

웨이블릿 변환을 이용한 FPD 결함 검출 (Defect Detection of Flat Panel Display Using Wavelet Transform)

김상지, 이연주, 윤정호, 유 훈, 이병국, 이준재
(Sang Ji Kim, Youn Ju Lee, Jeong Ho Yoon, Hun You,
Byung Gook Lee, Joon Jae Lee)

요 약

평판 디스플레이 장치(FPD)의 패널 표면 결함 검출에서 일반적으로 사용되는 단순 문턱값에 의한 결함 검출은 FPD 패널 영상의 불균일한 휘도 변화로 인하여 정확한 결함 검출이 어렵다. 본 논문에서는 이러한 불균일한 휘도 변화를 보상하고, 정확한 결함 검출을 위해 다 해상도 분석 방법인 웨이블릿 변환에 기반하여 높은 고주파 잡음제거와 함께 낮은 저주파를 제거함으로써 불균일한 휘도 변화를 보상할 수 있는 알고리즘을 제안하고 구현 하였다. 특히 제조 공정에서의 결함 검출을 실시간 인라인으로 적용하기 위해 리프팅 기반 고속 알고리즘으로 구현하였다.

Abstract

Due to the uneven illumination of FPD panel surface, it is difficult to detect the defects. The paper proposes a method to find the uneven illumination compensation using wavelets, which are done based on multi-resolution structure. The first step is to decompose the image into multi-resolution levels. Second, elimination of lowest smooth sub-image with highest frequency band removes the high frequency noise and low varying illumination. In particular, the main algorithm was implemented by lifting scheme for realtime inline process.

1. 서 론

평판 디스플레이(Flat panel display)는 가볍고 전역적인 컬러 표현이 가능하며 전력 소모량이 낮은 장점으로 인해 기존의 CRT를 대체해 나가고 있다. 현재는 플렉시블 FPD

* 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (R01-2004 -000 -10851-0), (주)쓰리비시스템 및 서울산업통상진흥원 신기술 연구개발 지원사업의 지원으로 수행되었음.

Keywords : Defect Detection, FPD, LCD, Wavelet Transform, Lifting

© THE KOREAN SOCIETY FOR INDUSTRIAL AND APPLIED MATHEMATICS, 2006

까지도 개발 되었으며, FPD 시장의 확산과 함께 제조 공정에서의 FPD 패널의 결함 검출은 제품의 질과 직결 되는 특히 중요한 공정으로 인식되어 왔다[1][2].

먼저 평판 디스플레이 장치에 결함이 생기는 이유는 제조 과정에서 제조 기계의 오작동, 사용하는 필름의 불량, 먼지나 분진에 의한 미세한 결점, 제조자의 실수 등 많은 이유에 의해 생긴다. 이렇게 생긴 결함은 디스플레이 장치의 상품성을 낮추고, 사용자에게 불편을 주게 되므로, 제조 공정에서 평판의 결함 검출 작업이 매우 중요하다[3].

제조 공정에서 현재까지의 결함 검출 방법은 주로 사람의 눈을 이용하는 방법과 전기적인 실험을 통한 방법, 그리고 최근에 적용된 머신 비전 접근 방법 등이 사용되었다. 사람의 눈을 이용한 결함 검출 방법은 검사자의 눈이 쉽게 피로해지고, 미세한 결함 등은 잘 검출하지 못한다는 점, 그리고 그때그때의 검사자의 상태에 따라 높은 검출률 혹은 낮은 검출률을 보이기도 하고 무엇보다 검사자의 주관적인 판단이 강한 단점이 있다. 그리고 전기적인 실험을 통한 결함 검출 방법은 제품 조립이 완전히 끝난 완제품을 전원을 넣어 검사를 하는 방법으로 결함이 발견 되면 분해 후 재조립 하는 과정을 거쳐야 하는 단점이 있다[1][2].

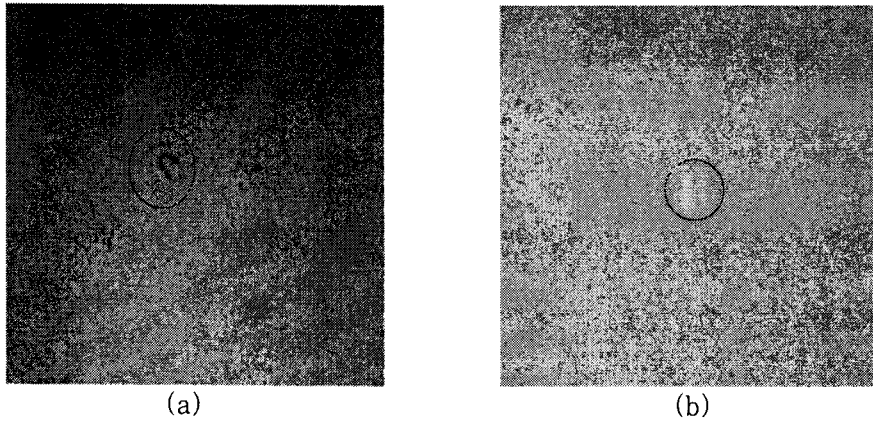
머신 비전 접근 방법의 가장 큰 문제는 휘도 변화에 대해 적용하지 못한다는 점이다. 이로 인해 정해진 특정 부분에 한정되어 사용[1]되어 왔으나, 점차 고 신뢰성과 속도, 경제성을 위한 자동화 장비를 요구하게 되었다.

본 논문에서는 고성능 카메라에 의해 획득된 영상을 웨이블릿을 통하여 높은 고주파 잡음을 제거하고, 낮은 저주파 성분을 제거하여 국부적 혹은 전역적 휘도변화를 보상하여 결함을 검출하는 방법으로, 거의 모든 종류의 FPD의 결함 검출에 적용 가능한 방법을 제안한다. 특히 패널의 영상에서 휘도 변화가 심한 경계 부분에 대한 처리는 가중치를 둔 웨이블릿 분해 단계에 따른 고주파 밴드의 경계부분을 제거하는 방법으로 휘도변화 보상을 해결하였다. 또한 리프팅 기반의 고속알고리즘으로 웨이블릿 변환을 구현하여 제조공정에서 인라인 실시간 처리가 가능하도록 제안하였다.

2. FPD 패널 영상의 특징

카메라로부터 얻어진 FPD 패널 영상은 일반적으로 국부적인 혹은 전역적인 높고 낮은 빛의 휘도 변화와 고주파 잡음을 가지고 있다. 이렇게 획득되어진 FPD 패널 영상 위에 결함은 흔히 무라* 라고 불리기도 하며, 영상 전반에 걸쳐 무작위로 존재 하고, 특히 영상의 경계부분에서의 높고 불균일한 휘도 변화는 결함으로 인정되는 부분에 대한 결함을 찾아 내지 못하고, 문턱값 적용 시 휘도 변화가 심하지 않은 부분까지 나쁜 영향을 미친다. 그러므로 이에 대한 기존 방법의 처리는 경계영역에서의 결함 검출을 포기하거나 따로 경계 부분만 처리를 달리 하는 것으로 많은 시간 소모를 가져오며, 이런 처리 후에도 결함 검출에는 한계가 있다. FPD 패널 영상위에 나타나는 결함을 본 논문에서는 크게 다음의 작은 영역 결함(small region defect), 큰 영역 결함(large region defect), 선결함(line

* '무라'는 일본어의 'むら' 라는 단어에 어원을 가지고 있으며, 우리말로 결함(Defect)을 뜻한다. '무라'는 LCD 산업과 SEMI에서 결함을 뜻하는 표준화된 단어이지만 정확한 '무라'의 기준이 없어 본 논문에서는 '결함' 이라는 단어를 사용하였다.



(a) 스크래치, (b) 흰 얼룩.

(a) 스크래치, (b) 흰 얼룩.

defect), 부정형 결함(nonuniform defect)으로 분류하고 다음과 같이 정의하였다.

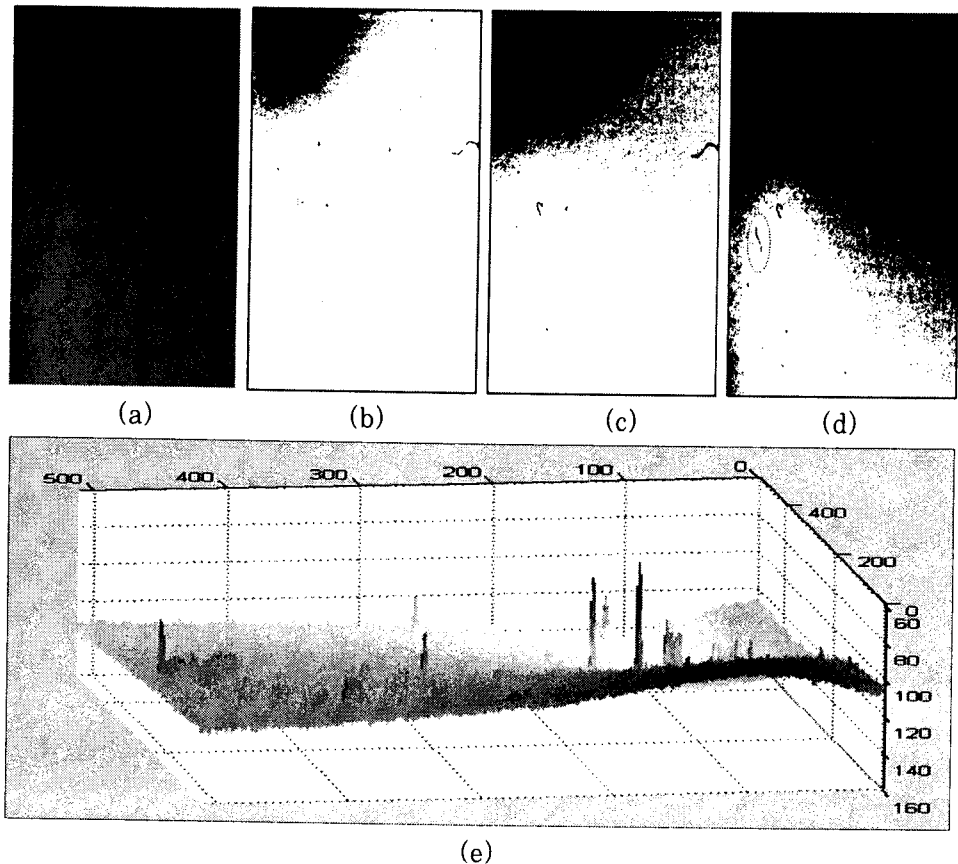
작은 영역 결함은 얼룩, 스크래치, 점 등과 같은 작은 영역을 가지는 결함이고, 지름이 정해진 화소 크기 이하를 말한다. 큰 영역 결함은 결함이 가지는 영역이 큰 결함을 말하고, 이는 어떤 지역, 굴곡, 급작스런 높은 휘도 변화, 비정규적인 휘도변화에 의해 생기는 것으로 정해진 지름의 화소 이상인 영역을 말한다. 선 결함은 곧은 혹은 약간 굽은 수평, 수직의 선, 벨트, 띠 모양 등의 결함을 말한다. 부정형 결함은 정해진 모양이 없는 부정확한 형태의 결함을 말하며, 빛 샘, 돌기, 찍힘, 주입구방사 등 다양한 이유로 인해서 생긴 결함을 말한다.

제조 공정에서 사용되는 카메라로 획득된 FPD 패널 영상은 카메라의 종류 혹은 FPD 패널 종류에 따라 사용되는 필름의 크기등에 관계되어 여러 가지 크기로 획득되어 있는데 실험에 사용된 영상은 약 2000×6000 , 3000×7000 , 6000×7000 등 다양한 화소 크기이고, 획득된 영상에서 결함이 나타나는 부분을 각 결함이 중간쯤 위치하도록 256×256 화소 크기로 떼어 낸 영상들을 아래 그림 1에서 결함의 종류별 예를 통해 볼 수 있다. 카메라로부터 획득 되어진 FPD패널 영상위에 나타나는 결함은 위의 그림 1의 예와 같이 모양과 특징 등으로 분류하는 기준에 따라 여러 종류로 분류가 가능하고, 결함이 주위의 결함 없는 부분과 순간적인 높은 휘도차이가 심한 경우 눈으로도 쉽게 찾을 수 있지만, 결함이 없는 주위와의 휘도차이가 크지 않으면 눈에 잘 안 띄고, 이 경우 기존의 결함검출방법에서는 결함이 잘 검출되지 않는다. 최근에 많은 자동화 결함 검출 장비들이 개발되어 실용화 되어 있긴 하지만 아직도 그 결함을 검출하는 능력이 업계에서 요구하는 성능 수준에 이르지 못하고 있다.

자동화 장비의 카메라에 의해 획득되어 순수하게 결함 검출 처리 전의 영상이 가지는 특징은 획득된 영상을 영상 편집 프로그램(예 : Photoshop)으로 단순 문턱값을 적용해 보면 영상이 가지는 불균일한 휘도 변화를 알 수 있고, 이로 인한 단순 문턱값 적용으로는 결함 검출이 어려움을 알 수 있다. 예로 제조 공정에서 획득된 FPD 패널 영상의 불균일한 휘도와 그 불균일한 휘도 변화 부분 안에 결함이 포함되어 있는 영상을 그림 2의 문턱값에

다른 영상의 휘도변화와 3차원 프로파일을 통해서 볼 수 있다. 그림 2의 (a)는 제조공정에서 약 2000×6000 화소크기로 획득된 BLU(Back Light Unit) 영상의 한 부분을 512×512 크기로 잘라낸 부분이고, 제조 공정에서의 결함 검출은 원으로 표시한 부분 내의 스크래치 결함을 찾아야 한다. 그림 2의 (b)와 (c)를 보면 적용 문턱값의 크기에 따라 왼쪽 위부터 휘도 변화가 시작하여 점점 아래로 내려 갈수록 휘도변화가 심해짐을 알 수 있고, 그림 2의 (d)에서 적용되는 단순 문턱값이 130 이 되어야 찾고자 하는 부분의 스크래치 결함을 찾을 수 있음을 알 수 있다. 하지만 문턱값의 조절로 찾고자 하는 스크래치 결함은 찾았지만, 심한 휘도변화로 인해 (b)에서 찾아 졌던 검은 스크래치 및 점 결함 등은 높은 휘도 변화에 가려져 찾을 수 없음을 알 수 있다. 그리고 (e)에서 영상의 3차원 프로파일을 보면 쉽게 영상의 불균일한 휘도 변화와 그 안에 존재하는 결함을 볼 수 있다.

이렇듯 불균일한 휘도변화 안에서 결함을 검출하는 방법은 일정 크기의 마스크를 이용한 방법[3]과 영상을 작은 크기의 부분영상으로 만들어 문턱값을 적용하는 방법[4]이 있지만, 두 방법 모두 근본적인 휘도 보상을 할 수 없다.



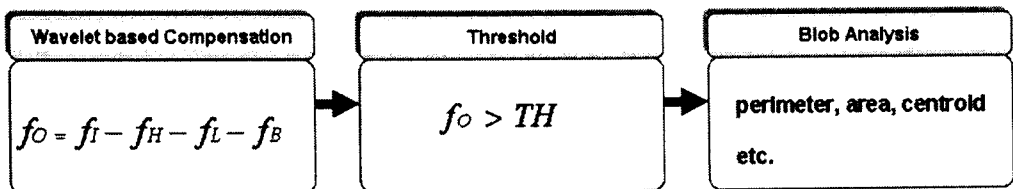
(그림 2) 문턱값에 따른 영상의 휘도변화와 3D 프로파일
 (a) 입력 영상, (b) 문턱값 110 영상, (c) 문턱값 120 영상,
 (d) 문턱값 130 영상, (e) 입력 영상의 3D 프로파일.

위의 기존의 결함 검출 방법의 여러 가지 단점을 보완하여, 본 논문은 근본적이고 전역적 혹은 지역적으로 나타나는 휘도 변화를 보상하면서 고주파 잡음과 저주파 성분을 제거하여 단순 문턱값을 적용 할 수 있는 웨이블릿에 기반한 알고리즘을 제안하였다. 또한 정확한 결함의 정보를 알려 주는 블랍 해석에 기반한 후 처리 알고리즘도 제안하였다.

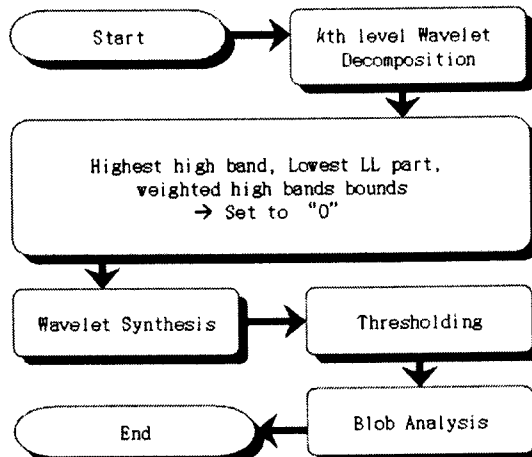
3. 웨이블릿에 기반한 표면 근사화

3.1. 제안하는 방법

고성능 카메라에 의해 획득된 FPD 패널 영상의 결함 검출에서 가장 문제가 되는 부분은 경계부분에서의 심하고 불균일한 휘도 변화 안에 들어 있는 결함의 미 검출과 전체 영상 처리에 미치는 나쁜 영향이다. 이렇게 문제가 되는 경계 부분의 불균일하고 심한 휘도 변화를 보상하는 방법으로 웨이블릿에 기반한 휘도보상 알고리즘을 제안하여 불균일한 휘도 변화 내에 숨어 있을 수 있는 결함과 전체 영상에 미치는 악영향을 최소화 하고자 하였다. 우선 FPD 패널 영상의 경계 부분에서의 심하고 불균일한 휘도 변화가 생기는 이유는 영상 획득 시에 카메라의 렌즈, 위치, 불안정적인 조명 과 장비의 오 정렬, 필름의 기술기 등으로 인해 획득된 영상은 위의 그림 1과 2에서 본 것과 같이 단순 문턱값 적용으로는 휘도 변화 안에 있는 결함을 찾기가 어렵다.



(그림 3) 시스템에서의 영상 처리 절차



(그림 4) 전체시스템의 처리 순서도

제안하는 방법인 웨이블릿에 기반한 알고리즘은 불균일한 휘도 변화 부분을 보상하기 위한 방법으로 적당한 웨이블릿 변환 단계의 저주파 부분과 잡음에 해당하는 고주파 영역을 제거함으로써 해결한다. 그림 3은 영상의 처리 절차에 따라 전처리에서 획득된 입력 영상 f_I 에서, 웨이블릿 분해 단계의 결과에 따른 저주파 부분인 f_L 과 가장 높은 고주파 밴드 부분인 f_H , 그리고 고주파 밴드의 가중치를 준 고주파 밴드 경계부분의 화소가 제거된 f_B 를 뺀 결과를 웨이블릿 조합 해서 f_O 를 만들고, f_O 에 문턱값 적용을 하여 결함을 찾고, 후처리 과정으로 블랍 해석에 기초한 결함의 영역, 둘째, 원형성, 2차 모멘트, 극점, 극선, 경계박스등의 블랍 처리 과정으로 진행된 것을 보여준다. 그림 4는 전체시스템의 처리 순서를 순서도로 나타내며, 획득영상의 입력으로 시작하여, 정해진 웨이블릿 단계로 분해하여 가중치를 둔 고주파 밴드의 경계부분을 제거하고, 역 웨이블릿 변환 하여 복원된 결과 영상에 문턱값을 적용하고, 블랍해석에 기반한 후 처리를 하는 과정을 나타낸다.

3.2. 이중 직교 웨이블릿 변환

이중 직교 웨이블릿에 대한 구현은 재구성을 위한 $H(\omega)$ 와 $G(\omega)$ 를 각각 저대역 필터와 고대역 필터로 생각 하여, 1차원의 경우 입력 신호 $x[n]$ 은 $h[n]$ 과 $g[n]$ 에 의해 각각 필터링 된다. 이에 대한 이중 직교 웨이블릿 변환을 위한 분해 과정에 대한 식은 식 1에 의해 이루어진다.

$$x_L[n] = \sum_k h[k]x[2n-k] \quad (\text{식 1})$$

$$x_H[n] = \sum_k g[k]x[2n-k]$$

여기서 $x_L[n]$ 과 $x_H[n]$ 은 각각 근사된 결과인 저주파의 평활화 된 부 영상과 고주파의 세부적인 부 영상 신호로 생각 할 수 있다. 그리고 분해된 결과 신호로부터 복원되는 재구성은 식 2에 의해 완전히 복원되어진다.

$$x[n] = \sum_k \tilde{h}[2k-n]x_L[n] + \sum_k \tilde{g}[2k-n]x_H[n] \quad (\text{식 2})$$

식 2에서 $\tilde{h}[n]$ 과 $\tilde{g}[n]$ 은 적당한 가중치를 가지는 재구성을 위한 조합 필터이다. 그리고 2차원의 웨이블릿 분해인 경우, 1차원의 분해과정을 각각의 열에 적용하여 얻어진 두 부 영상들에 각각의 행에 같은 분해 과정을 적용 하면, 2차원의 1단계의 웨이블릿 변환이 이루어진다.

3.3 웨이블릿 기반의 휘도변화 보상 표면(surface)함수 구성

본 논문에서 제안한 방법은 k 단계로 웨이블릿 분해된 영상에 고주파 잡음을 제거하기 위해 가장 큰 고주파 부 대역인 $f_{HL}^1(x', y')$, $f_{LH}^1(x', y')$, $f_{HH}^1(x', y')$ 를 '0'으로 두고, 가장 작은 평활화 부 영상인 $f_{LL}^k(x^k, y^k)$ 을 너무 낮은 저주파 성분을 제거하기 위해 '0'으로 둔다. 그리고 영상에서 경계 부분의 불균일한 휘도 변화를 보상하기 위해 웨이블릿 분해 2, 3, k 단계의 고주파 밴드들의 경계를 3화소씩 '0'으로 둔다. 이에 대한 수식은 식 3, 4, 5, 6, 7에서 확인 할 수 있고 최종 결과인 식 7는 휘도 보정이 되어 평평한 기저 평면을 구한 것이다.

$$F(w) = (HH_1 + HL_1 + LH_1) + (HH_2 + HL_2 + LH_2) + \dots + (LL_k + HH_k + HL_k + LH_k) \quad (\text{식 3})$$

$$F_h(w) = HH_1 + HL_1 + LH_1 \quad (\text{식 4})$$

$$F_l(w) = LL_k \quad (\text{식 5})$$

$$F_b(w) = (HH_{3B} + HL_{3B} + LH_{3B}) + (HH_{4B} + HL_{4B} + LH_{4B}) + (HH_{5B} + HL_{5B} + LH_{5B}) \quad (\text{식 6})$$

$$\widehat{F}(w) = F(w)F_h(w) - F_l(w) - F_b(w) \quad (\text{식 7})$$

F 는 입력 영상, F_h 는 '0'으로 둔 고주파 밴드, F_l 은 '0'으로 둔 저주파 부분, F_{zb} 는 '0' 삽입된 고주파 밴드의 경계 부분, \widehat{F} 는 최종 결과이고, HH_k , HL_k , LH_k , LL_k 은 k 단계의 웨이블릿 변환 각각의 대각, 수평, 수직, 저주파 부분이고, HH_{kB} , HL_{kB} , LH_{kB} 는 대각, 수평, 수직 부분의 경계 부분을 나타낸다. 결과에서 볼 수 있듯이 결국 우리가 원하는 것은 밴드 패스 필터를 얻는 것이다.

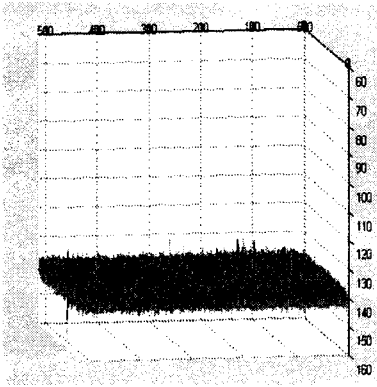
또한 아래 그림 5의 (a)와 (b)에서 저주파의 불균일 휘도 변화(식 5)와 고주파의 잡음(식 4)만으로 재구성된 각각의 결과를 볼 수 있고, 그림 6의 (a)는 웨이블릿 변환되어 불균일한 휘도 변화와 고주파를 제거한 결과 영상 즉 휘도변화가 보상된 결과이고, (b)는 (a)그림 위의 세 개의 선에 대한 1차원 프로파일 결과이며, 점선은 표준 편차에 의한 문턱값 결정 선이다. 그리고 (c)에서 3차원 프로파일을 통해 입력 영상의 불균일하고 심한 경계부분의 휘도 변화가 평평하게 보상된 결과를 볼 수 있다.

3.4. 문턱값 결정과 블랍 처리

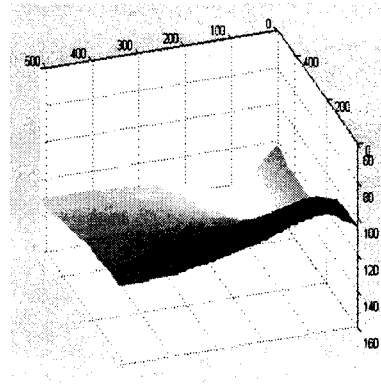
문턱값은 검사 영역 전체의 표준 편차를 구하여 표준편차 외의 부분을 결함으로 찾아내어 표준편차를 벗어나는 부분을 검은색으로 결함을 표시하고(그림 6의 (b)의 점선 밖), 기저 평면은 흰색으로서 표시되게 하였다(그림 6의 (b)의 점선 안). 이는 식 8로써 표현하였고, 그림 7의 (a)에서 문턱값 적용 결과를 볼 수 있다. 또한 블랍 해석에 기초한 영역,

중심, 경계화소, 둘레, 둘레의 길이, 원형성, 2차 모멘트, 극점과 극선을 이용한 결합의 경계박스를 계산 하였고, 그림 7의 (b)에서 블랍 처리 결과 볼 수 있다.

$$L(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } I(x, y) > \sigma \\ 0, & \text{if } -\sigma \leq I(x, y) \leq \sigma \\ 1, & \text{if } I(x, y) < -\sigma \end{cases} \quad (\text{식 8})$$



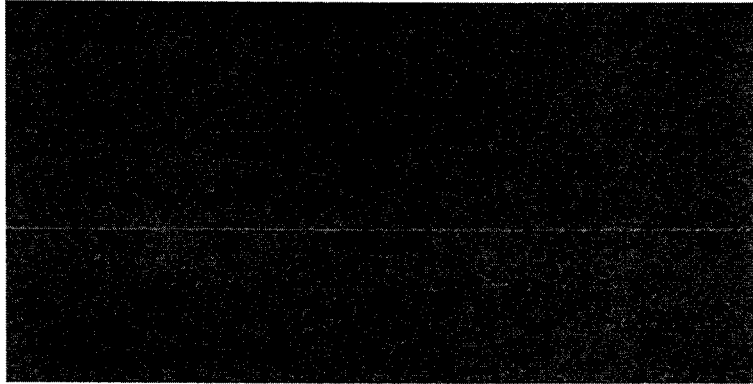
(a)



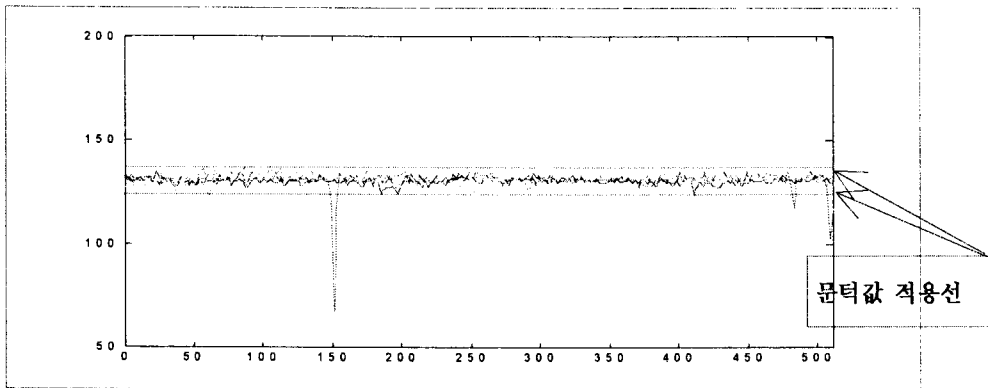
(b)

[그림 5] 영상의 고주파와 저주파의 3D 프로파일

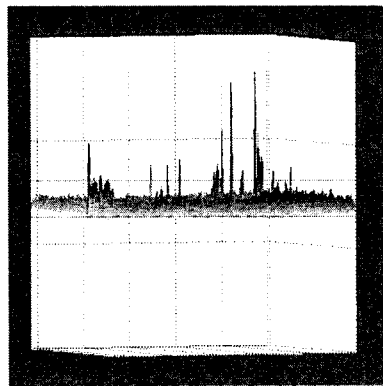
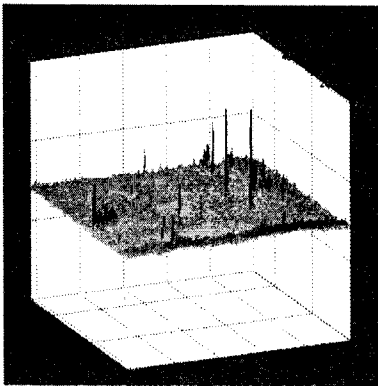
- (a) 1레벨의 웨이블릿 변환 단계의 고주파 밴드(식 2),
 (b) 7레벨의 웨이블릿 변환 단계의 저주파 부분(식 3).

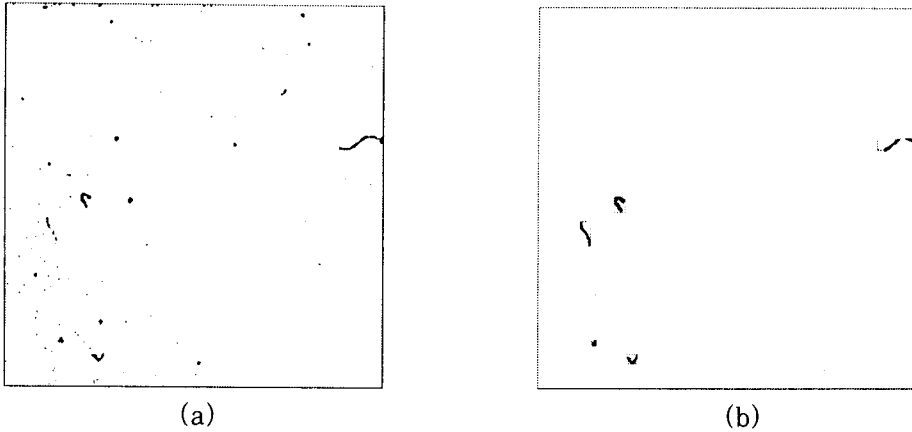


(a)



(b)



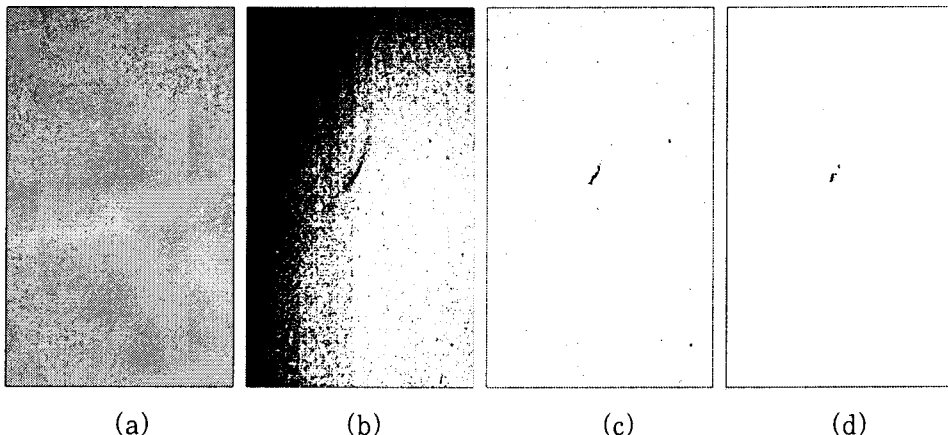


(a) (b)
 [그림 7] 문턱값 처리 영상과 블랍처리 결과영상.
 (a) 문턱값 처리 영상, (b) 블랍 처리 결과 영상.

4. 실험 및 고찰

제안되어 구현된 시스템은 하드웨어 환경 CPU 1.6 GHz, 768 MB RAM에서 실험 되었고, 소프트웨어 환경은 비주얼 C++에서 실험 하였다. 실험에 사용된 영상은 모두 제조 공정에서 사용되는 FPD 패널의 영상을 자동화 결함 검출 장비의 카메라에 의해 획득되어진 영상이다. 그리고 각각의 처리 과정에서 고속 웨이블릿 필터는 도비치(daubeches)의 5-3 탭을 이용한 리프팅 알고리즘에 의해 구현되었다.

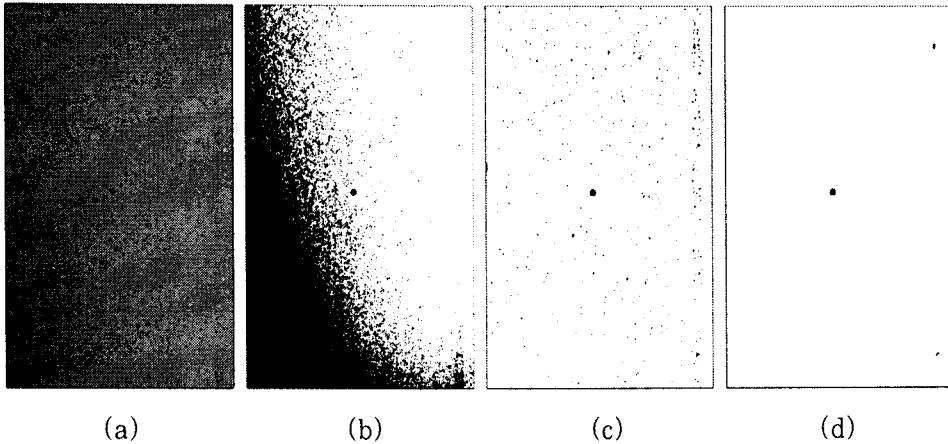
실험에서 그림 8, 9 각각의 (a) 입력영상을 시작으로, 일반적인 문턱값으로 찾은 결함 검출을 그림 8, 9 각각의 (b)에서 볼 수 있고, 결과는 휘도 변화가 심하여 제대로 된 결함 검출이 어렵다는 것을 알 수 있다. 그리고 그림 8, 9 각각의 (c)에서 제안된 웨이블릿 기



(a) (b) (c) (d)

[그림 8] 스크래치 결함 영상에 대한 실험 결과

(a) 입력 영상, (b) 간단한 문턱값 적용 영상,
 (c) 웨이블릿 기반 알고리즘 처리 결과, (d) 블랍 처리 결과.



(그림 9) 검은 점 결함 영상에 대한 실험 결과

(a) 입력 영상, (b) 간단한 문턱값 적용 영상,

(c) 웨이블릿 기반 삽입 알고리즘 처리 결과, (d) 블랍 처리 결과.

반 알고리즘을 통한 결과를 볼 수 있으며, 휘도변화를 보상하여 간단한 문턱값 적용으로 우수한 결함 검출 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 또한 그림 8, 9 각각의 (d)에서 블랍 해석에 기초한 블랍 처리 결과를 결함의 경계박스로 나타내었다. 아래의 모든 영상 크기는 512×512 화소 크기 이고, 처리 시간은 0.11초 걸렸다.

또한 표 1에서 입력 영상의 크기에 따라서 제안되어 구현된 시스템의 처리 과정에 따른 소비 시간을 하였다. 표 1에서 나타나는 것처럼 우리는 영상 각각의 크기에 따른 전처리와 문턱값 적용 처리, 후처리 등의 소비 시간을 알 수 있다.

〈표 1〉 입력 영상 크기에 따른 단계별 처리 시간 비교 (단위 : 초)

Input Size (Mb)	Each Procedure				
	1	16.8	19.5	22	53
Wavelet Decomposition	0.08	0.621	0.731	0.861	2.001
Wavelet Synthesis	0.09	0.701	0.821	0.872	2.073
Thresholding	0.08	0.541	0.650	0.761	1.642
Blob Analysis	0.351	1.683	1.823	4.021	6.20
Total	0.601	3.546	4.025	6.515	11.916

5. 결 론

제안되어 구현된 시스템의 결함검출 처리 시간은 현재 제조 공정에서 사용되는 자동화 결함 검출 장비의 처리 시간보다 최소 2초 이상 빠르고 결함 검출률도 기존의 방법이나 자동화 장비의 결함 검출률에 비해 우수한 결과를 보였다. 또한 어떠한 FPD의 결함 검출에도 사용 될 수 있으므로 그 사용도 또한 넓다 할 수 있다. 앞으로의 연구는 이에 기반한

전처리 과정과 후처리 과정을 보완하여 정확한 결함 검출 성능을 가지는 시스템 개발이 이루어져야 한다.

참고문헌

1. C. J. Lu, D. M. Tsai, "Defect inspection of patterned thin film transistor liquid crystal display panels using a fast image based singular value decomposition", *International Journal of Production Research*, vol. 42, no. 20, pp. 4331-4351, October 2004.
2. W. K. Pratt, S. S. Sawkar and Kevin O'Reilly, "Automatic blemish detection in liquid crystal flat panel displays", *Proc. of SPIE Machine Vision Applications in Industrial Inspection VI*, vol. 3306, pp. 2-13, February 1998.
3. K. Taniguchi, S. Tatsumi, "A detection method for irregular lightness variation of low contrast", *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 7, pp. 6401-6406, 2004.
4. F. H. Y. Chan, F. K. Lam, and H. Zhu, "Adaptive thresholding by variational method", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol 7, no. 3, pp. 468-473, March 1998.
5. Jae Y. Lee, Suk I. Yoo, "Automatic detection of region-mura defect in TFT-LCD", *IEICE Trans. Inf. & Syst.* vol. 87-D, no. 10, pp. 2371- 2378 Jan. 2004.
6. B. C. Jiang, C. C. Wang 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, January 2005.
7. S. G. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet presentation", *IEEE Trans Pattern Anal. Machine Intell.* vol. 11, no. 7, pp. 647-693, 1989.
8. W. J. Jasper, S. J. Gamier, H. Potlapalli, "Texture characterization and defect detection using adaptive wavelets", *Optical Engineering*, vol. 35, no. 11, pp. 3140-3149, November 1996.
9. Ajay Kumar and Grantham K. H. Pang, "Defect detection in textured materials using Gabor filters", *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 38, no. 2, pp. 425-440, 2002.

김 상 지(Sang Ji Kim)



- e-mail : chocoajong@hotmail.com
- 1996년 ~ 2005년 동양대학교 컴퓨터 공학과 공학사
- 2005년 ~ 현재 동서대학교 소프트웨어대학원 재학중
- 2006년 8월 ~ 현재 (주) 쓰리비 시스템 연구원
- 관심분야 : 영상처리, 패턴인식

이 연 주(Youn Ju Lee)



- e-mail : lee08@ewhain.net
- 2001년 이화여자대학교 수학과 졸업(학사)
- 2003년 이화여자대학교 수학과 졸업(석사)
- 2003년 ~ 현재 이화여자대학교 수학과 박사과정
- 관심분야 : Subdivision, Wavelet

윤 정 호(Jeong Ho Yoon)

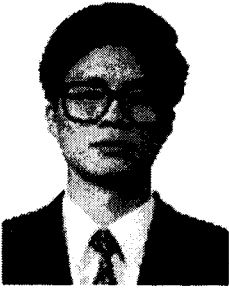


- e-mail : yoon@ewha.ac.kr
- 1998년 Univ. of Wisconsin-Madison 수학과 졸업(박사)
- 1998년 ~ 2000년 Univ. of S. Carolina 수학과 포닥연구원
- 2000년 ~ 2001년 Tel-Aviv, Israel, 수학과 포닥연구원
- 2001년 ~ 2002년 Arizona State University 수학과 조교수
- 2002년 ~ 현재 이화여자 대학교 수학과 조교수
- 관심분야 : RBF theory, Wavelet, Subdivision, CAGD, Image Processing

유 훈(Hun You)



- e-mail : hunie@dongseo.ac.kr
- 1990 ~ 1997 : 한양대학교 전자통신공학과 공학사
- 1997 ~ 1999 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과 공학석사
- 1999 ~ 2003 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과 공학박사
- 2003 ~ 2005 : 삼성전자 무선사업부 책임연구원
- 2005 ~ 현재 : 동서대학교 컴퓨터정보공학부 전임강사
- 관심분야 : 영상 압축 및 처리, 멀티미디어 시스템



이 병 국(Byung Gook Lee)

- e-mail : lbg@dongseo.ac.kr
- 1987년 연세대학교 수학과 졸업(학사)
- 1989년 KAIST 응용수학과 졸업(석사)
- 1993년 KAIST 수학과 졸업(박사)
- 1993년~1995년 데이콤 종합연구소 선임연구원
- 1995년~현재 동서대학교 컴퓨터정보공학부 부교수
- 관심분야 : Computer Graphics, CAGD



이 준 재(Joon Jae Lee)

- e-mail : jjlee@dongseo.ac.kr
- 1986년 경북대학교 전자공학과 학사
- 1991년 경북대학교 전자공학과 석사
- 1994년 경북대학교 전자공학과 박사
- 1998년~1999년 조지아 테크 연구교수
- 2000년~2001년 (주)파미 연구소장
- 1995년~현재 동서대학교 컴퓨터정보공학부 부교수
- 관심분야 : 3차원 비전, 영상처리, 지문인식