이중 SQI를 이용한 TFT-LCD결함 검출

(TFT-LCD Defect Detection Using Double-Self Quotient Image)

박 운 익 † 이 규 봉 ††
(Park woon-Ik) (Lee kyu-bong)
김 세 윤 †† 박 길 흠 †††
(Kim se-yoon) (Park kil-houm)

요 약 TFT-LCD영상은 불균일한 휘도 변화를 어느 정도 허용하고 있으며, 영상 전반에 걸쳐 나타나는 큰 휘도 변화는 국부적으로 주변 영역과 차이가 나는 결함 영역을 찾는데 방해가 된다. SQI(Self Quotient Image)는 얼굴 인식 분야에서 저주파에 해당하는 조명성분을 제거 하는데 사용되어 왔으며, 일종의 High Pass Filter(고주파 통과 필터) 형태이다. 본 논문에서는 SQI가 신호의 저주파 성분을 평활화 하는 효과를 가지면서 국부적인 변화를 유지하는 특성을 가지는데 착안하여, TFT-LCD영상에 존재하는 결함을 강조하는 알고리즘을 제안 하였다. 제안한 방법을 기존의 TFT-LCD영상 전처리 방법들과 비교하였을 때, 평활화 효과 및 결함 영역 강조 효과가 우수함을 확인할 수 있었다.

키워드 : TFT-LCD, TFT-LCD 결함 검출, Self Quotient Image

Abstract The TFT-LCD image allows non-uniform illumination variation and that is one of main difficulties of finding defect region. The SQI (self quotient image) has the HPF (high pass filter) shape and is used to reduce low frequency-lightness component. In this paper, we proposed the TFT-LCD defect-enhancement algorithm using characteristics of the SQI, that is the SQI has low-frequency flattening effect and maintains local variation. The proposed method has superior flattening effect and defect-enhancement effect compared with previous the TFT-LCD image preprocessing.

Key words : TFT-LCD, TFT-LCD Defect Detection, Self Quotient Image

1. 서 론

최근 들어 TFT-LCD(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display)는 고해상도, 넓은 시야각, 빠른 응답속도, 저 중량, 작은 부피, 저 전력소모 등의 장점으로 컴퓨터 모니터, 텔레비전, 휴대폰, PMP, 그리고 다양한 휴대용 기기 등에 사용되어 주요 디스플레이 산업으로 각광받고 있다[1]. TFT-LCD 수요가 늘어남에 따라 생산의 향상을 위한 기술이 중요하게 되었고 TFT-LCD에 존재하는 결함 영역을 검출하기 위한 자동 검사 장비의 필요성이 커지고 있다[2]. 생산자 입장에서 생산성을 높이고, 품질관리를 위하여 TFT-LCD자동 검사가 반드시 필요하다. 현재 국내 생산업체에서는 디스플레이 부품이나 완제품 단계에서 여러 검사항목에 따라서 검사공정이 수행되고 있으며, 점과 선 형태와 같은 단순한 형태의 결함에 대해서 검사의 자동화가 추진되고 있으나 그 효과가 미비하며 주로 숙련된 검사원의 시각적판단과 경험에 의존하고 있는 실정이다[3,4]. 자동 검사 장비를 위해 개발된 결함 검출 알고리즘은 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 하나는 주파수 영역에서의 접근방식이며 다른 하나는 공간영역에서의 접근 방식이다[5,6]. 주파수 영역에서의 대표적인 예는 푸리에변환(Fourier transform)을 이용한 텍스처(Texture)분할방법을 들 수 있다[5]. 텍스처 분할 방법은 배경 신호를 텍스처로 가정한 뒤, 이를 푸리에 변환 했을 때 배경신호가 저 주파에 존재한다고 가정한다. 그런 뒤 적절한 차단 주파수를 정하여 저주파 통과 필터처리를(Low Pass Filtering)하여 저주파 성분만 남겨두고 역변환 하여 원 영상과 차이를 구한다. 텍스처 분할 방법은 상대적으로 고주파 영역에 존재하는 결함 영역을 찾는 방법이다. 비교적 간단하고 빠른 수행이 가능하지만 주파수 분석을 하지 않았기 때문에 적절한 차단 주파수를 잡기가 쉽지 않으며 적절한 차단주파수를 잡았다고 하더라도 각 영상마다 조건이 달라지므로 적용조건이 매우 제한적인 한계가 있다. 이와는 달리 공간영역에서의 접근을 시도한 방법이 제안 되었는데 다항식 근사화 방법[6]을 예로 들 수 있다. 다항식 근사화 방법은 결함을 제외한 배경부분은 다항식의 곡선과 비슷한 변화를 가진다고 보고 배경신

· 이 논문은 2007 한국컴퓨터종합학술대회에서 '이중 SQI를 이용한 TFT-LCD결함 검출'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

† 학생회원 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학과
lunar419@ee.knu.ac.kr
†† 비 회 원 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학과
pupstar@ee.knu.ac.kr
kissyun2@ee.knu.ac.kr
††† 비 회 원 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학과 교수
khpark@ee.knu.ac.kr

논문접수 : 2007년 9월 27일
심사완료 : 2008년 5월 28일

Copyright@2008 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

호 곡선을 다항식으로 근사화 한다. 결함부분은 다항식 근사화 곡선이 못 따라갈 만큼 복잡하다고 가정하면 근사 후의 곡선은 배경부분의 변화만 따라가는 모양으로 나타난다. 이 근사화 영상과 원영상과의 차이를 구하면 결함부분을 찾을 수 있게 된다. 하지만 이 방법 또한 문제점을 가지고 있다. 첫째로 다항식근사에서 다항식의 차수를 설정하는 문제이다. 영상마다 배경의 조건은 판이하게 다르므로 적절한 다항식의 차수를 선택하는 데에 어려움이 존재한다. 둘째로는 어느 정도 배경부분의 근사화를 성공했다고 하더라도 결함부분을 확실하게 구분하기가 쉽지 않기 때문에 후에 차 영상에서 결함부분이 손실될 가능성이 존재한다는 것이다.

SQI[7-9]는 얼굴 인식 분야에서 조명변화를 제거하기 위해서 제안된 알고리즘이다. 얼굴 인식에서 저주파 성분으로 대변되는 조명 신호는 인식에 치명적인 악영향을 미치며, SQI는 이러한 조명에 의해서 생긴 휘도 불균형을 제거 하고 인식에 필요한 고주파 성분인 얼굴 구성요소는 살려두는 것에 초점을 둔 알고리즘이다. 얼굴 영상에서의 조명신호와 얼굴 구성요소는 TFT-LCD 영상에서 배경신호와 결함신호와 유사한 특성을 갖는다. SQI는 일종의 고주파 통과 필터(High Pass Filter)형태이지만 신호 변화는 평활화 시키면서 세부적인 변화는 따라가는 효과를 갖는다.

본 논문에서는 배경 평활화 효과와 결함신호의 변화를 보존하는 장점을 지닌 SQI를 이용하여 TFT-LCD 영상을 개선하는 알고리즘을 제안하였다. 다음 장에서는 SQI의 이론과 특성을 살펴보고 SQI의 한계를 수정한 이중 SQI에 대해서 제시한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 결함검출 방법을 나타내고 4장에서는 실험을 통한 성능 분석을 기술한다. 실제 결함이 있는 샘플영상에서의 처리전과 처리후의 화소 값 변화 곡선을 통해서 배경과 결함의 이분화 효과를 분석하고 제안된 방법의 효용성을 제시한다.

2. SQI (Self Quotient Image)

2.1 SQI 개요

SQI(Self Quotient Image)는 식 (1)과 같이 표현되며 원 영상과 저주파 영상의 비로 표현되는 일종의 고주파 통과 필터라고 볼 수 있다[6-8].

$$Q = \frac{I}{\hat{I}} = \frac{I}{F * I} \tag{1}$$

식 (1)에서 F는 가우시안 필터를 의미한다. 필터 F는 2차원 가우시안 커널 G와 가중치 W의 곱으로 식 (2)와 같이 표현 된다. 식 (3)과 식 (4)는 가우시안커널과 가중치를 표현하였다.

$$F(i,j) = W(i,j) \cdot G(i,j) \tag{2}$$

$$G = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma}} \tag{3}$$

$$W(i,j) = \begin{cases} 0 & I(x,y) < \tau \\ 1 & otherwise \end{cases} \tag{4}$$

그리고 식 (5)는 가중치 여부에서 판단하는 평균값을 나타낸다.

$$\tau = Mean(I_\Omega) \tag{5}$$

여기에서 I_Ω는 컨볼루션 영역 안에 포함된 영상부분이며, $I(x,y)$는 컨볼루션 영역의 (i,j)번째 요소에 해당하는 영상의 화소 값이다. 필터의 가중치는 처리하는 각 화소별로 독립적으로 적용되며 각 연산마다 필터처리 영역에 해당하는 영상부분의 평균을 임계값으로 둔다. 처리되는 화소 값이 임계값 보다 작으면 0, 크면 1의 값을 가진다. 가중치 계산에 의해 가우시안 필터의 각 요소의 총합이 1이 되지 않기 때문에 총합이 1이 되도록 정규화를 한다. 이를 수식으로 나타내면 식 (6)과 같다.

$$\frac{1}{N}\sum_{\Omega} WG = 1 \tag{6}$$

여기에서 N은 정규화를 위한 상수이고 Ω는 커널의 크기이다. 이렇게 구해진 비등방 필터는 컨볼루션 영역의 주 영역만을 저주파 통과 필터처리를 한다. 즉 입력이 스텝 에지인 경우 에지의 밝은 쪽만 연산 과정에 포함이 되고, 어두운 쪽은 연산에서 제외된다.

2.2 SQI의 문제점

기존의 SQI의 단점은 스텝 에지 영역에서 Halo효과라고 불리는 현상이 나타난다는 것이다[6]. Halo효과란 이상적인 필터링 후 발생하는 링잉(ringing) 현상 혹은 달무리와 비슷하게 보이는 필라멘트 영역으로 밝은 부분과 어두운 부분 사이의 경계에서 나타난다. Halo 효과는 LCD영상에 적용되는 경우 배경이 어둡고 결함이 이보다 밝은 경우 (휘점)에서 발생하는데 결함에서 배경 쪽으로 그 경계가 퍼지게 되는 결과를 가져오게 되므로 결과적으로 검출된 결함의 크기가 실제보다 커지는 효과가 나타난다. 반대의 경우 즉, 배경이 밝고 결함이 어두울 경우 (암점)에는 결함의 안쪽으로 퍼지게 되므로 이 경우는 결함의 크기의 변화가 없다. 그림 1은 LCD 영상에서 암점과 휘점에 대한 SQI 처리 후의 모습을 나타낸다.

Halo효과는 SQI가 고주파 필터링의 역할을 하게 됨으로써 발생하는 에지이다. 그러나 콘볼루션 영역의 절반에 비하여 굵기가 가는 선에 의한 에지 영역에서는 발생하지 않고, 선의 굵기가 콘볼루션 영역의 절반 이상을 차지하는 경우 어두운 영역에서 발생한다. 특히 가우시안 커널의 크기가 클수록 심하게 나타나는데, 가우시안 커널

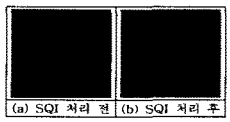

그림 1 암점과 휘점에 대한 SQI 결과

의 크기가 크면 어두운 영역이 콘볼루션 영역에 많이 포함될 확률이 커지기 때문이다[7]. Halo효과를 줄이기 위해서는 커널의 크기를 줄이면 되는데 커널의 크기가 너무 작으면 배경 부분의 평활화 효과 또한 줄어들기 때문에 적절한 크기와 가우시안(Gaussian) 함수의 모양을 결정짓는 표준 편차(σ)를 결정하는 것이 중요하다. 이때 커널의 모양보다는 공간영역에서의 필터처리이므로 커널의 크기가 더 큰 영향을 미친다. 이러한 경계 부분의 단점을 해결하기 위해서 기존의 SQI는 멀티 스케일 테크닉을 사용했다[7]. 즉 여러 사이즈의 커널을 사용하여 결과를 구한 다음 결과 값들의 평균을 취하여 최종 영상을 얻어낸다. 그러나 이 방법은 영상마다 적절한 가우시안 커널의 크기와 표준 편차를 구해야 하므로 처리속도에서 비효율적이고, 또한 단순한 멀티 스케일들의 평균에 의해 명확하게 Halo 효과를 줄이는 것을 기대하기는 어렵다.

2.3 제안 하는 이중 SQI

본 논문에서는 문제가 되는 휘점에 대한 처리를 위해 이중 SQI를 제안한다. 이중 SQI는 본래의 SQI와 달리 원영상(I)의 반전을 적용한 반전영상($\bar{I}$)의 $\bar{Q}$를 하나 더 생성한다. 반전 영상은 다음 식 (7)을 통해서 구해진다. 여기서 원영상(I)는 x*y 크기의 8bit 영상이며 a_{xy}는 영상의 Grey level이다. 이렇게 구한 반전 영상($\bar{I}$)을 이용하여 반전 모드의 SQI를 식 (8)과 같이 설계하였다.

$$\bar{I}=\begin{Bmatrix} 2^8-a_{00} & 2^8-a_{10} & 2^8-a_{20} & \cdots & 2^8-a_{x0} \\ 2^8-a_{01} & 2^8-a_{11} & 2^8-a_{21} & \cdots & 2^8-a_{x1} \\ 2^8-a_{02} & 2^8-a_{12} & 2^8-a_{22} & \cdots & 2^8-a_{x2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 2^8-a_{0y} & 2^8-a_{1y} & 2^8-a_{2y} & \cdots & 2^8-a_{xy} \end{Bmatrix} \quad (7)$$

$$\bar{Q}=\frac{\bar{I}}{\hat{\bar{I}}}=\frac{\bar{I}}{\bar{F}*\bar{I}} \quad (8)$$

수정된 필터($\bar{F}$)는 반전 영상($\bar{I}$)의 평균값과 그 값을 기준으로 하는 가중치가 적용된 필터를 의미하며 가우시안 필터는 본래의 SQI의 가우시안 필터와 동일하다. 이 같은 SQI의 변형은 기존의 SQI가 약점을 보였던 휘점에 대한 처리를 가능케 해주는 이점을 불러온다.

3. LCD 영상에서의 제안한 방법 적용

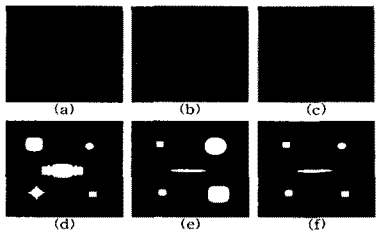

그림 2 샘플 영상의 실험을 통한 각 과정의 결과 영상;(a) 샘플 영상 (b) SQI결과 (c) 반전 SQI결과 (d) SQI결과 STD (e) 반전 SQI 결과 STD (f) (d)와 (e)의 논리곱

전체적인 흐름에 관련한 실험 과정을 간단한 샘플 영상을 통해서 그림 2에 나타내었다. (b)영상은 샘플 영상에 SQI를 적용한 모습인데 휘점에 해당되는 부분이 퍼져있고 반전한 영상에서는 반대로 암점에 해당되는 부분이 퍼져있다. 즉 영상(d)를 통해서 SQI에서는 암점이 효과적으로 처리되었고 영상(e)을 통해서 반전 SQI에서는 휘점이 효과적으로 처리되었다는 것을 알 수 있다. 최종적으로 (f) 영상은 앞의 두 영상에서 효과적으로 처리된 두 부분만을 취하여 얻어진다. 이렇게 두 과정으로 나눠서 처리를 하는 이유는 본 논문에서 제안하는 방법이 휘점을 효과적으로 처리하기 위한 방법이기도 하지만 영상에서 암점과 휘점을 자동으로 구분하여 처리하는 일이 쉽지 않기 때문이다. 암점과 휘점을 구분해서 각각을 따로 처리하려면 별도의 구별과정이 필요하고 그에 따른 시스템상의 시간문제도 고려해야 하는 문제가 있기 때문에 본 논문은 복잡한 휘점, 암점 구별 유무에 대한 별도의 과정 없이 일괄적으로 함께 처리하는 방법을 제안하였다

그림 3은 본 논문에서 제한하는 방법의 전체적인 흐름도이다. SQI는 휘점 결함에 대해서 한계를 보이므로 본 논문에서는 SQI의 반전 모드를 하나 더 추가시킨 이중 SQI를 통해 모든 휘점에 대해서 암점과 같은 효과가 나오도록 보정하였다. 그림 3에서 알 수 있듯이 이중 SQI는 전체적으로 두 갈래의 과정을 거치는데 한쪽은 SQI를 실행하며 다른 한쪽은 반전 SQI를 실행한 후 최적화 문턱치 방법(STD)[9]을 통하여 각각의 결함을 부각시킨다.

최적화 문턱치 방법은 이중 문턱치 값에 의한 이진화 처리로 이중 문턱치 값은 영상전체의 평균과 표준편차의 합과 차로 나타낸다. 이중 문턱치 값에 의한 이진화 처리이기에 배경보다 밝은 결함과 배경보다 어두운 결함을 동시에 찾아낼 수 있다. 최적 문턱치 값은 식 (9)와 같이 표현된다. m_e는 영상의 평균값이며 σ는 표준편차, k는 관계 상수 이다.

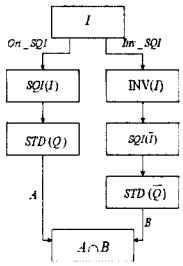

그림 3 제안하는 방법의 전체 흐름도

$$V_{TH} = m_e \pm k\sigma \tag{9}$$

이렇게 처리한 영상은 최종적으로 배경은 0, 결함은 255의 화소 값으로 표현되며 반전하여 처리한 영상(B)와 그렇지 않은 영상(A)의 논리곱(AND연산)은 Halo 효과에 의해서 배경영역으로 커진 결함부분을 0으로 만들어 주어 원래의 결함부분만을 남겨주는 역할을 한다.

4. 실험 결과 분석

3장에서 제안한 방법과 다항식근사방법의 비교 결과를 살펴보자. 그림 4에서 3개의 샘플영상에 대한 SQI적용영상과 최적 이진화를 이용해 결함을 도출 한 결과영상을 나타내었고 비교 대상은 다항식 근사법이다. 예제 1번 영상은 좌측 상단에 점 결함을 두 개, 우측 하단에 길게 얼룩무늬 결함이 존재하는 영상이다. 예제 2번 영상은 중앙 상단에 3개의 점 결함과 우측 하단에 점모양의 결함을 가지고 있다. 끝으로 예제 3번영상은 인위적으로 신호를 주어 원모양의 결함을 크기가 다르게 패턴을 준 영상이다. 예제 영상 3개에서 공통적으로 나타나는 특징은 다항식근사방법이 SQI보다 과검출이 많이 일어났다는 것이다. 즉 결함이 아닌 곳도 결함으로 판단하여 생긴 결과이다. 다항식근사방법은 배경에서의 작은 변화를 따라가지 못하고 결함으로 판단하는 반면 SQI는 배경부분은 고주파필터처리를 하므로 매우 작은 변화에 대해서는 무시하는 경향이 있기 때문에 다항식근사방법보다 과 검출이 상대적으로 적게 발생한 것이다.

그림 7은 예제 2번영상의 SQI적용 전과 후의 화소 값 분포를 3차원으로 나타낸 것이다. 그림 7(a)에서 알 수 있듯이 TFT-LCD영상의 화소 값 분포는 전체적으로 다양한 값을 보유하고 있는 층계적인 모습을 보이고 있으며 최대값과 최소값의 차이가 또한 크게 나타난다. 이 같은 경우 결함이 존재하는 영역에서 결함을 찾더라도 영상 전체적으로 봤을 때 그 결함의 화소 값이 다른 부분에서 배경 값과 동일하다면 문턱치 처리 후에 배경과 결함이 동시에 나타나게 된다. (b)영상은 SQI 처리 후의 평활해진 영상의 모습이다. 배경부분으로 인식되는 부분은 영상 전체적으로 비슷한 값으로 수정되었고 결

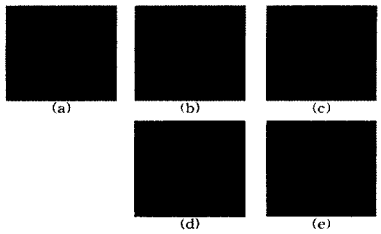

그림 4 예제 1번 영상의 제안하는 방법과 다항식 근사 방법의 결함 검출 결과 ; (a)원 영상 (b)다항식 근사 (c) SQI (d) 다항식 근사 결함 검출 (e) SQI 결함 검출

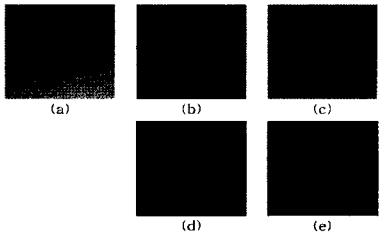

그림 5 예제 2번 영상의 제안하는 방법과 다항식 근사 방법의 결함 검출 결과 ; (a)원 영상 (b)다항식 근사 (c)SQI (d)다항식 근사 결함 검출 (e)SQI 결함 검출

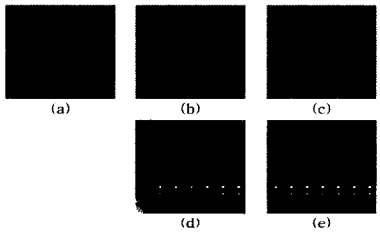

그림 6 예제 3번 영상의 제안하는 방법과 다항식 근사 방법의 결함 검출 결과 ; (a)원 영상 (b)다항식 근사 (c)SQI (d) 다항식 근사 결함 검출 (e) SQI 결함 검출

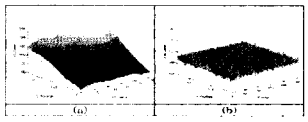

그림 7 SQI 적용 전과 후의 화소 값 분포 (a)예제 영상 2번의 화소 값 분포 (b) SQI 적용 후의 화소 값 분포

함 부분의 변화 양상은 그대로 보유하고 있어 문턱치 처리로 결함 검출을 하기 용이해졌다.

그림 8은 결함 부분의 변화 양상의 보전 유무를 살펴보기 위한 각 라인 별 화소 값 변화 분포이다. 영상에서 결함이 존재하는 부분의 세로축은 고정하고 가로축을 0~255까지 살펴보았다. 그림 8에서 나타나듯이 SQI처리전은 가로축의 0~50까지의 화소 값 들이 결함의 화소 값보다 상대적으로 작기 때문에 문턱치로 검출하면

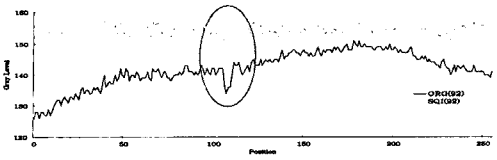

그림 8 예제 2번 영상의 세로축 92번째 라인의 화소 값 분포

결함부분과 배경부분이 같이 검출 된다. SQI 처리 후는 배경이 평활해졌기 때문에 배경과 결함이 완벽히 분리되어 배경이 같이 검출되는 과검출을 피할 수 있게 된다. 평활화 효과를 나타내는 또 다른 지표로는 표준편차를 들 수 있다[10]. 표준편차는 식 (10)과 같이 표현된다. N 은 대상 화소의 총 개수이며 x_i는 현재 화소 값이며 $\bar{x}$는 해당 화소들의 평균이다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2} \qquad (10)$$

표 1은 평활화를 살펴보기 위해 그림 8의 배경과 결함을 분리하여 각각의 표준편차를 나타낸 것이다. 표준편차의 양이 줄었다는 것은 화소 값과 그 평균과의 차이가 줄었다는 것이며 영상 전체적으로 봤을 때 평활화 되었다고 볼 수 있다. 결함 부분은 목적대로 변화 정보를 그대로 가지고 있어야 하므로 표준편차는 변화가 없어야 된다.

표 1 예제2번 영상의 92라인 SQI전 후의 배경과 결함 부분의 표준편차

	SQI 전	SQI 후
배경	5.606868	1.399397
결함	1.788854	1.788854

5. 결 론

본 논문에서는 TFT-LCD의 결함을 검출하는 효과적인 방법을 제안하였다. 결함부분을 제외한 나머지 배경부분에서의 변화를 제거하기 위해 SQI를 사용하였다. SQI의 LCD 영상적용에서의 단점이 되는 휘점 문제를 반전 SQI처리를 추가한 이중 SQI로 해결 하였으며 배경 변화 제거 효과로 결함과 배경영역이 구분가능하게 되었고 문턱치 값으로 영상을 이진화 하여 기존의 다항식근사화방법과의 비교를 통해 결함 검출 성능의 우수함을 입증하였다. 결함의 검출 과정은 크게 영상의 휘점처리, SQI처리 그리고 최적화 문턱치 값을 이용한 이진화 처리로 구성된다. SQI를 통해서 결함부분은 그대로 살려두면서 배경부분을 평활화 하는 것이 가능해 지며 최적이진화 방법을 통해서 결함을 눈에 띄게 한다. 실험 후에 화소 값의 비교와 표준편차를 통해서 본 논문에서 제안된 SQI가 배경변화 제거에 매우 효과적 이라는 것을 알 수 있었으며 기존의 FFT를 이용한 방법, 그리고 다항식 근사화 방법보다 쉽고 간단하여 빠른 처리가 가능하다. 따라서 제안된 검출방법은 자동검사시스템에 이용될 수 있으리라 사료되며, CCD카메라를 통해 얻어진 TFT-LCD영상을 분석하고 제안된 알고리즘을 적용함으로써, TFT-LCD의 결함을 검사하도록 구현되어 생산현장에 투입될 수 있다고 본다.

참 고 문 헌

[1] B. C. Jiang, C. C. Qang and H. C. Liu, "Liquid crystal display surface uniformity defect inspection using analysis of variance and exponentially weighted moving average techniques," *International Journal of Production Research*, Vol.43, No.1, pp.67-80, 2005.

[2] J.H. Oh, D.M. Kwak, K. B Lee, et al. "Line defect detection in TFT-LCD using directional filter bank and adaptive multilevel thresholding:, *Key Engineering Materials*, pp.270-273, 233-238 2004.

[3] C-J Lu and D-M TSAI, "Defect inspection of patterned thin film transistor-liquid crystal display panels using a fast sun-image-based singurla value decomposition," *International Journal of Production Research*, Vol.42, No.20, pp. 4331-4351, Oct., 2004.

[4] Jae Y. Lee and Suk I. Yoo, "Automatic Detection of Region-Mura Defect in TFT-LCD," IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol.E87-D, No.10, pp. 2371-2378, 2004.

[5] Kyung-shik Jang, "Defect Inspection of the Polarizer Film Using Statistical Texture Analysis," 情報通信研究所, 情報通信研究誌 第7輯 2006. 2. pp.113-117.

[6] Haitao Wang, Stan Z Li, Yangsheng Wang, "Face Recognition under Varying Lighting Conditions Using Self Quotient Image," Proc. IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition(FGR'04) pp.819-824. 2004.

[7] Haitao Wang, Stan Z Li, Yangsheng Wang, "The Quotient Image: Class-Based Re-Rendering and ecognition with Varying Illuminations," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.23, No.2, pp.129-139. FEB. 2001.

[8] Haitao Wang, Stan Z Li, Yangsheng Wang, "Generalized Quotient Image," IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. (CVPR'04), Vol.2. pp.498-505. 2004.

[9] Seung-Il Baek, Woo-Seob, Tak-mo Koo, Il Choi and Kil-Houm Park," INSPECTION OF DEFECT ON LCD PANEL USING POLYNOMIAL APPROXIMATION," TENCON 2004. IEEE Region 10 Conference Vol.A. 21-24 pp. 235-238. Nov. 2004.

[10] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods "Digital Image Processing second edition," pp.363-372, 2002.