (R(x-p,y-q)) - R(x,y) \}, \quad (3)$$

그리고

$$Rmin(x,y) = R(x,y) - \rho \{ R(x,y) - \min_{p,q} (R(x-p,y-q)) \}. \quad (4)$$



그림 9 좌로부터 R , $Rmax$, $Rmin$
Fig. 9 R , $Rmax$, $Rmin$

여기서 우리는 1-pixel 에러를 없애기 위하여 기준이미지 (R), 기준이미지의 최대 인가 이미지($Rmax$), 최소 인가 이미지($Rmin$)을 그림 10의 검은 부분의 이동과 같이 상하좌우로 1-pixel씩 이동시켜 각각의 값들을 구한다. 이를 통하여 얻은 이미지들은 각각 R_{ij} , $Rmax_{ij}$, $Rmin_{ij}$ 로 나타낸다.

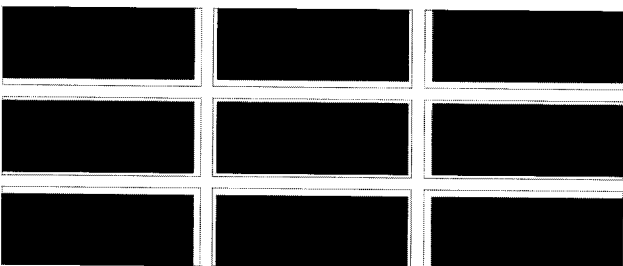


그림 10 상하좌우로 이동하여 비교
Fig. 10 Compare with up, down, left, right images

구하여진 각각의 값들을 아래의 식 5에 대입하여 D_{ij} 을 구한다. 여기서 $i = [-1,0,1]$, $j = [-1,0,1]$ 이다.

$$\begin{aligned} & \text{if}((Rmax_{ij}(x,y) - Rmin_{ij}(x,y)) < (Imax(x,y) - Imin(x,y))) & (5) \\ & \left\{ \begin{array}{l} \text{if}(I(x,y) < Rmin_{ij}(x,y)) \\ \quad \{ (1) \} \\ \text{else if}(I(x,y) > Rmax_{ij}(x,y)) \\ \quad \{ (2) \} \\ \text{else} \\ \quad \{ D_{ij}(x,y) = 0 \} \end{array} \right. \\ & \text{else} \\ & \left\{ \begin{array}{l} \text{if}(R_{ij}(x,y) < Imin(x,y)) \\ \quad \{ (3) \} \\ \text{else if}(R_{ij}(x,y) > Imax(x,y)) \\ \quad \{ (4) \} \\ \text{else} \\ \quad \{ D_{ij}(x,y) = 0 \} \end{array} \right. \end{aligned}$$

여기에서 (Sub1) ~ (Sub4)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} (Sub1) : & \text{if}((Rmin_{ij}(x,y) - I(x,y)) > threshold) \\ & \quad \{ D_{ij}(x,y) = 1 \} \\ & \text{else} \\ & \quad \{ D_{ij}(x,y) = 0 \}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (Sub2) : & \text{if}((I(x,y) - Rmax_{ij}(x,y)) > threshold) \\ & \quad \{ D_{ij}(x,y) = 1 \} \\ & \text{else} \\ & \quad \{ D_{ij}(x,y) = 0 \}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (Sub3) : & \text{if}((Imin(x,y) - R_{ij}(x,y)) > threshold) \\ & \quad \{ D_{ij}(x,y) = 1 \} \\ & \text{else} \\ & \quad \{ D_{ij}(x,y) = 0 \}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (Sub4) : & \text{if}((R_{ij}(x,y) - Imax(x,y)) > threshold) \\ & \quad \{ D_{ij}(x,y) = 1 \} \\ & \text{else} \\ & \quad \{ D_{ij}(x,y) = 0 \}. \end{aligned}$$

D_{ij} 는 i, j 을 -1부터 1까지 변화시키며 구하게 되는데, 제일 처음 $i = -1$, $j = -1$ 부터 구한다. 그 결과는 그림 11의 제일 좌측 상단의 그림과 같이 나타난다. $i = -1$, $j = -1$ 일 때의 결과에서 $D_{ij}(x,y) = 0$ 으로 된, 즉 결점이 아니라고 판단된 곳의 (x,y) 좌표는 다음번 $i = -1$, $j = 0$ 일 때의 검사에서 제외 된다. 이와 같은 9번의 반복과정에서 최종적으로 $D_{ij}(x,y) = 1$ 로 판단이 되는 곳의 (x,y) 는 결점이 있는 곳으로 판단한다. (Sub)의 과정에서 $threshold$ 는 결점인지를 결정하는 기준 값이다. 그림 11의 제일 우측 하단의 그림이 최종적으로 검사되어 나온

결과이고, 우리는 결점이 중앙 하단부에 크게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 이와 같은 방법은 반복과정을 진행하며 결점을 검사할 범위를 줄임으로써 전체 검사 시간을 단축시킬 수 있다.

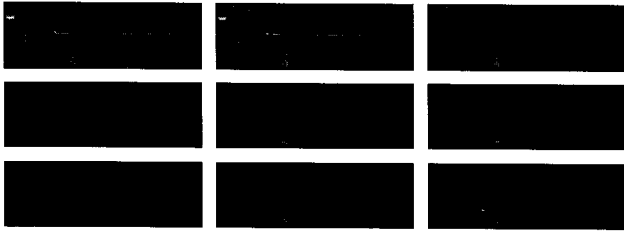


그림 11 D_{ij}
Fig. 11 D_{ij}

4. 실험

앞에서 설명한 방법과 같이 전체 이미지의 패턴들을 검사하면, 아래의 그림 13과 같이 전체 이미지상의 결점들을 모두 찾을 수 있다. 여기에서 사용한 parameter는 $\rho = 2.5$, $threshold = 45$ 이다.

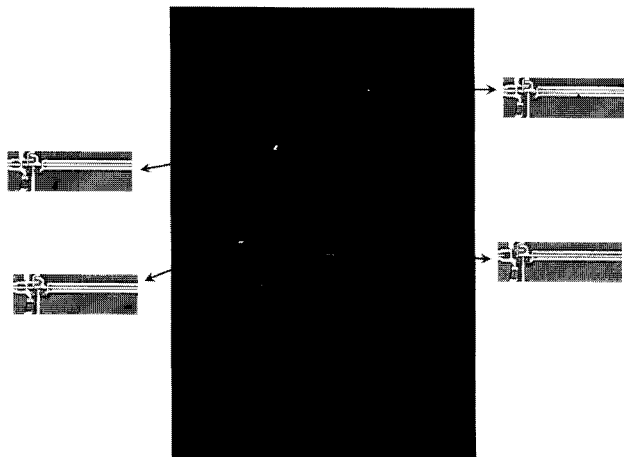


그림 12 결점의 확인
Fig. 12 Verification of defects

아래의 그림 13과 14에서 parameter ρ 의 변화에 따른 결점으로 검출된 패턴의 개수를 확인 할 수 있다. 이 실험에서 사용한 이미지들은 결점을 1개에서 5개를 가지고 있는 이미지들이다. ρ 가 1부터 2까지의 구간에서 결점으로 검출된 패턴의 개수가 확연히 줄어드는 것을 확인 할 수 있다. R_{max} 와 R_{min} 을 만들 때, ρ 가 1 이하일 때는 인접 픽셀과의 차이를 1배수 이하로 더하게 되므로 그 영향이 거의 없게 나타나며, 1과 2사이일 경우에는 그 차이 값들의 영향을 크게 받는다. ρ 가 2 이상일 때는 이미지의 밝기를 표시하는 값이 0과 255사이 존재하므로 R_{max} 와 R_{min} 의 값들이 0또는 255로 포화가 되어서 ρ 의 변화에 큰 영향을 받지 않는다.

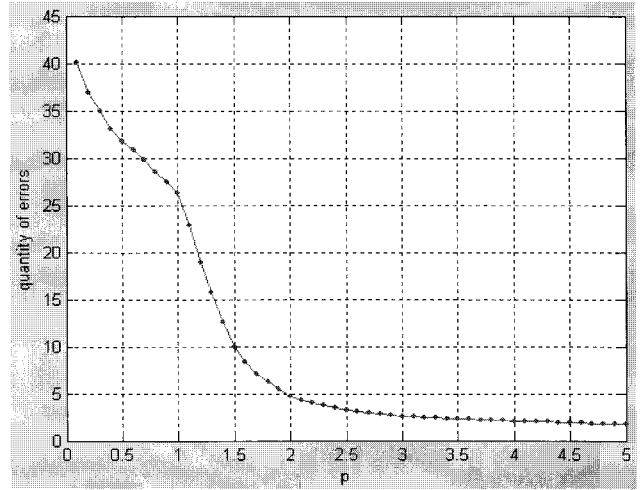


그림 13 parameter ρ 의 변화에 따른 결점패턴 개수
Fig. 13 Number of defect with parameter ρ

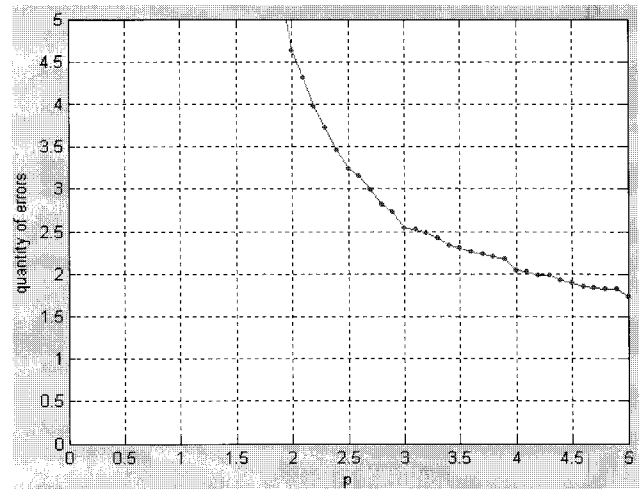


그림 14 그림 13의 확대 영상
Fig. 14 a detail of fig. 13

아래의 그림 15와 16에서는 $threshold$ 의 값의 변화에 따른 결점으로 검출된 패턴의 개수를 확인 할 수 있다. $threshold$ 가 낮은 수치일 때는 결점으로 판단하는 기준 자체가 너무 낮게 되므로 결점으로 판단되는 패턴의 개수가 많다. 하지만 너무 높은 수치로 잡을 경우에는 그림 16과 같이 평균적으로 결점으로 판단하는 패턴의 개수가 1 이하로 되어서 실제로는 결점이 있지만, 결점을 찾지 못하는 상황이 발생하게 된다.

위의 parameter에 대한 실험은 1개에서 5개의 결점을 가진 이미지를 대상으로 했기 때문에, ρ 는 2 내외, $threshold$ 는 30에서 70 사이가 가장 적당한 값으로 유추할 수 있다. 적정 parameter의 값은 대상 이미지의 상태와 결점의 특징에 따라서 많이 달라질 수 있다.

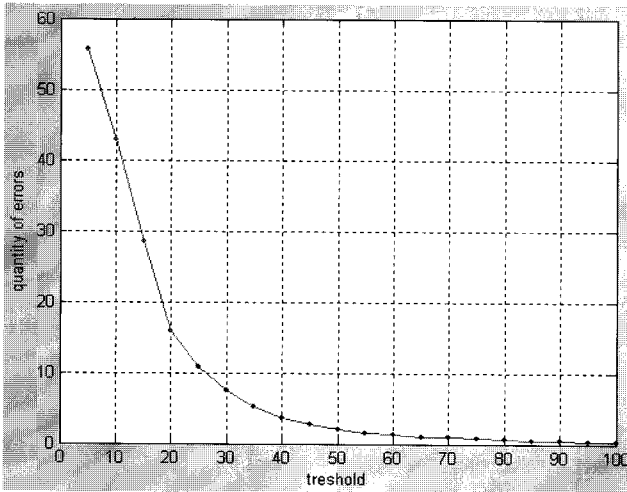


그림 15 threshold의 변화에 따른 결점패턴 개수
Fig. 15 Number of defect with threshold value

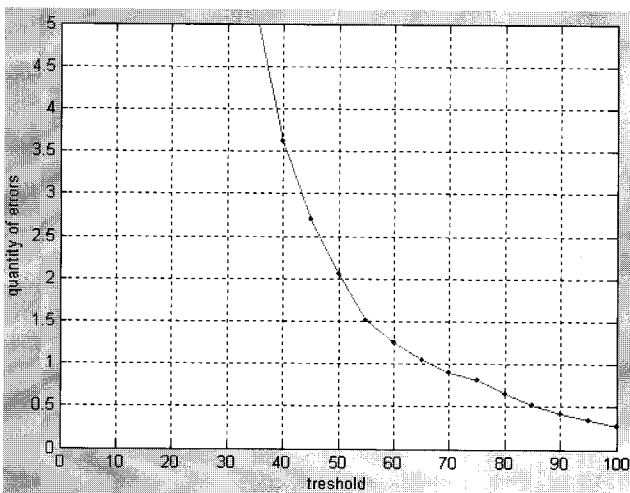


그림 16 그림 15의 확대 영상
Fig. 16 a detail of fig. 15

5. 결 론

본 논문에서는 TFT-LCD 패널의 반복성을 이용하여 결점을 검출하는 방법을 제안하였다. 이미지 취득시의 좋지 못한 상태를 개선을 위해서 취득 영상의 밝기를 최소자승법을 통해서 보간을 하고 여기서 다시 샘플링을 해서 베지어 곡면을 이용하여 밝기를 균일화 하였다. 이렇게 얻은 영상을 Modified PCSR-G의 방법을 이용하여 결점의 유무를 검출 하였다. 또한 실제로 TFT-LCD공정에서 얻은 영상을 통해 이를 검증하였고 그 결과를 보였다. 따라서 본 논문에서는 기하학적인 조명의 불균형을 해결하는 일반적인 알고리즘을 제안하였고 패턴 간의 비교를 통해 낮은 해상도에서도 빠르게 결점을 검출하는 방법을 제안하였다.

감사의 글

"본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음"
(IITA-2007-C1090-0701-0037)

"본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음"
(IITA-2007-C1090-0701-0004)

참 고 문 헌

- [1] J. H. Kim, S. Ahn, J. W. Jeon, and J. E. Byun, "A High-speed Highresolution Vision System for the Inspection of TFT LCD", Proceedings, ISIE 2001, IEEE International Symposium, vol. 1, pp. 101-105, 2001.
- [2] K. Nakashima, "Hybrid Inspection System for LCD Color Filter Panels", 10th International Conference on Instrumentation and Measurement Technology, Hamamatsu, Japan, pp. 689-692, 1994.
- [3] C. L. Chang, H. H. Chang, C. P. Hsu, "An intelligent defect inspection technique for color filter", Proceedings of the 2005 IEEE InternationalConference on Mechatronics, Tiwan, 2005.
- [4] Y. Zhang, J. Zhang, "A fuzzy neural network approach for quantitative evaluation of mura in TFT-LCD", Neural Networks and Brain, 2005.ICNN&B '05, vol. 1, pp. 424-427, 2005.
- [5] K. B. Lee, M. S. Ko, J. J. Lee, T. M. Koo, K. H. Park, "Defect Detection Method for TFT-LCD Panel Based on Saliency Map Model", TENCON 2004. 2004 IEEE Region 10 Conference, vol. A, pp. 223-226, 2004.
- [6] C. M. Tseng, C. W. Tsai, C. S. Lin, Y. C. Lu, C. C. Hung, "Automatic Inspection of Etching Transistors in TFT-LCD Panel", Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Mechatronics, Taiwan, 2005.
- [7] K. M. Lee, M. S. Chang, P. G. Park, "Periodic Comparison Method for Defects Inspection of TFT-LCD Panel", ROCOM 2007, Hanzhou, 2007.
- [8] Onishi, H, Sasa, Y, Magai, K and Tatsumi, S, "A Pattern Defect Inspection Method by Parallel Grayscale Image Comparison without Precise Image Alignment", IECON 02, vol. 3, no. 5-8, pp. 2208-2213, 2002.

저 자 소 개



이 경 민 (李 旻 玟)

1983년 6월 13일생. 2006년 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 졸업. 2006년 ~ 현재 포항공과대학교 전자공학과 석사과정.



장 문 수 (張 聞 秀)

1979년 5월 11일생. 2002년 포항공과대학교 전자공학과 졸업. 2004년 동 대학원 졸업(석사). 2004년 ~ 현재 동 대학원 박사과정.



박 부 건 (朴 符 堅)

1965년 5월 21일생. 1988년 서울대 공대 전자공학과 졸업. 1990년 동 대학원 졸업(석사). 1995년 Stanford Univ. 전자공학(박사). 1996년 ~ 현재 포항공과대학교 전자공학과 교수.