

論文2001-38SP-11-5

잡음에 강건한 주목 연산자를 이용한 효과적인 BLU 얼룩 검사

(An Efficient BLU Inspection Using Noise-Tolerant Context-free Attention Operator)

朴昶俊*, 崔興文**

(Chang-Joon Park and Heung-Moon Choi)

요약

본 논문에서는 BLU(back light unit) 검사에 적합하도록 잡음에 강건한 일반화 대칭 변환을 주목 연산자로 제안하여 적용함으로써 형태와 크기 및 명도가 다양한 BLU 얼룩들을 효과적으로 검출하였다. 제안한 주목 연산자는 두 최소 명도변화의 크기와 대칭성뿐만 아니라 그 방사(radial)방향의 수렴 및 발산 극성도 반영시켜 잡음이나 불규칙한 배경영상의 양극성 대칭도 누적을 상쇄시킴으로써 명도분포가 일정치 않고 복잡한 무늬의 배경을 갖는 BLU 특유의 검사영상으로부터 얼룩만을 효과적으로 검출할 수 있도록 하였다. CCD 카메라로 입력된 고해상도의 BLU 검사영상에 대해 실험하여 BLU 얼룩 검사에 효과적으로 활용할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this paper, a noise-tolerant generalized symmetry transform(NTGST) is proposed as an effective attention operator for the spot detection in BLU inspection, in which various spots with variable sizes, shapes, gray levels, and low contrast, should be detected from the complex, noisy background with lattice shaped shading. The proposed NTGST takes into account the polarity of convergence and divergence of the radial orientation of the intensity gradient as well as its magnitude and symmetry, and thereby can detect only the BLU spots from the noisy and lattice shaped shadows of background. Experiments are conducted on the BLU inspection image obtained by CCD camera, and the proposed NTGST is proved to be effectively used in BLU inspection.

I. 서론

최근, LCD(liquid crystal display)에 대한 수요 급증에 따라 그 생산량도 매년 꾸준히 늘어나고 있다.

* 正會員, 韓國電子通信研究院 假想現實研究部
(Virtual Reality R&D Department Electronics and Telecommunications Research Institute)

** 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部
(The School of Electronics and Electrical Engineering, Kyungpook National University)

接受日字:2001年3月6日, 수정완료일:2001年10月11日

BLU(back light unit)는 LCD의 후면부를 비추는 부품으로서 얼룩(spots)과 같은 결함이 있으면 LCD의 해당 화소에서 색상을 제대로 표현하지 못하게 된다. 완제품의 LCD와는 달리 BLU 자체는 조도 변조가 안 되는 광원을 갖고 있기 때문에 BLU의 얼룩 검사에서는 LCD에서와는 달리 검사목적의 다양한 패턴(pattern)을 발생시키지 못한다. 따라서 얼룩을 별도로 강조하는 방법이 없기 때문에 얼룩과 배경과의 명도 차이가 거의 없는 상태로 검사영상이 얻어진다.

BLU 얼룩에는 배경보다 밝은 얼룩(백점, white spot)과 어두운 얼룩(흑점, black spot)이 있으며 그 명도가 일정하지 않기 때문에 기존의 임계치 기법[1-3]을 적용

하여 검출하기가 어렵다. 또한, 그 크기와 형태도 일정하지 않으므로 정합 방법^[4-6]을 적용하기도 어렵다. 그리고, 배경의 명도가 일정하지 않을 뿐 아니라 정밀검사를 위해 고해상도로 고대비(high contrasted)영상을 취득하면 내부 구조에 의한 사각형, 육각 벌집 구조, 원 등의 복잡한 격자 무늬의 음영이 두드러지게 나타나므로 분할 기법^[7-9]이나 기존의 일반화 대칭 변환(generalized symmetry transform: GST) 기반 주목 연산자^[10]의 적용도 어렵다. 따라서, 양질의 BLU를 대량 생산할 수 있도록, 얼룩의 형태와 크기 및 명도에 대한 사전 정보 없이도 배경 격자 모양의 음영에 영향을 받지 않고 얼룩을 자동 검출할 수 있는 특수 주목 연산자 및 이를 이용한 효과적인 BLU 검사에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 BLU 얼룩검사에 적합한 주목연산자로서 잡음에 강건한 일반화 대칭 변환 NTGST(noise-tolerant generalized symmetry transform)를 제안하고, 이를 적용하여 전술한 BLU 얼룩들을 효과적으로 검출하였다. 제안한 NTGST에서는 두 화소 명도변화의 크기와 대칭성뿐만 아니라 방사방향의 수렴 및 발산 극성도 누적 대칭도에 반영시킴으로써 잡음이나

복잡한 배경음영의 영향을 받지 않고 형태와 크기 및 명도가 다양한 얼룩만을 효과적으로 검출하였다. CCD 카메라로 입력받은 고해상도 BLU 영상에 제안한 주목 연산자를 적용하여 실험하고, 그 결과를 검토 고찰하여 실용성을 확인하였다.

II. BLU 영상 모델 및 주목 연산자의 제안

제안한 BLU 얼룩 검사 알고리즘은 그림 1과 같다. 먼저, 입력된 영상에 경사 연산자(gradient operator)^[11]를 사용하여 대칭 변환에 필요한 각 화소의 명도변화의 크기와 방향을 구한다. 그리고, NTGST를 이용하여 각 화소 쌍들의 대칭점에 대한 대칭 기여도(symmetry contribution)를 누적하여 대칭도 맵(symmetry magnitude map)을 구한 다음 대칭도 첨두 위치를 구하여 BLU 얼룩을 검출한다.

1. BLU 검사영상

BLU는 LCD의 후면부를 비추는 부품으로서 무수히 많은 셀(cell)로 구성된 확산판(diffuser sheet), 빛을 모아 주는 가로 프리즘판(horizontal prism sheet)과 세로 프리즘판(vertical prism sheet), 내부 판들을 외부 충격으로부터 보호하는 보호판(protector sheet) 등이 정밀하게 정렬되어 있어야만 제 기능을 하도록 되어 있다. 이와 같이 여러 장의 판을 겹쳐 정렬했기 때문에, BLU 표면 영상을 고해상도로 취득해 보면 내부 판의 밀착

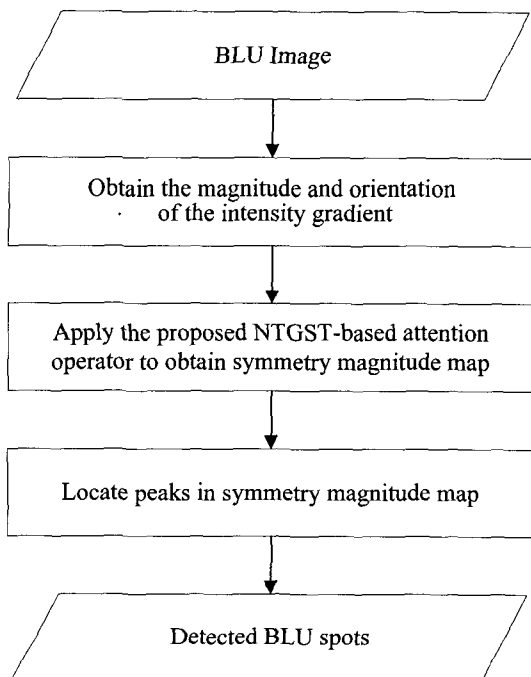


그림 1. 제안한 BLU 얼룩 검출 알고리즘의 흐름도
Fig. 1. Flow chart for the proposed BLU spot detection algorithm.

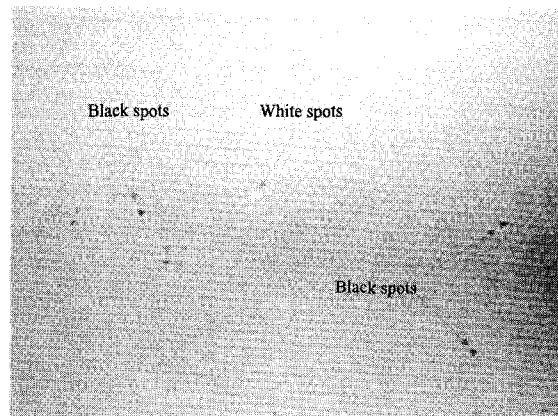


그림 2. 3.00cm×2.25cm의 BLU 표면 영역을 640×480 크기로 취득하여 고대비로 표현한 BLU 검사 영상 (해상도: 47 μ m/pixel)

Fig. 2. Highly contrasted 640×480 inspection image for 3.00cm×2.25cm of the BLU surface. (Resolution: 47 μ m/pixel).

지점에서는 사각형, 육각 벌집 구조, 원, 줄무늬 등 격자 모양의 음영이 나타난다. 그리고, 한 개 혹은 두 개의 광원에서 발생하는 빛을 여러 장의 판을 통해 확산시키는 방식이므로 완전히 고르게 빛을 확산시키기 어렵기 때문에 표면에는 명도 분포 변화도 발생한다. 또한, 상대적으로 배경보다 밝은 백점과 배경보다 어두운 흑점이 있으며, 이러한 얼룩들은 배경과의 명도차도 거의 없고 그 형태도 일정하지 않다. 이와 같은 특징은 그림 2의 BLU 검사영상 예에서 쉽게 확인할 수 있다.

그림 2에서 보는 바와 같이 BLU 표면은 명도 분포가 균일하지 않을 뿐 아니라 좀 더 명백히 조사하기 위해 대비를 높이면 배경에 격자 모양의 음영이 나타나며, 또한 제조상의 결함으로 인해 배경보다 어두운 얼룩과 배경보다 밝은 얼룩이 나타나기는 하나 이들은 크기가 작고 대비도 높지 않다. 이러한 얼룩의 형태와 크기는 그림에서와 같이 다양하며 배경과의 명도 차이도 거의 없어서 육안 검사가 어렵다. 이와 같은 BLU 영상을 정밀 검사하려면 검출 대상 얼룩의 형태와 크기 및 명도에 대한 사전 정보 없이도 얼룩을 자동 검출할 수 있어야 하고, 특히 배경에 격자 모양의 음영이 있어도 얼룩만을 검출할 수 있어야 한다.

2. 잡음에 강건한 주목 연산자의 제안

BLU의 얼룩을 용이하게 검출하기 위하여 배경의 명도 분포가 다양하며 격자 모양의 음영이 있는 상황에서도 검출 대상 얼룩만을 검출할 수 있는 잡음에 강건한 주목 연산자를 제안하였다. 제안한 주목 연산자는 일정 영역 안에 있는 화소들에 대해 각 화소의 명도 변화의 크기와 모든 방향에 대한 명도 변화 방향의 대칭성 및 그 수렴과 발산 극성을 고려하여 화소 쌍들의 대칭점에 대한 대칭 기여도를 누적함으로써 영상 내에서 대칭성이 강한 부분을 부각시키도록 하였다.

먼저, 각 화소의 명도 변화의 크기 r_k 와 그 방향 θ_k 는 각각

$$r_k = \|\nabla g_k\| \quad (1)$$

$$\theta_k = \arctan\left(-\frac{\partial g_k}{\partial y} / \frac{\partial g_k}{\partial x}\right) \quad (2)$$

로 정의된다. 식에서 g_k 는 위치 (x_k, y_k) 에서의 화소 p_k 의 명도를 의미하고, ∇g_k 는 화소의 명도변화를 의미하며

$$\nabla g_k = \left(-\frac{\partial g_k}{\partial x}, \frac{\partial g_k}{\partial y}\right) \quad (3)$$

와 같이 구한다.

한편, 명도 변화 방향의 대칭성이 클수록 큰 값을 가지며, 명도 변화 방향의 수렴과 발산 극성을 대칭성에 반영시키는 위상 가중 함수(phase weight function) $P(i, j)$ 를

$$P(i, j) = \sin\left(\frac{\theta_j + \theta_i}{2} - \alpha_{ij}\right) \times \sin\left(\frac{\theta_j - \theta_i}{2}\right) \quad (4)$$

와 같이 정의하였다. 여기서, α_{ij} 는 화소 p_i 와 p_j 를 연결하는 직선이 수평선과 이루는 각도로서 $0 \leq \alpha_{ij} < \pi$ 이다.

그리고, 두 화소의 거리가 가까울수록 큰 값을 가지도록 거리 가중 함수(distance weight function) $D_\sigma(i, j)$ 를

$$D_\sigma(i, j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{\|p_i - p_j\|}{2\sigma}\right) \quad (5)$$

와 같이 정의하였다. 여기서, σ 는 대칭 변환할 영역의 크기를 나타낸다. 그리고, 두 화소의 대칭 정도를 의미하는 대칭 기여도 $C(i, j)$ 를

$$C(i, j) = D_\sigma(i, j)P(i, j)r_i r_j \quad (6)$$

와 같이 구하였다. 여기서, r_i 및 r_j 는 각각 화소 p_i 및 p_j 의 명도 변화의 크기를 뜻한다. 따라서, 두 화소간의 거리가 가까울수록 거리 가중 함수 $D_\sigma(i, j)$ 가 커지고, 두 화소의 명도 변화 방향이 대칭일수록 위상 가중 함수 $P(i, j)$ 가 커지며, 동시에 두 화소의 명도 변화 크기 r_i, r_j 가 클수록 대칭 기여도 $C(i, j)$ 는 큰 절대값을 가지게 된다.

그리고, 대칭 화소 집합을

$$\Gamma(p) = \left\{ (i, j) \mid \frac{p_i + p_j}{2} = p \right\} \quad (7)$$

이라 할 때, 대칭 화소 집합에서 정의되는 중심 위치 화소 p 의 대칭 정도를 의미하는 대칭도 (symmetry magnitude) $M_\sigma(p)$ 는

$$M_\sigma(p) = \sum_{(i, j) \in \Gamma(p)} C(i, j) \quad (8)$$

와 같이 구할 수 있다. 이 때, 거리 가중 함수에서 정하는 범위 내에서 대칭도를 구하므로, n 개의 화소로 구

성된 전체 영상에 대한 대칭도를 구하기 위해서는 $O(n\sigma^2)$ 의 연산량을 필요로 한다. 이와 같은 주목 연산자를 사용하면 BLU 검사영상의 표면에 있는 얼룩에 대한 형태와 크기 및 명도에 대한 사전 정보 없이도 각 얼룩에 내재된 대칭성을 부각하여 이들을 검출할 수 있다.

식 (4)에 나타낸 위상 가중 함수의 전달 특성과 기존 GST⁽¹⁰⁾의 위상 가중 함수의 전달 특성을 그림 3에 비교하였다.

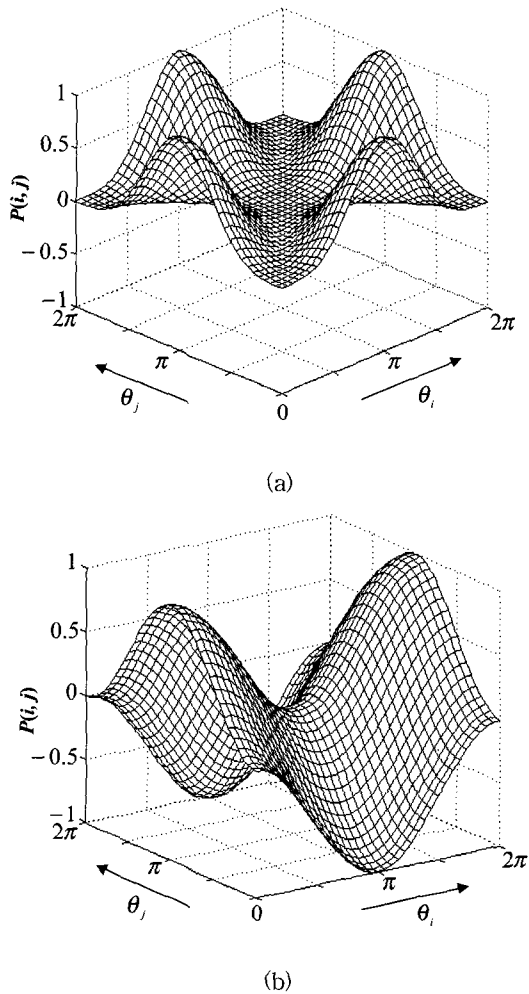


그림 3. 위상 가중 함수의 응답 (a) 기존 GST (b) 제안한 NTGST

Fig. 3. The response of the phase weight function of (a) the conventional GST and (b) the proposed NTGST.

그림 3에서 보는 바와 같이 기존 GST의 위상 가중 함수는 양의 값만을 가지는 여현 (cosine)함수로 정의

되기 때문에 두 화소의 명도변화 방향의 수렴과 발산 극성을 구분하지 않고 대칭성만을 부각시킨다. 따라서, 격자 모양의 음영에 의한 대칭 기여도가 같은 극성으로 계속 누적되어 얼룩과 구분이 안 된다.

그러나, 제안한 NTGST의 위상 가중 함수의 경우에는 두 화소의 명도변화 방향이 서로 마주 보는 방향이면 위상 가중 함수는 음극성을 가지며 서로 반대 방향일 때는 양극성을 가진다. 따라서, 그림 4에서 보듯이 배경보다 어두운 얼룩에서는 화소의 명도변화 방향이 얼룩 내부로 수렴하는 방향이므로 음극성의 대칭 기여도가 계속 누적되며, 배경보다 밝은 얼룩에서는 얼룩 외부로 발산하여 양극성의 대칭 기여도가 계속 누적된다. 한편, 배경 격자 영역에서는 명도변화 방향의 수렴과 발산이 반복적으로 나타나 양극성과 음극성의 대칭 기여도가 반복적으로 나타나 서로 상쇄되므로 누적되지 않는다. 따라서, 격자 모양의 음영 검출 없이 얼룩만을 검출할 수 있다. 이와 같은 대칭도의 상쇄는 불규칙 잡음에 대해서도 마찬가지이며, 따라서 제안한 주목 연산자는 잡음에 대하여 강건함을 알 수 있다.

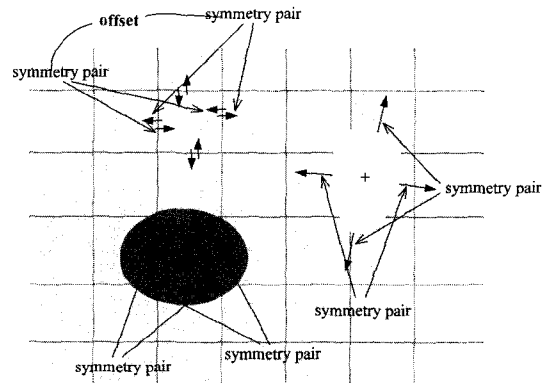


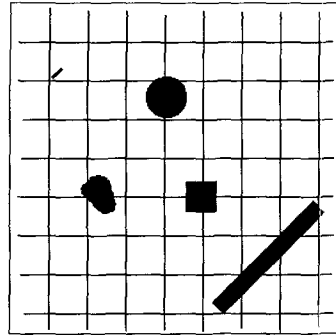
그림 4. 얼룩과 배경 격자에서 대칭 기여도의 누적과 상쇄

Fig. 4. Accumulation or offset of the symmetry contribution at the spots or the lattice shaped shading.

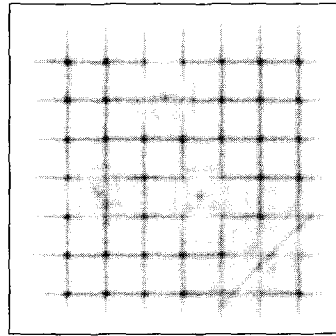
III. 실험 및 고찰

본 논문에서 제안한 NTGST의 BLU 얼룩 검출 성능을 확인하기 위하여 Costar사의 CV-M10 Progressive Area-Scan CCD 카메라를 통해 입력받은 여러 가지 검사영상에 대해 실험하였다. 이때, 고배율 렌즈를 사용

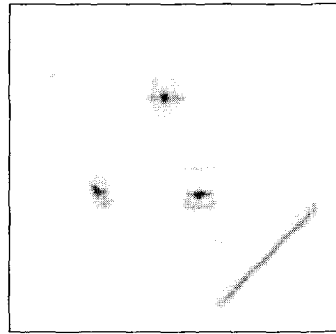
하여 가로 3.00cm, 세로 2.25cm BLU 표면 영역을 640×480 화소의 영상으로 입력받았다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. (a) 격자 배경상의 도형들, (b) 기존 GST를 적용한 결과 및 (c) 제안한 NTGST를 적용한 결과

Fig. 5. (a) Original image with polygons in latted background, (b) the result of the conventional GST, and (c) the result of the proposed NTGST.

먼저, 격자배경 속에 다양한 형태의 도형이 포함된 합성 영상에 대해 기존 및 제안한 주목연산자를 적용하고 그 결과를 그림 5에 비교하였다. 기존 GST를 적

용한 결과, 그림 5 (b)에서 보는 바와 같이 도형에 의한 대칭 기여도뿐만 아니라 격자에 의한 대칭 기여도가 격자와 격자 사이의 위치에 많이 누적되어 얼룩뿐만 아니라 배경 격자도 같이 검출됨을 알 수 있다. 한편, 그림 5 (c)에서 보면, 제안한 NTGST를 적용할 경우 화소의 명도변화 방향의 수렴과 발산을 대칭 기여도에 반영하여 격자에 의한 대칭 기여도가 상쇄되고 도형에 의한 대칭 기여도만 누적되어 도형들이 존재하는 위치에서만 높은 대칭도가 형성됨을 알 수 있다. 이때, 도형 가장 자리에서는 도형과 격자간의 간섭으로 인해 조금 높은 대칭도가 형성되기는 하나 항상 도형 근처에 형성되므로 도형의 존재 여부와 위치를 알려주는 데는 영향이 없다.

그림 6에는 실제 BLU 검사영상에 적용한 경우에 그 결과가 어떻게 달라지는지를 보였다. 그림 6 (a)는 격자 모양의 배경음영과 흑점을 갖는 BLU 검사영상이며, 얼룩의 유무를 명백히 관찰하기 위해 고대비로 표현한 영상을 그림 6 (b)에 나타내었다. 기존 GST를 적용하는 경우에는 그림 6 (c)에서 보는 바와 같이 격자배경의 음영도 높은 누적 대칭도를 나타내어 그림 6 (d)에서 보는 바와 같이 문턱치 결정 및 얼룩만의 위치 파악이 어렵다. 그러나, 제안한 NTGST를 적용하면 그림 6 (e)에서 보는 바와 같이 배경 격자 모양의 음영에 의한 대칭 기여도가 거의 누적되지 않고 얼룩에 의한 대칭 기여도만이 누적되어 그림 6 (f)에서 보는 바와 같이 두 개의 흑점을 확실하게 검출할 수 있다. 특히, 우측 상단에 있는 크기와 명도차가 매우 작은 얼룩은 우측 하단에 있는 크기와 명도차가 큰 얼룩에 비해 그 누적 대칭도가 좀 작기는 해도 격자배경의 누적 대칭도보다는 훨씬 커서 확실하게 얼룩 검출이 됨을 알 수 있다.

그림 7에는 격자 모양의 음영 및 흑점과 백점을 동시에 포함하고 있는 영상에 대한 실험 결과를 나타내었다. 검사 대상 영상인 그림 7 (a)와 이를 고대비로 표현한 그림 7 (b)를 보면 격자 모양의 짙은 음영이 존재함을 알 수 있다. 즉, 상단 배경에는 원형 격자 모양의 음영이 존재하며 우측 하단 배경에는 줄무늬 음영이 존재한다. 그리고, 하단에 나타나는 줄무늬 격자 모양 음영과 흑점의 명도 차이가 작다. 또한, 상단에 나타나는 원형 격자 모양 음영과 백점간에는 명도 차이도 거의 없다. 이와 같은 영상에 대해 제안한 NTGST를 적용하면 그림 7 (c)와 같은 대칭도 맵을 얻는다. 여기

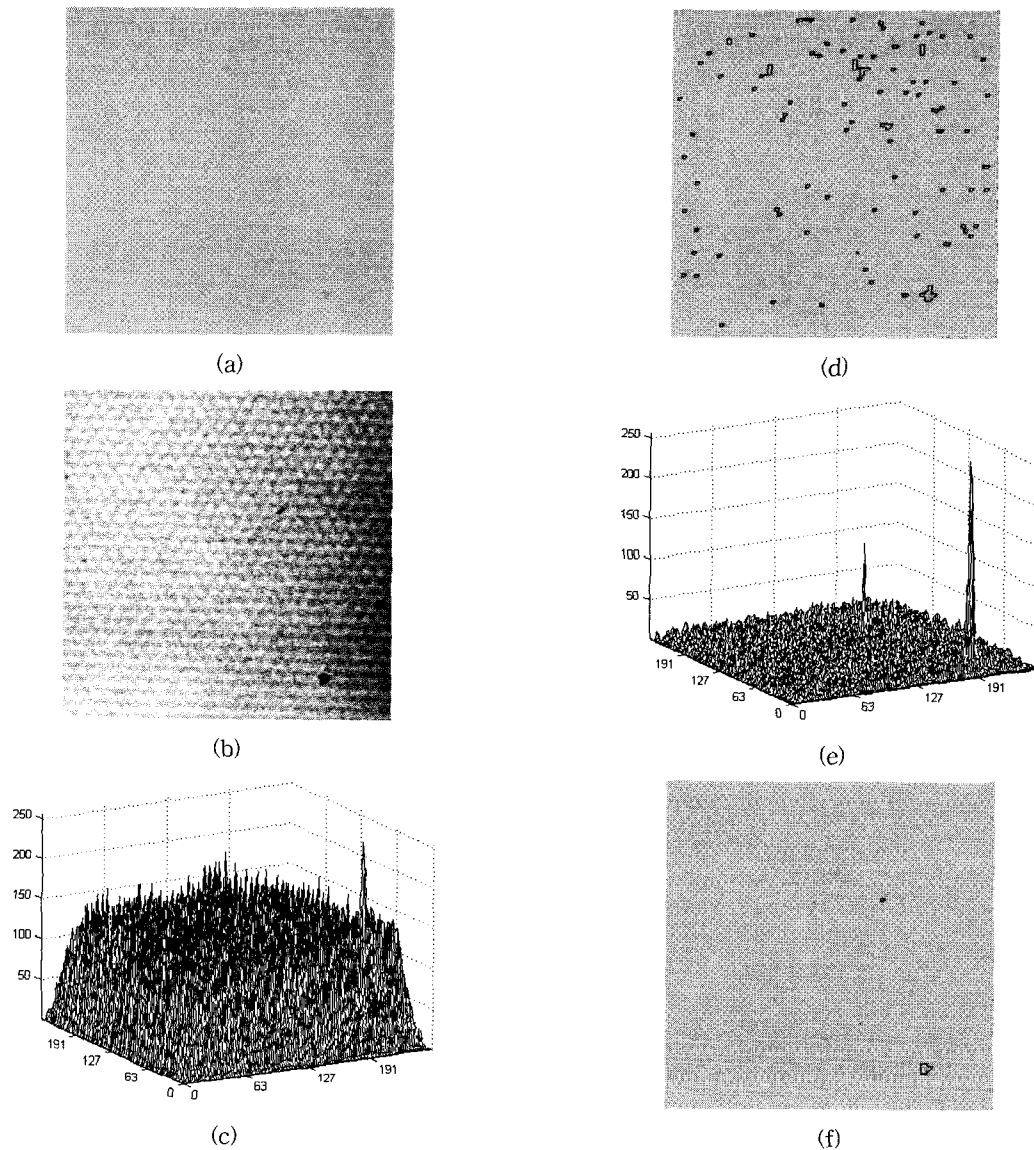


그림 6. 기존 GST와 제안한 NTGST의 얼룩검사 결과 비교: (a) 격자 모양의 배경음영과 흑 점을 갖는 BLU 검사영상, (b) 고대비로 표현한 검사영상, (c), (d) 기존 GST를 적용한 누적 대칭도 맵과 그 검사 결과, (e), (f) 제안한 NTGST를 적용한 누적 대칭도 맵과 그 검사 결과

Fig. 6. Inspection results comparison of the conventional GST and the proposed NTGST: (a) BLU inspection image with latticed-shaped shading and black spots, (b) its highly contrasted inspection image, (c) & (d) cumulative symmetry magnitude map and its inspection results using the conventional GST, (e) & (f) cumulative symmetry magnitude map and its inspection results using the proposed NTGST.

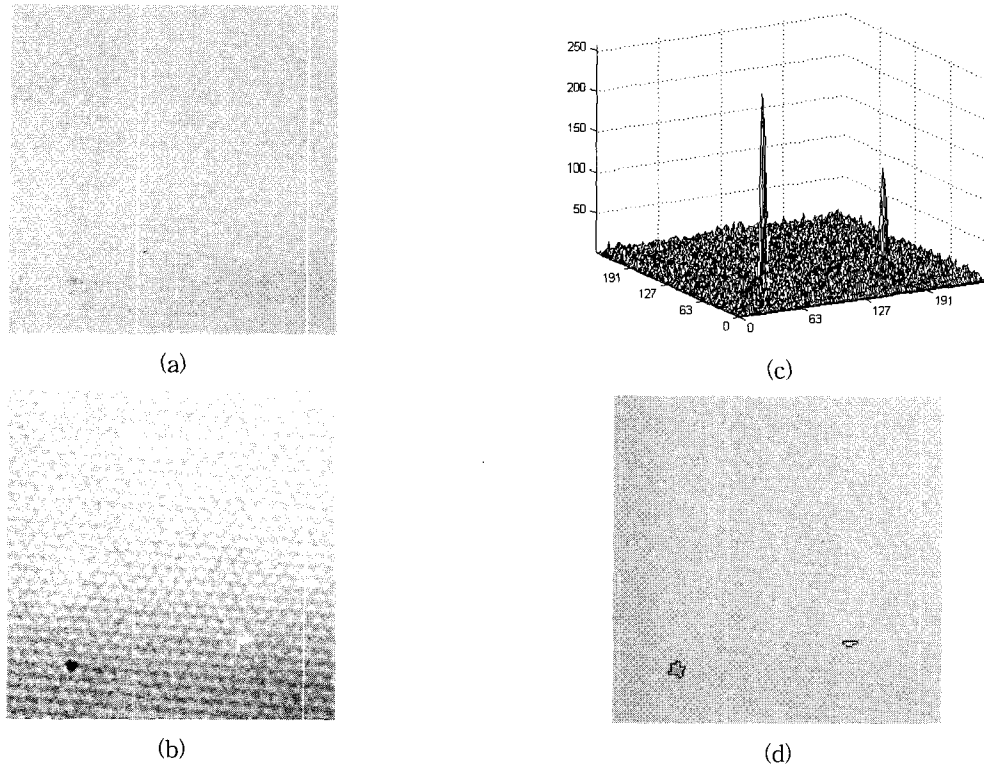


그림 7. NTGST를 이용한 흑백 얼룩의 검출 (a) 흑점과 백점을 같이 포함하고 있는 BLU 검사영상과 (b) 고대비로 표현한 검사영상, (c) 누적 대칭도 맵과 (d) 얼룩 검출 결과

Fig. 7. Detection of the black and the white spots using the proposed NTGST: (a) BLU inspection image with lattice-shaped shading and black and white spots, (b) its highly contrasted image, (c) cumulative symmetry magnitude map, and (d) inspection results.

서 침투치를 찾으려면, 그림 7 (d)에서 보는 바와 같이 배경 격자 모양의 음영에 영향을 받지 않고 백점과 흑점이 동시에 검출됨을 알 수 있다. 따라서, 제안한 주목 연산자에서는 화소의 명도변화 방향의 수렴과 발산 극성이 대칭 기여도에 반대 극성으로 반영되고, 따라서 화소의 명도변화 방향의 수렴과 발산이 반복적으로 나타나는 배경 격자 모양의 음영이나 불규칙 잡음에 의한 대칭 기여도는 서로 상쇄되고 얼룩과 같은 물체의 대칭도만 침투치로 검출됨을 알 수 있다.

지금까지 살펴본 바와 같이, 제안한 NTGST를 활용하면 배경의 명도 분포가 불균일하고 격자 모양의 음영이 존재하여 복잡하고 배경과의 대비가 낮은 검사영상에서 형태와 크기 및 명도가 다양한 BLU의 얼룩들을 효과적으로 검출할 수 있다. 그리고, Pentium-III 500MHz PC를 이용할 때의 얼룩 검출 속도는 200msec 로써 실용적인 BLU 얼룩 검사가 가능하다.

IV. 결 론

본 논문에서는 얼룩의 형태와 크기 및 명도에 대한 사전 정보 없이도 잡음이 많고 복잡한 배경으로부터 대비가 낮고 다양한 모양과 크기의 얼룩들을 검출할 수 있는 NTGST를 주목 연산자로 제안하고 적용하여 LCD 생산라인에서의 BLU 얼룩을 효과적으로 검사할 수 있도록 하였다. 여러 가지 인공적인 도형과 배경 격자 무늬가 포함된 합성 영상에 대한 실험을 통하여 배경 격자의 영향을 받지 않고 도형만 검출할 수 있음을 확인하였다. 배경 격자 모양의 음영과 여러 가지 형태의 흑점과 백점이 동시에 포함된 실제 BLU 영상에 적용하여 복잡한 배경 격자 모양이나 그 음영에 큰 영향을 받지 않고 다양한 형태와 크기의 BLU 얼룩들을 효과적으로 검출할 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] O. Wonho and B. Lindquist, "Image thresholding by indicator kriging," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 21, no. 7, pp. 590-602, July 1999.
- [2] Y. Solihin and C. G. Leedham, "Integral ratio: a new class of global thresholding techniques for handwriting images," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 21, no. 8, pp. 761-768, Aug. 1999.
- [3] S. Di Zenzo, L. Cinque, and S. Levialdi, "Image thresholding using fuzzy entropies," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B*, vol. 28, no. 1, pp. 15-23, Feb. 1998.
- [4] D. -G. Sim, O. -K. Kwon, and R. -H. Park "Object matching algorithms using robust Hausdorff distance measures," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 8, no. 3, pp. 425-429, March, 1999.
- [5] B. P. F. Lelieveldt, R. J. van der Geest, M. Ramze Rezaee, J. G. Bosch, and J. H. C. Reiber, "Anatomical model matching with fuzzy implicit surfaces for segmentation of thoracic volume scans," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 18, no. 3, pp. 218-230, Mar. 1999.
- [6] Y. Shinagawa and T. L. Kunii, "Unconstrained automatic image matching using multiresolutional critical-point filters," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 9, pp. 994-1010, Sep. 1998.
- [7] S. M. Bhandarkar and Hui Zhang, "Image segmentation using evolutionary computation," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 3, no. 1, pp. 1-21, Apr. 1999.
- [8] G. Poggi and R. P. Ragozini, "Image segmentation by tree-structured Markov random fields," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 6, no. 7, pp. 155-157, July 1999.
- [9] A. Banerjee, P. Burlina, F. Alajaji, "Image segmentation and labeling using the Polya urn model," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 8, no. 9, pp. 1243-1253, Sep. 1999.
- [10] D. Reisfeld, H. Wolfson, and Y. Yeshurun, "Context-free attentional operators: The generalized symmetry transform," *International Journal of Computer Vision*, vol. 14, pp. 119-140, 1995.
- [11] I. Pitas, *Digital Image Processing Algorithms*, Prentice Hall, New York, 1993.

저 자 소 개

朴 昶 俊(正會員) 第 33卷 B編 第 2號 參照
현재 한국전자통신연구원 가상현실연구부 근무

崔 興 文(正會員) 第 36卷 B編 第 11號 參照
현재 경북대학교 전자전기공학부 교수