한국지능시스템학회 논문지 2009, Vol. 19, No. 6, pp. 743-748

2차원 연속 웨이블릿을 이용한 편광 필름 결함 검출

Polaroid Film Defect Detection Using 2D - Continuous Wavelet Transform

정창도* · 김세윤** · 주영복*** · 윤병주** · 최병재**** · 박길흠**

Chang-Do Jung*, Se-Yun Kim**, Young-Bok Joo***,
Byoung-Ju Yun**, Byung-Jae Choi**** and Kil-Houm Park**

* 경북대학교 수학과
** 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
*** 연세대학교 컴퓨터과학과
**** 대구대학교 전자공학부

요 약

본 논문은 2차원 연속 웨이블릿을 이용하여 조명에 의한 불균일한 휘도성분을 제거하여 TFT Display 핵심 부품인 편광필름 영상내의 결함을 검사 할 수 있는 방법을 제안한다. 영상 신호는 불균일한 휘도 분포와 노이즈 신호, 그리고 결함 신호로 구성되어 있다. 영상의 2차원 웨이블릿 변환은 스케일이 다른 여러 성분이 중첩된 다해상도 구조를 형성한다. 본 논문에서는 1차원 미분 가우시안 웨이블릿을 적용하여 영상에 중첩되어 있는 다해상도 성분 중 배경 휘도 성분을 효율적으로 추출하여 제거하는 전처리 기법을 제안한다. 이를 이용하여 원 영상에서 배경 성분을 분리할 수 있어 보다 신뢰성 있게 결함을 검출할 수 있다.

키워드 : 연속 웨이블릿 변환, 컴퓨터 비전, 편광 필름

Abstract

In this paper, we propose an effective method to extract background components in automated vision inspection system for polarized film used in TFT LCD display panels. The test image signals are typically composed of three components such as ununiform background, random noises and target defect signals. It is important to analyze the background signal for accurate extraction of defect components. Two dimensional continuous wavelets with first derivative gaussian is used. This methods can be applied for reliable extraction of defect signal by elimination of the background signal from the original image. The proposed method outperforms over conventional FFT methods.

Key Words : Continuous wavelet transform, Computer vision, Polaroid film

1. 서 론

편광필름을 사용하는 LCD(liquid crystal display)는 액정과 반도체 기술이 복합된 기술 집약적 품목으로서 얇고 가벼우며 소비 전력이 낮아 다른 표시소자에 비해 높은 시장성을 가진다. 편광필름은 그림 1과 같이 여러 층으로 구성되며, 입사광을 편광시키는 고분자 편광 물질을 중심으로 지지체 TAC(Tri-acetyl-cellulose)를 편광 물질의 양쪽에 사용하고 접착층은 편광 필름을 유리 표면에 접착시키기 위하여 사용한다. 그리고 상측 표면에는 저반사 층인 AG(Anti-Glare) 혹은 AR(Anti-Reflection) 코팅층과 보호막으로 되어있다.

이러한 편광필름은 높은 편광기능을 발휘함과 동시에 결함이 없어야 한다. 그러나 편광필름은 제조상에서 발생된 먼지나 이물, 접착 불량 그리고 스크래치 등으로 인해 많은 결함을 발생될 수 있다. 이러한 결함의 자동 검사를 위해 개발된 결함 검출 알고리즘은 크게 주파수 영역과 공간 영역에서의 접근 방식으로 분류 가능하다 [1~3].

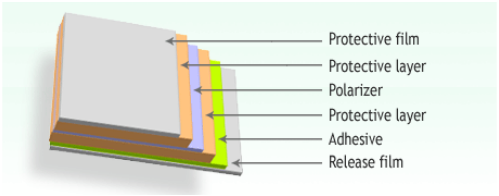


그림 1. 편광필름의 구성
Fig. 1. Constitution of polaroid film.

접수일자 : 2009년 8월 25일
완료일자 : 2009년 12월 2일
본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

공간 영역에서의 대표적 접근 방법으로는 다항식 근사화 방법을 예로 들 수 있다 [2-3]. 다항식 근사화 방법은 결함을 제외한 배경 신호를 다항식 곡선으로 근사화하여 원영상과의 차이를 구함으로써 결함 신호만을 검출할 수 있게 한다.

주파수 영역에서의 대표적인 방법으로는 푸리에 변환(Fourier transform)을 이용한 텍스처(Texture) 분할 방법을 들 수 있다 [1]. 텍스처 분할 방법은 배경 신호가 저주파에 존재한다고 가정하고 저주파 통과필터(Low Pass Filtering) 처리를 하여 역변환 한 후 원 영상과 차이를 구함으로써 분할 결과를 도출한다. 즉 텍스처 분할 방법은 배경 신호에 비해 상대적으로 고주파 영역에 존재하는 결함을 분할하는 방법이다. 한편 2차원 웨이블릿 변환 [4~6]은 영상신호를 스케일에 따라 다양한 주파수 대역의 영상을 구성하고, 결함이 존재하는 대역대를 강조함으로써 영상 개선을 가능하게 한다. 또한 푸리에 변환과는 달리 공간 정보와 스케일 정보를 제공할 수 있는 특징을 가진다.

본 논문에서는 2차원 연속 웨이블릿 변환을 이용하여 획득된 영상의 배경 휘도 변화를 1차 미분 가우스 웨이블릿을 사용하여 휘도 불균형을 제거하고 편광필름 결함검사에 필요한 고주파 성분인 결함 요소는 살려두는 것에 초점을 둔 알고리즘을 제안한다. 그리고 제안한 방법 및 푸리에 변환을 이용한 [1]의 방법을 실제 결함이 있는 편광필름의 영상에 적용하여 그 결과를 비교한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 2장에서 2차원 연속 웨이블릿 변환에 관해 살펴보고 3장에서는 웨이블릿 변환을 이용한 제안 알고리즘을 설명한다. 4장을 통해 실제 편광 필름 영상에 대한 제안 방법의 적용 결과를 살펴보고 [1]에서 사용한 FFT를 이용한 방법과 처리결과를 비교하였다. 그리고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 2차원 연속 웨이블릿 변환

2차원 함수 $f(x,y)$는 제곱적분 가능하며, $L^2(R^2)$에서 정의되는 신호라 가정한다. Mallat은 1차원 웨이블릿 변환을 2차원 웨이블릿 변환으로 확장하였다[4]. x방향 웨이블릿 $\psi^1(x,y)$와, y방향 웨이블릿 $\psi^2(x,y)$은 척도함수 ϕ와 웨이블릿 함수 ψ의 곱으로 아래와 같이 구성되어 진다.

$$\psi^1(x,y)=\phi(x)\psi(y),\ \psi^2(x,y)=\psi(x)\phi(y) \quad (1)$$

두 방향 웨이블릿 집합은 아래와 같이 나타낸다.

$$\psi^i_{b_x,b_y,a}(x,y)=\frac{1}{a}\psi^i\left(\frac{x-b_x}{a},\frac{y-b_y}{a}\right),\ i=1,2. \quad (2)$$

여기서, a는 척도인자(scale parameter)이며 b_x,b_y는 각각 x,y 방향 이동인자(shifting parameter)이다. 함수 $f(x,y)$에 대한 연속 웨이블릿 변환 $W^if(b_x,b_y,a)$는 다음의 식으로 정의되어 진다.

$$\begin{aligned} W^if_{b_x,b_y,a} &= \langle f,\psi^i_{b_x,b_y,a}\rangle \\ &= \frac{1}{a}\iint f(x,y)\psi^i\left(\frac{x-b_x}{a},\frac{y-b_y}{a}\right)dxdy \\ &= \frac{1}{a}f*\psi^i\left(\frac{-b_x}{a},\frac{-b_y}{a}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

$\hat{\psi}$를 ψ의 푸리에 변환이라고 하면 웨이블릿의 허용조건은 아래와 같다.

$$C_\psi\equiv\iint\frac{\|\hat{\psi}(u,v)\|^2}{|u||v|}dudv<\infty \quad (4)$$

2차원 연속웨이블릿 역변환은 다음과 같이 정의된다.

$$f^i=\frac{1}{C_g}\int\int\int\int W^if_{b_x,b_y,a}\psi^i_{b_x,b_y,a}\frac{db_xdb_ydada}{a^2}$$

$$C_g=\iint\frac{\|\hat{\psi}_{b_x,b_y,a}(u,v)\|^2}{uv}dudv<\infty \quad (5)$$

위의 식과 같이 시간상에서 2차원 웨이블릿 변환을 연산하기보다는 시간상의 변환 식을 파스발의 정리를 이용하면 푸리에 공간에서 쉽게 2차원 연속 웨이블릿 변환과 역변환을 실행할 수 있다. 웨이블릿 변환의 경우에는 파스발의 정의에 따라 식 (6)과 같이 정의된다[7],[8].

$$W^if(b_x,b_y,a)=IFT\left[FT[f(x,y)]\psi^i(ab_x,ab_y)\right] \quad (6)$$

여기서 FT, IFT는 각각 푸리에변환과 그 역변환을 나타낸다. 또한 2차원 연속 웨이블릿 역변환은 다음 식 (7)과 같이 정의된다.

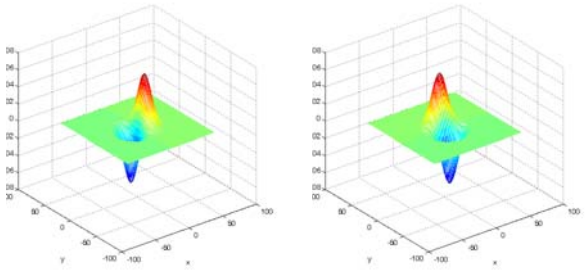
$$f^i(x,y)=\frac{1}{K}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}IFT\left[W^if(b_x,b_y,a)\bullet\psi(ab_x,ab_y)\right]$$

$$K=\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\left|FT\left[\psi\left(\frac{x-b_x}{a},\frac{y-b_y}{a}\right)\right]\right|^2dada \quad (7)$$

본 논문에서 사용할 1차 미분 가우스 웨이블릿은 각각 x,y방향으로 분포되어 있으며 스펙트럼 또한 u,v방향으로 분포된다. 웨이블릿의 크기를 결정하기 위해 x,y에 각각 형상 계수 α,β를 곱하면 웨이블릿은 다음과 같이 정의되며 그림 2와 같은 형상을 한다.

$$\psi^1(\alpha x,\beta y)=\alpha x\exp\left[-\frac{(\alpha x)^2+(\beta y)^2}{2}\right] \quad (8)$$

$$\psi^2(\alpha x,\beta y)=\beta y\exp\left[-\frac{(\alpha x)^2+(\beta y)^2}{2}\right] \quad (9)$$



(a) (b)

그림 2. x, y방향 1차 미분 가우스 웨이블릿($\alpha=\beta=0.01$)
Fig. 2. x, y directional first derivative of Gaussian wavelet($\alpha=\beta=0.01$).

위 식(8)과 식(9)로 구성된 웨이블릿을 영상에 대해 각각 적용하면 x방향으로 형성된 웨이블릿은 영상의 x방향으로 형성된 성분들을 강조하고 y방향으로 형성된 웨이블릿은 영상의 y방향으로 형성된 성분을 강조한다. 이 두 특성을 이용하면 영상에 형성된 영상 정보를 모든 방향에 대해 얻을 수 있다. 먼저 식(3)을 이용해 각 x, y방향에 대한 웨이블릿 변환을 한다. $W^1 f_{b_x,b_y,a}$을 x방향 대한 웨이블릿 변환이라 하고 $W^2 f_{b_x,b_y,a}$을 y방향 대한 웨이블릿 변환이라 하면 모듈러스(Modulus)와 위상(Phase)은 식 (10), (11)과 같이 정의된다.

$$M_{b_x,b_y,a} = \sqrt{(W^1 f_{b_x,b_y,a})^2 + (W^2 f_{b_x,b_y,a})^2} \tag{10}$$

$$\Phi_{b_x,b_y,a} = \frac{W^1 f_{b_x,b_y,a}}{W^2 f_{b_x,b_y,a}} \tag{11}$$

위 식 (10), (11)를 이용하여 식(12)의 모든 방향의 웨이블릿 변환결과를 얻는다.

$$Wf_{b_x,b_y,a} = M_{b_x,b_y,a} \arctan \Phi_{b_x,b_y,a} \tag{12}$$

영상 $f(x,y)$에 대한 웨이블릿 변환은 스케일에 따라 크기가 변화는 웨이블릿을 이용하여 영상의 스케일 성분을 검색하여, 영상이 지닌 스케일 성분을 강조한다. 영상을 구성하고 있는 스케일 추출의 민감성은 푸리에 변환을 이용한 스케일 분석과는 대비되는 웨이블릿 변환의 고유한 특성이다. 예를 들어 그림 3에서와 같이 영상 $f(x,y)$의 웨이블릿 변환의 결과는 웨이블릿 패밀리에 의해 추출된 각 모든 영상 W 를 scale 축인 z축에 따라 나타낸 것이다.

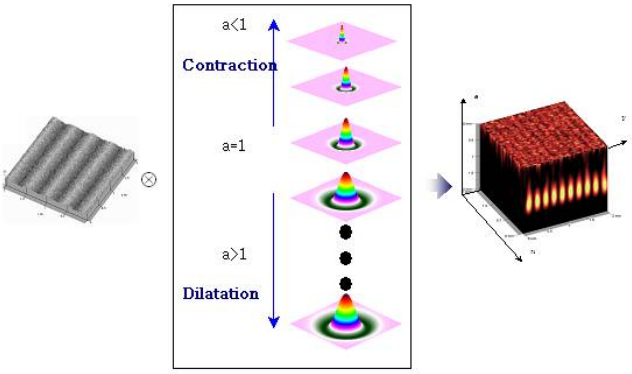


그림 3. 영상 $f(x,y)$의 웨이블릿 변환 결과
Fig. 3. Results of 2D CWT of $f(x,y)$.

Scale이 작은 영역에서 웨이블릿 변환은 영상에 포함된 작은 scale성분의 특성을 나타내며, scale이 큰 영역에서는 영상의 배경과 같은 큰 성분의 특성을 나타낸다. 일반적으로 영상은 서로 다른 크기의 성분들이 서로 중첩된 다중 해상도의 구조를 나타내고 있으며, 웨이블릿 변환은 퓨리에 변환에서 나타내지 못하는 보다 상세한 스케일 정보를 제공한다. 영상의 웨이블릿 변환은 기본적으로는 웨이블릿을 이용한 대역통과필터(Band Pass filter)이며 대역의 크기에 따라서 추출하는 성분의 크기가 변화한다. 영상 스케일 분석에 있어서 관건은 효과적으로 각 스케일 성분을 분리하는 것이다. 이때 영상에 포함된 큰 scale 성분이 조명에 의해 발생한 휘도 변화를 나타내므로 영상에서 휘도 기울기 변화를 정확하게 추출하는 것이 중요하다. 위해 본 논문에서는 1차원 미분 가우스 웨이블릿을 적용하여 영상에 중첩되어 있는 배경 휘도 성분을 표현하는 다해상도(multi-scale) 성분을 추출하여 결함을 찾을 수 있는 전처리 방법을 제안한다.

3. 제안 방법

일반적으로 외부에서 인가한 조명으로 획득된 편광필름 영상은 그림 4와 같이 배경 신호, 결함 신호와 노이즈로 구분된다. 본 장에서는 이와 같은 신호에서 2차원 연속 웨이블릿을 이용하여 조명에 의한 배경성분을 추출하여 결함신호를 임계화 할 수 있는 방법을 제안한다.

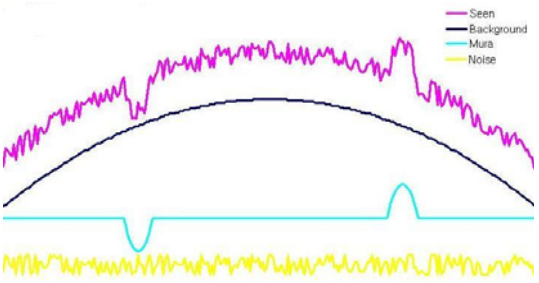


그림 4. 편광필름 영상의 라인 프로파일
Fig. 4. The line profiles of Polaroid Film image.

제안한 순서도를 그림 5에 나타내었다.

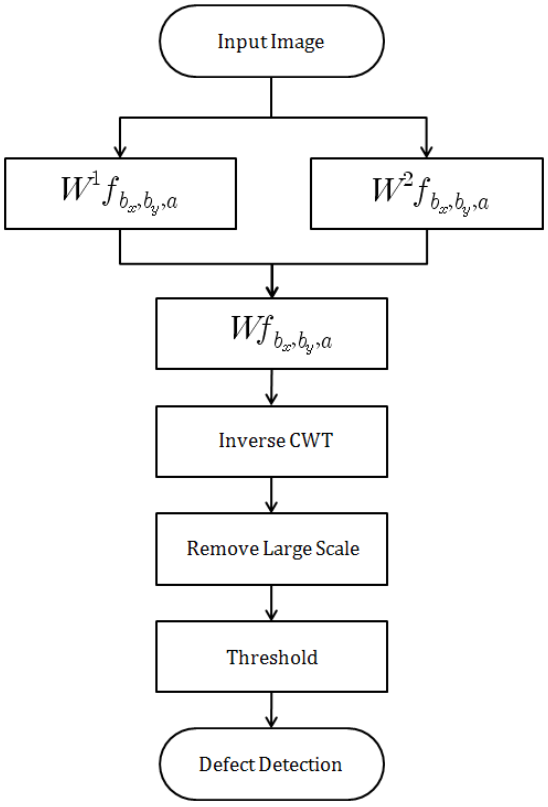


그림 5. 제안된 결함 검출 방법의 흐름도
Fig. 5. Flowchart of the proposed method.

제안한 알고리즘은 우선 입력 영상 $f(x,y)$에 대하여 입력된 영상을 식 (8), (9)와 같이 각 x,y방향에 대한 웨이블릿 변환을 하고 식 (10~12)를 이용하여 $Wf_{b_x,b_y,a}$를 계산한다. 여기서 중요한 것은 배경의 휘도 분포를 추출 할 수 있는 b_x,b_y,a를 결정하는 것이다. 본 논문에서 사용된 편광필름 영상은 $b_x=b_y=70, a=70$일때 배경의 휘도 분포를 잘 추출 할 수 있었다. 검사 대상이 바뀌면 b_x,b_y,a도 그에 따라 바뀌어야 한다. 이는 [1]에서 제안된 푸리에 변환을 이용한 필터링시의 cut-off 주파수를 설정하는 것과 같다. 제안된 알고리즘 흐름도의 4~5단계에서는 $Wf_{b_x,b_y,a}$가 scale이 큰 배경의 휘도 분포를 나타내므로 웨이블릿 역변환을 하여 원영상에서 뺀다. 처리된 영상은 전체적 배경 휘도가 0기준에 맞추어져 있으며 화면에 디스플레이하기위해 전체 결과 영상에 128을 더하여 준다. 여기서 결과 영상을 $R_f(x,y)$라고 하면 식 (13)을 이용하여 임계화된 영상을 얻고 결함 영역을 찾는다.

$$Th_f(x,y)=\begin{cases}1\ (R_{f(x,y)}\geq A)\\ 2\ (R_{f(x,y)}\leq B)\\ 0\ (otherwise)\end{cases} \tag{13}$$

여기서 A,B는 각각 밝은 결함영역 임계치와 어두운 결함영역 임계치를 나타낸다. 처리된 영상의 배경 휘도가 128에 맞추어져 있으므로 A는 128보다 큰 값을 가져야하며 B는 128보다 작은 값을 가져야한다.

4. 실험 및 고찰

실험 영상은 그림 6과 같이 외부 LED조명과 6K line scan 카메라를 이용하여 획득하였다.

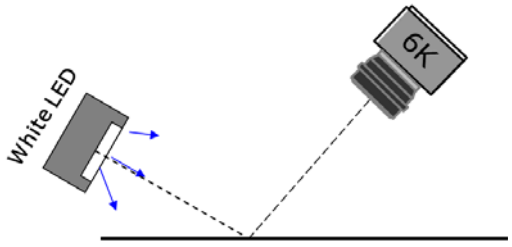


그림 6. 영상획득 시스템
Fig. 6. Image grab system

획득 장치의 구성은 아래 표 1과 같다.

표 1. 영상 획득 장치의 구성
Table 1. Construction of image grab system

카메라	Dalsa 6K(2tab) Line Scan
Lens	Tamron 90mm Lens
조명	White LED(110,000Lx)

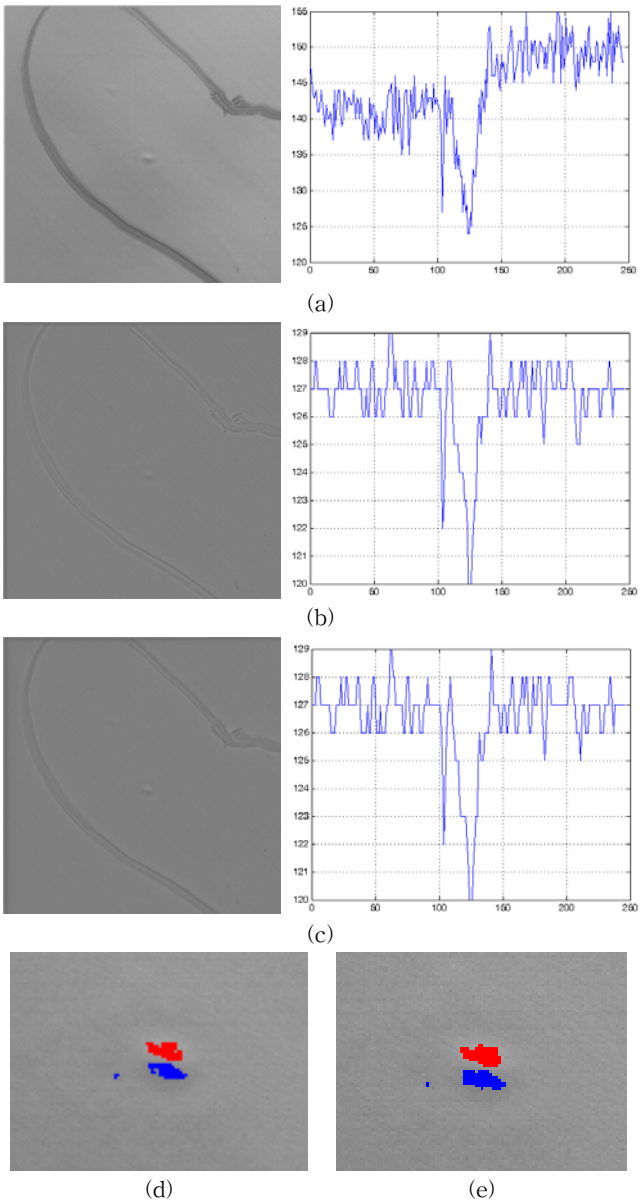
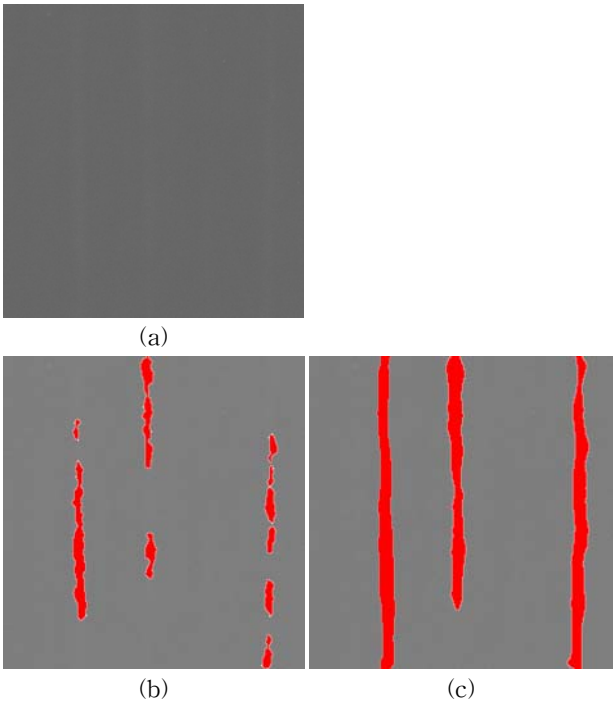


그림 7. FFT 방법과 제안한 방법 프로파일 비교 분석 및 결함 검출 결과;
Fig. 7. Comparison of line profile and inspection results between FFT and the proposed method.;
(a) 원영상 (b) FFT(Low pass cutoff=90, High pass cutoff=28)
(c) 제안한 방법($b_x=b_y=70, a=70$) (d) FFT 결함 검출 결과
(e) 제안한 방법 결함 검출 결과
(a) original defect image (b) FFT method(Low pass cutoff=90,
High pass cutoff=28) and (c) the proposed method ($b_x=b_y=70, a=70$) (d) inspection result of FFT method
(e) inspection result of proposed method

실험 영상은 위의 장치로 획득된 편광필름 영상 내에 결함이 존재하는 영역을 512×512 크기로 자른 8-bit영상이고 제안한 알고리즘으로 실험을 하였다. 실험용 PC는 2.53GHz

Core2 Duo CPU와 3GByte DDR3 memory의 사양이며, Visual C++ 6.0 컴파일러를 사용하였다. 제안한 방법의 적합성을 증명하기 위하여 그림 7과 같이 실제 결함에 대해 FFT를 이용한 방법 [1]과 제안한 방법을 비교 분석하였다. 그림 7은 결함을 포함하는 286번째 가로 라인의 프로파일을 나타내고 있고 그림 7(a)에서 원영상의 프로파일을 보면 조명의 영향으로 결함을 중심으로 좌에서 우로 휘도분포가 변화하고 있다. FFT와 제안한 방법 모두 휘도의 평활화는 잘 이루어 졌다. 하지만 그림 7(d), (e)에서와 같이 결함 검출된 영역을 비교하면 FFT 방법보다 제안한 방법 결함 검출 결과가 안정됨을 알 수 있다. 임계치는 $A=132$, $B=124$로 실험 하였다. 식 (13)을 이용하여 $Tg_f(x,y)$값이 1이면 빨간색, 2이면 파랑색으로 결과를 표시 하였고, 즉 빨간색이면 배경보다 밝은 결함 영역을 나타내고, 파랑색이면 배경보다 어두운 결함영역을 나타낸다.

그림 8은 TFT Display 핵심 부품인 편광필름에 대한 주요 결함에 관한 검출 결과를 비교한 것이다. 첫 번째 영상은 세로방향으로 길게 늘어진 스지결함이다. 스지결함은 무라결함의 한 종류로 방향성을 가진다. 이 불량은 편광필름이 한쪽으로 힘을 받아 늘어나면 발생하는 불량으로 본 논문에 실험되어진 스지결함은 배경과 평균 gray 차이가 1gray정도 나는 결함이다. 두 번째 영상은 밝은 점형 결함이고 배경과 평균 gray 차이가 10gray정도인 결함이다. 나머지 두 영상은 찍힘 결함으로 필름이 찍혀서 어두운 부분과 밝은 부분이 이웃하여 획득 되어지는 특징이 있다. FFT 방법과 제안한 방법 모두 결함을 잘 찾아내지만 동일한 임계치에 대한 결함의 영역 임화계 측면에서 제안한 방법이 개선된 검출 결과를 보여준다.



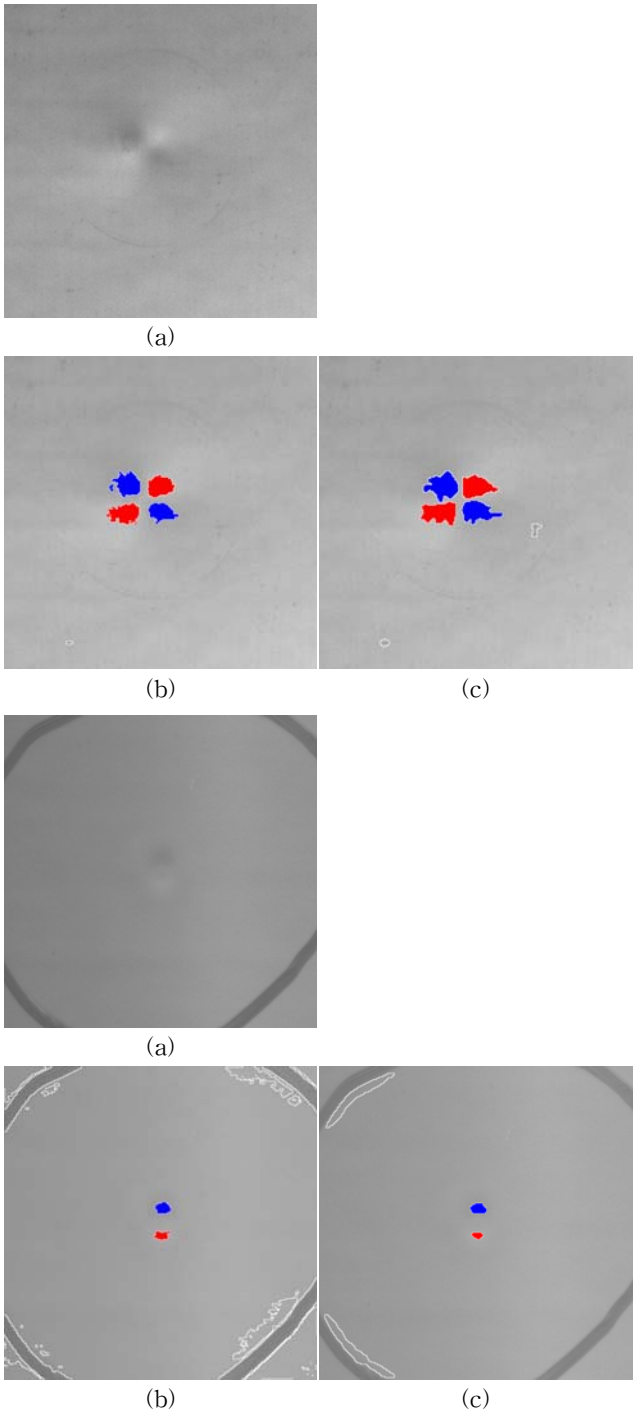


그림 8. (a) 결함 영상 (b) FFT 검출 결과
(c) 제안 방법 검출 결과
Fig. 8. (a) Defect Image (b) Results of FFT method
(c) Results of proposed method

5. 결 론

웨이블릿 변환은 푸리에 변환에서 나타내지 못하는 보다 상세한 스케일 정보를 제공한다. 본 논문에서는 이를 이용하여 조명에 의한 영상의 휘도 변화를 1차 미분 가우스 웨

이블릿을 사용하여 휘도 불균형을 제거 하고 편광필름 결함 검사에 필요한 고주파 성분인 결함 요소는 살려두는 것에 초점을 둔 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방법으로 2차원 연속 웨이블릿을 이용하여 영상의 배경 휘도성분을 효율적으로 제거할 수 있고 1차원 가우스 미분 웨이블릿을 사용하여 제안된 알고리즘으로 편광 필름의 영상 내에 존재하는 국부적인 결함을 신뢰성 있게 검출할 수 있었다. 실험 결과를 보면 2차원 연속 웨이블릿을 이용한 결함검출 방법이 FFT 방법에 비해 개선된 검출 결과를 보여준다.

참 고 문 헌

[1] 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

[2] Unser, M., Daubechies, I., "On the approximation power of convolution-based least squares versus interpolation", *Signal Processing, IEEE Trans. On*, vol. 45, Issue 7, pp.1697-1711, 1997.

[3] Katkovnik, V., "Discrete-time local polynomial approximation of the instantaneous frequency", *Signal Processing, IEEE Trans. On*, vol. 46, Issue 10, pp. 2626-2637, 1998.

[4] S. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation", *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence 11* (1989) 674 - 693.

[5] J. Antoine, R. Murenzi, P. Vandergheynst, S. Ali, *Two-Dimensional Wavelets and their Relatives*, Cambridge University Press, Cambridge, 2004.

[6] J. Antoine, D. Barache, R. Cesar, L. Fontoura Costa, *Signal Process*. 62 (1997) 265.

[7] B.TORRESSANI, *Analyse Continue par Ondelettes*, Ed. SAVOIR ACTUELS, Edition ICNRS Editions, 1995, pp 26-28.

[8] S.DUMONT. *Ondelettes Homogeneization Periodiq-ue et Elastisité*, Thèse, Montpellier II, 1996.

저 자 소 개

정창도(Chang-Do Jung)
2005년 : 경북대학교 수학과 학사
2007년 : 경북대학교 수학과 석사
2007년~현재 : 경북대학교 수학과 박사과정

관심분야 : 행렬해석학, 최적화, 영상신호처리, 컴퓨터 비전 등
Phone : 053-950-6834
Fax : 053-950-6306
E-mail : cdjung@knu.ac.kr

김세윤(Se-Yun Kim)
한국지능시스템학회 논문지 2009. Vol 19. No.3 참조

윤병주(Byoung-Ju Yun)
1993년 : 경북대학교 전자공학과 학사
1996년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
2002년 : 한국과학기술원 전자전산학과 박사
2003년~현재 : 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 부교수

관심분야 : 영상신호처리, 영상압축, 객체기반 영상 부호화, 객체 추적 컴퓨터 비전 등
Phone : 053-950-7329
Fax : 053-950-5508
E-mail : bjisyun@ee.knu.ac.kr

주영복(Young-Bok Joo)
한국지능시스템학회 논문지 2009. Vol 19. No.3 참조

최병재(Byung-Jae Choi)
한국지능시스템학회 논문지 2009. Vol 19. No.3 참조

박길흠(Kil-Houm Park)
한국지능시스템학회 논문지 2009. Vol 19. No.3 참조