

Multi-Point 2-D FFT를 이용한 TFT-LCD Mura 검출 알고리즘

장영범^{1*}, 김한진¹
¹상명대학교 정보통신공학과

TFT-LCD Mura Detection Algorithm Using Multi-point 2-D FFT

Young-Beom Jang^{1*} and Han-Jin Kim¹

¹Department of Information Technology and Communications, SANGMYUNG UNIV.

요 약 이 논문에서는 TFT-LCD의 제조공정에서 발생하는 mura를 효율적으로 검출하는 multi-point FFT를 기반으로 한, 2차원 FFT를 이용하는 새로운 전기적인 검출 방식을 제안한다. TFT-LCD의 mura 패턴은 어느 일정한 영역을 갖고 있으므로 어느 한 라인에서 관찰하면 sin 파의 모양으로 관찰된다. Mura의 모양은 원, 가로 타원, 세로 타원으로 분류할 수 있으며 2-D FFT 변환을 통하여 일정한 문턱치와 비교하면 mura를 쉽게 검출할 수 있음을 보인다. 실험영상의 simulation을 통하여 제안 알고리즘이 다양한 크기의 mura 패턴을 효과적으로 검출할 수 있음을 보였다. 따라서 제안된 알고리즘은 TFT-LCD mura의 자동 검사 시스템에 이용될 수 있을 것이다.

Abstract In this paper, we propose a new mura detection algorithm for TFT-LCD effectively, which is based on multi-point, 2-dimensional FFT. Since mura in TFT-LCD has a certain area shape, it is seen as a sin wave in a LCD line. Since shapes of mura can be seen a circle, horizontal oval, or vertical oval, it is shown that they can be detected by 2-dimensional FFT easily. Through simulation for test image, it is shown that proposed algorithm can detect various sizes of mura. The proposed algorithm can be utilized in automatic test equipment for effective TFT-LCD mura detection.

Key Words : TFT-LCD, Mura, 2-Dimension FFT

1. 서론

텔레비전과 컴퓨터 모니터, 그리고 다양한 휴대용 기기 등에 TFT-LCD(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display)가 널리 사용되고 있다. TFT-LCD는 여러 디스플레이 장치 중에서도 고해상도, 넓은 시야각, 빠른 응답속도, 작은 부피와 무게, 저 전력소모 등의 장점을 갖고 있기 때문에 주요 디스플레이로 각광 받고 있다. 이와 같은 TFT-LCD는 최근 수요급증에 따라 품질관리와 생산성 향상을 위하여 TFT-LCD 표면의 불량 여부를 검사하는 자동 검출 시스템의 필요성이 증대되고 있다. 하지만 현재까지의 mura 검출시스템은 단순한 모양의 점과 선 형태의 mura(결함)를 찾는 수준이고 그 성능 또한 떨어져서

최종적인 불량여부의 판단은 숙련된 검사원의 시각적 판단과 경험에 의해 좌우되고 있는 경우가 많다. 이러한 이유 때문에 mura 검출에 상당한 인력과 시간이 소모되고 있으며 생산자의 입장에서는 TFT-LCD의 mura를 효과적으로 검출하는 시스템을 필요로 하고 있다.

TFT-LCD의 mura가 생기는 이유는 다양하다. 제조과정에서의 제조 기계의 오작동, 제조자의 실수, 먼지나 분진에 의한 미세한 결점, 사용하는 필름의 불량 등 많은 이유에 의해 mura가 발생할 수 있다. 제조 공정에서 사용되는 mura 검출방법에는 전기적인 테스트를 통한 mura 검출 방법과[1-3] 사람의 눈을 이용하는 방법이 있다.[4]-[6] 사람(검사원)의 눈을 이용하는 방법은 사람의 눈이 주파수에 따라 차이를 인지하는 정도가 다르다는

본 논문은 2009년도 상명대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

*교신저자 : 장영범(ybjang@smu.ac.kr)

접수일 2010년 01월 04일

수정일 (1차 10년 03월 18일, 2차 10년 03월 30일)

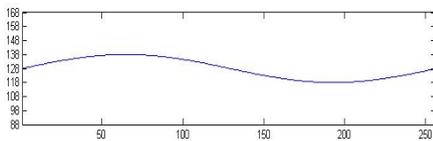
게재확정일 10년 04월 09일

사실을 이용하였다. 하지만 사람의 눈을 이용하게 되면 검사자의 눈이 쉽게 피로해지고, 눈으로 인식하지 못하는 미세한 mura 등은 검출하기 어려운 단점이 있다. 주파수 차이를 인지하는 정도의 차이를 이용하기 위하여 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용하는 방법이 제시되었다[6]. 또한 테스트 장비를 이용한 방식에서도 FFT를 사용하는 방법이 제시되었다[7]. mura 패턴은 TFT-LCD의 어느 한 개의 라인에서 관찰하면 sin 파의 모양을 갖고 있기 때문에 FFT 변환을 수행하면 DC값과 X(1)의 값이 커지므로 문턱 값과 비교하여 쉽게 mura를 검출할 수 있다. [7]에서는 가로방향으로만 FFT 변환을 사용하기 때문에 가로방향으로 폭이 좁고 세로방향으로 생긴 mura는 검출하기 어려운 단점이 있다.

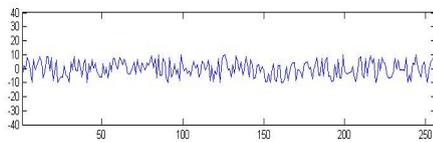
이 논문에서는 Multi-point 2차원 FFT를 사용하는 전기적인 테스트를 통한 mura 검출 방법을 제안한다. 즉 2차원 FFT 변환을 통하여 가로의 mura 패턴뿐만 아니라 세로로 발생한 mura 패턴까지 검출하는 보다 정확한 mura 검출 방법을 제안한다. 2장에서는 TFT-LCD의 mura 패턴에 대하여 설명하고 3장에서는 새로운 mura 검출 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 실험 영상을 통하여 mura가 효과적으로 검출됨을 보이고 5장에서 결론을 맺는다.

2. TFT-LCD의 mura 패턴

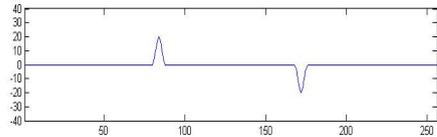
이 장에서는 공정이 완료된 256×256 pixel의 TFT-LCD에 저주파의 신호를 256개의 라인에 모두 인가한 경우의 예를 사용하여 설명하기로 한다. 인가한 저주파 신호의 진폭은 그림 1(a)와 같은 128±10의 신호를 사용하였다.



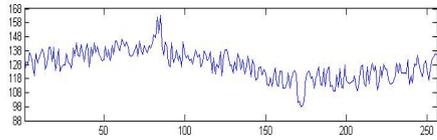
(a)



(b)



(c)



(d)

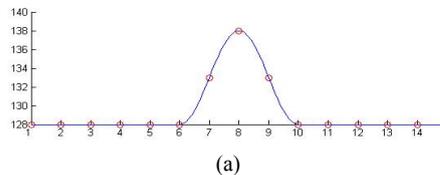
[그림 1] (a) 인가한 저주파신호 (b) 노이즈신호 (c) mura (d) 출력된 신호

TFT-LCD에서 출력되는 영상에는 BLU(Back Light Unit)의 불균일한 빛 반사나 액정의 불균일한 분포로 인하여 노이즈가 발생한다. 추출된 라인의 신호에서는 그림 1(b)와 같은 노이즈가 발생한다고 가정할 수 있다. 또한 앞에서 설명한 여러 가지 이유로 그림1(c)와 같은 mura가 생길 수 있다.

이와 같은 경우에 mura가 생긴 라인의 신호를 추출해 보면 그림 1(d)와 같은 패턴을 관찰할 수 있게 된다. 이 논문에서는 테스트 장비를 통하여 자동으로 TFT-LCD의 mura를 검출하는 방법을 제안한다.

3. 제안된 TFT-LCD의 mura 검출 방법

TFT-LCD에서 관찰되는 mura의 모양은 그림1(c)와 같이 나타난다. 이 mura 패턴의 크기는 4 pixel에서 14 pixel의 크기까지 존재한다. 이러한 mura 패턴은 sin 파의 모양을 닮았으므로 sin 파로 모델링 할 수 있다. 이 장에서는 이와 같이 나타나는 mura를 자동으로 검출하기 위해서 2차원 FFT를 이용하는 방식을 제안한다. 다음의 그림 2(a)와 같은 4 pixel 크기의 sin 파 모양을 갖는 mura를 통해서 제안 방식을 설명하기로 한다.



(a)



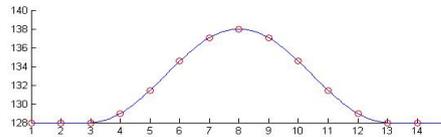
(b)

[그림 2] (a) 4pixel mura (b) 4pixel FFT 결과 값

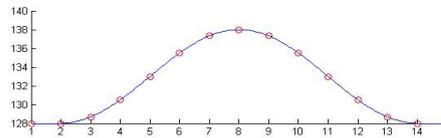
그림 2(a)와 같은 mura 패턴에 대하여 다음과 같은 FFT 변환을 수행한다.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] W_N^{kn}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

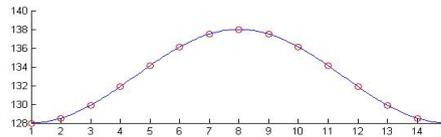
이 식에서 $W_N = e^{-j2\pi/N}$ 이다. 그림 2(a)는 4 pixel 크기의 mura 패턴이므로 $N=4$ 의 4-point FFT 변환을 수행하면 그림 2(b)와 같은 결과를 얻을 수 있다. 즉 그림 2(b)와 같이 $X(0)$ 의 DC 성분과 $X(1)$ 의 주파수 성분으로 나타나게 된다. ($X(3)$ 은 단지 $X(1)$ 의 대칭 주파수 성분이다.) 따라서 시간영역에서 mura를 검출하는 것보다는 주파수 영역에서 mura를 검출하는 것이 검출 확률을 높일 수 있다. 실제 TFT-LCD에서 나타나는 mura 패턴은 그림 2(a)와 같은 정확한 sin파로 나타나는 것은 아니기 때문에 다른 주파수 성분도 검출된다. 그러나 성분의 양이 $X(0)$, $X(1)$ 과 비교하여 크지 않기 때문에 FFT 검출 알고리즘을 이용할 수 있다. 그림 3은 6 pixel의 크기에서부터 14 pixel의 크기의 mura에 대한 FFT변환의 결과를 보여 준다.



(c) 10 pixel mura와 10-point FFT



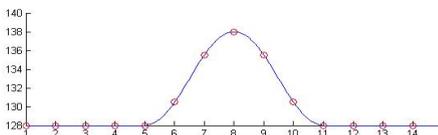
(d) 12 pixel mura와 12-point FFT



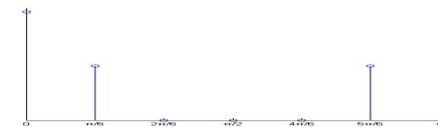
(e) 14 pixel mura와 14-point FFT

[그림 3] 다양한 크기의 mura와 그 FFT

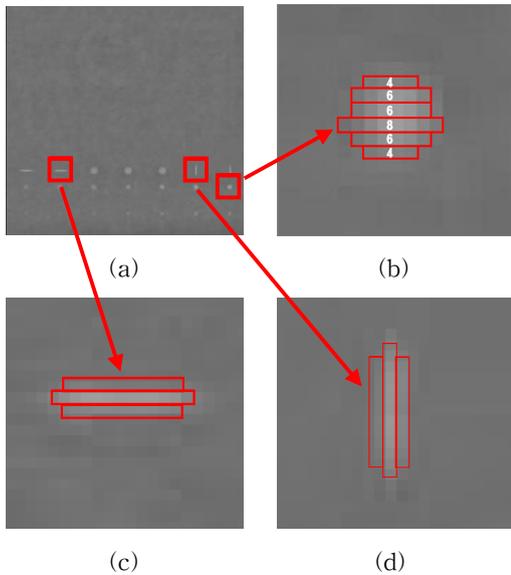
그림 3(a)와 같은 6 pixel 크기의 mura 패턴은 6-point FFT 변환에 가장 잘 반응한다. 즉 그림 3(a)에서 보듯이 $X(0)$ 의 DC 성분과 $X(1)$ 주파수 성분이 가장 크게 나옴을 알 수 있다. 따라서 256×256 크기의 TFT-LCD에 대해서 4-point 크기부터 14-point 크기의 FFT를 수행하면 4 pixel에서 14 pixel 크기의 mura에 대하여 검출이 가능하다. 제안 알고리즘을 구체적으로 설명하기 위해서 21개의 mura 패턴이 존재하는 그림 4(a)의 256×256 pixel의 실험용 TFT-LCD 영상을 보기로 하자[6].



(a) 6 pixel mura와 6-point FFT



(b) 8 pixel mura와 8-point FFT



[그림 4] (a) 256×256 pixel의 실험용 TFT-LCD 영상
 (b) 가로, 세로 FFT 변환으로 검출 가능 패턴
 (c) 가로 FFT 변환으로만 검출 가능 패턴
 (d) 세로 FFT 변환으로만 검출 가능 패턴

그림 4(a)의 실험용 영상에서는 183번째 라인과 202번째, 231번째 라인에서 각각 7개의 mura가 있음을 볼 수 있다. 그림 4(a)에서 보듯이 mura의 모양은 원, 가로 타원, 세로 타원의 3가지 패턴으로 분류할 수 있다.

<Type 1 : 원 모양 mura>

먼저 그림 4(b)와 같은 원 모양의 mura 패턴은 가로 방향 또는 세로 방향의 FFT 변환으로 검출할 수 있다. 그림 4(b)에서 보듯이 mura 패턴은 어느 라인에서 4-point FFT를 사용하여 검출되었다면 4 pixel의 크기를 갖고 있다고 볼 수 있다. 다음 라인에 대하여 6-point FFT로 검출되었으므로 6 pixel mura로 판단하면 된다. 즉 199번째 라인에서 4-point FFT로 4 pixel이 검출되었고 200부터 204번째 라인에서는 각각 6 pixel, 6 pixel, 8 pixel, 6 pixel, 4 pixel의 mura 패턴이 검출되었다. 이와 같은 mura 패턴의 FFT 계수를 정리하면 다음 표 1과 같다.

[표 1] 그림 4(b) mura의 가로 방향 FFT 변환 값

Point	X(0)	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)	X(7)
4-point	492	12	10	12				
6-point	835	41.6	7	3	7	41.6		
6-point	866	49.3	6.6	3	6.6	49.3		
8-point	1090	84.6	12	5.4	6	5.4	12	84.6
6-point	795	29.5	3.4	3	3.4	29.5		
4-point	494	2.8	2	2.8				
중심좌표	X = 241, Y = 203 (결함크기 8)							

그림 4(b)의 원 모양의 mura는 세로 방향 FFT 변환으로도 표 1과 유사한 결과를 얻는다. 즉 가로 또는 세로 방향의 FFT로 검출할 수 있는 패턴이다.

<Type 2 : 가로 타원 모양 mura>

두 번째 패턴인 그림 4(c)와 같은 가로 타원의 모양을 보자. 이와 같은 모양의 mura는 세로 방향의 폭이 매우 좁기 때문에 가로 방향의 FFT 변환으로 쉽게 검출할 수 있다. 그림 4(c)에서 보듯이 이 mura 패턴은 가로 방향 FFT 변환에서 표 2와 같이 8-point, 10-point, 8-point로 검출 되었다.

[표 2] 그림 4(d) mura의 가로 방향 FFT 변환 값

Point	X(0)	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)	X(7)	X(8)	X(9)
8-point	977	33.8	5	3.8	3	3.8	5	33.8		
10-point	1526	55.6	15.7	4.3	2.3	0	2.3	4.3	15.7	55.6
8-point	1070	50.1	8.6	4.9	4	4.9	8.6	50.1		
중심좌표	X = 59, Y = 184 (결함크기 10)									

이 mura는 세로 방향의 폭이 너무 좁기 때문에 세로 방향의 FFT 변환에서는 검출되지 않는다.

<Type 3 : 세로 타원 모양 mura>

그림 4(a)의 21개의 mura 중에서 첫 번째 행 6번째 열의 mura는 그림 4(d)와 같은 세로 타원의 모양이다. 이와 같은 모양의 mura는 세로 방향의 FFT 변환으로 쉽게 검출할 수 있다. 그림 4(d)에서 보듯이 이 mura 패턴은 세로 방향 FFT 변환에서 표 3와 같이 8-point, 10-point, 8-point로 검출 되었다.

[표 3] 그림 4(d) mura의 세로 방향 FFT 변환 값

Point	X(0)	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)	X(7)	X(8)	X(9)
8-point	1003	36.8	9.4	2.1	7	2.1	9.4	36.8		
10-point	1453	42.6	22.3	9.4	6.7	3	6.7	9.4	22.3	42.6
8-point	1047	31.7	14.3	1.7	9	1.7	14.3	31.7		
중심좌표	X = 205, Y = 185 (결함크기 10)									

그림 4(d)와 같은 형태의 Type 3 mura는 [7]에서 제안된 가로 방향 FFT 방식으로 검출될 수 없다. 즉 mura의 가로방향 폭이 너무 좁기 때문에 가로 방향의 FFT 변환으로 검출되지 않게 된다.

지금까지 3가지 모양의 mura에 대한 검출 방법을 제안하였다. 즉 원, 가로 타원, 세로 타원 모양의 mura에 대하여 2D FFT 변환을 사용하여 효과적으로 검출할 수 있음을 보였다. 즉 가로 방향뿐만 아니라 세로 방향으로 FFT를 수행하게 되면 가로 FFT를 수행했을 때 검출하지

못한 작은 영역의 mura도 정확하게 검출할 수 있게 된다. 이와 같이 가로 방향과 세로 방향으로 여러 가지 크기의 FFT를 수행하면 다양한 크기와 모양에 대한 mura까지도 검출할 수 있다. 지금까지 제안한 mura 검출 알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

〈제안 알고리즘〉

1. TFT-LCD 영상의 첫 번째 행에서 가로 방향의 FFT 변환을 수행한다. 이때 4-point부터 14-point 크기까지 1-point 씩 증가시키며 11가지 크기에 대하여 FFT 한다. X(0)의 DC 값과 X(1), X(n)의 값을 이용하여 mura pixel의 크기와 중심 좌표를 결정한다. 이때 mura 패턴의 크기는 n+1이 되고 중심좌표는 (n+1)/2이 된다.
2. TFT-LCD의 두 번째 행부터 마지막 행까지 1의 단계를 반복한다.
3. 1단계와 2단계를 통하여 mura 패턴의 크기가 여러 행에 반복하여 나타나면 가로 방향의 mura로 판정하고 그 좌표와 크기를 기록한다.
4. TFT-LCD 영상의 첫 번째 열에서 세로 방향의 FFT 변환을 수행한다. 이때 4-point부터 14-point 크기까지 1-point 씩 증가시키며 11가지 크기에 대하여 FFT 한다. X(0)의 DC 값과 X(1), X(n)의 값을 이용하여 mura pixel의 크기와 중심 좌표를 결정한다. 이때 mura 패턴의 크기는 n+1이 되고 중심좌표는 (n+1)/2이 된다.
5. TFT-LCD의 두 번째 열부터 마지막 열까지 4의 단계를 반복한다.
6. 4단계와 5단계를 통하여 mura 패턴의 크기가 여러 열에 반복하여 나타나면 세로 방향의 mura로 판정하고 그 좌표와 크기를 기록한다.
7. 3단계와 6단계에서 발견된 mura 좌표에서 중복되는 mura 좌표는 버리고 최종 mura의 크기와 좌표를 결정한다.

4. 실험 및 고찰

이 장에서는 그림 4(a)의 256×256 pixel의 TFT-LCD 영상을 사용하여 mura 패턴을 찾는 시뮬레이션을 진행하였다. 실험을 위하여 다음과 같이 256×256 pixel의 영상을 만들어 사용하였다. 먼저 그림 1(a)와 같은 진폭이 128±10의 저주파 신호와 그림 1(b)와 같은 진폭이 ±10의 노이즈를 더하여 실험 영상을 제작하였다. 이 배경 영상에 4 pixel부터 10 pixel 크기의 21개의 mura 패턴을 삽입

하여 입력 영상으로 사용하였다. 실험은 Pentium D 3.4GHz의 Windows XP 환경에서 MATLAB Ver 7.0을 이용하여 수행하였다. 그림 4(a)에는 3개 라인에 각각 7개의 mura가 있다. 이 중에서 첫 번째 라인의 7개의 mura에 대하여 제안된 알고리즘을 사용하여 mura의 좌표를 찾아보기로 한다. 지난 장에서 2개의 mura에 대한 좌표는 이미 찾았으며 나머지 5개의 mura에 대한 실험 결과는 다음 표와 같다. 즉 제안된 Multi-point 2차원 FFT 알고리즘을 사용하여 실험을 수행한 결과 mura 패턴의 좌표와 크기를 효과적으로 검출할 수 있었다. 먼저 TFT-LCD 영상을 가로로 FFT를 수행하고 같은 영상을 세로로 FFT를 수행한 결과는 다음과 같다.

【표 4】 mura의 FFT 변환 값(1번째 가로 mura패턴)

Point	X(0)	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)	X(7)	X(8)	X(9)
8-point	979	3.5	3	1.1	1	1.1	3	3.5		
10-point	1536	46.8	16	7.8	4.6	4	4.6	7.8	16	46.8
7-point	925	18.9	4.2	3	3	4.2	18.9			
중심좌표	X = 22, Y = 184 (결함크기 10)									

【표 5】 mura의 FFT 변환 값(3번째 mura패턴)

Point	X(0)	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)	X(7)	X(8)	X(9)
4-point	448	4.4	4	4.4						
6-point	701	18.2	5.5	3	5.5	18.2				
8-point	982	35.7	6.3	5.9	6	5.9	6.3	35.7		
10-point	1266	62.9	12.2	4.8	4.2	2	4.2	4.8	12.2	62.9
10-point	1314	68.6	20.3	6.5	5	3	5	6.5	20.3	68.6
10-point	1336	71.7	27	7.6	5.1	8	5.1	7.6	27	71.7
9-point	1226	60.5	25.2	3.6	5.3	5.3	3.6	25.2	60.5	
7-point	966	32.5	8.6	3.8	3.8	8.6	32.5			
5-point	663	14.4	4.8	4.8	14.4					
4-point	480	6.3	4	6.3						
중심좌표	X = 95, Y = 183 (결함크기 10)									

【표 6】 mura의 FFT 변환 값(4번째 mura패턴)

Point	X(0)	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)	X(7)	X(8)	X(9)
4-point	483	5	1	5						
6-point	772	24.6	10.4	8	10.4	24.6				
8-point	1067	52.9	19.7	7.4	9	7.4	19.7	52.9		
10-point	1335	79.2	32.2	6.5	6.4	5	6.4	6.5	32.2	79.2
10-point	1352	67.5	41.1	7.2	5.6	6	5.6	7.2	41.1	67.5
10-point	1357	82.4	16.3	9.1	6.8	1	6.8	9.1	16.3	82.4
8-point	1085	55.1	13	7.2	7	7.2	13	55.1		
6-point	790	27.2	8.1	6	8.1	27.2				
5-point	611	9.3	4.3	4.3	9.3					
4-point	444	4	2	4						
중심좌표	X = 132, Y = 185 (결함크기 10)									

[표 7] mura의 FFT 변환 값(5번째 mura패턴)

Point	X(0)	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)	X(7)	X(8)	X(9)
4-point	478	5	4	5						
6-point	772	20.5	9.8	4	9.8	20.5				
8-point	1068	49.8	19.6	8.6	5	8.6	19.6	49.8		
10-point	1333	81.3	31.9	5.2	4.3	3	4.3	5.2	31.9	81.3
10-point	1347	67.8	39.4	5.5	9.3	1	9.3	5.5	39.4	67.8
10-point	1351	81.1	17.7	3.9	3	1	3	3.9	17.7	81.1
9-point	1199	66	12.3	3.6	0.9	0.9	3.6	12.3	66	
7-point	911	32.9	6.6	2.6	2.6	6.6	32.9			
5-point	612	9	2.4	2.4	9					
4-point	446	3.1	2	3.1						
중심좌표	X = 169, Y = 185 (결함크기 10)									

[표 8] mura의 FFT 변환 값(7번째 세로 mura패턴)

Point	X(0)	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)	X(7)	X(8)	X(9)
8-point	993	12.4	3.2	1.4	1	1.4	3.2	12.4		
10-point	1398	41.4	12.2	3.8	2.5	2	2.5	3.8	12.2	41.4
8-point	1050	25	4.2	3.3	0	3.3	4.2	25		
중심좌표	X = 242, Y = 184 (결함크기 10)									

표 4부터 8에서 보듯이 대부분의 mura 패턴은 작은 크기에서 시작해서 큰 크기로 변한 후에 다시 작은 크기로 변하는 것을 볼 수 있다. 이는 mura 패턴이 원 모양 또는 타원 모양의 영역을 갖고 있음을 알 수 있다. 표 4는 가로 mura 패턴의 가로 방향 FFT결과를 나타내었고, 표 5, 6, 7은 일반적인 원 모양의 mura 패턴, 표 8은 세로 mura 패턴의 세로 FFT결과를 나타내었다. 각 표의 마지막 행에는 mura 패턴의 중심좌표와 크기를 표시하였다. 위의 실험 결과에서 볼 수 있듯이 mura 패턴의 크기와 FFT point 가 일치하는 경우에 FFT 계수의 X(0), X(1)의 값들이 상대적으로 큼을 알 수 있다. 즉 FFT 계수 값은 각 mura 크기에 맞는 FFT Point에서 가장 큰 FFT 계수 값이 검출되었다.

그림 4(a)의 실험 영상을 사용한 mura 검출 알고리즘의 결과는 표 9와 같다. 표 9는 그림 4(a)의 21개의 mura 중에서 첫 번째 줄의 7개 mura에 대하여 좌측부터 mura 번호를 1번부터 7번으로 명명하여 검출 알고리즘을 적용한 결과이다.

[표 9] 제안 알고리즘을 사용한 mura 검출 결과

mura number	제안된 알고리즘을 사용한 mura 좌표	[7]의 알고리즘을 사용한 mura 좌표
1	X = 22, Y = 184 결함크기 10 (표4 참조)	X = 22, Y = 184 결함크기 10
2	X = 59, Y = 184 결함크기 10 (표2 참조)	X = 59, Y = 184 결함크기 10
3	X = 95, Y = 183 결함크기 10 (표5 참조)	X = 95, Y = 183 결함크기 10

4	X = 132, Y = 185 결함크기 10 (표6 참조)	X = 132, Y = 185 결함크기 10
5	X = 169, Y = 185 결함크기 10 (표7 참조)	X = 169, Y = 185 결함크기 10
6	X = 205, Y = 185 결함크기 10 (표3 참조)	검출 안됨
7	X = 242, Y = 184 결함크기 10 (표8 참조)	검출 안됨

표 9의 실험결과에서 보듯이 세로 mura 패턴인 6번과 7번 mura는 이 논문에서 제안된 FFT 변환에서만 검출되었고 [7]의 방식으로는 검출되지 않았다.

이와 같이 여러 크기의 mura 패턴에 대해서 가로 방향과 세로 방향으로 Multi-point FFT를 수행함으로써 다양한 크기의 mura 패턴을 검출 할 수 있다.

5. 결론

이 논문에서는 Multi-point 2차원 FFT를 이용한 TFT-LCD mura 검출 알고리즘을 제안하였다. mura 패턴은 어느 라인에서 관찰하면 sin 파 모양을 닮았으므로 이는 FFT 변환을 통해서 검출할 수 있음을 보였다. 또한 mura 패턴의 모양은 원, 가로 방향의 타원, 세로 방향의 타원으로 가정하여 2D FFT를 사용하여 효과적으로 mura 좌표를 검출할 수 있음을 보였다. 제안된 mura 검출 알고리즘을 테스트 장비에 로딩하여 자동 테스트 시스템을 구축하면 TFT-LCD의 실제 생산 현장에서 이용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 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.
- [2] 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. A21-24, pp. 235-238, Nov. 2004.
- [3] 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.

- [4] J. L. Mannos and D. J. Sakrison, "The effects of a visual fidelity criterion on the encoding of images," IEEE Transactions of Information Theory, vol. 20, no. 4, pp. 525-536, July 1974.
- [5] 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.
- [6] 오종환, 박길흠, "인간 시각시스템의 주파수 감도를 이용한 TFT-LCD mura 강조", 전자공학회논문지, 제 44권 SP편 제5호, pp. 20-27, 2007년 9월.
- [7] 장영범, 하준형, 유동인, "Multi-point FFT를 이용한 TFT-LCD mura 검출 알고리즘", 한국산학기술학회논문지, 제10권 제3호, pp. 529-534, 2009년 3월.

김 한 진(Han-Jin Kim)

[준회원]



- 2002년 3월 ~ 2008년 2월 : 상명대학교 정보통신공학과 (공학사).
- 2009년 9월 ~ 현재 : 상명대학교 대학원 컴퓨터정보통신공학과 석사과정.

<관심분야>

통신신호처리, SoC 설계, 영상처리

장 영 범(Young-Beom Jang)

[정회원]



- 1981년 2월 : 연세대학교 전기공학과(공학사)
- 1990년 1월 : Polytechnic University, EE(공학석사)
- 1994년 1월 : Polytechnic University, EE(공학박사)
- 1983년 ~ 1999년 : 삼성전자 System LSI 사업부 수석연구원.

- 2000년 3월 ~ 2002년 2월 : 이화여자대학교 정보통신학과 연구교수.
- 2002년 3월 ~ 현재 : 상명대학교 정보통신공학과 교수.

<관심분야>

통신신호처리, 비디오신호처리, SoC 설계