

모바일 TFT-LCD 구동 접적회로를 위한 화질 레지스터 최적화 시스템 개발

류지열*, 노석호**

삼성 모바일 디스플레이 Co. Ltd.*, 안동대학교 전자공학과**

Development of Image Quality Register Optimization System for Mobile TFT-LCD Driver IC

Jee-Youl Ryu*, Seok-Ho Noh**

Samsung Mobile Display Co. Ltd.*, Andong National University**

E-mail : jeeyoul.ryu@samsung.com

요약

본 논문은 모바일 TFT-LCD 구동 접적회로와 임베디드 소프트웨어를 이용한 자동 화질 레지스터 최적화 시스템을 제안한다. 이러한 시스템은 LCD 모듈의 중요한 화질 평가 요소인 평균 감마 오차, 감마 조정 시간, 플리커 잡음 및 명암비 등을 최적화하기 위해 모바일 LCD 구동 접적회로 내의 감마 조정 레지스터들과 전압 설정 레지스터들을 자동적으로 제어한다. 개발된 알고리즘과 임베디드 소프트웨어는 거의 모든 유형의 LCD 모듈에 적용 가능하다. 개발된 화질 최적화 시스템은 측정 대상이 되는 모듈 (MUT, LCD 모듈), 제어 프로그램, 휘도 측정용 멀티미디어 디스플레이 측정기 및 인터페이스용 제어 보드로 구성되어 있다. 제어 보드는 DSP와 FPGA로 구성되어 있고, RGB 및 CPU 인터페이스를 지원한다.

ABSTRACT

This paper presents development of automatic image quality register optimization system using mobile TFT-LCD (Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display) driver IC and embedded software. It optimizes automatically gamma adjustment and voltage setting registers in mobile TFT-LCD driver IC to improve gamma correction error, adjusting time, flicker noise and contrast ratio. Developed algorithms and embedded software are generally applicable for most of the TFT-LCD modules. The proposed optimization system contains module-under-test (MUT, TFT-LCD module), control program, multimedia display tester for measuring luminance, flicker noise and contrast ratio, and control board for interface between PC and TFT-LCD module. The control board is designed with DSP and FPGA, and it supports various interfaces such as RGB and CPU.

키워드

화질 레지스터 최적화 시스템, 평균 감마 오차, 감마 조정 시간, 플리커 잡음, 명암비

I. 서 론

최근 모바일 TFT 액정 표시 소자 (thin film transistor liquid crystal display, TFT-LCD)는 휴대용 전화를 비롯하여 휴대용 게임기기 및 차량용 네비게이션 등에 폭넓게 활용되고 있다. 다양한 활용도와 더불어 고화질의 TFT-LCD 모듈의 개발이 무엇보다 중요하다. 이를 위해 LCD 모듈 엔지니어는 제품 개발의 마지막 단계에서 최종 제작된 LCD 모듈의 전기적 조건을 설정하여 최적의 화질을 구현하고 다양한 구동기술을 통해 그 특성을 극대화하는 작업을 수행한다 [1-3]. 모바일 LCD의 경우 화질 최적화를 위해 LCD 구동에 관계된 모든 역할을 LCD 구동 접적회로 (LCD Driver IC, LDI)가 담당하고 있으며 모듈 엔지니어는 소프트웨어 최적화를 통해 LDI를 제어 함으로써 화질 최적화를

위한 구동조건을 도출해낸다. 그러나 지금까지 실제 산업 현장에서는 이와 같은 구동조건 설정 과정이 시행착오를 통해 진행되어 왔기 때문에 최적화하는데 많은 시간이 소요되며, 개발 엔지니어의 성향 및 숙련도에 따라 화질 조정 결과에도 상당한 편차가 발생하는 문제점을 보였다 [4-7]. 이는 제품 경쟁력 강화를 위해 화질을 개선하고 빠른 속도로 완성도 높은 제품을 만들어야 하는 양산 단계에서 개발 효율을 저하하는 요소가 되어 왔다.

본 논문에서는 모바일 TFT-LCD 구동 접적회로와 임베디드 소프트웨어를 이용하여 자동으로 화질을 최적화 할 수 있는 시스템을 제안한다. 이러한 시스템은 LCD 모듈의 중요한 화질 평가 요소인 평균 감마 오차, 감마 조정 시간, 플리커 잡음 및 명암비 등을 자동으로 조절하고 최적화 할 수 있다. 개발된 알고리즘

과 임베디드 소프트웨어는 거의 모든 유형의 모바일 LCD 모듈에 적용 가능하도록 구성되어 있다. 이러한 시스템은 측정 대상이 되는 모듈(MUT, LCD 모듈), 제어 프로그램, 휘도 측정용 멀티미디어 디스플레이 측정기 및 인터페이스용 제어 보드로 구성되어 있다. 제어 보드는 DSP 및 FPGA로 구성되어 있고, CPU 및 RGB 인터페이스를 모두 지원한다.

II. 본론

모바일 LCD에서는 화질 특성을 조정할 수 있는 기능이 LDI에 내장되어 있고 10~20여개의 다양한 레지스터들의 설정을 통하여 그 특성을 최적화한다. LDI의 화질 레지스터들은 전압 조정, 플리커 조정(flicker adjustment) 및 감마 조정(gamma adjustment)과 같이 기능별로 구분할 수 있다.

2.1. 플리커 조정

플리커란 화면에서 나오는 빛의 세기가 일정하지 않고 시간에 따라 주기적으로 변함으로써, 사용자에게 빛의 깜박거림을 느끼게 하는 현상이다. 플리커 조정 과정 및 개요는 참고문헌 [1]에 언급되어 있다.

2.2. 감마 조정

감마조정은 부드러운 계조를 표시하기 위해 영상의 휘도를 조절하는 과정으로 LCD와 인간의 시각 인지 특성간의 차이를 조정하는 작업이다. 감마 조정 과정 및 개요는 참고문헌 [2]에 언급되어 있다.

2.3. 명암비 조정(Contrast Adjustment)

명암비는 white 영상과 black 영상의 휘도비로 정의되며, 명암비가 높을수록 어두운 영역의 표현이 섬세하게 되고, 밝은 영역에서의 화질 구분이 뚜렷하게 되며 우수한 화질을 구현할 수 있게 된다. 명암비 조정에서는 white와 black 영상이 표시될 때의 전압을 조정하여 주어진 규격을 만족시키게 한다. 그림 1에 IPS(In-Plane Switching) 모드 LCD의 전압에 따른 상대 투과율 커브(V-T curve)를 나타내었다.

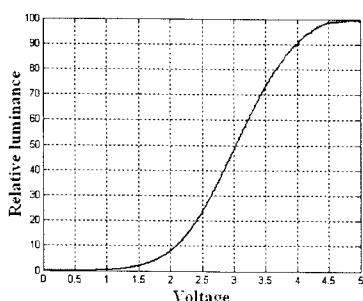


그림 1. IPS 모드의 전압-휘도 곡선

2.3. 자동 LDI 레지스터 설정 알고리즘

모바일 LCD의 경우 개발 마지막 단계에서 LDI의 레지스터를 적절히 조정하여 LCD 화질 최적화 작업

을 수행한다. LCD 레지스터는 명암비, 플리커, 감마 순으로 조정이 되지만, LCD 패널 및 LDI의 특성에 따른 상관관계 때문에 많은 시간이 소요되고 있다. 또한 이런 작업은 엔지니어의 수작업에 의해 진행되므로 엔지니어의 숙련도에 따라 조정되는 화질 품질에 많은 차이가 발생하게 되고, 결과적으로 빠른 속도로 완성도 높은 제품을 만들어야 하는 실제 산업 현장의 상황에서 개발 효율을 저하시키는 원인이 된다. 본 연구에서 개발한 자동 화질 조정 알고리즘을 이용하는 경우 먼저 플리커 조정을 통한 ΔV_p 를 찾아서 플리커를 최소로 한 후 명암비 조정을 한다. 명암비 조정에서는 white 전압의 설정을 통하여 주어진 스펙을 만족시키는 최적 명암비를 찾게 되고, 이후 변경된 전압 조건에 따라 플리커가 발생할 수 있으므로 플리커 조정을 다시 수행한다. 마지막으로 설정한 전압 값을 기준으로 부드러운 계조 표현을 위한 감마 조정을 수행한다. 감마 조정 후 계조별 전압 조건 변경에 따라 플리커가 발생할 수도 있는데, 이 문제는 플리커와 감마 조정을 반복 수행하여 해결할 수 있다.

2.3.1. 플리커 조정 및 감마 조정 알고리즘

플리커 및 감마 조정 알고리즘은 참고문헌 [1-2]에 언급되어 있다.

2.3.2. 명암비 자동 조정 알고리즘

명암비 조정에서는 먼저 플리커 자동 조정 알고리즘을 이용하여 찾은 ΔV_p 를 이용하여 식 (1)~(3)과 같이 설정하여 플리커를 최소로 한 상태로 만든다.

$$GVDD = \text{max. value} \quad (1)$$

$$V_{comH} = GVDD - \Delta V_p \quad (2)$$

$$V_{comL} = -\Delta V_p \quad (3)$$

이후 contrast를 한 단계씩 낮추어 가면서 주어진 규격을 만족하는지를 점검하고 규격을 만족할 때 contrast 조정을 종료한다. 그림 2에 명암비 자동 조정 알고리즘의 순서도를 나타내었다.

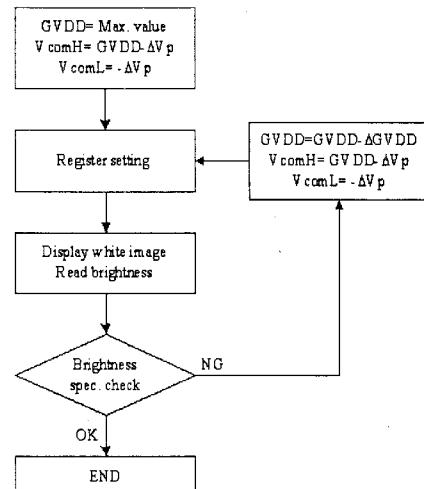


그림 2. 명암비 자동 조정 알고리즘

2.4. 시스템 및 제어 프로그램 개발

그림 3은 자동 화질 최적화 시스템의 전체 구성도를 나타낸 것이다. 이러한 시스템은 알고리즘이 구현된 PC, 전체 시스템을 제어하는 제어부, LCD의 휘도를 측정하는 휘도계로 구성되어 있다. 제어부는 RGB 및 CPU 인터페이스를 모두 지원하도록 TI사의 TMS320F2812 DSP칩과 XC3S1000 FPGA 칩으로 구성되어 있다. 제어부는 PC, 휘도계와 RS232 인터페이스 연결, 휘도계 제어, LCD 휘도 데이터 읽음, LDI 레지스터 설정, LCD에 계조 영상 디스플레이 등의 역할을 한다. PC에는 시스템을 제어하기 위한 프로그램을 National Instruments의 LabCVI를 이용하여 구현하였고, 플리커 조정 알고리즘, 감마조정 알고리즘, luminance meter 제어, LCD 제어 기능 등이 구현되어 있다.

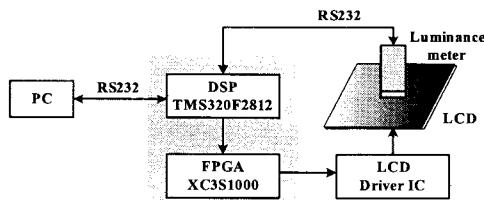


그림 3. 자동 화질 최적화 시스템 구성도

III. 실험 결과 및 검토

실험에는 라인 반전으로 구동되는 IPS 모드의 QVGA LCD를 사용하였고, 명암비는 400:1, 플리커 수준은 3%, 평균 감마 오차율은 15% 이내를 목표로 하여 자동 화질 설정 시스템을 동작시켰다. 먼저 IPS LCD의 kick-back 전압 ΔV_p 를 찾기 위해 플리커 조정을 수행하였고, High 공통 전압 (VcomH) 레지스터에 38을 입력한 상태에서 플리커가 최소가 되었고, 이를 그림 4에 나타내었다. IPS LCD 구동에 사용한 LDI에서 VcomH에 38을 입력하면 4.21V를 출력하게 되고, white 영상 전압은 구동 접속회로의 최대전압인 5.0V로 설정했으므로 ΔV_p 는 0.79V인 것을 알 수 있다

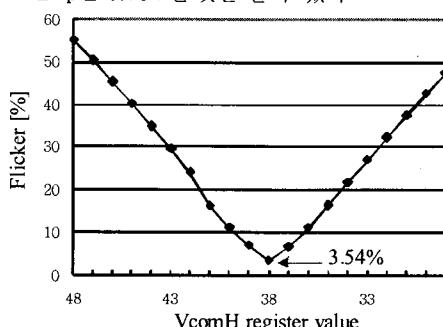


그림 4. 첫 번째 플리커 조정

1차로 플리커를 조정한 상태에서 명암비 조정을 실행한다. 그림 5에서와 같이 white 영상 전압이 4.5V일 때 주어진 명암비 규격이 400:1

(Ref2/Ref1: 1)을 만족하게 된다.

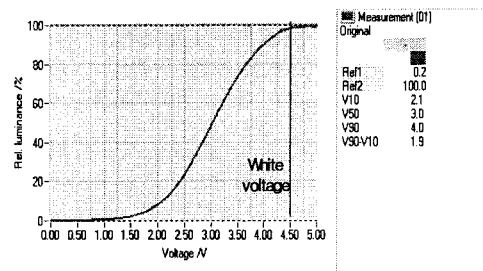


그림 5. 명암비 조정 결과

명암비 조정을 통해 구해진 전압 조건에서 2번째 플리커 조정을 수행하였고, 그림 6에서와 같이 VcomH가 33인 상태에서 최소 플리커 특성을 나타내게 된다. 그리고, 이때 플리커 수준은 1.09%가 되어 주어진 목표로 했던 규격을 만족한다.

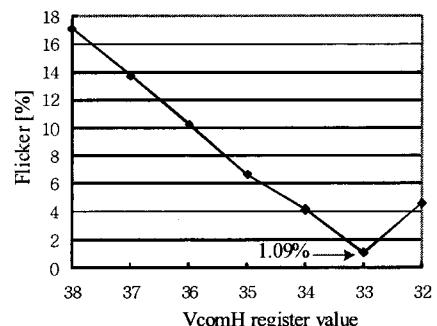
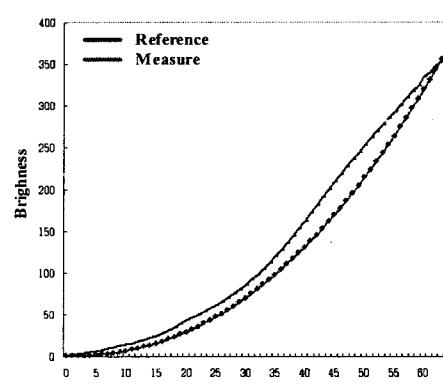
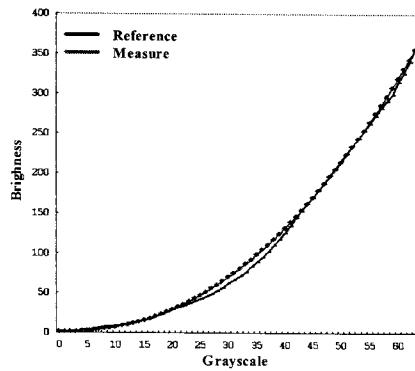


그림 6. 두 번째 플리커 조정

그림 7은 감마조정 결과를 나타낸 그래프이다. 감마 2.2를 기준으로 조정한 결과이고, reference 감마 곡선과 실측한 감마곡선을 동시에 나타내었다. 첫 번째 조정 후 플리커 수준은 3.54%, 감마 오차율은 35.2%가 되었고, 두 번째 조정 후에서는 플리커 수준은 1.09%, 감마 오차율은 4.95%로 목표 규격을 달성하였다. 두 번의 루프 수행에는 약 10분이 소요되었다.



(a) 첫 번째 감마 조정



(b) 두 번째 감마 조정
그림 7. 감마 조정 결과

표 1은 자동 화질 최적화 시스템의 최적화 결과를 나타낸 것이다. IPS 모드에서는 TN 모드 및 ECB 모드에 비해 감마조정 시간이 약간 길어졌지만 감마조정오차 및 폴리커 수준이 모두 우수함을 알 수 있다. 또한 조정 전과 비교하면 폴리커 수준, 감마오차율 및 조정시간이 크게 개선됨을 알 수 있다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 표 1에서와 같이 10분 정도 내에 목표 규격, 즉 400:1 명암비, 3% 이하의 폴리커 수준과 15% 이하의 평균 감마오차를 만족시킬 수 있으므로 제품 경쟁력 강화를 위해 빠른 속도로 완성도 높은 제품을 만들어야 하는 현 상황에서 개발 효율을 크게 증가시킬 수 있다.

표 1. 자동 화질 최적화 적용 결과

LC 모드	해상도	명암비		폴리커 수준 (%)		감마오차율 (%)		조정 시간 (분)
		조정 전	조정 후	조정 전	조정 후	조정 전	조정 후	
TN	QCIF	340:1	350:1	35.2	1.9	21.97	9.95	8
ECB	QVGA	320:1	350:1	29.5	2.4	41.50	12.83	8
ECB	QVGA	325:1	360:1	21.9	2.52	37.48	13.27	8
IPS	QVGA	345:1	400:1	17.3	1.1	32.52	4.95	10

표 2는 제안한 자동 화질 최적화 시스템과 기존 방법의 화질 최적화 결과를 비교한 것이다. 표 2의 결과로부터 알 수 있듯이 IPS 모드, TN 모드 및 ECB 모드에서 자동 화질 최적화 시스템은 기존의 방법과 비교하면 명암비, 폴리커 수준, 감마오차율 및 조정시간이 매우 개선되었음을 알 수 있다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 표 2에서와 같이 10분의 최적화 시간 내에 400:1의 명암비, 1.1%의 폴리커 수준과 4.95%의 평균 감마 오차를 만족시킬 수 있으므로 개발 효율을 크게 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

표 2. 기존 방법과 자동 화질 최적화 방법 비교

LC 모드	해상도	명암비		폴리커 수준 (%)		감마오차율 (%)		조정 시간	
		기존	제안	기존	제안	기존	제안	기존	제안
TN	QCIF	320:1	420:1	30	1.9	25	9.95	36시간	8분
ECB	QVGA	330:1	410:1	20	2.5	30	13.27	48시간	8분
IPS	QVGA	315:1	400:1	25	1.1	35	4.95	50시간	10분

IV. 결 론

본 논문에서는 개발 엔지니어의 수작업 없이 자동으로 LCD 구동 접적회로의 전압 및 감마 레지스터를 설정할 수 있는 시스템을 개발하였다. 이를 통해 기존에 개발 담당자의 수작업으로 인하여 발생할 수 있는 명암비 편차, 폴리커 수준 변동, 감마 곡선의 부 정확성, 개발 효율 저하 등의 문제를 개선하였다. 즉 자동 화질 최적화 시스템은 명암비 조정, 폴리커 수준 조정 및 최소 감마 오차율을 기반으로 감마 레지스터의 설정 소요 시간을 크게 줄일 수 있으므로 개발 효율을 향상시킬 수 있었고, 또한 LCD의 명암비, 폴리커 및 감마 곡선을 최적의 상태로 설정할 수 있으므로 화질 특성과 같은 품질 경쟁력에서 크게 앞서갈 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] J.-Y. Ryu and S.-H. Noh, "A New Image Quality Optimization System for Mobile TFT-LCD," 2008년도 한국해양정보통신학회 춘계종합학술대회, Vol. 12, No. 1, pp., May 2008.
- [2] J.-Y. Ryu and S.-H. Noh, "Development of Automatic Gamma Control System from Mobile LCD Applications," 2007년도 한국해양정보통신학회 추계종합학술대회, Vol. 11, No. 2, pp. 754-757, October 2007.
- [3] J. H. Oh *et. al.*, "Automated LCD Gamma Curve Optimization," SID 2006, pp. 394-397, June 2006.
- [4] H. W. Park *et. al.*, "A Novel Method for Image Contrast Enhancement in TFT-LCDs: Dynamic Gamma Control (DGC)," SID 2003, pp. 1343-1345, May 2003.
- [5] S. W. Lee *et. al.*, "Driving Scheme for Improving Color Performance of LCD's: Accurate Color Capture," SID 2003, pp. 344-347, May 2003.
- [6] H. C. Kim, "An image interpolator with image improvement for LCD controller," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.47, No.2, pp. 263-271, May 2001.
- [7] Y. N. Chu, "Dynamic gamma correction circuit, operation method thereof and panel display device, US patent #20060087521.