

Multi-point FFT를 이용한 TFT-LCD 결함 검출 알고리즘

장영범^{1*}, 하준형¹, 유동인¹
¹상명대학교 정보통신공학과

TFT-LCD Mura Detection Algorithm Using Multi-point FFT

Young-Beom Jang^{1*}, Jun-Hyung Ha¹ and Dong-In Yu¹

¹Department of Information Technology and Communications, SANGMYUNG UNIV.

요 약 이 논문에서는 TFT-LCD의 제조공정에서 생기는 결함(Mura)을 효율적으로 검출할 수 있는 새로운 전기적인 검출방식을 제안한다. TFT-LCD의 결함은 영역을 갖고 있으므로 어느 한 라인에서는 sin 파의 모양으로 관찰된다. 따라서 FFT 변환을 통하여 문턱치와 비교하면 쉽게 결함이 검출될 수 있음을 보였다. 여러 가지 크기의 결함 패턴이 발생한 경우에도 Multi-point FFT 변환을 수행하면 크기가 일치하는 FFT 변환으로 효과적으로 검출됨을 보였다. 따라서 이 논문에서 제안된 알고리즘은 TFT-LCD의 자동 결함 검출 장치에 다양하게 이용될 수 있을 것이다.

Abstract In this paper, we propose a new algorithm which can detect Mura in TFT-LCD effectively. Since Mura in TFT-LCD has a certain area shape, it is seen as a sin wave in a LCD line. Consequently, it is shown that this type of Mura can be detected easily through FFT. Even multiple size of Mura patterns exist, those patterns can be detected with multi-point FFT. Proposed algorithm can be utilized in automatic Mura detection systems instead of human Mura detection methods.

Key Words : TFT-LCD, Mura, FFT

1. 서론

최근에는 텔레비전과 컴퓨터, 휴대폰 그리고 다양한 휴대용 기기 등에 TFT-LCD(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display)가 널리 사용되고 있다. 여러 디스플레이 장치 중에서도 TFT-LCD는 고해상도와 빠른 응답속도의 장점 때문에 주요 디스플레이로 각광을 받고 있다. 이와 같은 TFT-LCD의 수요급증으로 인하여 품질관리와 생산성이 중요해 짐에 따라 TFT-LCD 표면의 불량여부를 검사하는 자동 검출 시스템의 필요성이 증대되고 있다.[1-3] TFT-LCD의 결함(mura)이 생기는 이유는 매우 다양하다.

즉, 제조과정에서 제조 기계의 오작동, 사용하는 필름의 불량, 먼지나 분진에 의한 미세한 결점, 제조자의 실수 등 많은 이유에 의해 결함이 발생할 수 있다. 제조 공정에서 사용되는 결함 검출 방법에는 사람의 눈을 이용하

는 방법과 전기적인 실험을 통한 방법 등이 있다.

사람의 눈을 이용한 결함 검출 방법은 사람의 눈이 주파수에 따라 차이를 인지하는 정도가 다르다는 점을 이용하였다.[4-6] 사람의 눈을 이용한 결함 검출 방법의 단점은 검사자의 눈이 쉽게 피로해지고, 미세한 결함 등은 검출하기 어려운 점과 검사자의 주관적인 판단이 강하다는 점이 있다.

이 논문에서는 Multi-point FFT를 사용하는 새로운 전기적인 실험을 통한 결함 검출 방법을 제안한다. 결함패턴을 TFT-LCD의 어느 한 라인에서 관찰하면 sin 파의 모양을 갖고 있으므로 FFT를 수행하면 DC값과 X(1)의 값이 커지므로 쉽게 결함을 검출할 수 있음을 보였다. 이 논문의 2장에서는 새로운 결함 검출 방식을 제안한다. 3장에서는 실험영상을 통하여 결함이 효과적으로 검출됨을 보이고 4장에서 결론을 맺는다.

본 논문은 2008년도 상명대학교 교내연구비지원에 의하여 연구되었음.

*교신저자: 장영범(ybjang@smu.ac.kr)

접수일 08년 12월 10일

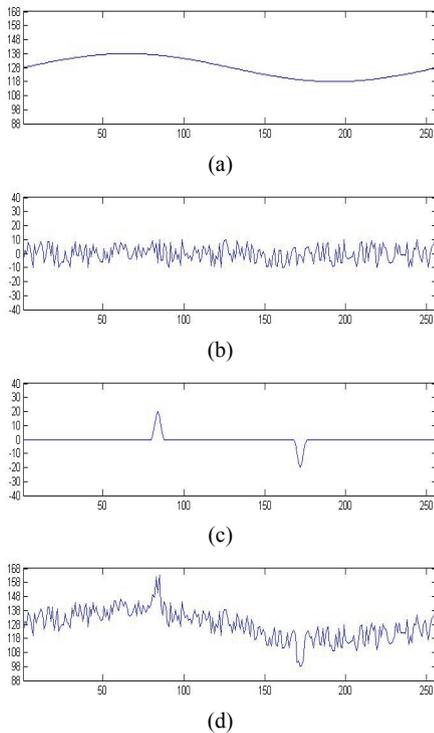
수정일 09년 03월 09일

게재확정일 09년 03월 23일

2. 제안된 TFT-LCD의 결함검출 방법

2.1 TFT-LCD 결함

이 절에서는 공정이 완료된 TFT-LCD에 발생한 결함을 검출하는 새로운 방식을 제안한다. 먼저 256x256 pixel의 TFT-LCD에 그림 1(a)와 같은 저주파수의 신호를 256개의 라인에 모두 인가한 경우의 예를 사용하여 설명하기로 한다. 인가한 저주파 신호의 진폭은 128 ± 10 의 신호를 사용하였다.



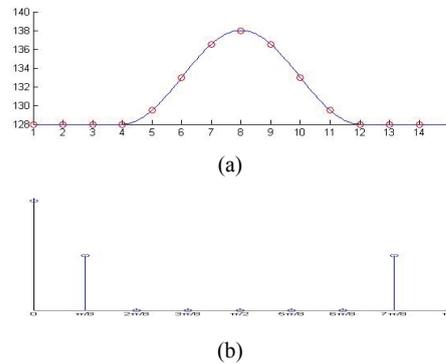
[그림 1] (a) 저주파신호 (b) 노이즈신호 (c) 결함신호 (d) (a)+(b)+(c)신호

이와 같이 저주파 신호를 인가한 256x256의 TFT-LCD에서 결함이 생긴 라인의 신호를 추출해보면 그림 1(d)와 같은 패턴을 관찰할 수 있다. 즉 TFT-LCD에서 출력되는 영상에는 BLU (Back Light Unit)의 불균일한 빛 반사나 액정의 불균일한 분포로 인해 노이즈가 관찰된다. 추출된 라인 신호에는 그림 1(b)와 같은 ± 10 정도의 노이즈가 관찰된다고 가정하였다. 또한 그림 1(c)와 같은 모양의 결함(Mura)이 발생하였음을 볼 수 있다. 즉 영역을 갖는 결함이 관찰된다. 이와 같은 결함을 찾기 위한 방법은 인간 검사자가 시각을 사용하여 찾는 방법과 자동검사 시

스템을 사용하여 찾는 방법으로 나눌 수 있는데 이 논문에서는 자동검사 시스템을 사용하여 효율적으로 TFT-LCD의 결함을 찾는 방법을 제안한다.

2.2 제안된 TFT-LCD 결함 검출 방법

TFT-LCD에서 관찰되는 결함의 파형은 그림 1(c)와 같은 모양이며 4 pixel의 크기부터 14 pixel 크기의 영역을 갖고 있음이 관찰된다. 그림 1(c)에서 보듯이 결함은 sin파의 모양을 닮았으므로 sin파로 모델링할 수 있다. 이와 같은 모양의 결함을 시스템에서 자동으로 검출하기 위하여 FFT를 이용하는 방식을 제안한다. 먼저 다음 그림 2(a)와 같은 8 pixel 크기의 sin파 모양을 갖고 있는 결함을 예로 들어 제안 방식을 설명하기로 한다.



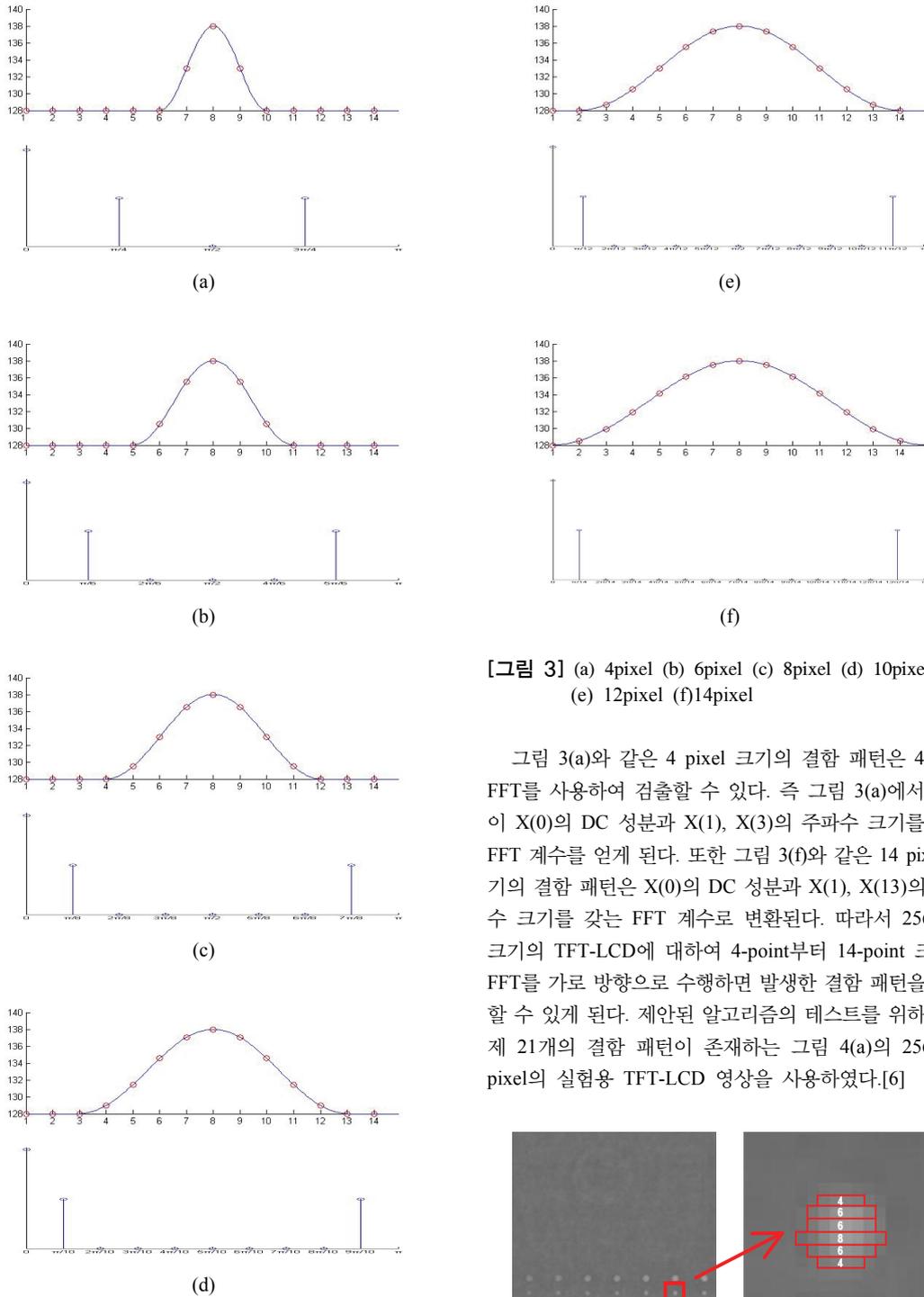
[그림 2] (a) 8pixel 결함 (b) 8pixel의 FFT 결과값

그림 2(a)와 같은 결함 패턴에 대하여 다음의 FFT 변환을 해보기로 한다.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

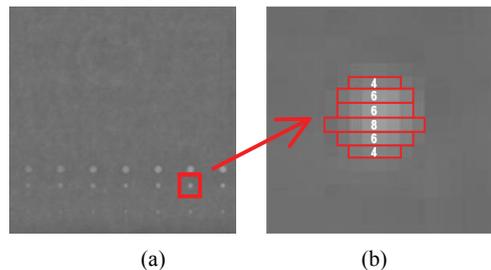
$N=8$ 의 8-point FFT 변환을 수행하면 그림 2(b)와 같이 $X(0)$ 의 DC 성분과 $X(1)$ 과 $X(7)$ 의 주파수 성분으로 결함의 에너지가 응축되게 된다. 따라서 시간영역에서 결함을 검출하는 것보다 주파수 영역에서 검출하면 결함 패턴을 검출할 수 있는 확률을 높일 수 있게 된다.

TFT-LCD에서 출력되는 결함의 패턴이 그림 2(a)와 같은 정확한 sin 파형은 아니므로 다른 주파수 성분도 검출되지만 성분의 양이 $X(0)$ 와 $X(1)$ 과 비교하여 크지 않으므로 결함 검출 알고리즘을 사용하여 정확하게 결함을 찾을 수 있다. 4 pixel 크기부터 14 pixel 크기의 결함 패턴에 대한 FFT는 그림 3과 같다.



[그림 3] (a) 4pixel (b) 6pixel (c) 8pixel (d) 10pixel (e) 12pixel (f) 14pixel

그림 3(a)와 같은 4 pixel 크기의 결함 패턴은 4-point FFT를 사용하여 검출할 수 있다. 즉 그림 3(a)에서 보듯이 $X(0)$ 의 DC 성분과 $X(1)$, $X(13)$ 의 주파수 크기를 갖는 FFT 계수를 얻게 된다. 또한 그림 3(f)와 같은 14 pixel 크기의 결함 패턴은 $X(0)$ 의 DC 성분과 $X(1)$, $X(13)$ 의 주파수 크기를 갖는 FFT 계수로 변환된다. 따라서 256x256 크기의 TFT-LCD에 대하여 4-point부터 14-point 크기의 FFT를 가로 방향으로 수행하면 발생한 결함 패턴을 검출할 수 있게 된다. 제안된 알고리즘의 테스트를 위하여 실제 21개의 결함 패턴이 존재하는 그림 4(a)의 256x256 pixel의 실험용 TFT-LCD 영상을 사용하였다.[6]



[그림 4] (a) 실험용 영상 (b) 결함 확대 영상

그림 4(a)의 실험용 영상에는 183번째 라인에 다양한 크기의 7개의 결함 패턴이 있음을 볼 수 있다. 또한 202번째와 231번째 라인에도 마찬가지로 7개의 결함 패턴이 있다. 이 TFT-LCD에서 출력되는 256개의 라인에 대하여 가로 방향으로 4-point FFT부터 14-point FFT를 수행하면 결함 패턴을 검출할 수 있게 된다. 예를 들면 202번째 라인의 6번째 결함 패턴에 대한 FFT 결과는 그림 4(b)와 같다.

그림에서 보듯이 결함 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 결함으로 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 결함 패턴이 검출되었다. 이와 같은 결함 패턴의 FFT 계수를 정리하면 다음 표 1과 같다.

【표 1】 결함의 FFT 변환 값

Point	X(0)	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)	X(7)
4-point	497	15.6	9	15.6				
6-point	813	54.8	17.6	13	17.6	54.8		
6-point	835	63.4	19.5	17	19.5	63.4		
8-point	1080	93.6	7.6	4.2	6	4.2	7.6	93.6
6-point	786	52.6	15.9	14	15.9	52.6		
4-point	499	13.9	7	13.9				
중심좌표	X = 204, Y = 202(결함크기 8)							

이와 같이 TFT-LCD는 sin 파 모양의 결함을 갖고 있는 경우에 가로 방향으로 여러 가지 크기의 FFT를 수행하면 다양한 크기의 결함 패턴을 검출할 수 있음을 보았다. 표 1에서 보듯이 8-point FFT에서 가장 큰 결함이 검출된 후에 다시 결함의 크기가 감소되고 있음을 검출할 수 있다. 표 1의 결과를 이용하여 183번째 라인의 6번째 결함 패턴은 가로 방향으로 8 pixel의 크기를 갖고 세로 방향으로 6 pixel의 크기를 갖는 결함으로 검출하게 된다. 지금까지 제안한 결함검출 알고리즘을 정리하면 다음과 같다.

〈제안 알고리즘〉

1. TFT-LCD의 라인 0에 대하여 4-point부터 14-point 크기까지 FFT를 수행한다. X(0)의 DC 값과 X(1), X(n)의 값을 사용하여 결함 pixel의 크기와 중심좌표를 결정한다. 이때 결함 패턴의 크기는 n+1이 되고 중심좌표는 (n+1)/2이 된다.
2. TFT-LCD의 다음 라인부터 마지막 라인에 대하여 1의 단계를 반복한다.

3. 1부터 2의 단계를 통하여 결함 패턴의 크기와 중심좌표가 여러 라인을 반복하여 나타나면 결함으로 판정한다.

3. 실험 및 고찰

이 절에서는 그림 4(a)의 21개의 결함패턴을 갖고 있는 실험영상을 사용하여 결함패턴을 찾는 시뮬레이션을 진행하였다. 이 영상에 대하여 제안된 Multi-point FFT 알고리즘을 사용하여 시뮬레이션을 수행한 결과 결함영역의 좌표와 크기를 효과적으로 검출할 수 있었다. 그림 4(a)의 21개 결함패턴 중 202 번째 열의 7개 결함패턴에 대한 검출 결과는 다음 표 2부터 표 8과 같다.

【표 2】 결함의 FFT 변환 값(1번째 결함패턴)

Point	X(0)	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)
4-point	516	9.5	2	9.5	
5-point	637	12	2.2	2.2	12
5-point	616	8	1.8	1.8	8
5-point	588	4.2	0.2	0.2	4.2
중심좌표	X = 21, Y = 203 (결함크기 5)				

【표 3】 결함의 FFT 변환 값(2번째 결함패턴)

Point	X(0)	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)
4-point	493	6.1	5	6.1	
5-point	670	16.3	6.6	6.6	16.3
5-point	668	16.9	7.9	7.9	16.9
5-point	658	16.3	8.9	8.9	16.3
4-point	505	10.1	9	10.1	
중심좌표	X = 58, Y = 202 (결함크기 5)				

【표 4】 결함의 FFT 변환 값(3번째 결함패턴)

Point	X(0)	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)	X(7)
7-point	824	15.9	7.1	3.5	3.5	7.1	15.9	
8-point	996	48.7	9.5	4.3	10	4.3	9.5	48.7
8-point	1024	51.1	6.3	4.2	8	4.2	6.3	51.1
8-point	1039	52.4	4.1	5.0	7	5.0	4.1	52.4
7-point	900	35.5	2.3	5.4	5.4	2.3	35.5	
중심좌표	X = 95, Y = 202(결함크기 8)							

【표 5】 결함의 FFT 변환 값(4번째 결함패턴)

Point	X(0)	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)
4-point	534	16.1	6	16.1	
5-point	681	26.2	2.0	2.0	26.2
5-point	683	24.1	3.7	3.7	24.1
5-point	643	18.3	3.1	3.1	18.3
4-point	481	5	3	5	
중심좌표	X = 132, Y = 203 (결함크기 5)				

[표 6] 결함의 FFT 변환 값(5번째 결함패턴)

Point	X(0)	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)
4-point	550	31.8	16	31.8		
6-point	814	57.5	13.2	12	13.2	57.5
6-point	805	52.1	14.4	11	14.4	52.1
6-point	761	40.6	14.5	5	14.5	40.6
4-point	480	12.8	12	12.8		
중심좌표	X = 167, Y = 203 (결함크기 6)					

[표 7] 결함의 FFT 변환 값(6번째 결함패턴)

Point	X(0)	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)	X(7)
4-point	497	15.6	9	15.6				
6-point	813	54.8	17.6	13	17.6	54.8		
6-point	835	63.4	19.5	17	19.5	63.4		
8-point	1080	93.6	7.6	4.2	6	4.2	7.6	93.6
6-point	786	52.6	15.9	14	15.9	52.6		
4-point	499	13.9	7	13.9				
중심좌표	X = 204, Y = 202(결함크기 8)							

[표 8] 결함의 FFT 변환 값(7번째 결함패턴)

Point	X(0)	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)
6-point	817	52.7	19	15	19	52.7
6-point	848	63.3	14.7	22	14.7	63.3
6-point	845	58	13	21	13	58
6-point	786	52.6	15.9	14	15.9	52.6
중심좌표	X = 240, Y = 202 (결함크기 6)					

표 2부터 표 8에서 보듯이 대부분의 결함패턴은 크기가 커졌다가 다시 작아짐을 볼 수 있다. 이는 결함패턴이 원 모양의 영역을 갖고 있기 때문이다. 각각의 표의 마지막 행에는 결함패턴의 중심좌표와 크기를 표시하였다.

지금까지의 시뮬레이션에서 볼 수 있듯이 TFT-LCD의 결함패턴의 크기와 FFT의 크기가 일치할 때에 FFT 계수의 X(0), X(1), X(n)의 값들이 상대적으로 큼을 확인할 수 있었다. 즉, FFT 계수 값들은 각각의 결함크기에 맞는 FFT point에서 최대의 변환 계수 값이 검출되었다.

이와 같이 여러 가지 크기의 결함패턴들에 대하여 Multi-point FFT를 수행하면 다양한 크기의 결함 패턴을 검출할 수 있음을 확인하였다.

4. 결론

제조공정이 끝난 TFT-LCD는 영역을 갖는 결함패턴(Mura)이 발생할 수 있다. 이 논문에서는 이와 같은 결함

패턴을 효과적으로 검출하는 알고리즘을 제안하였다. 즉, 결함패턴은 어느 한 라인에서 보면 sin 파의 모양을 하고 있으므로 FFT를 통하여 검출될 수 있음을 보였다. 다양한 크기의 결함패턴이 존재할 수 있으므로 Multi-point FFT를 사용하여 검출할 수 있음을 보였다. 따라서 이 논문에서 제안된 알고리즘은 TFT-LCD의 자동 결함 검출 장치에 다양하게 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 결함 강조", 전자공학회논문지, 제 44권 SP편 제5호, pp. 20-27, 9월, 2007.

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 ~ 2002년 : 이화여자대학교 정보통신학과 연구교수.
- 2002년 ~ 현재 : 상명대학교 정보통신공학과 교수.

<관심분야>

통신신호처리, 비디오신호처리, SoC 설계

하 준 형(Jun-Hyung Ha)

[준회원]



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

<관심분야>

통신신호처리, SoC 설계

유 동 인(Dong-In Yu)

[준회원]



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

<관심분야>

통신신호처리, SoC 설계