

## Detection of Lens Scan Alluk on LCD Surface

申 智 令\* · 金 廷 泰†  
(Jiyoung Shin · Jeongtae Kim)

**Abstract** - We have proposed a novel algorithm for detecting *scan alluk* on the surface of a TFT-LCD device that is generated by non-uniform exposure during fabrication. The *scan alluk* is known to have similar intensity values on paths that are determined by the shape of lens for light exposure. Based on the observation, the proposed algorithm inspects the uniformity on the paths using 1D projection image of 2D LCD image and 2D backprojection image of the 1D image. We have shown the usefulness of the proposed method by theoretical analysis and experimental results.

**Key Words** : LCD, *alluk*, lens, scan, correlation coefficients

### 1. 서 론

최근 TFT-LCD 장치의 제조 공정 중에 품질 검사를 위해서 FOS (Front of Screen) 영상을 획득하여 이를 이용하는 검사가 널리 시행되고 있다. 특별히 LCD 장치는 여러 요인으로 인하여 Mura 혹은 얼룩 (Alluk) 으로 알려진 불균일한 패턴을 가지는 경우가 많으므로 이러한 얼룩의 검사는 품질 관리와 불량 검사에 매우 중요한 역할을 한다 [1].

현재까지 얼룩 검사는 주로 숙련된 검사자가 육안으로 수행하고 있어서 반복 정밀도가 떨어질 뿐 아니라 검사 시간이 오래 걸리고 가격이 상승하는 등의 문제가 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 LCD 표면 영상으로부터 자동으로 얼룩을 검출하고 불량 여부를 판단하는 검사 장치의 개발이 요구되고 있으며 이를 위한 연구들이 진행되고 있다 [1-2].

일반적으로 LCD 영상의 얼룩 자동 검출 알고리즘은 얼룩을 형태에 따라 선 얼룩, 점 얼룩, 구형의 얼룩, 부정형 얼룩등으로 구분하여 각 얼룩의 특성에 맞는 필터를 설계하여 구현된다 [1]. 이 중 구형의 얼룩 중 하나인 스캔 얼룩은 제조 공정에서 노광 시의 광학적인 초점 오차로 인해 발생하는 것으로 추측되는 얼룩으로서 렌즈의 모양과 동일한 형상을 가지는 얼룩이 렌즈의 진행 방향을 따라서 불규칙한 간격으로 발생한다. 이러한 스캔 얼룩은 주변의 배경과 비교할 때 그 밝기 값의 차이가 크지 않을 뿐만 아니라 곡률 이외에는 위치나 형상이 알려져 있지 않아서 효과적인 검출 알고리즘을 설계하기가 쉽지 않다. 스캔 얼룩은 얼룩과 배경의 밝기 값의 차이가 작아서 에지 검출기와 Hough 변환을 사

용하는 알고리즘 [3] 은 효과적으로 적용하기 힘들고 그 위치가 알려져 있지 않아서 정합 필터를 사용하는 방법도 적용에 난점이 있다 [4]. 저자들이 인지하고 있는 한 상기와 같은 패턴을 검출하기에 효과적인 알고리즘이 제안되었던 적은 없다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 곡선을 따라 밝기 값이 유사하다는 스캔 얼룩의 특징을 이용하여 곡선을 따라 projection과 back projection을 수행하여 스캔 얼룩을 검출하는 알고리즘을 제안하고 그 성능을 검증한다.

### 2. 제안하는 방법

검출하고자 하는 스캔 얼룩은 얼룩 발생의 특성상 렌즈와 동일한 곡률을 가지고 있는 곡선을 따라 유사한 밝기 값을 가지는 여러 개의 얼룩이 정해지지 않은 위치에서 정해지지 않은 밝기의 값으로 발생한다. 이러한 특징을 이용한 가장 자연스러운 검출 방법은 곡선상의 화소들이 얼마나 균일한 값들을 가지고 있는지를 검사하는 방법일 것이다. 그러나 이 방법은 모든 화소들이 동일한 값을 가지는 영상과 얼룩이 존재하는 영상과의 구별이 불가능하다는 문제를 가지게 된다.

본 논문에서 제안하는 방법은 곡선을 따라서 2차원 영상을 projection하여 1차원 영상을 만들고 이를 다시 곡선을 따라서 back projection하여 새로운 영상을 생성하여 생성된 영상과 원영상과의 상관관계 계수를 구하는 방법이다. 제안하는 알고리즘은 Fourier-slice 정리를 응용한 것으로, 직선 경로를 따라서 projection한 영상을 다시 back projection 하면, 그 경로상의 주파수 성분이 DC 성분만 존재하는 경우는 원 영상과 동일한 영상을 얻을 수 있다는 점에 착안한 것이다 [3].

검사하고자 하는  $M \times N$  크기의 2차원 영상의 밝기 값들을 배열한 영상 벡터를  $x = [x_{11}, \dots, x_{MN}]$ 라 하자. 이러한 영상을 곡선에 따라 projection한 결과인  $L$ 개의 화소수를 가지는 1차원 영상 벡터  $y = [y_1, \dots, y_L]$ 는 다음 식 (1)과 같다.

\* 學生會員 : 梨花女子大學 電子情報通信學科 碩士課程

† 교신저자, 正會員 : 梨花女子大學 電子情報通信學科 助教授 · 工博

E-mail : jtkim@ewha.ac.kr

接受日字 : 2006年 10月 12日

最終完了 : 2006年 11月 8日

$$y = \begin{bmatrix} \underline{k}_1^T \\ \dots \\ \underline{k}_L^T \end{bmatrix} x \quad (1)$$

여기서  $\underline{k}_i, i = 1, \dots, L$  벡터들은 곡선에 따라서 적절한 위치에 0과 1의 값을 가지는 벡터이다. 2차원 영상의 화소 값들은  $L$ 개의 곡선 중 하나에만 속하게 되므로  $\underline{k}_i$  벡터들은 서로 직교 (orthogonal) 하게 된다. 이러한  $y$ 를 back projection한 영상과 원영상과의 관계는 다음 식 (2)와 같다.

$$W^T y = W^T W x \quad (2)$$

일반적으로 projection된 영상에서 원영상을 구할 수 있다면  $(W^T W)^{-1}$ 가 존재하여야 한다. 그러나  $W^T W$ 의 rank가  $L$ 이고  $L < M \times N$ 이 되어 역행렬이 존재하지 않아서 back projection된 영상으로부터 원영상을 구할 수 없게 된다. 만약 2차원 영상  $x$ 가 이상적인 스캔 얼룩이면 back projection된 영상은 원영상과 동일하게 만들 수 있음을 다음과 같이 보일 수 있다. 먼저, 스캔 얼룩은 곡선상의 밝기가 일정한 영상이므로 다음 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$x = \sum_{i=1}^L \alpha_i \underline{k}_i \quad (3)$$

여기서  $\alpha_i$ 는  $i$ 번째 곡선의 밝기 값을 나타낸다. 이 경우, 식 (3)의 영상을 projection한 영상은 식 (4)와 같이 나타낸다.

$$Wx = \begin{bmatrix} \underline{k}_1^T \\ \dots \\ \underline{k}_L^T \end{bmatrix} (\alpha_1 \underline{k}_1 + \dots + \alpha_L \underline{k}_L) \quad (4)$$

$$= \begin{bmatrix} \alpha_1 \|\underline{k}_1\|^2 \\ \dots \\ \alpha_L \|\underline{k}_L\|^2 \end{bmatrix}$$

식 (4)의 영상을 back projection하면 식 (5)와 같게 된다.

$$z = W^T Wx = \sum_{i=1}^L \alpha_i \|\underline{k}_i\|^2 \underline{k}_i \quad (5)$$

식 (3)의 원영상과 식 (5)의 back projection한 영상은  $\|\underline{k}_i\|^2$ 의 scaling을 제외하면 동일하다.  $\|\underline{k}_i\|^2$ 은  $\underline{k}_i$  벡터 중 1인 원소의 개수로 구할 수 있으며 곡선의 길이가 동일하면 같은 값을 가지고 만약 곡선이 영상 밖에 존재하게 되어 길이가 달라지는 경우에는 그 길이를 고려하여 쉽게 연산할 수 있다. 따라서 적절한 scaling을 통해 back projection한 영상과 원영상을 일치하게 만들 수 있고 이 경우 두 영상 사이의 상관관계 계수는  $\alpha_i$ 들이 동일하지 않은 경우 1이 되게 된다.

식 (5)에서  $\alpha_i$ 들이 모두 동일하면 스캔 얼룩이 존재하지 않는 균일한 영상이 되는데, 이 경우에는 두 영상 사이에 선형적인 관계가 존재하지 않으므로 상관관계 계수가 0에 가까운 값을 가진다. 일반적으로  $\alpha_i$ 의 값들의 차이가 클수록 잡음이 존재하더라도 상관관계 계수가 1에 가깝게 된다.

상기와 같은 이론적 근거를 바탕으로 제안하는 알고리즘

은 원영상과 projection, back projection된 영상 사이의 상관관계 계수가 일정 값보다 크면 얼룩이 존재하는 것으로 판단한다. 본 논문에서는 영상 전체의 상관관계 계수를 한꺼번에 구하는 것이 아니라 영상의 각 가로줄의 상관관계 계수들을 따로따로 구한 다음 가로줄의 상관관계 계수들 중 다른 가로줄들의 상관관계 계수들과 매우 다른 outlier들을 제외하고 나머지 가로줄들로만 강인 상관관계 계수 (robust correlation coefficient)를 구하여 보다 효율적인 검출이 가능할 수 있도록 하였다 [5]. 이러한 방법을 사용하는 이유는 스캔 얼룩 상에 가로 방향으로 종종 선 얼룩이 발생하게 되어 스캔 얼룩의 특성을 손상시키기 때문이다. 본 논문에서는 가장 작은 상관관계 계수 10개를 수동으로 제외하는 단순한 알고리즘을 사용하여 강인 상관관계 계수를 구하였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘을 정리하면 다음 표와 같다.

표 1 제안한 알고리즘

Table 1 The proposed algorithm

1. 렌즈의 곡률에 해당하는 index를 구한다.
2. 곡률에 따른 곡선을 원영상의 좌에서 우로 한 화소씩 가로 방향으로 이동하면서 곡선 상의 밝기 값들을 projection 한다.
3. 2에서 구한 1차원 projection을 곡선을 따라 back projection하여 새로운 영상을 생성한다.
4. 영상의 가로줄 별 상관관계 계수를 구한다.
5. 강인 상관관계 계수를 사용하여 outlier들을 제거한다.
6. 5에서 구한 상관관계 계수 값의 평균이 문턱치보다 큰 경우 얼룩이 존재하는 것으로 판단된다.

### 3. 실험 결과 및 토론

제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 17인치 TFT-LCD 패널의 제조 공정 중에 획득한  $157 \times 125$  크기의 영상들을 사용하여 실험을 수행하였다. 그림 1은 스캔 얼룩의 알려진 곡선과 스캔 얼룩 영상의 예를 보여준다.

그림 1의 영상들을 이용하여 구한 렌즈의 곡률과 같은 곡선을 한 화소씩 가로 방향으로 이동하며 그림 1(b)의 영상을 projection한 영상을 이동량을 가로축으로 하여 나타내면 그림 2와 같고 이 1차원 영상을 곡선을 따라서 2차원으로 다시 back projection한 영상은 그림 3과 같다. 그림 3에서 검게 나타난 영역은 상관관계 계수 연산 시 제외하였는데 이 영역은 곡선이 영상 밖으로 벗어나서 곡선에 속하는 화소수가 작아 잡음에 민감한 영역으로 projection 시 제외된 부분이다.

그림 1(b)의 원영상과 back projection한 영상의 줄별 상관관계 계수를 각 줄을 가로축으로 하여 나타내면 그림 4와 같다. 그림 4의 상관관계 계수 값에서 알 수 있듯이 가로 방향의 outlier들로 인하여 상관관계 계수가 상대적으로 작게 나타나는 영역이 발생한다. 따라서 이러한 outlier들을 제외한 강인 상관관계 계수가 필요함을 알 수 있다.

스캔 얼룩이 존재하는 영상 240개와 그렇지 않은 영상 240개를 이용하여 제안한 알고리즘을 실험한 결과를 그림 5에 ROC (Receiver Operating Characteristics) 곡선으로 나타내었다. ROC 곡선의 세로축은 얼룩이 존재할 때 이를 검출할 확률 PD (Probability of Detection) 이고 가로축은 얼

록이 존재하지 않는 때에도 존재한다고 판단할 확률 PF (Probability of False Alarm) 이다.

ROC 곡선을 보면 outlier를 제거하여 적용한 알고리즘이 그렇지 않은 알고리즘보다 뛰어난 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 문턱치가 0.3인 경우 80% 이상의 검출을 20% 이하의 PF에서 얻을 수 있다.

그림 1의 영상들에서 보이듯 얼룩의 형상이 매우 희미하여 제안한 알고리즘으로 검출이 힘든 스캔 얼룩이 존재하였다. 이러한 문제점은 보다 강한 상관관계 계수를 사용하여 완화할 수 있을 것으로 보이며 계속 연구 진행 중에 있다. 실험에서는 outlier들을 단순한 알고리즘으로 제거하였지만

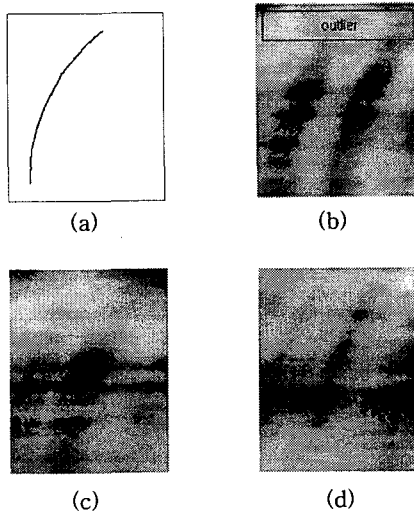


그림 1 (a) 렌즈 모양의 곡선 (b) - (d) 스캔 얼룩 영상  
Fig. 1 (a) Curve from lens (b)-(d) Images of scan alluks

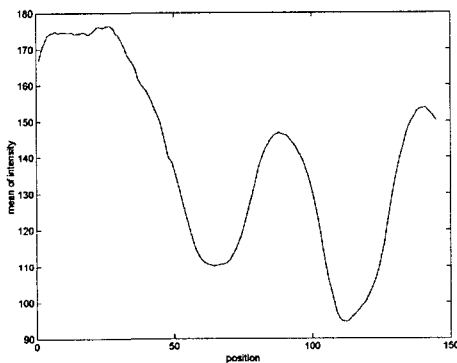


그림 2 곡선을 따라 projection한 1차원 영상  
Fig. 2 1D image generated by projection

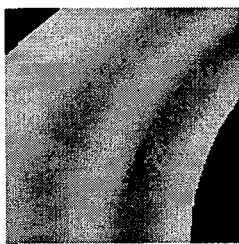


그림 3 back projection한 영상  
Fig. 3 2D back projection image

보다 효율적인 강한 상관관계 계수를 사용하면 스캔 얼룩의 검출도가 지금보다 향상될 것으로 기대된다. 또한 2차원 영상의 밝기 값뿐만 아니라 1차원 projection 영상의 contrast 까지 고려하여 검출 성능을 더욱 향상시키는 것이 추후 연구 과제이다.

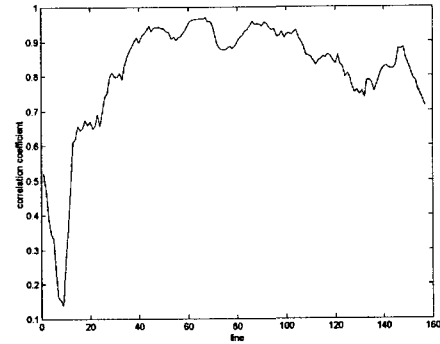


그림 4 원영상과 back projection한 영상과의 줄별 상관관계 계수

Fig. 4 Line by line correlation coefficients

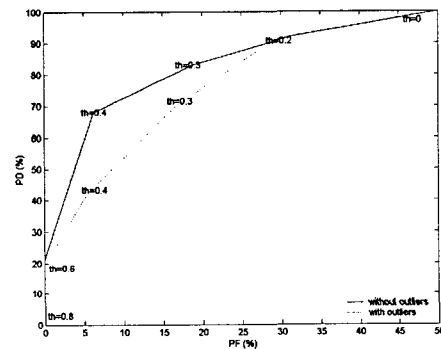


그림 5 ROC 곡선  
Fig. 5 ROC curve

#### 4. 결 론

본 논문에서는 정해지지 않은 위치에서 일정 곡률을 가지는 곡선을 따라서 유사한 값을 가지는 LCD 영상의 스캔 얼룩 검출 방법을 제안하고 이의 효용성을 실험으로 검증하였다. 제안한 알고리즘은 LCD 제조 공정 중 패널의 불량 여부 검사에 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Y. Mori, K. Tanahashi, R. Yoshitake, S. Tsuji, "Extraction and evaluation of mura images in liquid crystal displays," *Proceedings of SPIE*, Vol. 4471, 2001.
- [2] J. S. Lim, *Two-dimensional signal and image processing*, Prentice Hall, 1989.
- [3] H. L. Van Trees, *Detection, estimation and modulation theory*, Wiley Interscience, 2001.
- [4] J. Kim, J. A. Fessler, "Intensity-based image registration using robust correlation coefficients," *IEEE transactions on medical imaging*, Vol. 23, No. 11, pp. 1430-1444, 2004.