
특이값 분해를 이용한 편광필름 결함 검출

장경식*

Defect Inspection of the Polarizer Film Using Singular Vector Decomposition

Kyung-Shik Jang*

이 논문은 2006년도 동의대학교 교내학술연구 지원사업 연구비(과제번호 2006AA184)를 지원받았음

요 약

이 논문에서는 LCD에 사용되는 편광필름 영상에서 결함을 검출하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 결함의 지역적인 특징을 이용하는 것이 아니라 특이값 분해를 이용하여 영상의 전역적인 정보를 반영하는 방법이다. 편광 필름 영상을 특이값 분해하고 특이값 중에서 첫 번째 특이값만을 사용하여 영상을 재구성하면 재구성한 영상에서 정상 부분의 화소값과 결함 부분의 화소값들은 서로 다른 특성을 나타낸다. 입력 영상과 재구성한 영상의 화소값 비를 구하고 확률론적 방법을 사용하여 결함을 검출하였다. 제안한 방법을 이용하여 여러 가지 결함을 갖는 편광필름 영상에서 결함을 검출한 결과 검출력이 매우 우수한 것으로 나타났다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a global approach for automatic inspection of defects in the polarizer film image. The proposed method does not rely on local feature of the defect. It is based on a global image reconstruction scheme using the singular value decomposition(SVD). SVD is used to decompose the image and then obtain a diagonal matrix of the singular values. Among the singular values, the first singular value is used to reconstruct a image. In reconstructed image, the normal pixels in background region have a different characteristics from the pixels in defect region. It is obtained the ratio of pixels in the reconstructed image to ones in the original image and then the defects are detected based on the the statistical process of the ratio. The experiment results show that the proposed method is efficient for defect inspection of polarizer film image.

키워드

편광필름, LCD, 결함검출, 특이값 분해

I. 서 론

액정 디스플레이(LCD)에 사용되는 편광필름(polarizer film)은 파장에 따라 불필요한 빛은 차단하고 반사시켜 LCD의 휘도 및 시야각을 높이면서도 전력을

50%까지 줄일 수 있는 기능성 제품이다. LCD 모듈의 백라이트(backlight)에서 나오는 빛의 진동 방향은 모든 방향으로 같은 확률을 가진다. 편광필름은 이러한 빛 중에서 편광 축과 동일한 방향으로 진동하는 빛만 투과시키고 그 외의 나머지 방향으로 진동하는 빛은 흡수 또는 반

* 동의대학교 멀티미디어공학과 부교수

사하여 특정한 한 방향으로 진동하는 빛을 만드는 역할을 한다.

편광필름의 제조, 운반이나 보관 과정에서 편광필름 상에는 많은 종류의 결함이 발생하게 된다. 의복의 실오라기나 접착제 등이 유입된 불량인 실오라기 결함, 덩어리 형태의 이물이 편광 필름 내부의 필름 층 사이에 존재하는 쿠닉(cunic) 결함, TAC(Tri Acetyl Cellulose)나 PVA(Poly Vinyl Alcohol)가 심하게 긁힌 스크래치(scratch), 접착제 코팅시 형성되는 기포 결함, 그리고 보호 필름 사이에 이물이 존재하는 결함 등 매우 다양한 형태를 지닌다[1, 2]. 현재 이러한 결함의 검사는 작업자의 시각 검사에 의존하고 있으나 LCD 화면의 대형화로 인하여 편광필름의 여러 가지 결함을 정확하게 인식하는 것은 매우 지루하고 어려운 작업이기 때문에 결함 검사의 자동화가 필수적이다.

편광필름이나 LCD와 같은 표면의 결함 검사(defect inspection)를 위한 여러 가지 방법들이 제안되었다. Sokolov[3]는 LCD 판넬(panel)의 결함을 검출하기 위하여 결함이 없는 LCD 영상과 입력 영상과의 평균 밝기를 비교하는 방법을 제안하였다. Nakashima[4]는 LCD 컬러 판넬에서 결함을 찾기 위하여 기준 영상과 입력 영상간의 차를 구하여 흑점과 백점 결함을 검출하였으며, 크기가 상대적으로 큰 이물 결함을 찾기 위하여 광학 푸리에 필터(optical fourier filter)를 사용하였다. Tsai[5]는 편광 필름 영상과 흡사한 가죽(leather) 영상에서 표면의 결함을 인식하기 위하여 FFT(Fast Fourier Transform)을 사용하였다. 입력영상에 FFT를 수행한 후 파워 스펙트럼에서 차단 주파수(cutoff frequency)를 구하고 차단 주파수 이상의 주파수 성분과 중심 주파수 성분을 제거하여 배경을 제거함으로써 결함을 검출하였다. Jiang[1]는 LCD 영상에서 무라(mura) 형태의 결함을 검출하는 방법을 제안하였다. 분산분석(analysis of variance) 방법을 사용하여 영상에 결함이 존재하는지 판단하고 EWMA(exponential weighted moving average) 방법을 사용하여 결함의 위치를 발견하였다. Lu[6]는 특이값 분해(Singular Value Decomposition, SVD)를 사용하여 TFT LCD 영상에서 결함을 검출하였다. 입력 영상을 특이값 분해한 후 배경성분에 해당하는 특이값들을 제거하고 재구성(reconstruction)함으로써 격자모양의 배경성분을 제거하고 결함을 검출하였다. Lee[7]는 LCD 영상에서 무라 결함을 검출하는 방법을 제안하였다. 회귀진단

(regression diagnostics) 방법과 이진화 방법으로 영상에서 무라 후보 영역을 찾아내고 인간 시각의 인지 능력을 기반으로 하는 무라 측정치를 정의하여 무라를 검출하였다. 또한, 동축 조명을 설치하여 얻은 영상에서 중간값 필터(median filter)를 이용하여 잡음을 제거하고 이진화 후 침식(erosion)과 팽창(dilation)을 수행하여 결함을 검출하는 연구가 있다.[8].

이 논문에서는 특이값 분해를 이용하여 편광 필름 영상을 분해하고 재구성하는 과정에서 정상 부분과 결함 부분의 화소값(pixel value) 변화 차이를 기반으로 편광 필름의 결함을 검출하는 방법을 제안하였다. 편광필름 영상을 특이값 분해한 후 특정 특이값을 제거하고 재구성한 영상과 원 영상의 각 화소값 비를 구한다. 이후 화소값 비에 확률론적 방법을 적용하여 결함을 검출하였다. 제안한 방법을 이용하여 여러 가지 결함을 갖는 편광 필름 영상에서 결함을 검출한 결과 검출력이 매우 우수한 것으로 나타났다.

II. 특이값 분해를 이용한 영상분석

특이값 분해를 수행하여 영상을 분해하면 특이벡터들의 두 직교 행렬과 하나의 대각 행렬을 얻을 수 있다. 특이값 분해는 행렬을 분해하기 위한 직교기저에 근거하며 특이값은 각 부공간으로 투영된 행렬의 에너지를 표현한다[9].

크기가 $M \times N (M \geq N)$ 인 입력 영상을 행렬 A 로 간주하면 주어진 영상은 (식 1)과 같이 r 차원의 부공간에서 표현될 수 있으며 이때 r 은 행렬 A 의 계수(rank)이고 $r \leq N$ 이 성립한다[10, 11, 12]. (식 1)에서 행렬 U 는 $M \times N$ 행렬로서 V 의 열벡터(column vector)들은 AA^T 의 고유벡터(eigen vector)들이고 행렬 V 는 $N \times N$ 행렬로서 V 의 열벡터들은 $A^T A$ 의 고유벡터들이며, U 와 V 는 직교행렬(orthogonal matrix)이다. 행렬 S 는 대각선 성분이 실수로서 (식 2)의 성질을 만족하는 $N \times N$ 대각행렬이다. 이때, 행렬 S 의 대각선 성분 $\{\sigma_i\}$ 은 행렬 A 의 특이값(singular value)이다. 특이값과 특이값 분포는 영상의 내용에 대한 유용한 정보를 함유한다.

$$A = USV^T \quad (1)$$

$$= \begin{pmatrix} U \\ \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2 & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_r & \dots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \ddots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \sigma_q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V^T \\ \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\sigma_1 \geq \dots \geq \sigma_r \geq \sigma_{r+1} = \dots = \sigma_q = 0$$

where $q = \min(M, N)$

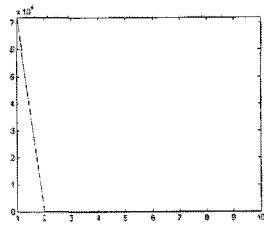


그림 1. 특이값 분포
Fig. 1. Singular value distribution

(그림 1)은 결함이 없는 편광필름 영상을 특이값 분해하고 특이값들의 분포를 나타낸 것이다. 결함의 존재와 무관하게 모든 편광필름 영상을 특이값 분해하면 (그림 1)과 같이 첫 번째 특이값인 σ_1 만이 매우 큰 값이고 나머지 특이값들은 첫 번째 특이값에 비해 매우 작은 값이 나타난다.

III. 특이값 분해를 이용한 결함검출

3.1 행렬의 재결합을 이용한 영상 재구성

일반적으로 특이값 분해를 이용하여 영상을 부공간으로 투영하고 여러 성분으로 분해하였을 때 큰 값의 지배적인 특이값들은 영상의 에너지를 가장 많이 갖는 성분으로 원 영상의 전역적인 정보를 표현한다. 작은 값을 갖는 특이값들은 영상의 에너지가 작은 성분에 해당하며 영상의 지역적이고 예외적인 패턴에 해당한다.

특이값 분해과정에서 특이값이 크기순으로 재정되어 대각 행렬화 했으므로 특이값의 개수를 조정하여도 처음에 주어진 영상의 정보를 크게 손상시키지 않는다. (식 3)은 특이값 $\sigma_1 \dots \sigma_{k-1}$ 을 제거하고 영상을 재구성 (reconstruction)하는 방법을 나타낸 것이다. 이 식에서

\widehat{A}_{kr} 는 재구성된 영상이며, U_i 와 V_i 는 각각 U 와 V 의 i 번째 열 벡터들이며, σ_i 는 S 의 i 번째 특이값이고 r 은 행렬 A 의 계수이다.

$$\widehat{A}_{kr} = \sum_{i=k}^r U_i \sigma_i V_i^T \quad (3)$$

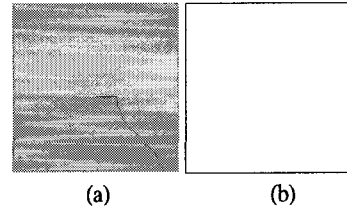


그림 2. 결함영상과 재구성한 영상
Fig. 2. Test image and Reconstructed image

Lu[6]의 연구에서는 TFT-LCD 영상에서 결함을 찾기 위하여 지배적인 몇 개의 특이값을 제거하고 영상을 재구성함으로써 결함을 찾는 방법을 사용하였다. 그러나 이 방법을 이 연구에서 사용하는 편광 필름 영상에 적용하기는 어렵다. (그림 2)의 (a)는 결함 영상이고 (b)는 특이값 분해하여 첫 번째 특이값인 σ_1 만을 제거하고 재구성한 것이다. 첫 번째 특이값만을 제거하여도 결함부분까지 모두 제거되는 결과가 발생한다.

3.2 특이값 분해를 이용한 결함검출

(표 1)은 (그림 2) (a) 영상과 같이 검은색의 결함을 갖는 편광필름 영상을 특이값 분해한 후 특이값 개수를 변화하며 재구성한 영상에서 결함부분의 화소와 결함이 아닌 부분의 화소에 대하여 화소값(pixel value) 변화를 나타낸 것이다. (표 1)에서 A 는 원영상 (x, y) 위치에서의 화소 값, \widehat{A}_{1k} 는 (식 4)와 같이 특이값 $\sigma_1 \dots \sigma_k$ 만을 사용하여 재구성한 영상 (x, y) 위치에서의 화소값이다. 결함이 아닌 부분의 화소값들은 재구성시 사용하는 특이값 개수에 무관하게 거의 일정한 값을 유지하는 반면에 결함에 해당하는 화소들의 값은 첫 번째 특이값만을 사용하여 재구성하는 경우에 결함이 아닌 화소값과 비슷한 값으로 변화하며, 두 번째 특이값을 사용했을 때부터 원래 값과 비슷하게 됨을 알 수 있다.

$$\widehat{A}_{1k} = \sum_{i=1}^k U_i \sigma_i V_i^T \quad (4)$$

표 1. 특이값에 따른 화소값 변화
Table. 1. Pixel value variation

	정상 화소_1	정상 화소_2	정상 화소_3	불량 화소_1	불량 화소_2
A	144	138	133	119	109
\widehat{A}_{11}	143	141.2	143	142.2	138.8
\widehat{A}_{12}	144.3	141.1	143	140.7	118.9
\widehat{A}_{13}	143.6	141.6	143.1	140.6	118.1
\widehat{A}_{14}	143.7	142	143.1	140.5	118

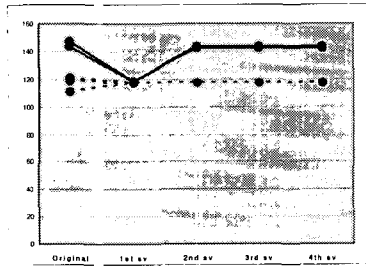


그림 3. 흰 색 결함영상에서 화소값 변화
Fig. 3. Pixel value variation at an image with white defect

(그림 3)은 흰색 결함을 가진 결함 영상을 특이값 분해 후 특이값 개수를 변화하며 재구성한 영상에서 각 화소의 값 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 결함이 아닌 화소에서의 값 변화를 점선으로, 결함인 화소에서의 값 변화를 실선으로 표시하였다. 결함이 아닌 화소의 값들은 특이값 개수에 무관하게 거의 일정한 값을 유지하지만 결함에 해당하는 화소의 값은 첫 번째 특이값만을 사용하여 재구성하였을 때 결함이 아닌 화소의 값과 비슷한 값으로 변화하고 두 번째 특이값을 사용했을 때부터 원래 값으로 됨을 알 수 있다.

결함이 흰색이든 검은색이든 무관하게 첫 번째 특이값만을 사용하여 재구성하면 결함이 아닌 화소들은 원 영상에서의 화소값과 비슷한 값을 가지며, 결함 화소의 값은 결함이 아닌 부분의 화소값과 비슷한 값으로 변함을 알 수 있다.(표 2)와(표 3)은 검은색 결함과 흰색 결함을 있는 영상에서 특이값 $\sigma_1 \dots \sigma_k$ 만을 사용하여 재구성한 영상의 화소값과 원 영상에서의 화소값 비를(식 5)

에 따라 구한 것이다. 이 식에서 $A(x, y)$ 는 원영상 A 의 (x, y) 위치에 있는 화소값을 나타내고, $\widehat{A}_{1k}(x, y)$ 는 특이값 $\sigma_1 \dots \sigma_k$ 만을 사용하여 재구성한 영상의 (x, y) 위치에 있는 화소값이다.

표 2. 검은 색 결함영상에서 화소값비
Table. 2. Pixel value ratio at an image with black defect

	정상 화소_1	정상 화소_2	정상 화소_3	불량 화소_1	불량 화소_2
R ₁₁	0.99	1.02	1.08	1.19	1.27
R ₁₂	1.00	1.02	1.08	1.18	1.09
R ₁₃	1.00	1.03	1.08	1.18	1.08
R ₁₄	1.00	1.03	1.08	1.18	1.08

표 3. 흰 색 결함영상에서 화소값비
Table. 3. Pixel value ratio at an image with white defect

	정상 화소_1	정상 화소_2	정상 화소_3	불량 화소_1	불량 화소_2
R ₁₁	0.97	0.99	1.05	0.80	0.82
R ₁₂	0.97	0.99	1.05	0.97	0.99
R ₁₃	0.97	0.99	1.05	0.97	0.99
R ₁₄	0.97	0.99	1.05	0.97	0.99

$$R_{1k}(x, y) = \frac{\widehat{A}_{1k}(x, y)}{A(x, y)} \quad (5)$$

(표 2)와(표 3)에서 보듯이 결함이 아닌 정상화소인 경우에는 모든 경우에 재구성한 영상에서의 화소값과 원 영상에서의 화소값 비가 1.0 과 비슷한 값을 갖는다. 이에 반해 검은색의 결함에 해당하는 화소의 경우에는 첫 번째 특이값을 사용하여 재구성한 영상의 화소값과 원영상의 화소값 비가 1.0 보다 큰 값을 갖고, 흰색 결함에 해당하는 화소의 경우에는 1.0 보다 작은 값을 갖는다.

3.3 통계적인 방법을 이용한 결함 검출

이 논문에서는(표 2)와(표 3)의 결과를 이용하여 편광필름 영상에서 결함을 검출하였다. 영상을 특이값 분해하고 첫 번째 특이값만을 사용하여 재구성하였을 때 원 영상과 재구성된 영상의 화소값들의 비를 구하고 이 값이 1.0 과 비슷한 값이면 결함이 아닌 부분에 해당하는 화소로 판정하고 1.0 보다 크거나 작은 값인 경우에는 결

합화소로 판정한다. 결함 부분은 전체 영상에 비하여 크기가 작기 때문에 결함에 해당하는 화소들은 적은 수이며 대부분의 화소들은 정상화소에 해당한다. 이 연구에서는 정규분포를 이용하는 다음의 과정을 통하여 특정 화소가 결함에 속하는 화소인지를 판단하였다.

(과정 1) (식 5)를 이용하여 영상의 모든 화소에 대한 $R(x, y)$ 를 구한다.

(과정 2) 화소값 비를 나타내는 R 의 평균과 분산을 (식 6)에 따라 구하여 R 의 정규분포를 구한다.

$$m_R = \frac{1}{HW} \sum_{y=1}^H \sum_{x=1}^W R(x, y) \quad (6)$$

$$\sigma_R^2 = \frac{1}{HW} \sum_{y=1}^H \sum_{x=1}^W (m_R - R(x, y))^2$$

(과정 3) (식 7)을 만족하는 화소는 결함에 해당하는 화소로, 만족하지 않는 화소는 정상화소로 판정한다. Low_R 과 $High_R$ 은 (식 8)과 (식 9)를 이용하여 구한다. 이 식에서 K, B_U, B_L 은 상수들이다.

$$R(x, y) < Low_R \text{ or } R(x, y) > High_R \quad (7)$$

$$High_R = B_U \quad \text{if } m_R + K\sigma_R < B_U \quad (8)$$

$$High_R = m_R + K\sigma_R \quad \text{if } m_R + K\sigma_R \geq B_U$$

$$Low_R = B_L \quad \text{if } m_R - K\sigma_R > B_L \quad (9)$$

$$Low_R = m_R - K\sigma_R \quad \text{if } m_R - K\sigma_R \leq B_L$$

IV. 실험 및 고찰

이 연구에서 제안한 방법의 결함 검출력을 실험하기 위하여 흑점 결함, 백점 결함, 실오라기 결함, 이물 결함, 눌림 결함 등의 다양한 결함을 갖는 편광필름 영상을 사용하여 결함 검출을 수행하였다. 해상도 2K의 line scan 카메라를 사용하여 취득한 암영 영상(gray image)을 256×256 크기로 자르고 실험영상으로 사용하였다.

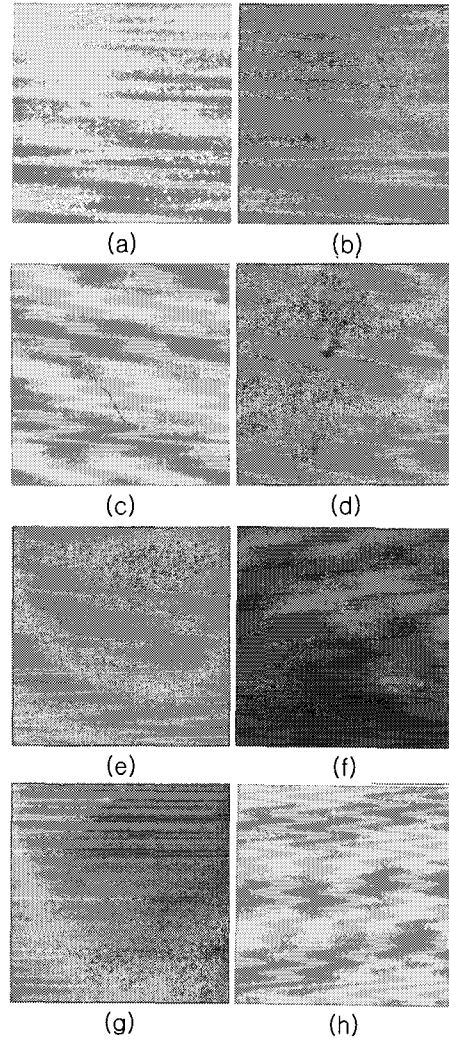


그림 4. 실험 영상
Fig. 4. Test images

(그림 4)는 실험영상들로 (a)는 결함이 없는 영상이며 (b)~(h)는 다양한 결함이 있는 영상들이다. (b) 영상은 중앙 부분에 흑점 결함, (c) 영상은 실오라기 결함, (d) 영상은 중앙 부분에 이물결함, (e) 영상은 오른쪽 하단 부분에 백점결함, (f) 영상은 오른쪽 하단 부분에 크기가 큰 눌림 결함, (g)와 (h) 영상은 위 부분과 중앙부분에 눌림 결함이 존재한다. (그림 5)는 결함을 검출한 결과이다. 검출한 결함은 결함을 둘러싸는 사각형으로 표시하였다. 결함이 없는 영상의 경우 결함이 전혀 검출되지 않았으며 결함이 있는 영상의 경우 모든 결함이 검출되었다. (그

림 5)의 (f)는 크기가 큰 늘림인 경우에 사람이 눈으로 보기에 결함의 경계를 찾기 어려우나 결함부분을 정확하게 검출하였다.

(그림 6)의 (a), (b)는 (그림 4)의 (e)와 (h) 영상에서 결함 부분이 매우 작기 때문에 결함 부분을 확대하여 나타낸 것으로 (a)는 작은 흰점 결함이며 (b)는 늘려진 결함이다. (그림 6)의 (b)에서 중앙의 늘림 결함뿐만 아니라 늘림 결함 밑 부분에 작은 흑점 결함이 존재함을 알 수 있으며, 검출 결과인 (그림 5)의 (h) 영상에서는 이 부분을 정확하게 검출하였을 뿐만 아니라 여러 곳에 있는 크기가 작은 결함들을 정확하게 검출하였음을 알 수 있다.

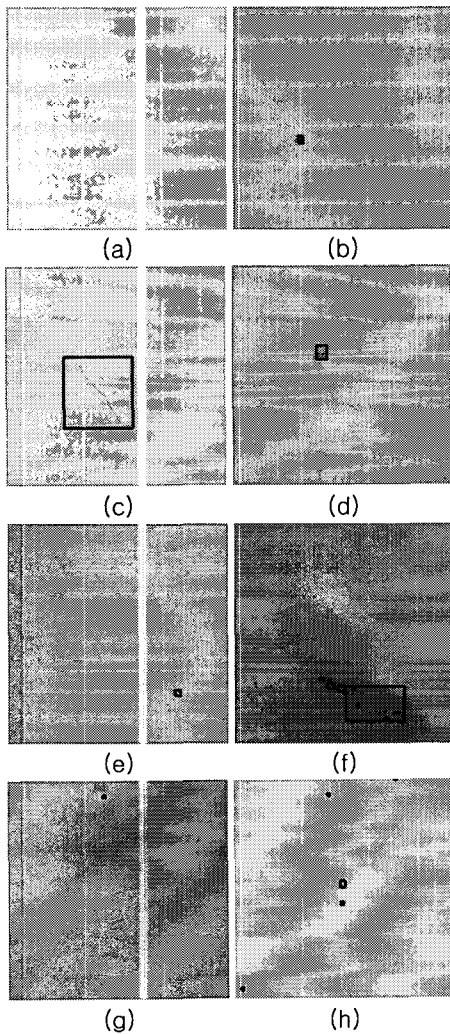


그림 5. 결함 검출 결과
Fig. 5. Experiment results

특이값 분해하는 과정에서 영상의 크기가 크면 많은 처리시간이 필요하기 때문에 이 연구에서는 입력 영상을 작은 크기의 부영상(sub image)으로 분할하고 각 부영상을 특이값 분해한 후 다시 원 영상크기로 결합하여 결함을 검출하였다. (표 4)는 512*512 크기의 영상에 대해 부 영상 크기를 변화시켰을 때 전체 수행시간을 나타낸 것이다. 부 영상의 특정 크기를 기준으로 부 영상의 크기가 작아지거나 커질수록 수행시간이 늘어나고 있음을 알 수 있다. 이는 부영상의 크기가 작아지는 경우에는 부영상의 특이값 분해 수행시간이 짧아지는 반면에 전체 영상을 부영상으로 분할하고 다시 합치는 과정에 많은 시간이 필요하기 때문이다. 반면에 부 영상의 크기가 커지는 경우에는 특이값 분해의 수행시간이 많이 소요되기 때문에 전체적으로 많은 시간이 소요되었다.

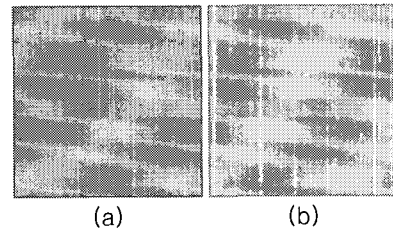


그림 6. 결함 확대 영상
Fig. 6. Enlarged defect image

표 4. 부영상 크기별 처리시간

부영상 크기(화소)	수행시간(초)
8×8	0.54
16×16	0.42
32×32	0.48
40×40	0.53
48×48	0.64

V. 결 론

이 논문에서는 편광필름 영상을 특이값 분해한 후 몇 개의 특이값을 제거하고 재구성한 영상과 원 영상의 각 화소값 비를 구하고 통계적인 방법을 사용하여 결함을 검출하였다. 제안한 방법을 이용하여 여러 가지 결함을 갖는 편광필름 영상에서 결함을 검출한 결과 검출력이 매우 우수한 것으로 나타났다. 이 논문에서 제안한 특이

값 분해를 이용한 결함 검출 방법은 편광필름, 프리즘시트, 확산판, 유리 등의 결함을 검출하는 분야에 사용될 수 있다.

향후 연구과제로는 특이값 분해 알고리즘을 개선하여 결함 검출시간을 보다 단축하는 연구가 필요하다.

참고문헌

[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] W. K. Pratt, S. S. Sawkar and K. O'reilly, "Automatic blemish detection in Liquid Crystal Flat Panel Display," SPIE Symposium on Electronic Imaging, 1998.

[3] Sokolov, S. M. and Treskunov, A. S., "Automatic Vision System for Final Test of Liquid Crystal Display," IEEE Internation Conference on Robotics and Automation, pp. 1578-1582, 1992.

[4] Nakashima, M, "Hybrid Inspection System for LCD Color Filter Panels," Proceeding of SPIE, San Diego, USA, pp. 407-418, 1994.

[5] Du-Ming Tsai, Tse-Yun Huang, "Automated Surface Inspection for Statistical Textures," Image and Vision Computing, pp. 307-323, 2003.

[6] C-J Lu and D-M TSAI, "Defect Inspection of Patterned Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display Panels using a Fast Sun-Image-based Singular Value Decomposition," International Journal of Production Research, Vol. 42, No. 20, pp. 4331-4351, Oct., 2004.

[7] 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.

[8] 박종성, 정규원, 강찬구, "비전 시스템을 이용한 LCD용 편광 필름의 결함 검사에 관한 연구", 한국공작기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 164-169, 2002.

[9] D.P. Berrar, W. Dubitzky, M. Granzow, "Singular Value Decomposition and Principal Component Analysis," A Practical Approach to Microarray Data Analysis, pp. 91-109, 2004.

[10] D. A. Forsyth and J. Ponce, "Computer Vision : A Modern Approach," Prentice Hall, 2003.

[11] Liu R. and Tan T., "An SVD-Based Watermarking Scheme for Protecting Rightful Ownership," IEEE Transactions on Multimedia, 4, pp. 121-128, 2002.

[12] Chung K. L., Shen C. H. and Chang L. C., "A Novel SVD-and VQ-Based Image Hiding Scheme," Pattern Recognition Letters, 22, pp. 1051-1058, 2002.

저자소개



장 경 식(Kyung-Shik Jang)

연세대학교 공학사(전자공학)
연세대학교 공학석사(전자공학)
연세대학교 공학박사(전자공학)

1998년 - 현재 동의대학교 멀티미디어공학과 부교수
*관심분야: 컴퓨터 비전, 패턴 인식, 인공지능 등