

논문 2007-44SP-5-3

인간 시각시스템의 주파수 감도를 이용한 TFT-LCD 결함 강조

(TFT-LCD Defect Enhancement Using Frequency Sensitivity of HVS)

오종환*, 박길흠**

(Jong-Hwan Oh and Kil-Houm Park)

요약

일반적으로 TFT-LCD영상은 휘도 분포가 불균일하며, 전체적으로 크게 변화하는 배경신호, 노이즈 신호, 그리고 결함 영역에서만 급격하게 변하는 결함 신호로 이루어져 있다. 본 논문에서는 HVS (human visual system)의 가장 큰 특징인 주파수에 따라 차이를 인지하는 정도가 다르다는 것을 나타내는 MTF (modulation transfer function)를 변형하여 TFT-LCD영상의 결함을 상대적으로 강조하는 알고리즘을 제안하였다. 이상적인 1차원 신호를 생성하여 제안한 방법의 유효성을 살펴보고 실제 TFT-LCD영상에 적용하여 제안한 알고리즘이 영상 결함 강조에 우수한 효과를 가짐을 확인하였다.

Abstract

Generally, the TFT-LCD image signal have nonuniform brightness and are composed of largely varying background signal, noise signal and abruptly changing Mura signal within Mura region. In this paper, Mura region enhancing algorithms using the proposed modified-MTF, which describes how human-visual-system's sensitivity varies in frequency domain, is proposed. The validity of the proposed algorithm was demonstrated ideal 1-dimensional signal and also then it was also tested TFT-LCD image. By the experimental results, the proposed algorithm is very effective in TFT-LCD image Mura enhancement.

Keywords : Computer Vision, HVS, MTF, CSF(contrast sensitivity function), TFT-LCD

I. 서론

최근 들어 TFT-LCD (thin film transistor liquid crystal display)는 고해상도, 넓은 시야각, 빠른 응답속도, 저 중량, 작은 부피, 저 전력소모 등의 장점으로 모니터, 텔레비전과 휴대폰 그리고 다양한 휴대용 기기 등에 사용되어 주요 디스플레이로 각광을 받고 있다.^[1] TFT-LCD에 대한 수요가 늘어날수록 품질관리와 생산성의 향상을 위해서 TFT-LCD에 존재하는 결함 영역

을 검출하기 위한 자동 검사 장비의 필요성이 커지고 있다.^[2-4] 자동 검사 시스템의 개발을 위해서는 TFT-LCD영상 특성을 먼저 파악할 필요가 있으며, TFT-LCD영상은 BLU(Back Light Unit)의 불균일한 빛 반사, 액정의 불균일한 분포, 액정의 미세한 이물, 카메라 노이즈 그리고 공정상의 여러 요인으로 인해 전체적으로 휘도 분포가 고르지 못하고 노이즈가 섞여있다. 이러한 불균일한 휘도 변화는 TFT-LCD에 존재하는 영역을 가지는 결함(Mura)을 찾는데 방해가 된다.

그림 1에 TFT-LCD 영상의 1차원 cut-view를 나타내었다. 관측되는 신호는 천천히 크게 변화는 배경신호, 노이즈 신호 그리고 결함 영역에서만 어느 정도의 변화를 가지는 Mura신호로 이루어져있다.^[5]

정상적인 TFT-LCD 영상신호는 luminance uniformity가 80%^[6]이상이고 검사자는 Mura신호와 주

* 학생회원, ** 정회원, 경북대학교 전자공학과
(Dept. of Electrical Engineering, Kyungpook National University)

※ This work was supported by grant No. (R01-2006-000-10944-0) from the Basic Research Program of the Korea Science & Engineering Foundation

접수일자: 2007년1월22일, 수정완료일: 2007년8월24일

변 값들과의 차이를 Weber Region에서 3%이상일 때 찾아내야 한다.^[7]

따라서 관측된 신호에서 결함을 찾기 용이하게 만들기 위해서는 배경신호를 평활화 하거나, 노이즈 신호 억제 하거나 또는 결함 신호를 강조해야 한다. 기존의 TFT-LCD영상의 결함을 찾기 용이하게 하기 위한 대표적인 방법으로 배경 신호를 평활화 시키는 B-Spline을 이용하는 방법^[4], PA (polynomial approximation)을 이용하는 방법^[3]이 있다. 인간 검사자는 결함을 찾을 때 국부적인 영역단위로 결함을 찾는 데 이는 곧 인간 시각이 어느 정도의 밝기 변화를 보정한다는 의미이다. 이러한 관점에서 평활화 방법이 제안되었다. 먼저 B-Spline을 이용하는 방법은 샘플 포인트에 의존하는 4개의 3차 polynomial을 이용하여 TFT-LCD영상의 표면을 추정하여 결함 검출을 용이하게 하는 방법이며, PA를 이용하는 방법은 라인 혹은 영상 전체의 MSE(Mean Square Error)가 최소가 되는 polynomial을 추정하여 영상의 전체적인 굴곡을 추정하는 방법이다. 그러나 B-Spline을 이용하는 방법과 PA를 이용하는 방법은 표면을 추정할 때 샘플 위치에 따라 영상의 표면이 추정되어 배경 신호와 결함 신호의 차이가 줄어드는 경향이 있으며 주파수에 따른 인간 시각을 고려하지 않은 문제점이 있었다.

따라서 본 논문에서는 주파수에 따라 변화를 인지하는 감도가 다름을 나타내는 인간 시각 시스템의 특성을 고려하여 TFT-LCD의 결함을 배경 신호와 노이즈 신호에 비해 상대적으로 강조하는 알고리즘을 제안한다. 제안한 방법은 사람이 주파수에 따라 차이를 인지하는 문턱치 값이 다르다는 결과를 나타내는 MTF (modulation transfer function)^[8~9]를 변형하였으며, 이상적으로 생성한 1차원 신호와 실제 TFT-LCD영상에 적용하여 그 효용성을 입증하였다. 특히 제안한 방법은 한도에 가까운 약한 결함에서도 결함을 강조하여 시각적으로 결함을 두드러지는 효과를 나타내었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 MTF에 대하여 살펴보고 III장에서 제안한 결함 강조 필터를 설명하며 IV장에서 이상적인 1차원 신호의 실험 결과와 실제 TFT-LCD영상 실험결과를 살펴본다. 그리고 마지막 V장에서 결론을 맺는다.

II. MTF

인간 시각은 상대적으로 고주파에서의 변화보다 저

주파에서 일어나는 변화를 잘 감지한다. MTF 또는 CSF (contrast sensitivity function)은 인간 시각 시스템 (HVS: Human Visual System) 이 주파수에 따라 변화를 인지하는 감도(sensitivity)를 나타내는 함수이며 식 (1)과 같이 표현된다.^[8]

$$H(f) = 2.6(0.192 + 0.114f)\exp(- (0.114f)^{1.1}) \quad (1)$$

여기서 f 는 주파수를 의미하며 그 단위는 [Cycle/Degree]이다. 그림 2,3에 MTF를 도출하기 위해 사용한 실험 영상과 실험 영상과 실험자와의 거리를 나타내었다. Ajeetkumar Gaddipati^[9]는 주파수에 따라 차이를 인지하는 문턱치 값을 찾아내기 위하여 그림 2에 나타난 것과 같이 사인과 함수의 주파수를 증가시켜 가며

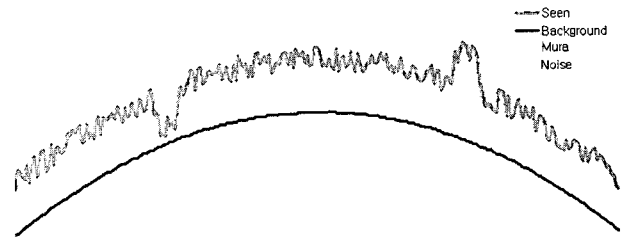


그림 1. TFT-LCD 영상의 1차원 cut-view
Fig. 1. One dimension cut-view of TFT-LCD image.



그림 2. MTF실험을 위한 Sine wave grating
Fig. 2. Sine wave grating for MTF experiment.

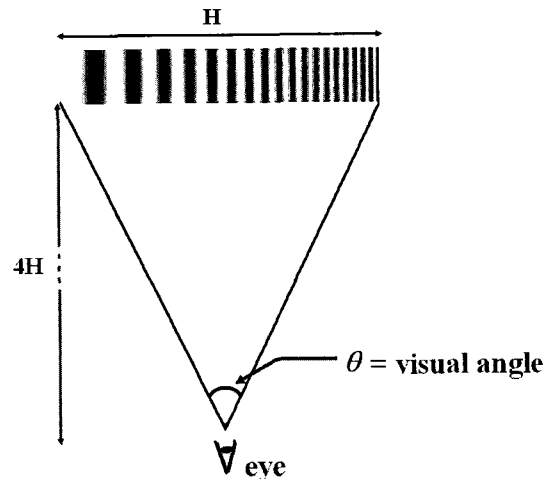


그림 3. MTF실험을 위한 실험자와 물체
Fig. 3. The position of trier and object for MTF experiment.

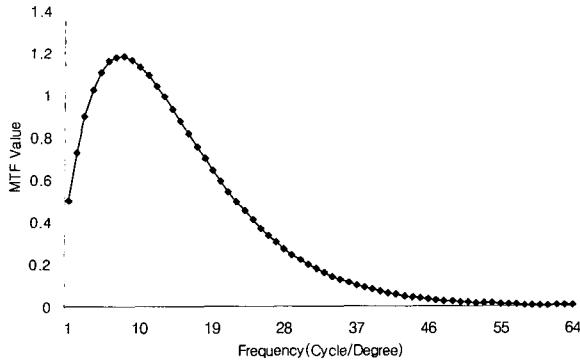


그림 4. 1차원 MTF view.
Fig. 4. One dimensional MTF view.

실험하였다. 그리고 실험자의 시야각(visual angle)에 들어오는 화소의 크기는 그림 3과 같이 물체와 실험자의 거리의 1/4이다.

그림 4에 MTF의 1차원 그래프를 나타내었다. CSF value는 밝기차를 인지하는 문턱치 값의 역수이며 CSF 값이 클수록 밝기 변화를 쉽게 인지한다. 따라서 인간 시각은 8[Cycles/Degree]주변에서 밝기 변화를 가장 잘 인지하고 주파수가 올라갈수록 밝기 변화를 잘 인지하지 못한다. 즉 인간시각은 상대적으로 저 주파수에서 일어나는 변화는 잘 감지하는 반면 고주파에서 일어나는 변화는 잘 감지하지 못한다. HVS의 중요한 특징을 나타내는 MTF는 주로 영상 압축, 워터마킹에 사용되며 인간 시각에 영향을 미치는 주요한 주파수 영역을 선택하는데 그 기준이 된다. 그러나 MTF그래프는 단위가 cycle/degree 이므로 이를 이용하기 위해서는 정규화 주파수로 변화하여 사용한다. 정규화 주파수는 [0,1]로 표현되며 주파수로 바꾸었을 때는 [0,2π]이다.

III. 제안한 TFT-LCD영상 개선방법

TFT-LCD영상을 개선하기 위하여 제안한 순서도를 그림 5에 나타내었다. 제안한 방법은 입력 신호를 FT(Fourier Transform)한 뒤, 인간 시각을 고려하여 샘플링 값과 DC값을 변화시킨 변형된 MTF를 FT영역에서 곱한 다음 역 FT하여 강조된 신호를 얻는다.

앞에서 살펴본 MTF는 저주파 영역에 상대적으로 큰 값을 가지는 LPF(Low Pass Filter)형태이며 고주파로 갈수록 억제하는 모양을 갖는다. 본 논문에서는 64[Cycle/Degree]이하의 주파수를 샘플링 하여 정규화된 주파수 응답을 도출하였다^[9]. 정규화 된 주파수 응답을 그림 6에 나타내었으며, 64[Cycles/Degree]이상의 주

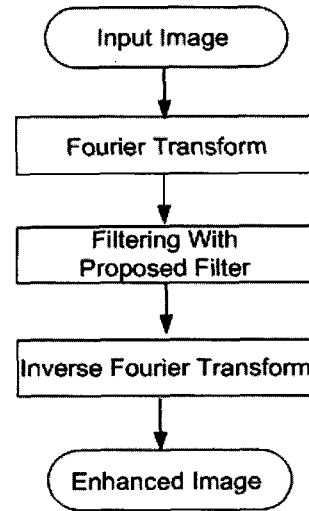


그림 5. 제안한 TFT-LCD 영상 개선 방법의 순서도
Fig. 5. Proposed flowchart for TFT-LCD image enhancement.

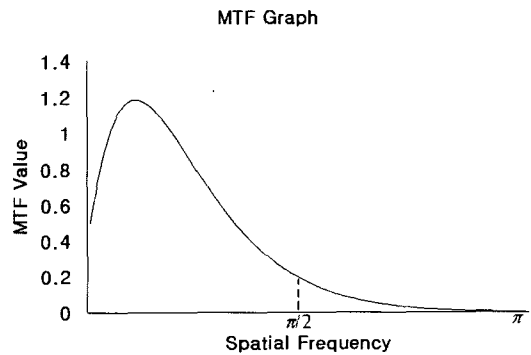


그림 6. 주파수 영역으로 정규화된 1차원 MTF view.
Fig. 6. Normalized MTF view in frequency domain.

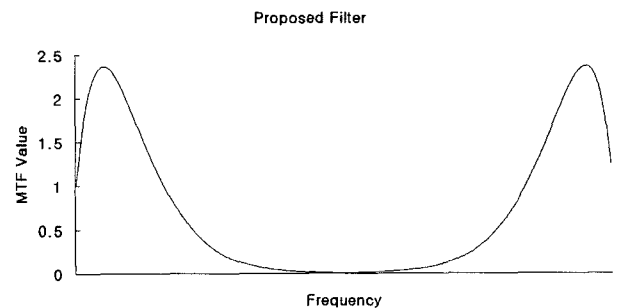


그림 7. 제안하는 필터모양(K=1일 때)
Fig. 7. 1-D view of proposed filter (when K=1).

파수는 그림 7과 같이 folding하여 생성하였다. 제안한 Modified MTF(MMTF) 필터는 식 (2)와 같이 표현되며 K=1일 때 그래프 모양은 그림 7과 같다.

$$MMTF(f_{Nor}) = \frac{H(f/64 \times \pi)}{H(0) \times K} \quad (2)$$

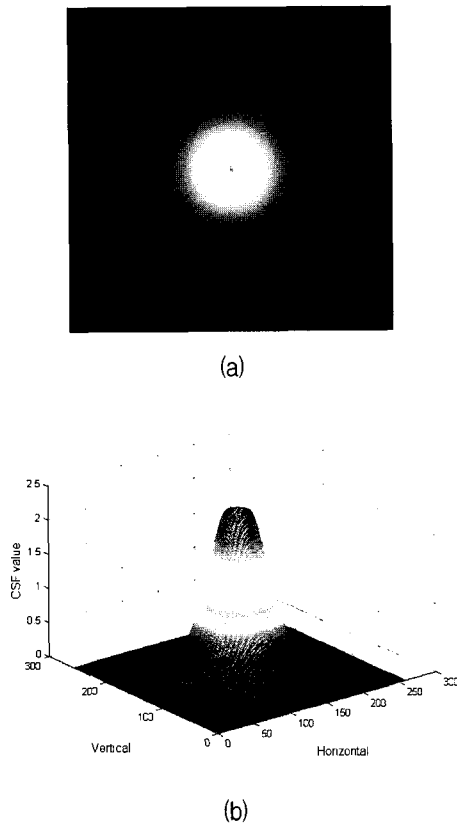


그림 8. 제안하는 필터; (a)제안하는 2차원 필터영상 (b)제안하는 필터 3차원 view

Fig. 8. Proposed filter shape; (a) the proposed 2-D filter image (b) 3-D shape of proposed filter.

여기서 $H(0)$ 는 약 0.499이며, $H(0) \times K$ 는 영상의 평균 값에 영향을 미치며, K 가 1일 때 필터링 한 영상과 원 영상의 평균값과 비슷하게 된다. 또한 K 가 1보다 작을 때는 DC값이 증가하여 원 영상보다 밝아지며, K 가 1보다 클 때는 원 영상 보다 어두워진다. 제안한 필터는 $f \leq \frac{\pi}{2}$ 에서는 Low-boost필터 형태를 가지며, $f > \frac{\pi}{2}$ 에서는 고주파를 상대적으로 억제하는 모양을 가진다.

이를 2차원으로 확장하여 나타낸 영상이 그림 8에 나타나 있다. 그림 8(a)에서는 값을 정규화 하여 시각적으로 눈에 띄게 하였으며, 이를 3차원 모양으로 나타낸 필터가 그림 8(b)에 나타나있다.

IV. 실험 및 고찰

제안한 필터가 결합 신호를 상대적으로 강조하는 효과를 갖는지 알아보기 위하여 먼저 1차원 신호를 생성하여 그 결과를 살펴보았다. 그런 뒤 TFT-LCD영상에 적용하여 검증하였다. 실험은 펜티엄 IV 3.4 GHz CPU

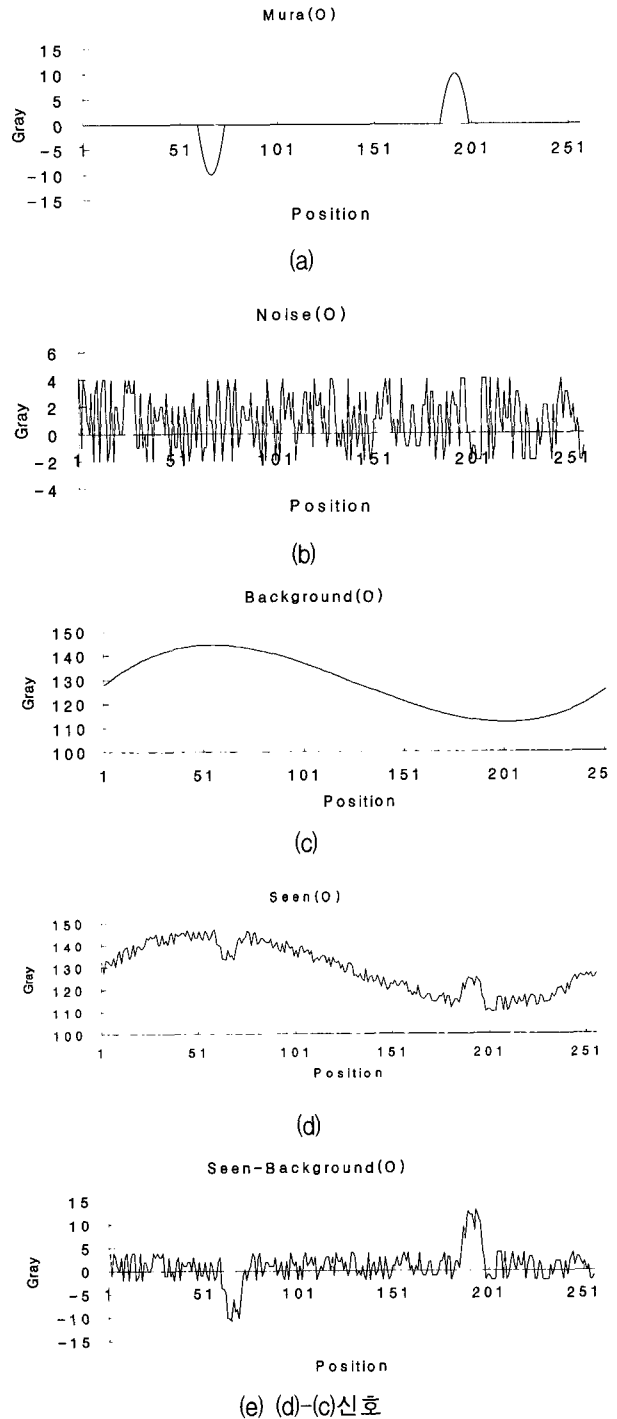


그림 9. 1차원 생성 신호들; (a) Mura신호 (b) 노이즈 신호 (c) 배경신호 (d) 관측되는 신호 (e) (d)-(c)신호

Fig. 9. Generated 1-d signals; (a) Mura signal (b) noise signal (c) background signal (d) observed signal (e) (d)-(c) signal.

에서 Visual C++ 6.0 컴파일러를 사용하였고 실험 영상은 가로, 세로 $400\mu\text{m}$ 의 해상도를 가지는 8비트 gray영상을 사용하였다.

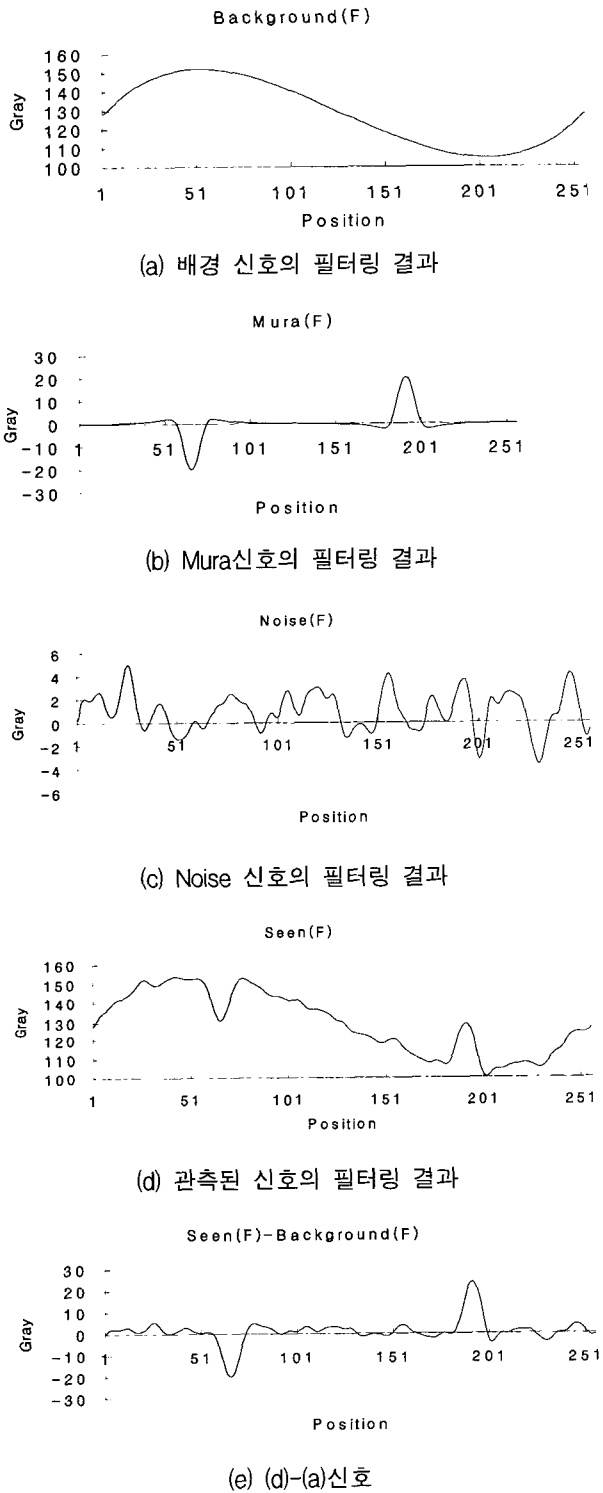


그림 10. 제안한 필터로 1차원 신호를 필터링한 결과 (a) Mura신호 필터링 결과 (b) 노이즈 신호 필터링한 결과 (c) 배경신호 필터링한 결과 (d) 관측되는 신호 필터링한 결과 (e) (d)-(a)신호

Fig. 10. The filtering results of generated 1-d signals; (a) the result of Mura signal (b) the result of noise signal (c) the result of background signal (d) the result of observed signal (e) (d)-(a) signal.

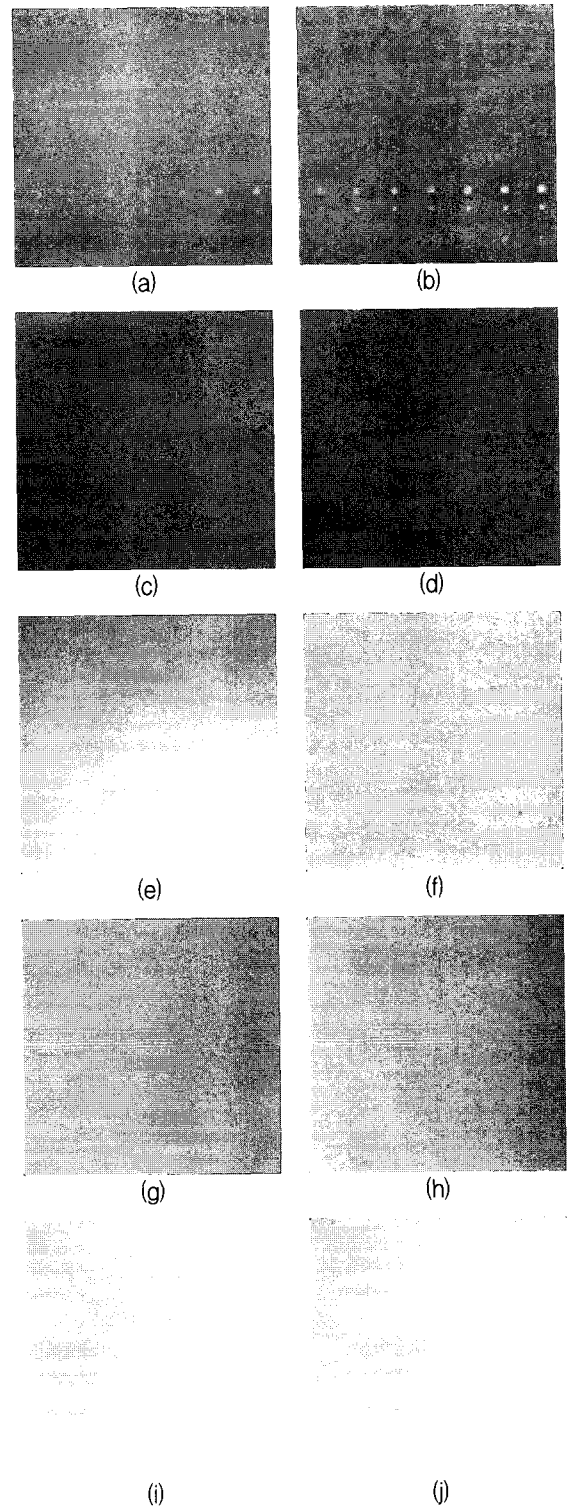


그림 11. TFT-LCD 영상의 실험 결과; (a),(c),(e),(g),(i)실험 영상, (b),(d),(f),(h),(j) 실험영상 (a),(c),(e),(g),(i)의 필터링 결과

Fig. 11. The experimental results of TFT-LCD images; (a),(c),(e),(g), and (i) are the test images, (b),(d),(f),(h), and (j) the experimental result images of test images (a),(c),(e),(g), and (i), respectively.

먼저 1차원 생성 신호는 그림 9와 같이 128을 평균값으로 가지면서 ± 14 의 밝기차를 가지는 배경신호, 영역을 가지면서 Mura영역에서 점진적으로 변화는 ± 10 의 밝기차를 가지는 Mura신호, 그리고 $\pm 2 \sim 4$ 의 밝기차를 가지는 랜덤 Noise신호로 이루어져 있다. 배경 신호는 128 gray level에서 luminance uniformity가 80%이상 되도록 생성 하였으며, Mura신호는 랜덤 Noise 신호크기 보다 2배 이상의 크기로 정하였다. 또한 Mura는 영역을 가지므로 Mura영역을 15 Pixel정도로 잡았다.

그림 10(b)와 같이 제안한 필터를 사용하였을 때 Mura신호가 ± 20 밝기로 강조되었음을 알 수 있다. 또한 인간시각의 중요한 특징의 하나인 Mach Band

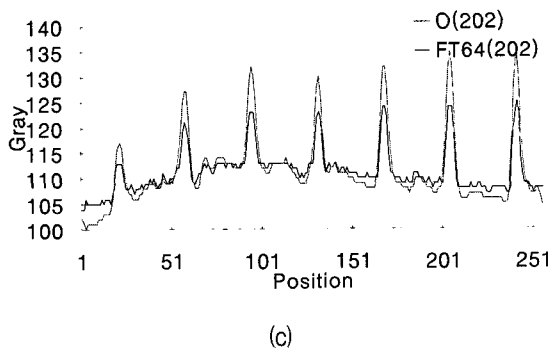
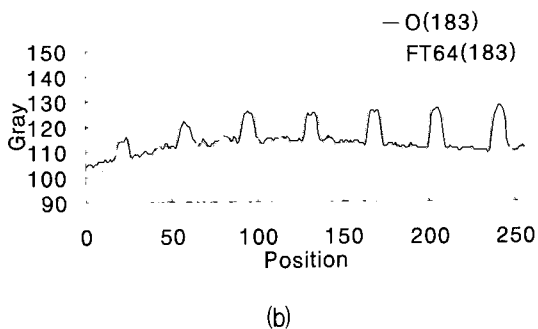
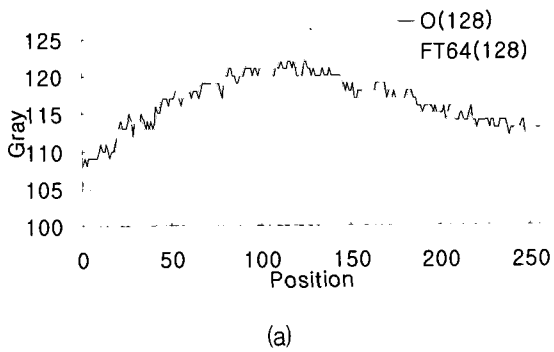


그림 12. 그림 11(a) 영상의 필터링 결과의 cut-views.
Fig. 12. The cut-view of Fig. 11(a) image after proposed filtering; (a)128 line cut-view (b)183 line cut-view (c)231 line cut-view.

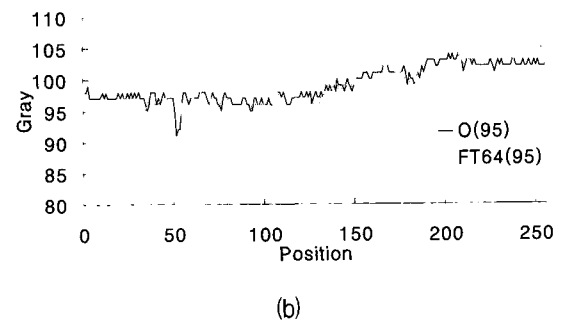
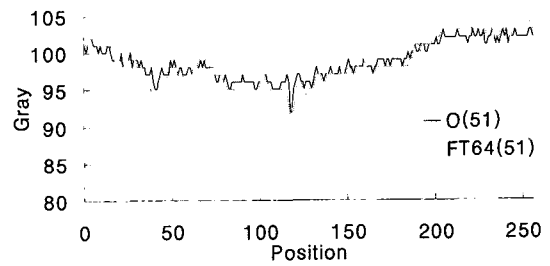


그림 13. 그림 11(c) 영상의 필터링 결과의 cut-views.
Fig. 13. The cut-view of Fig. 11(c) image after proposed filtering; (a)51 line cut-view (b)95 line cut-view

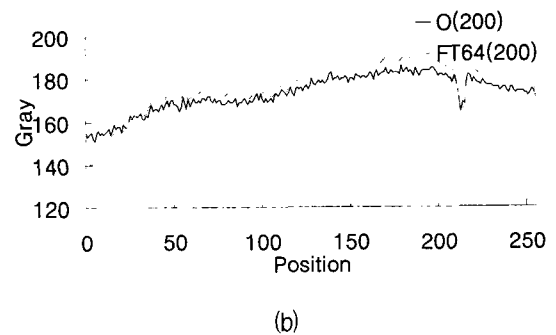
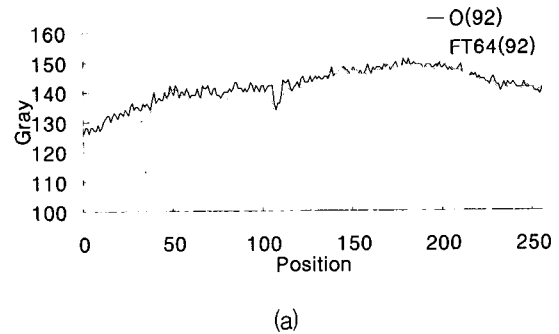


그림 14. 그림 11(e) 영상의 필터링 결과의 cut-views.
Fig. 14. The cut-view of Fig. 11(e) image after proposed filtering; (a) 92 line cut-view (b) 200 line cut-view.

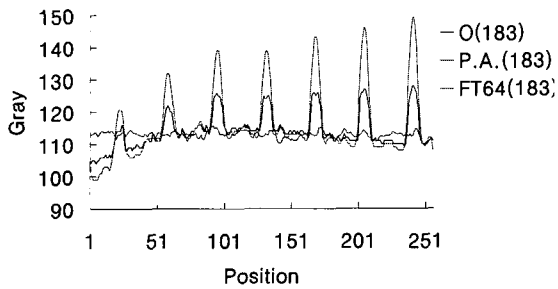


그림 15. 기존의 TFT-LCD 영상 개선 방법과의 cut-view 결과 비교.

Fig. 15. The cut-view comparison of previous TFT-LCD enhancement method.

Effect^[10]와 유사한 응답을 보인다. 즉, 경계 부근에서 어두운 경계에 가까운 영역에서는 좀 더 어둡게 나타나고 밝은 경계에 가까운 영역에서는 좀 더 밝게 나타난다. 그림 10(a),(c)와 같이 배경과 노이즈 성분도 어느 정도 강조되지만 그림 10(d),(e)의 결과를 살펴보면 그 강조되는 정도가 결함영역에서 더 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 임의로 생성한 신호에 대해서 제안한 필터는 배경과 노이즈 보다 결함을 상대적으로 많이 강조한다는 것을 확인할 수 있었다. 그 변화하는 폭은 K 의 값에 따라 달라진다. 즉 K 가 작을수록 강조되는 정도가 크며 K 가 클수록 강조되는 정도가 작다.

$K=1$ 인 경우 제안한 필터를 실제 공간 해상도 256×256 사이의 TFT-LCD 영상에 적용한 결과를 그림 11에 나타내었다. 그림 11(a)는 다양한 사이즈 그리고 밝기차를 가지는 Mura를 신호 발생기로 생성한 영상이며 (c),(e),(g),(i)는 실제 TFT-LCD영상이다. 그림 (b),(c),(e)에서 Mura가 원 영상보다 좀 더 선명하게 보여 지는 것을 확인할 수 있으며 특히 (h),(j)와 같이 희미한 Scratch형태의 결함이 원 영상보다 확연히 강조됨을 알 수 있다. 그림 11에 나타난 실험 영상의 공간해상도 256×256 이며 실험 영상 11(a),(c),(e)을 필터링한 후 결함이 존재하는 라인과 결함이 존재하지 않는 라인의 cut-view를 그림 12-14에 나타내었다. 그림 12(b),(c)는 가장 큰 결함과 가장 작은 결함이 존재하는 수평 라인이며 필터링한 결과를 F(183) 그리고 F(231)로 표시 하였다. 그리고 결함이 존재하지 않는 128 라인의 cut-view를 그림 12(a)에 나타내었다. 그림 12, 13, 14 에서 알 수 있듯이 제안한 방법은 원 영상의 굴곡을 따라가면서 결함 영역만을 상대적으로 강조함을 확인할 수 있었다.

그리고 마지막으로 기존의 TFT-LCD 영상 개선 방

법의 하나인 PA방법과 제안한 방법과의 실험 결과를 실험 영상 11(a)의 183라인의 cut-view를 통하여 간단히 비교하였다. 제안한 결과로 나타난 F(183)의 cut-view가 기존의 P.A(183)의 cut-view보다 결함 영역을 확연히 강조함을 알 수 있다. 결과에 나타난 것처럼 제안한 방법은 기존의 방법보다 결함과 주변 영역의 차이를 크게 하여 인간의 시각에 결함이 더욱 더 잘 보이게 한다. 또한 K 값을 조정하여 결함이 강조되는 정도를 조절할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 HVS의 중요한 특징 중의 하나인 주파수에 따라 차이를 인지하는 문턱치 값이 다름을 나타내는 MTF를 변형하여 TFT-LCD영상 개선에 사용하였다. 제안한 방법은 MTF의 주파수를 정규화 하였으며, DC값을 가변시킬 수 있다. 제안한 방법을 1차원 생성된 신호와 실제 TFT-LCD영상에 적용하여 배경과 노이즈보다 결함 영역을 상대적으로 강조하는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] J. Jang, S. K. Lim, and M. H. Oh, "Technology development and production of flat panel displays in Korea," *Proceedings of the IEEE*, vol. 90, no. 4, pp. 501-513, 2002.
- [2] J. H. Oh, D. M. Kwak, K. B. Lee, Y. C. Song, D. H. Choi, and K. H. Park, "Line defect detection in TFT-LCD using directional filter bank and adaptive multilevel thresholding," *Key Engineering Materials*, vol. 270-273, pp. 233-238, 2004.
- [3] S. I. Baek, W. S. Kim, T. M. Koo, I. Choi, and K. H. Park, "Inspection of defect on LCD panel using polynomial approximation," *TENCON 2004*, vol. A 21-24, pp. 235-238, Nov. 2004.
- [4] G. B. Lee, C. G. Lee, S. Y. Kim, and K. H. Park, "Adaptive surface fitting for inspection of FPD devices using multilevel B-spline approximation," *21st International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications* vol. 2, pp. 205-208, 2006.
- [5] Kaznutaka Tanigucchi, Kunio Ueta, and Shoji Tatsumi, "A detection method of mura on a coated layer using interference light," *2006 IEEE International Conference on System, Man, and*

Cybernetics, pp. 5047-5052, Oct. 2006.

[6] VESA Flat Panel Display Measurements Standard Ver 2.0, June 1, 2001.

[7] Selig Hecht, "The visual discrimination of intensity and the Weber-Fechner law," *Journal of General Physiology*, vol. 7, pp. 235-267, Sep. 1924.

[8] J.L. Mannos and D.J. Sakrison, "The effects of a visual fidelity criterion on the encoding of images," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 20, no. 4, pp. 525-536, July 1974.

[9] A. Gaddipatti, R. Maciraju, and Roni Yagel, "Steering image generation with wavelet based perceptual metric," *Computer Graphic Forum*, vol. 16, no. 3, pp. 241-251, 1997.

[10] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods "Digital Image Processing second edition", pp. 363 - 372, 2002.

저 자 소 개



오 종 환(학생회원)
 2000년 경북대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2002년 경북대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 2007년 현재 경북대학교
 전자공학과 영상처리
 연구실 박사 재학 중
 <주관심분야 : 컴퓨터 비전, 영상처리, 웨이브렛>



박 길 흠(정회원)
 1982년 경북대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1984년 한국 과학기술원
 전자공학과 석사 졸업.
 2000년 한국 과학기술원
 전자공학과 박사 졸업.
 2007년 현재 경북대학교 전자공학과 교수
 <주관심분야 : 의료 영상, 지문인식, 컴퓨터비전>