

논문 2004-41SP-3-2

인간의 시지각에 근거한 LCD의 밝기 불균일 결함의 검출

(A Detection Method of Non-uniform Brightness Defects in LCD Based on Human Vision)

김 지 홍*

(Jee Hong Kim)

요 약

본 논문에서는 LCD표시장치에서 밝기 불균일에 의한 결함을 검출하는 방법을 제안하였다. 검출방법은 인간의 시지각 특성을 이용하였으며, 관능실험을 통하여 공간적인 밝기 불균일성의 시인성이 밝기의 공간적 변화율에 크게 영향을 받는다는 것을 조사했다. 제안된 검출 방법에서는 밝기변화율을 구하기 위해 추출된 Contour를 이용하였고, 밝기변화율을 기준치와 비교하여 결함으로 판정하였다. 검출방법은 Contour의 추출, 판정 화소의 선정, 밝기변화의 계산과 결함의 판정과 표시로 구성되어 있으며, 결함이 존재하는 LCD표시장치를 활상한 화상에 적용시킨 실험 결과, 검출된 결함이 인간의 시각적 검사에 의한 결함과 잘 일치함을 보였다. 나아가서, 검출된 결함이 시각적으로 얼마나 잘 관찰되는가를 등급화 한 평가치와 공간적 변화율이 대수적인 상관관계를 나타내는 것을 실험적으로 보임으로써 제안된 방법의 효용성을 보였다.

Abstract

We propose a method to detect the defects due to spatially non-uniform brightness on LCD panels. The detection method is based on human vision and visibility of defects reveals to depend mainly on the spatial gradient of brightness variation. So, in the proposed method, the spatial gradient calculated by using extracted contours will be utilized to detect the defect due to non-uniform brightness. The detection method is composed of four parts, those are, contour extraction, the calculation of spatial gradient, decision of defects and the display of defects. We applied the method to the images captured from practical LCD panels and the result seemed satisfied consistency to the detection by human inspector. Finally, it was shown that the gradient values have near logarithmic relationship to the judgments of the degree how easily the detected defects can be observed

Keywords : detection, defect, non-uniformity, LCD

I. 서 론

디스플레이장치가 만족스러운 화질의 화상을 표시하기 위해서는 디스플레이장치의 밝기가 균일해야 하는 것이 필수적이다. 최근, 표시소자의 기술 개발로 고품질의 화상 표시를 위한 제품이 출시되고 있는데, LCD와 같은 디스플레이장치는 제조 공정이나 백라이트의 휘도 불균일성으로 인해서 불균일한 밝기가 존재할 수 있으며, 이 같은 불균일성이 인간에게 관찰될 때에는 불균

일한 밝기의 편차나 공간적 분포 등에 따라 다양한 형태의 얼룩으로 보인다. 이와 같은 얼룩은 시각적으로 불쾌감을 주거나 화질의 열화를 초래하며, 품질의 확보를 위해 제품의 검사 단계에서 반드시 검출되어야 한다. 현재 국내 생산업체에서는 디스플레이 부품이나 완제품 단계에서 검사항목에 따라 많은 검사공정이 수행되고 있으며, 점이나 선 형태와 같이 잘 정의된 결함은 검사의 자동화가 어느 정도 추진 중에 있으나, 밝기 불균일성과 같이 다양한 형태로 나타나면서 정의하기 어려운 결함에 대해서는 검사원의 시각적 판단과 경험에 의존하고 있는 실정이다. 따라서, 많은 인력과 숙련도가 필요하며, 생산성과 품질의 확보 면에서 많은 개선과 기술 개발을 요구하고 있다. 본 논문에서는 이 같이 디

정회원, 부경대학교 화상정보공학부
(Pukyong National University, Division of Image Information Engineering)

접수일자: 2003년11월06일, 수정완료일: 2004년4월27일

스플레이장치의 불균일한 밝기가 시각적으로 얼룩과 같은 결함으로 보일 경우, 생산 현장에서의 검사 방법과 결과를 근거로 밝기의 불균일성에 의한 결함을 검출하는 방법을 제안하였으며, 특히, 인간의 시지각 특성을 적용하였는데, 이는 화질의 열화 정도나 결함으로서의 판정은 인간의 눈에 어떻게 보이는가로 최종적으로 결정되기 때문이다. 디스플레이 되는 화상에 나타나는 얼룩과 같은 결함의 검출 알고리즘에 대한 연구는 생산현장에서 발생하는 여러 가지 사례를 중심으로 이를 일반화하고 체계화 하려는 시도가 진행 중이나, 아직은 초기 단계로서 특정한 형태를 가정하는 경우가 몇몇 사례 보고된 바 있다. 그 중에서, 밝은 부분이나 색의 변질 현상으로 해석할 수 있는 각종 무라 현상을 찾아내는 방법이 제안된 바^[1], 이는 기존의 화소 단위의 결함 검출 방법^[2]을 확장한 것으로서, 기본적으로는 디스플레이 되는 화상의 화소값을 단순히 비교하는 방법을 사용한다. 즉, 화소값이 주어진 허용치 이내인 경우에만 정상으로 판정하고, 그 편차가 크면 결함으로 판정하는 방법이며, 나아가서, 많은 화소가 공간적인 범위에 걸쳐 화소값의 편차를 보일 때, 그 화소의 분포를 기하학적 필터 등의 방법을 적용하여 하나의 클러스터로 만든 후, 그 공간적 크기 등을 화소값의 편차와 같이 고려하여 결함으로 검출하는 실험적 방법^[3]이 소개되었다. 본 논문에서는 보다 적극적으로 인간의 시지각 특성을 이용하기 위해, 인간의 눈에 불균일한 밝기가 어떻게 보이는가에 대한 시지각 특성^[4,5,6]을 조사하였으며, 밝기의 공간적인 불균일성을 나타내는 파라메타로서 대표적으로 밝기편차와 밝기변화율을 정의하고, 이들 두 파라메타의 변화에 따른 시인성의 변화를 분석하는 실험을 수행하였다. 이 분석 결과를 근거로 밝기 불균일에 의한 결함을 자동으로 검출하는 검출방법을 제안하였으며, 불균일 결함이 존재하는 LCD를 CCD 카메라로 촬상한 화상에 이 검출방법을 적용하여 불균일성 결함이 성공적으로 검출됨을 보이고, 검사원의 시각적 검사 결과와 비교함으로써, Machine Vision에 의한 자동검사시스템에 이용될 수 있음을 보인다.

다음 장에서는 시지각 특성과 밝기의 공간적 변화율의 영향을 파악한 관능실험에 대해 기술하고, 3장에서는 제안된 검사 방법에 대한 구체적 설명을 기술한다. 그 다음 장에서는, 실제의 LCD에서 촬상된 화상에 적용하였을 때의 검출 과정과 결과를 화상과 함께 보이고, 검출된 결함에 대해 얼마나 쉽게 관찰되는가의 정도를 등급화 한 평가치와 밝기의 공간적 변화율과의 관

계를 보인 도표를 실험방법과 함께 보임으로써, 제안된 방법의 효율성을 제시한다.

II. 밝기의 불균일성과 시각적 시인성

밝기 불균일 결함의 검출에 인간의 시지각 특성을 적용하기 위하여, 우선, 공간적으로 불균일하게 분포된 밝기가 인간에게 어떻게 관찰되는가에 대한 시지각 특성을 조사하는 관능실험을 수행할 필요가 있다. 관능실험은 불균일한 밝기가 다양한 형태로 분포된 화상들을 보여주고, 불균일한 밝기에 의한 결함이 인간에게 관찰되는가를 설문 조사한 후, 이를 분석하는 방법을 이용하여 수행되었다. 밝기 불균일성을 나타내는 파라메타 중에서 밝기편차는 쉽게 정의될 수 있는 대표적인 파라메타 중 하나이다. 밝기편차는 주변과의 밝기의 차이로 정의할 수 있으며, 일반적으로 밝기편차가 클수록 밝기가 시각적으로 불균일하게 보인다. 그런데, 밝기편차가 크지 않더라도 밝기가 공간적으로 급격하게 변화하는 경우에는 불균일한 밝기가 시각적으로 관찰된다. 여기서, 밝기의 공간적인 변화율을 밝기변화율로 정의하고 밝기의 불균일성을 나타내는 또 하나의 파라메타로 사용하였다. 앞에서 정의된 밝기편차와 밝기변화율에 따라 불균일한 밝기의 시인성이 어떻게 변화하는가를 조사하기 위해 256 계조의 그레이화상을 이용하여 관능실험을 수행하였으며, 화상의 밝기를 화소값으로 근사적으로 나타낼 수 있다고 가정하였다. 불균일성은 화소값의 공간적 분포에 따라 시각적으로 다양한 형태로 보이며, 2차원 화상의 대표적인 불균일 분포 형태로서, 화상의 중심에서 같은 거리에 있는 화소가 동일한 화소값을 가지는 형태를 선정하였는데, 이 경우 밝기는 시각적으로 동심원의 모양으로 변할 것이다. 또한, 화소값의 변화 형태도 중심을 최대값으로 공간적으로 가우시안 분포의 형태를 갖도록 하였다. 이 경우, 밝기편차와 밝기변화율의 값은 간단히 정의할 수 있으며, 불균일성의 형태가 1차원적이거나, 타원형 등의 형태를 갖는 경우로 확장 할 수 있을 것이다. 2차원 정규분포함수^[7,8]를 이용한 화소값의 분포함수는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(x, y) = L + \frac{\Delta L}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x - m_x)^2 + (y - m_y)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (1)$$

여기서, f 는 화소값, L 은 주변화소값, ΔL 은 밝기편차, x 와 y 는 각각 화상의 가로, 세로의 길이, m_x 와 m_y 는 밝

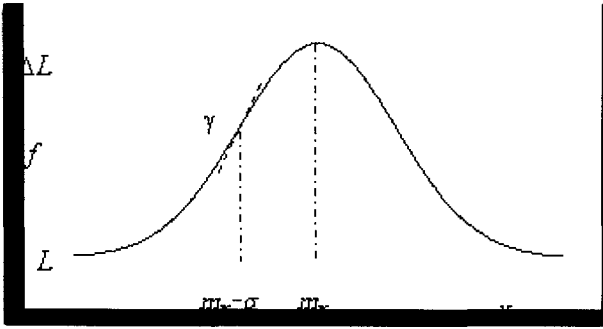


그림 1. 공간에 따른 화소값의 분포 예
Fig. 1. Example of pixel value distribution

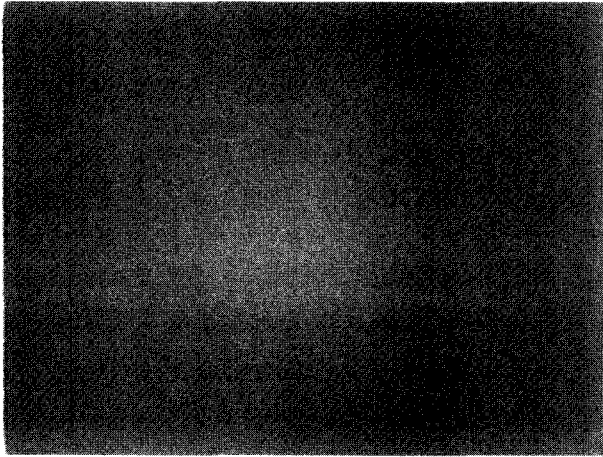


그림 2. 관능실험에 사용된 불균일 화상의 예
Fig. 2. Example of non-uniform brightness

기변화가 시작되는 중심점의 가로, 세로의 위치, σ 는 표준편차를 나타낸다. 식(1)과 같은 화소값의 공간적 분포를 한 방향만 고려하여 도식하면 그림 1과 같고, 식(1)을 이용하여 만든 화상의 예를 그림 2에 보여주었다.

그림 1에서 화소값은 주변화소값 L 과 중심화소값 $L + \Delta L$ 사이에서 완만하게 변한다. 또한, 정규분포함수의 기울기는 $x = m_x \pm \sigma$ 일 때 최대가 되며, 이 때의 기울기를 밝기변화율 γ 로 정의한다. 밝기변화율 γ 는 식(2)에 나타나듯¹⁸⁾ ΔL 에 비례한다. 관능실험에서 사용된 화상들은 주변화소값 L 을 128로 하였는데, 이는 기준치보다 밝은 부분과 어두운 부분을 모두 고루 표현하기 위해 중앙의 값을 이용한 것이다. 또한, ΔL 을 20단계, γ 를 15단계로 변화시키면서 제작한 300개의 화상으로 하였다.

$$\gamma = \frac{\Delta L}{\sigma^2} \quad (2)$$

관능실험은 8명의 참가자를 대상으로 불균일한 밝기가 시각적으로 관찰되는가를 설문 조사하는 방법으로 수행되었으며, 화상들은 70 lux 조도의 실험실에서 밝

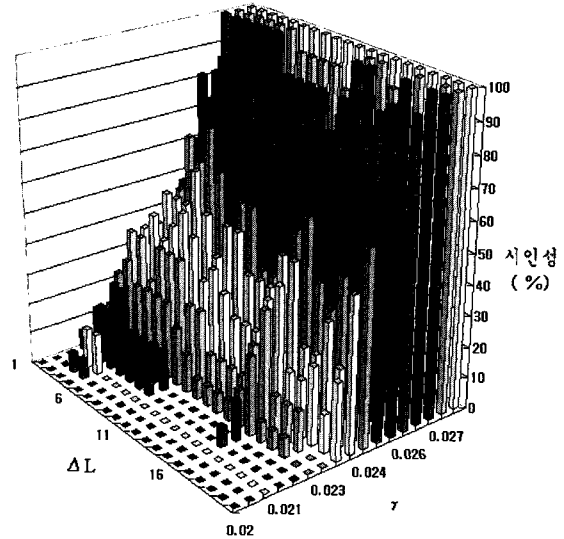


그림 3. 밝기의 변화율과 밝기편차에 대한 시인성
Fig. 3. Visibility vs. brightness gradient and deviation

기 불균일 결함이 없는 해상도 1024x768의 15.1인치 LCD 상에 표시되었으며, LCD 주변의 배경색을 회색으로 하였다. 실험방법은, 우선, 전체 화소값 128의 균일한 화상을 보여주면서, 통상적인 LCD 모니터에 존재하는 미세한 밝기의 불균일성에 대한 허용치를 기준으로 제시하였다. 이 후, 300개의 화상을 무순으로 LCD 상에 표시하여 실험참가자에게 보여주고, '밝기 불균일에 의한 얼룩이나 밝기가 변하는 경계부가 인식되는가'라고 질문을 하는 것으로 구성되어 있다. 이 때, 밝기편차와 밝기변화율이 다른 화상별로, 전체 실험참가자에 대한 위에서 언급한 질문에 '예'라고 답한 참가자의 수의 비율을 백분율로 나타낸 것을 시인성으로 하였다.

위와 같은 방법으로 수행된 관능실험의 결과를 그림 3에 그래프로 도식하였으며, 그림 3에서 x축과 y 축은 각각 밝기편차 ΔL 과 밝기변화율 γ 를 나타내고, z 축은 시인성을 나타낸다.

그림 3에 보이듯, 밝기편차에 따른 시인성의 변화가 적은 반면, 밝기변화율에 따라 시인성이 급격하게 변화함을 알 수 있다. 이것은 불균일한 밝기가 시각적으로 눈에 얼마나 잘 지각 되가는 밝기의 공간적 변화율에 크게 영향을 받는다는 것을 의미한다고 할 수 있다. 그러므로, 디스플레이장치의 밝기 불균일에 의한 결함을 검출하는 중요한 요인으로 밝기변화율을 이용될 수 있으며, 다음 장에서는 위의 실험결과를 근거로 화상에서 밝기변화율을 구하고, 밝기변화율의 크기가 큰 부분을 밝기 불균일 결함으로 검출하는 검출방법을 제안하였다.

Ⅲ. 밝기 불균일 결함을 검출하는 알고리즘

이 장에서는 앞 장의 관능실험의 결과를 근거로, 밝기 변화율을 이용하여 밝기 불균일에 의한 결함을 검출하는 검출방법을 제안한다.

밝기의 공간적 변화율에 대한 정보를 얻는 방법으로는 일반적으로 공간주파수 성분을 추출하는 푸리에변환^[9,10]이나 주위 화소의 화소값과의 차이를 통해 밝기의 공간적 변화율을 추출하는 공간필터처리^[9]를 이용하는 방법 등이 있다. 그런데, 결함을 검출할 대상인 불균일한 밝기의 분포는 매우 낮은 공간주파수 성분을 가지고 있다. 따라서, 푸리에변환이나 공간필터처리의 적용 시 계산량이 너무 많아지는 등의 문제점이 있다. 제안된 방법에서는 Contour를 이용하여 밝기의 공간적 변화율을 구하는 방법을 제안하였다. 일반적으로, Contour는 화소값이 같은 점들을 연결한 선으로 정의되나, 여기서는 동일한 화소값을 갖는 영역 사이의 경계선을 Contour로 정의하였다. Contour는 고역필터로 추출할 수 있으며, Contour 사이의 간격이나 Contour의 형태 등에 따라 밝기 변화율의 크기와 변화 방향과 같은 밝기 변화에 대한 정보를 알 수 있다. 이는 마치 일기예보 시 기압배치도 즉 등압선을 이용하여 풍향과 풍속을 추정하는 것과 유사한 방식으로, Contour의 간격이 좁을수록 밝기의 공간적 변화율이 크다는 것을 나타내므로, 여기서는 Contour 사이의 간격의 역수를 변화율로 이용한다. 실제 LCD를 촬상한 화상에서는 잡음의 영향으로 기하학적으로 복잡하고 굴곡이 심한 형태의 Contour가 추출되며, 이 Contour를 그대로 이용할 경우에는 밝기 변화율이 심각하게 왜곡될 수도 있다. 따라서, Contour를 완만하게 만들기 위해서 원화상에 Open과 Close를 반복한 기하학적 필터를 적용하였다.^[9,10] 이 때, 불균일한 밝기의 공간적 분포를 고려하면 모든 화소마다 밝기 변화에 대한 정보를 구할 필요는 없을 것이다. 또한, 결함의 확실한 검출을 위해서는 밝기의 변화가 큰 부분의 누락이 없도록 가급적 많은 화소에서 밝기 변화의 정보를 구해야 할 것이다. 따라서, 불균일한 화소값의 공간적 분포에 따라 적절하게 화소를 선정하여 그 화소에서 밝기 변화에 대한 정보를 구해야 할 것이다. 이를 위해, 화소값이 급격히 변화하는 부분에서는 화소를 조밀하게 선정하고, 화소값의 변화가 거의 없는 부분에서는 적은 수의 화소를 선정한 후, 선정된 화소에서의 밝기 변화율의 크기와 방향을 구하는 방법을 적용하였다. 이와 같

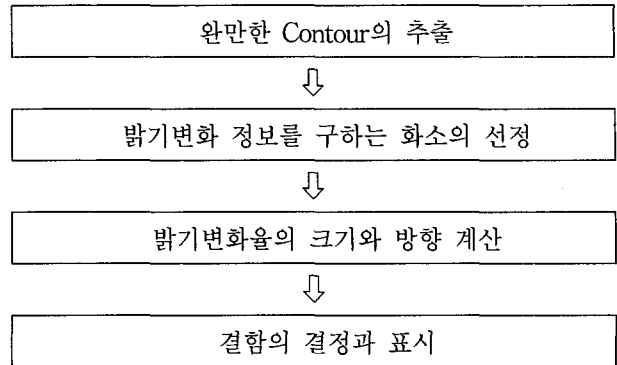


그림 4. 검출알고리즘의 블록선도

Fig. 4. Block diagram of defect detection method

이 구한 밝기 변화율이 정해진 값보다 큰 경우 이를 결함으로 판정하고, 해당 부분에 밝기 변화에 대한 정보를 적절히 표시함으로써 결함의 검출을 수행하였다.

밝기 불균일 결함의 검출방법은 완만한 Contour의 추출, 밝기 변화 정보를 구하는 화소의 선정, 밝기 변화율의 크기와 방향 계산 및 결함의 결정과 표시 등 4단계로 구성되어 있으며, 이를 그림 4와 같은 블록선도로 표시할 수 있다. 이 중에서 Contour를 이용하여 밝기 변화에 대한 정보를 구하는 화소를 선정하는 방법과 선정된 화소에서 밝기 변화율의 크기와 방향을 구하는 방법을 다음에 구체적으로 설명한다.

1) 밝기 변화의 정보를 구하는 화소의 선정

밝기 변화의 정보를 구하는 화소는 Contour가 공간적으로 얼마나 조밀하게 분포되었는가에 따라 선정하며, 여기서는 2차원 Contour 분포에 대한 간단한 방법으로, 가로와 세로방향으로 나누어서 화소를 선택한다. 그리고, 가로와 세로방향에서 따로 선택된 화소를 조합한 후, 정보를 구할 필요가 없는 화소의 제거하면서 새로운 화소를 최종적으로 선정하는 방법을 제안한다.

가로방향에 대해서 화소를 선정하는 방법은, 우선, 복수개의 가상적인 수평선을 등간격으로 그리고, 수평선과 Contour가 만나는 화소들을 선택한다. 이 같이 선택된 화소들은 Contour 위에 있으므로, 인접한 Contour 사이의 간격을 구하기 위해서 이 화소들 사이의 중심점에 있는 화소를 새로이 선택한다. 세로방향에 대해서도 가로방향과 동일하게 화소를 선택한다. 이 경우, 선택된 화소들은 가상의 수평선과 수직선 위에 있으므로, 가상의 수평선과 수직선의 수를 얼마로 정하느냐는 밝기 변화의 정보를 구하는 화소의 적절한 선정에 중요한 요인이 된다. 수평선과 수직선의 수가 적어질수록 결함을 놓칠 가능성이 크게 되는 반면, 많아질수록 정보를 구

할 필요가 없는 화소가 많이 선택되고 계산량이 늘어나기 때문이다. LCD 전체를 640x480 화소로 촬상하여 결합 검출을 수행한 실험에서는 수평선을 15개, 수직선을 20개로 정했을 때, 현재까지 관찰된 결합을 거의 대부분 검출하면서 계산량이 효과적임을 실험적으로 알 수 있었으므로, 이 값을 이용하여 알고리즘을 구성하였다. 그러나, 수평/수직선의 수의 최적값이나 그에 따른 검출의 정확성의 관계를 구하는 것은 매우 어렵다. 이는 밝기의 불균일한 분포가 워낙 다양하게 존재하고 일정한 패턴을 가정할 수 없어, 수학적 모델의 설정이나 분석이 어려웠기 때문으로, 충분한 Data가 없는 상황에서 현재까지의 현상을 이용한 실험적인 방법만을 사용할 수 밖에 없었다. 또한, 2장에서 사용된 간단한 형태를 대상으로 하는 경우는 매우 적은 수의 일정한 화소만을 선정하게 되어 의미가 없어지게 되므로, 보다 실질적인 분석을 위해서는 지속적인 조사와 Data의 수집을 통해 체계적이고 정량화된 방법이 필요할 것이다. 위와 같이 선택된 화소들 중에서도 정보를 구할 필요가 없는 화소가 아직 존재할 수 있으며, 가로, 세로 방향에서 선택된 화소들을 조합하여 새로운 화소를 선정함으로써, 화소의 수를 효과적으로 줄였다. 구체적으로, 가상의 수평선과 수직선이 교차하는 교차점으로부터 그 교차점 상하 좌우로 인접한 교차점까지의 구간 이내에서 선택된 화소가 두개 이상인 경우, 이 화소들의 무게중심에 새로운 하나의 화소만을 최종적으로 선정하였다. 또한, 한 개 이하만 경우는 화소값의 공간적인 변화가 급격하지 않은 부분이 되며, 그 화소에서만 공간변화율을 구하였다.

2) 밝기변화율의 크기/밝기가 공간적으로 변하는 방향
일반적으로, 밝기변화율은 단위거리 당 밝기변화의 크기를 의미하며, 화상에서는 화소 사이의 거리에 대한 화소값의 차를 나타낸다. 그런데, Contour는 동일한 화소값을 가지는 영역 사이의 경계선을 의미하므로 밝기 변화율은 Contour 사이 거리의 역수로 할 수 있다. 제안된 방법에서는 인접 Contour 사이의 수평거리와 수직거리의 역수를 가로방향과 세로방향의 밝기변화율로 각각 구하고, 그림 5와 같이 이들의 벡터합^[11]을 구하는 방법을 이용하였다.

그림 5에서 V_x 와 V_y 는 각각 가로방향과 세로방향으로 구한 밝기변화율, V_{xy} 는 밝기변화율의 벡터합, θ 는 밝기가 공간적으로 변하는 방향을 나타낸다. 밝기변화율의 크기와 변화 방향은 식(3) 및 (4)와 같이 얻을 수

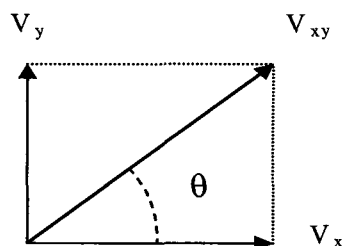


그림 5. 가로/세로 방향의 변화율의 합성
Fig. 5. 2-dimensional gradient

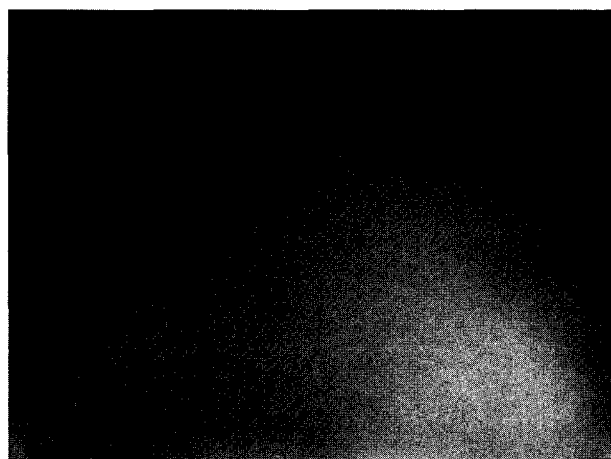


그림 6. LCD를 촬상한 화상의 예
Fig. 6. Exampled image captured from LCD

있다.

$$|V_{xy}| = \sqrt{|V_x|^2 + |V_y|^2} \tag{3}$$

$$\theta = \tan^{-1}(V_x/V_y) \tag{4}$$

IV. 실험결과 및 검출성능 평가

이 장에서는 앞 장에서 기술된 불균일 결합의 검출방법을 실제 결합을 갖는 LCD를 촬상한 화상에 적용하여 검출 실험을 수행한 결과를 보인다. 나아가서, 이를 실제 검사원이 시지각에 의해 검출한 결과와 비교하고, 검출된 결합에 대해 얼마나 쉽게 관찰되는가의 정도를 등급화 한 평가치와 밝기의 공간적 변화율과의 관계를 구한 실험에 대해 기술한다. 구체적으로, 실제의 LCD에서 촬상 된 화상에 적용하였을 때의 검출 과정과 결과를 화상과 함께 보이고, 검출된 결합에 대해 얼마나 쉽게 관찰되는가의 정도를 등급화 한 평가치와 밝기의 공간적 변화율과의 관계를 보인 도표를 실험방법과 함께 보임으로써, 제안된 방법의 효용성을 제시한다.

우선, 불균일 결합이 존재하는 것으로 판정된 15.1인



그림 7. Contour를 추출한 결과의 예
Fig. 7. Resulted image of contour extraction

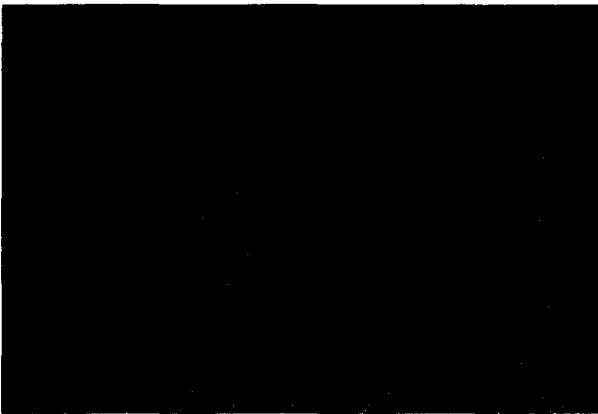


그림 8. 기하학적 필터 적용 후 추출된 Contour
Fig. 8. Contour image after morphological filters

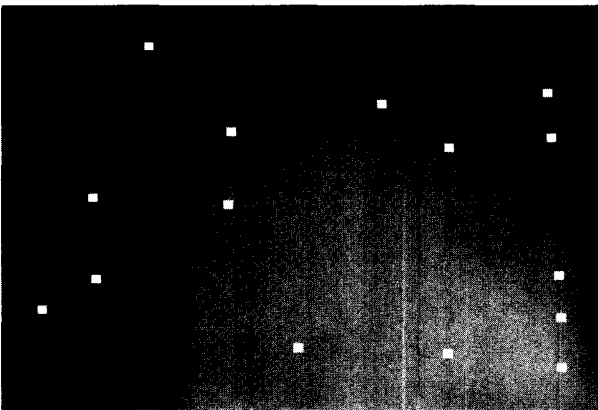


그림 9. 선정된 화소
Fig. 9. Selected points for brightness variation

치의 LCD 모듈들을 대상으로 해상도 640x480의 CCD 카메라와 Frame Grabber로 구성되어 있는 Vision System을 이용하여 촬영을 수행하였다. 이 때, LCD에는 화소값 128의 프레임화상을 디스플레이 하였으며, 대표적 화상 예를 그림 6에 보인다.

그림 6의 촬영화상에서 고역필터를 이용하여 Contour를 추출한 결과를 그림 7에 보였다. 그림 7을 살펴

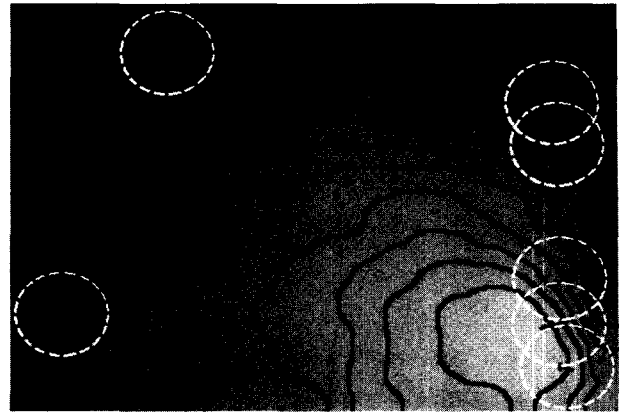


그림 10. 검출된 결함을 표시한 화상
Fig. 10. Resulted image from proposed detection method

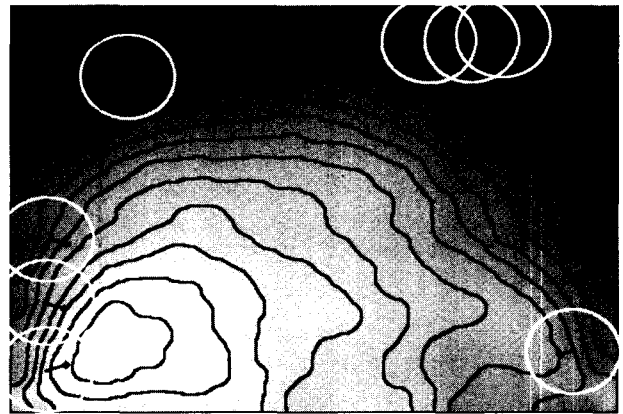


그림 11. 다른 LCD 촬영화상에 적용시킨 결과 예1
Fig. 11. Resulted image from proposed detection method

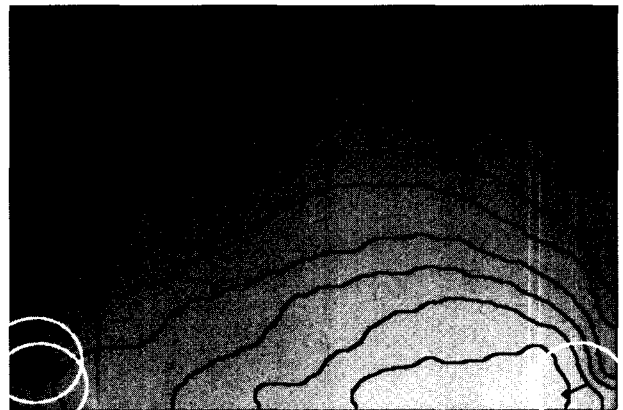


그림 12. 다른 LCD 촬영화상에 적용시킨 결과 예2
Fig. 12. Resulted image from proposed detection method

보면 기하학적으로 복잡하고 굴곡이 심한 형태로서, 기하학적 필터를 적용하여 완만한 Contour를 추출하였으며, 그 결과를 그림 8의 화상으로 보인다.

이 화상에서 15개의 가상적 수평선과 20개의 수직선을 사용하여 밝기변화에 대한 정보를 구하는 화소를 선정하였으며, 촬영한 화상 위에 선정된 화소를 흰 점으로 표시하여 그림 9에 보인다.

그림 9과 같이 선정된 화소마다 밝기변화율의 크기와 변화의 방향을 앞장에 기술한 방법으로 구한 후, 밝기변화율의 크기가 정해진 값보다 크다면 이를 결함으로 판정하였다. 결함으로 판정하기 위한 기준치의 설정은 다소 주관적인 부분이 포함되어 있으므로 실제로는 검사공정과 품질 기준 등에 따라 조정이 가능하도록 구현하였다. 여기서는 검사원에 의해 검출된 결함을 모두 포함하면서 시각적으로 인지가 어려운 부분까지 결함으로 판정하지는 않도록 기준치를 정하였다. 결함에 대한 정보는 화살표를 이용하여 나타내며, 화살표의 길이는 밝기변화율의 크기, 화살표의 방향은 밝기가 공간적으로 변하는 방향을 나타낸다. 또한, 반지름 50pixel의 점선원으로 결함영역을 나타내도록 하였다. 이 때, 결함으로 판정하기 위한 기준치는 조정이 가능하며, 본 실험에서는 시각적인 결함검출 결과와 일치하도록 대략적으로 정하였다. 결함으로 판정된 화소 주변에 밝기변화에 대한 정보를 표시한 화상을 그림 10에 나타냈다.

그림 10은 그림 5의 LCD 촬상 화상 위에 Contour를 나타내고, 결함으로 판정된 화소 주변에 화살표로 밝기변화에 대한 정보를 표시하고, 점선의 원으로 결함영역을 표시한 화상이다. 그림 11과 12는 다른 형태의 밝기불균일 결함을 갖는 LCD 모듈에 대한 결함 검출결과를 보여준다.

제안된 방법에 의해 검출된 결함은 실제 LCD 모듈 생산 라인에서 시각적 검사를 수행하는 검사원들에 의해 검출된 결함을 전부 포함할 뿐 아니라, 그 외의 부분도 결함으로 판정하였다. 이것은, 실제 검사 라인에서는 불균일에 의한 결함의 존재 여부 위주로 검사를 하고 전체 결함의 개수 등 결함에 대한 정확한 정보가 중요하지 않았기 때문으로 추정할 수 있다.

다음으로, 밝기의 공간적 변화율에 의한 불균일 결함 검출 방법의 효용성을 보다 정확히 분석하기 위한 방법으로, 검출된 결함에 대해, 그 결함이 시각적으로 얼마나 쉽게 관찰되는가의 정도가 밝기의 공간적 변화율과 어떤 상관관계를 갖는가를 분석하였고, 이를 위해 밝기 불균일 결함이 시각적으로 눈에 관찰되는 정도를 등급화하는 판능실험을 수행하였다. 이 실험에서는 불균일 결함을 갖는 LCD를 촬상한 6개의 화상을 이용하였으며, 이 화상들은, 결함으로 검출된 결함의 수는 총 20개로 밝기변화율의 크기가 고른 분포를 갖도록 선정된 것이다. 화상들은 앞 장에서와 같이, 70 lux 조도의 실험실에서 밝기 불균일 결함이 없는 해상도 1024x768의 15.1인치 LCD 상에 표시되었으며, 17명의 실험참가자

에게 설문조사를 2회씩 반복하여 총 34회를 실시하였다. 실험은 실험참가자 에게 LCD 상에 표시된 화상을 보고 결함으로 검출된 부분이 얼마나 눈에 잘 띄는가를 1~7 단계의 등급으로 나누어 평가하도록 하였으며, 6개의 화상을 동시에 비교하면서 평가할 수 없으므로 화상별로 관찰하면서 평가하여야 하였다. 그러나, 이 경우, 시각적으로 순응현상이 일어나 평가에 오차가 발생할 소지가 있으므로, 이 같은 순응현상에 의한 영향을 줄이기 위해, 실험참가자들에게 6개의 화상에서 가장 눈에 잘 띄는 결함을 우선 선정하게 한 후, 그것들만을 서로 비교함으로써 각 화상별로 평가의 기준을 우선 정하였다. 그 다음, 이 결함들을 기준으로 각 화상 내에서 결함에 등급을 주게 하는 방법을 이용하였다. 이 같은 방법으로 실험을 수행한 다음, 각 결함마다 전체 실험 회수에 대해 평균한 등급평가치를 구했다. 그 결과로서, 밝기변화율에 대한 등급평가치의 관계가 그림 12에 그래프로 도시 되었다. 그림 12에서 x축과 y축은 각각 밝기변화율과 등급평가치를 나타낸다. 그림 12에서 각 결함의 등급평가치를 원으로 표시하였으며, 오차막대는 34회의 실험을 평균한 등급치의 표준편차를 보인 것이다. 일반적으로 시각의 반응이 Weber-Fechner의 법칙으로 잘 알려진 자극과 반응의 법칙과 유사할 것이라는 추정을 근거로, 밝기변화율에 대한 등급평가치의 관계를 대수적 곡선에 Fitting하여 보았다. 이 대수적 곡선은 최소자승오차를 갖는 Curve Fitting 방법을 이용하여 구하였으며, 그 결과식이 식(5)에 보인다. 또한 이 곡선을 그림 12에 점선으로 나타냈다.

$$g(v) = 5.60 \ln v + 16.83 \tag{5}$$

식(5)에서 v 는 밝기변화율, g 는 등급평가치를 나타낸다. 그림 13을 직관적으로 보면, Fitting된 곡선 가까이 등급평가치가 위치하고 있다는 것을 볼 수 있었

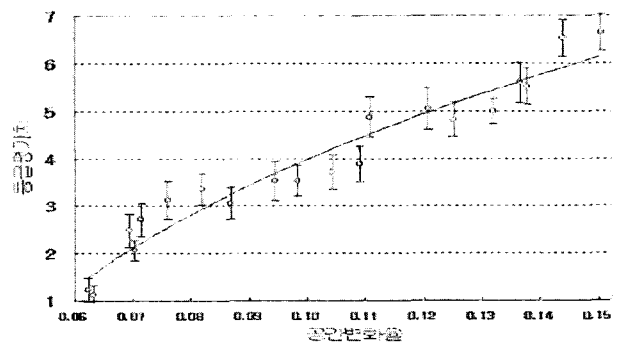


그림 13. 다른 밝기변화율에 따른 등급평가치
Fig. 13. Scaled judgements vs. brightness gradient

다. 그리고, 등급평가지가 밝기변화율에 따라 단조증가할 것으로 예상했으나, 큰 값을 갖는 밝기변화율의 등급평가지가 그보다 작은 밝기변화율의 등급평가지보다 작게 평가되는 위상오차를 몇몇 결함에서 관찰할 수 있었다. 이 경우는 서로 다른 화상에서의 결함 사이에 발생한 것으로서, 같은 크기의 밝기변화율을 가지고 있어도 주위에 존재하는 결함이나 주위의 밝기분포특성에 따라 다른 등급이 부여된 것임을 알 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 디스플레이장치의 밝기 불균일 결함을 검출하는 효과적인 방법을 제안하였다. 결함의 검출은 시지각 특성을 이용하였으며, 밝기편차와 밝기변화율에 따른 불균일한 밝기의 시인성을 조사하는 관능실험을 수행하였다. 실험을 통해 시각적인 결함의 판단은 밝기의 공간적 변화율에 크게 영향을 받는다는 결과를 제시하였고, 이를 검출방법에 이용하였다. 검출 과정은 Contour의 추출, 판정 화소의 선정, 밝기변화의 계산과 결함의 판정과 표시 등 4단계로 구성되었으며, 인접한 Contour 사이의 간격을 이용하여 밝기변화율을 계산하는 방법을 제시하였다. 제안된 방법을 불균일 결함이 존재하는 LCD의 활상화상에 적용한 결과, 불균일한 밝기에 의한 결함이 성공적으로 검출됨을 보였으며, 이는 실제로 생산 라인의 검사원에 의한 시각적 결함 검사의 결과와 잘 일치함을 보였다. 나아가서, 검출된 결함에 대해 얼마나 쉽게 관찰되는가의 정도를 등급화 한 평가지와 밝기의 공간적 변화율과의 관계를 보인 도표를 실험방법과 함께 보였으며, 그 관계가 대수적인 곡선에 Fitting 함으로써, 제안된 방법의 효용성을 제시하였다. 따라서, 제안된 검출방법은 Machine Vision에 의한 자동검사시스템에 이용될 수 있으리라 사료되며, 온라인 자동검사시스템에 적용할 경우, 검사 대상인 LCD에 일정한 화소값을 갖는 전체화상을 디스플레이 한 후, 이를 CCD 카메라로 촬상하여, 그 화상을 분석하고, 제안된 검사알고리즘을 적용함으로써, 밝기의 불균일결함 항목의 검사를 수행하도록 구현되어 생산현장에 투입이 가능하리라 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Y. Mori, K. Tanahashi, R. Yoshitake-shi, S. Tsuji, Extraction and Evaluation of Mura Imag

s in Liquid Crystal Displays, *Proceedings of SPIE*, 4471, pp. 299-306, 2001.

- [2] Fumihiko Saitoh, A Method for Detecting Pixel Defects in LCD Visual Inspection System, *Journal of the Japan Society for Precision Engineering*, Vol. 63, No.4, pp520-524, 1997.
- [3] Saitoh, F., Uneven Area Defects Inspection on LCD Display Using Multiple Resolute Images, *Journal of the Japan Society for Precision Engineering*, Vol. 63, No.5, pp.647-651, 1997.
- [4] Ulrich Eisemann, Influence of Spatial Luminance Interactions on Perceived Brightness, *Proceedings of SPIE*, 4300, pp184-190, 2001.
- [5] Colin Martindale, *Cognitive psychology*, 1994.
- [6] Christopher D. Wickens, Sallie E. Gordon, Yili Liu, *An Introduction to Human Factors Engineering*, 1998.
- [7] Robson, J. G. & Graham, N., Probability summation and regional variations in contrast sensitivity curves across the visual field, *Vision Research*, Vol. 21, pp.408-418, 1981.
- [8] Wilbur B. Davenport Jr., *Probability and Random Processes*, 2000.
- [9] Gregory A. Baxes, *Digital Image Processing: Principles and applications*, 1994.
- [10] Arthur Weeks, *Fundamental of Electronic Image Processing, SPIE/IEEE Series on Imaging Science & Technology*, 1998.
- [11] Grant B. Gustafson, Calvin H. Wilcox, *Analytical and Computational Methods of Advanced Engineering Mathematics*, 2000.

— 저 자 소 개 —



김 지 홍(정회원)

1982년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사)

1984년 한국과학기술원 전기및 전자공학과졸업(석사)

1989년 한국과학기술원 전기및 전자공학과졸업(공학박사)

1989년~1998년 (주)LG전자 영상미디어연구소 및 디스플레이연구소 책임연구원

1995년~1996년 Purdue대학교 객원연구원

1999년~현재 부경대학교 화상정보공학부

<주관심분야: 전자화상, Machine Vision 응용>