

# 동적 후면조명 밝기 조정 (DLS)을 이용한 저전력 LCD 시스템 구현 기법

최인석<sup>0</sup> 장래혁  
서울대학교 전기,컴퓨터공학부  
Thiskid@cslab.snu.ac.kr

## Low-Power Liquid Crystal Display Systems using DLS (Dynamic Backlight Luminance Scaling)

Inseok Choi<sup>0</sup> Naehyuck Chang  
School of Computer Science and Engineering, Seoul National University

### 요 약

최근의 휴대용 시스템에서는 디스플레이로 투과형 LCD를 주로 채택하고 있다. 투과형 LCD는 후면조명이 광원이 되는데, 후면조명(Backlight)의 소비전력이 시스템 전체 소비 전력에서 큰 비중을 차지한다. 우리는 화질의 큰 저하 없이 후면조명의 소비 전력을 줄이는 방법인 DLS를 소개한다. 본 논문에서는 DLS 구현과 구현한 플랫폼에서의 실험결과를 간단히 언급한다.

### 1. 서론

멀티미디어 응용프로그램의 수요가 증가함에 따라 시스템에는 고성능의 CPU, 높은 전송률과 대용량의 메모리 시스템과 함께 사용자와 시스템간의 고품질 인터페이스가 장착되고 있다. 전력효율이 좋은 STN LCD가 긴 사용시간에 적합한 반면, 후면조명과 함께 제공되는 TFT 컬러 LCD는 최근의 휴대용 시스템에서의 기본 사양이다.

휴대용 시스템에서 실행되는 대부분의 응용프로그램이 상호작용(Interactive) 특성을 가지고 있기 때문에, CPU와 메모리의 사용률이 낮아져 상대적으로 소비하는 전력은 작은 반면, 디스플레이 시스템의 소비 전력 비율은 커진다. 특히 후면조명에서의 소비 전력 비율은 두드러져서 이의 소비 전력을 줄이는 것이 필요하다.

후면조명은 밝기와 소비 전력이 비례하므로 밝기를 어둡게 하면, 소비 전력을 줄일 수 있으나 이는 화질저하로 이어진다. 우리는 2장에서 화질 저하가 거의 없이 후면조명의 밝기를 줄일 수 있는 방법인 DLS (Dynamic Backlight Luminance Scaling)을 소개하고, 3장과 4장에서 DLS 구현을 소개한다. 그리고 구현한 DLS 지원 플랫폼에서의 실험 결과를 5장에서 간단히 언급한다.

### 2. DLS

#### 2.1 컬러 TFT LCD와 후면조명 시스템

LCD 디스플레이 시스템은 광원에 따라서 크게 반사형, 반투과형 그리고 투과형으로 분류할 수 있다. 반사형 LCD는 반사판이 외부로부터 LCD로 들어오는 빛을 반사하고 액정이 그 양을 조절하여 이미지를 만들어 낸다. 이는 소비 전력이 적은 장점이 있으나 태양광 등의 주변광에 의존해야 하는 단점이 있다. 투과형은 자체에 광원을 만들어서 그 빛의 투과를 액정으로 조절한다. 광원이 LCD의 뒷면에 있기 때문에 후면조명이라고 부른다. 이는 원하는 밝기를 얻을 수 있어서 고화질의 장점이 있지만 소비 전력이 커지게 되는 단점이 있다. 그리고 반투과형 LCD는 반사형과 투과형을 조합한 것이다.

최근에 고급 PDA 그리고 노트북 등에서 주로 사용되는 LCD는 후면조명을 탑재하고 있는 투과형 LCD이다. 현재 투과형 LCD의 후면조명으로 쓰일 수 있는 것으로는 백색 LED 그리고 냉음극형광등 CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp) 이 있다. 백색 LED는 CCFL정도의 고휘도로 제작이 어렵고 전력 소모가 많기 때문에, 현재 대부분의 투과형 LCD에서는 CCFL 후면조명이 채택되고 있다.

#### 2.2 시스템 수준에서의 후면조명 시스템 소비전력

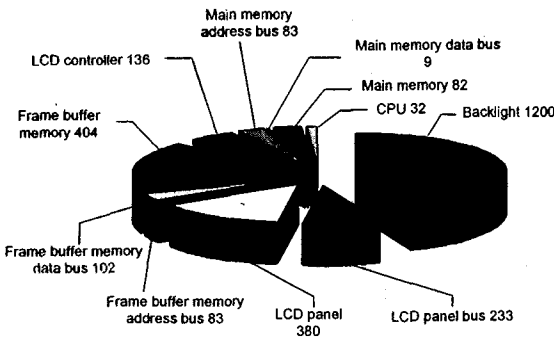


그림 1 PDA의 전력소모 분포 (mW)

그림 1은 고급 PDA에서 소비하는 전력의 구성 요소를 보여 준다. 그림 1에서 대상으로 삼는 PDA는 200Mhz의 동작속도를 가지는 32비트 RISC 프로세서, 8KB의 2-way set associative 명령어 그리고 데이터 캐쉬, 64MB의 메인 메모리, 그리고 4인치 크기의 640 x 480 해상도를 가지는 투과형 LCD로 구성된 것이다. LCD의 에너지 모델은 Toshiba 사의 LTM04C380K [1] 이고, CCFL 후면조명은 LG-Philips 사의 LP064V1 [2] 모델의 것으로 실측 데이터를 바탕으로 했다. LCD를 제외한 부분의 에너지 모델은 싸이클 별 전력 측정 도구 [3] 를 이용한 에너지 모델 [4] 을 참조하였다. 그림 1은 사용자 인터페이스를 가지는 응용 프로그램이 실행되고 있을 때의 소비전력을 도시하는 것으로 99.9%의 명령어 캐쉬 히트, 97%의 데이터 캐쉬 히트, 8%의 CPU 사용률 그리고 초당 61440 픽셀을 그릴 때의 분석이다. 그림 1에서 후면조명 소비전력은 1200mW로 시스템 전체 소비전력의 40%를 초과하고 있다.

### 2.3 DLS의 동작 원리

투과형 LCD는 후면조명에서 나오는 빛을 액정을 통과시키면서 빛의 강도를 조절하고, 그 빛들이 컬러 필터를 통과하면서 3원색의 조합이 이루어져서 원하는 이미지를 만들어 낸다 [5]. 투과형 LCD에서 후면조명이 소비하는 에너지의 양이 시스템 전체의 에너지의 40%를 초과하기 때문에, 이를 줄이는 것이 우리의 목표이다. 이를 위하여 DLS는 후면조명의 밝기를 줄여 소비전력을 줄이는 한편, 액정에서 빛을 더 많이 통과시켜 결국 우리가 보게 되는 이미지는 비슷하게 유지될 수 있도록 하는 것이다.

후면조명의 밝기를 줄이고, 액정에서 빛을 더 많이 투과 시켜서, 즉, 이미지의 밝기를 높여서, 같은 혹은 비슷한 화면이 LCD에 표현될 수 있도록 LCD에서 나오는 빛의 밝기를 계산해 보면 다음과 같다.

$$Y(C, v) = \gamma L(W, v) \sum_{j=1}^3 \rho_j A_j(C) \quad - (1)$$

여기서  $Y$ 는 LCD에서 나오는 빛의 밝기 (luminance),  $L$ 은 후면조명의 밝기 (luminance),  $A_j$ 는 정규화된(normalized) RGB 값이다. 변수로,  $C$ 는 입력 이미지,  $v$ 는 후면조명의 밝기 조절 입력 값,  $W$ 는 후면조명의 백색 컬러 매칭을 나타낸다 [6]. 상수로,  $\gamma$ 는 LCD의 개구율과 편광판의 투과도의 곱이며,  $\rho_j$ 는 컬러 필터 별 투과도이다. 일반성을 유지하며 이를 간단히 나타내면 다음과 같다.

$$Y = LA \quad - (2)$$

DLS는  $L' \leq L$  즉, 어두워진 후면조명  $L'$ 에서 밝아진 이미지  $A'$ ,  $A' \geq A$ 를 표시함으로써, 같은 혹은 비슷한 화질의 결과  $Y'$ ,  $Y' \approx Y$ , 가 LCD에 표시되는 것이다.

## 3. 동적 후면조명 밝기 조절

### 3.1 CCFL 후면조명의 응답 특성

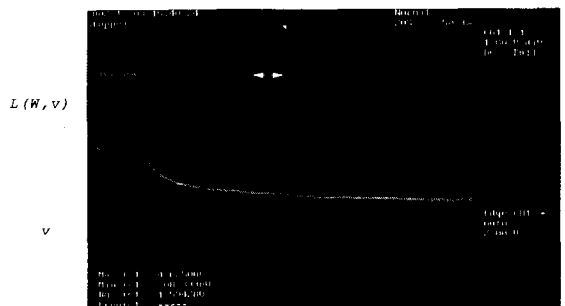


그림 2 CCFL 후면조명의 응답 곡선

그림 2는 후면조명의 응답 특성을 보여주는데, 밝기 조절 입력에 대하여 안정화되는데 분 단위의 시간이 걸림을 알 수 있다. 휘도계 (Minolta LS-100)를 사용하여 측정한 결과, 밝기 조절 입력에 대한 안정화 시간으로 1시간이 소요되었다.

### 3.2 CCFL 후면조명의 피트백 제어

DLS를 적용하기 위해서 요구되는 후면조명의 반응시간은 30프레임의 동영상상을 고려하였을 때, 30ms이하로 만들어야 한다. 이를 위하여 우리는 부계환 (PID) 제어를 한다. PID제어를 하는데, 그 계수로  $K_p = 1.5$ ,  $K_i = 10$  그리고  $K_d = 30$ 를 설정함으

로써 최대 응답 시간 10ms 을 얻었다.

#### 4. 이미지 밝기 보상

이미지의 밝기 보상은 후면조명의 밝기 조절과 연관되어서 두 가지 기준으로 조절할 수 있다.

##### 4.1 화질 저하 기준

밝아진 이미지  $A'$  에서는 표현할 수 있는 한계를 벗어난 픽셀들이 존재하게 된다. 예를 들어서, RGB 각각 8비트의 색깊이를 가지는 디스플레이 시스템에서는 256단계의 컬러 값을 가질 수 있다. 이미지 보상된 값이 255를 넘어선 값일 경우 표현 가능한 범위를 벗어났으므로 255로 표현되게 되고, 이는 화질의 왜곡으로 이어진다. 이미지를 구성하는 픽셀 중에서 왜곡된 픽셀의 비율을 왜곡률로 표시한다. 왜곡률을 정하고 이미지 보상을 하게 되면, 후면조명의 소비전력은 동적으로 변하지만, LCD상의 이미지의 화질이 일정하게 유지되는 특징이 있다.

##### 4.2 후면조명 밝기 기준 (사용시간 기준)

시스템을 배터리로 일정시간 구동해야 하는 경우에 요구되는 후면조명의 밝기  $L'$  이 주어졌다면, 이미지  $A'$  은 수식 (2) 에 의해  $AL/L'$  로 보상해야 한다. 이는 후면조명의 소비전력을 직접 제어할 수 있는 방법이며, 이미지의 화질이 동적으로 변한다는 특징이 있다.

#### 5. 실험 및 결과

##### 5.1 실험 환경

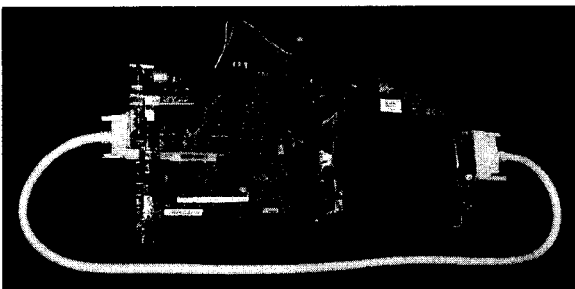


그림 3 DLS를 지원하는 플랫폼

그림 3 은 실험에 사용한 플랫폼을 보여준다. DLS 지원이 가능한 플랫폼 제작을 위하여, 3장에서 언급한 피드백 제어 회로를 Microchip 사의 PIC을 사용하여 구현하였다. 또한 LP064V1 LCD 를 구동하기 위하여 PCI 인터페이스를 가지는 LCD 컨트롤러를 구현하였다. PC는 Pentium III 866Mhz CPU, 512MB 메모리로 구성되었으며, OS는 리눅스 커널 2.4.7의 레드햇 7.2 배포판을 사용

하였다.

##### 5.2 실험 및 결과

실험은 5개의 영화를 재생하면서 MOS 테스트를 하였다.

표 1

	왜곡률 (%)	$A'/A$	전력절감 (%)
Movie1	1	0.903	5.8
Movie2	3	0.831	8.8
Movie3	5	0.896	6.3
Movie4	3	0.42	35.1
Movie5	5	0.238	50.1

표 1 에 나타난 실험결과는 화질저하가 특별하지 않다고 판단한 최대 왜곡률을 나타낸다. 이미지 보상 비율  $A'/A$  과 소비전력 절감은 동영상 재생시간 동안의 평균이다.

#### 6. 결론

LCD를 채택하고 있는 시스템에서는 일반적으로 후면조명 시스템을 사용하고 있으며, 후면조명은 주로 CCFL 이 쓰이게 된다. 후면조명의 소비전력은 시스템 전체 소비전력의 40% 이상을 차지하기 때문에, 배터리로 작동되고 긴 작업시간이 필요한 시스템에서는 후면조명에서의 소비전력을 줄이는 것이 필요하다. 이를 위하여 우리는 DLS이라는 후면조명의 밝기를 줄여서, 소비전력을 줄일 수 있는 방법을 소개하였다. DLS는 화질 보상과 함께 이루어지며 동적 조절을 하기 때문에, 눈에 띄는 화질 저하 없이 소비전력 절감을 기대할 수 있다. 실험에서는 5 ~ 50% 까지의 후면조명 시스템 소비전력 절감 효과가 있었다.

#### 7. 참고문헌

- [1] LTM04C380K, Product Information, Toshiba, Co. Ltd., 2000, <http://www.tridentdisplays.co.uk/>
- [2] LP064V1 6.4" VGA TFT LCD Preliminary Specification, LG-Philips LCD, Co. Ltd., Feb 1998, <http://www.lgphilips-lcd.com>
- [3] N. Chang, K. Kim, and H. Lee. "Cycle-Accurate Energy Consumption Measurement and Analysis: Case Study of ARM7TDMI" in IEEE Transactions on VLSI Systems, April 2002, Vol. 10, pp. 146-154.
- [4] I. Choi, H. Shim, and N. Chang, "Low-Power Color TFT LCD Displays for Hand-Held Embedded Systems," in Proceedings of International Symposium on Low Power Electronics and Design, August 2002, pp. 112-117.
- [5] T. Tsukada, TFT & LCD. Books Hill, March 2000.
- [6] W.K. Pratt., Digital Image Processing, 3<sup>rd</sup> ed. New York, NY, USA, John Wiley & Sons, 2001.