

프레임버퍼 모니터링에 기반한 저전력 LCD 제어

김효승[○] 차호정
연세대학교 컴퓨터과학과
{hskim, hjcha}@cs.yonsei.ac.kr

A Power-aware LCD Management based on Frame Buffer Monitoring

Hyoseung Kim[○] Hojung Cha
Dept. of Computer Science, Yonsei University

요약

본 논문에서는 LCD 디바이스의 프레임버퍼 모니터링에 기반한 소프트웨어 단계의 저전력 LCD 관리 기법을 제시한다. 제안하는 기법은 Refresh-rate를 조절하여 기존 하드웨어에서 추가설비 없이 사용 가능하며, 커널 레벨로 동작하여 어플리케이션의 수정이 필요없으며, 프레임버퍼 모니터링을 통해 디스플레이의 퀄리티 보장이 가능한 특징을 가진다. 본 시스템은 Linux 운영체제하에서 실제 구현되고, 실험을 통해 제안하는 기법이 사용자의 디스플레이 퀄리티 요구를 만족시키면서 저전력 관리를 수행할 수 있음을 밝힌다.

1. 서론

최근 휴대폰과 PDA를 중심으로 한 이동기기의 증대로 배터리를 사용하는 이들 기기에서의 저전력 관리 기술 개발이 늘어나고 있다. PDA와 노트북 등의 기기에서 전자책이나 그림 및 동영상 등의 고화질 이미지 재생과 같은 응용프로그램의 사용이 증가함에 따라 고화질 LCD에서 소비하는 전력의 비중은 매우 커지고 있다. 특히 LCD의 경우 사용자가 가장 민감하게 변화를 느낄 수 있는 부분이라 저전력 기법의 적용이 쉽지 않은 부분이다.

LCD에서의 소프트웨어적 전력소비 감소에 대한 연구 및 상용화는 아직 초기단계이다. 관련 연구에 따르면 LCD 디바이스는 이동형 기기에서 50%이상의 전력소비를 차지할 수 있지만 [1], 실제 이용되고 있는 소프트웨어 단계의 LCD 저전력화 기술은 사용자 입력 대기시간을 이용한 디바이스 On/Off 정도이다. 기존 연구들은 LCD의 저전력화 접근 가능성을 제시하는 테크닉 수준에서 머물러왔다. Choi[2]는 Refresh-rate, Color-depth, Backlight를 조절을 통해 LCD의 저전력화가 가능하다는 것을 밝혔고, Gatti[3]는 단점을 보완한 테크닉들을 제안하였다. Zhong[4]는 저전력을 위한 GUI 시스템의 요건을 제안하였다. 소프트웨어 단계의 제어를 통한 LCD 저전력화는 이러한 몇 가지 방법이 있으나 대부분이 기존 하드웨어/소프트웨어의 변경을 요구하여 적용이 어려울 뿐만 아니라 테크닉만의 제시로 실제 시스템에서 사용시 필요한 저전력 관리 정책과 알고리즘은 제시되지 않았다.

본 논문에서는 기존 시스템의 변경이 필요없고 사용자가 성능 차이를 체감적으로 느낄 수 없으면서 적은 오버헤드로 구현 가능한 소프트웨어 단계의 저전력 LCD 제어 기법을 제안한다. 본 기법은 기존 연구에서 소개된 바 없는 프레임버퍼 모니터링을 통해 현재 디스플레이하고 있는 내용을 분석하고, 이 정보를 바탕으로

Refresh-rate의 조절을 통해 LCD의 저전력화를 이룬다. Refresh-rate 조절은 하드웨어의 추가적인 설비나 기존 애플리케이션의 수정 없이 커널 및 디바이스 드라이버의 수정으로 적용 가능하고 동적으로 전력관리를 수행하기 적당하다. 본 소프트웨어 단계의 LCD 제어 메커니즘은 모니터링을 통해 화면에 표시되는 내용을 분석하여, 사용자가 느끼는 퀄리티를 최대한 보장하면서 저전력 관리를 수행할 수 있음을 범용 모바일 기기와 Linux 운영체제 하에서 실제 구현 및 실험을 통해 밝힌다.

2. 프레임버퍼 모니터링에 기반한 LCD 제어

2.1 프레임버퍼 모니터링

프레임버퍼 모니터링은 Refresh-rate 조절 과정에서 화면의 퀄리티를 보장하며 전력관리를 수행하기 위한 기법이다. Refresh-rate를 낮출 경우 디스플레이의 시그널을 늦춰 디스플레이 서브시스템의 모듈에서의 전력 감소가 일어난다. 또한 LCD 컨트롤러의 DMA가 사용하는 시스템 버스 타임을 줄임으로써 전력 소비가 줄어든다. Refresh-rate는 LCD Panel에 깜빡임(Flicker)이 나타나지 않는 범위내에서 줄여야만 화면의 퀄리티를 보장할 수 있다. 하지만 LCD의 특성상 화면의 정보에 따라 Refresh-rate의 최소요구치

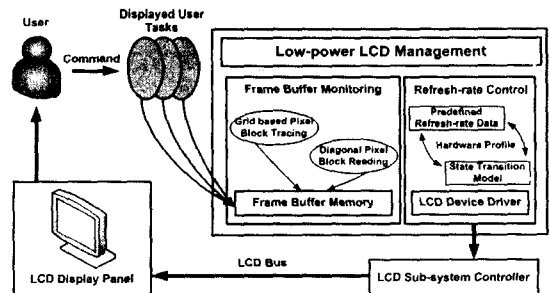


그림 1. 제안하는 저전력 LCD 관리 기법의 개요

• 본 연구는 정보통신연구진흥원에서 지원하는 정보통신기초기술연구 지원사업으로 수행하였음 (과제번호 : C1-2003-A1-2000-0240).

가 다르다. 픽셀 구성이 단순한 텍스트 위주 화면은 낮은 Refresh-rate에서도 깜빡임이 나타나지 않아 만족할 만한 품질을 보여주지만, 픽셀 구성이 복잡한 고화질 이미지나 동영상 재생은 낮은 Refresh-rate에서 깜빡임이 나타나 화면의 품질을 저하시킨다. 제안하는 프레임버퍼 모니터링 기법은 화면에 나타나는 전체 화면에 대한 이미지 영역의 비율을 수집한다. 고화질 이미지는 텍스트 정보가 표시되는 부분과 달리 Refresh-rate를 변경하는데 제약을 가져오므로 모니터링은 고화질 이미지 영역의 비율을 탐지하여 Refresh-rate 조절에 이용한다.

프레임버퍼를 모니터링하는 방법은 다음과 같다. 전체 화면을 $k \times k$ pixel 크기의 격자 형태로 분할하고 분할된 각 영역을 Pixel Block이라 한다. Pixel Block들을 Block Partition 단위로 묶는다. Block Partition은 Pixel Block으로 구성되며 가로 및 세로축에서 Block Partition이 차지하는 개수를 m 이라 한다. 화면의 해상도를 $X_{res} \times Y_{res}$ pixel이라 했을 때 Block Partition의 크기는 $\frac{X_{res}}{m} \times \frac{Y_{res}}{m}$ pixel 이 된다. 분할된 프레임버퍼에서 Pixel Block은 Block Partition마다 하나씩만 읽고 그 위치는 그림 2와 같이 결정된다. Pixel Block의 x 방향 좌표는 행 단위로 바뀐다. r 행의 Block Partition에서 (x, y) 위치의 Block을 읽었을 경우 $r+1$ 행에서는 $(x+1, y)$ 의 Block을 읽는다. y 방향 좌표는 전체 프레임버퍼를 한번 스캔할 때 마다 바뀐다. j 번째 스캔에서 (x, y) 위치의 Block을 읽었을 경우, $j+1$ 번째 스캔에서는 한칸 아래인 $(x, y+1)$ 위치의 Block을 읽는다. x, y 방향의 좌표는 범위를 벗어날 경우 rotation이 되도록 한다.

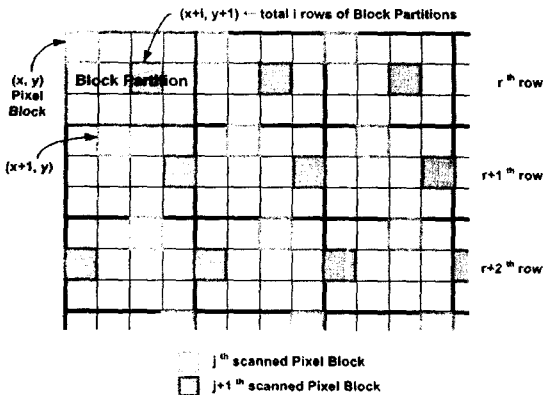


그림 2. Pixel Block과 Block Partition: Pixel Block의 탐색 위치

Pixel Block은 대각선 위치에 해당하는 픽셀만을 비교한다. 이미지 영역의 경우 역시 t 값 이상의 색상이 사용되면 이미지로 판단 가능하므로 k 값과 t 값의 조절을 통해 대각 위치의 픽셀만으로도 이미지와 텍스트의 정확한 구분이 가능하다. 그림 3은 16×16 크기의 Pixel Block에서 전체 픽셀을 모두 읽었을 때와 대각선 위치의 픽셀을 읽었을 때의 픽셀 색상 분포도 비교이다. (a)와 (b)에서 대각 위치의 픽셀만으로도 전체 픽셀의 경우와 비교해 유사한 색상 분포를 보여 역시 t 를 4로 둘 경우 텍스트와 이미지를 구분 가능함을 알 수 있다. 본 기법을 이용할 경우 Pixel Block 검사시 비교해야 하는 픽셀 수가 k^2 에서 $2k$ 개로 줄어들어 보다 적은 개수의 픽셀 검사로 모니터링이 가능하여 오버헤드를 감소할 수 있다.

모니터링과 Refresh-rate 조절은 매 p ms마다 수행한다. 프레임버퍼 모니터링은 위 방법으로 모니터링을 수행하며 전체 화면에서 이미지 영역이 차지하는 비율을 Refresh-rate 조절에 넘겨준다. 모니터링에서 전체 화면 스캔시 검사해야 하는 픽셀 개수의 범위는 식 (1)과 같다.

$$t \cdot m^2 < \text{Number of Pixels per Entire FB} < 2k \cdot m^2 \quad (1)$$

프레임버퍼 모니터링 적용시 640×480 해상도에서 $k = 16, t = 4, m = 10$ 으로 하고 모니터링 수행간격 p 를 100ms로 정할 경우 전체 화면 검사에서 100ms당 최소 400개의 픽셀 검사만으로 모니터링이 가능하다. 모니터링의 정확도와 오버헤드를 결정할 상수값과 관련한 실험 결과는 3장에서 언급한다.

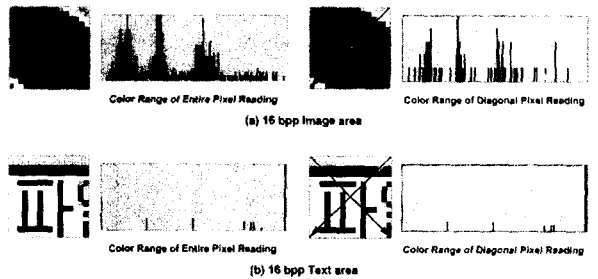


그림 3. 전체 픽셀을 모두 읽는 것과 대각 위치의 픽셀만 읽었을 때의 색상 분포 비교

2.2 모니터링에 기반한 Refresh-rate 조절

Refresh-rate 조절은 전체 화면에 대한 이미지 영역 비율에 따라 동작한다. 사용자의 환경에 따른 품질 보장과 동시에 저전력화 수행을 위해서는 이미지 영역의 비율에 따라 깜빡임을 인식하지 못할 최저 Refresh-rate에 대한 정보가 필요하다. 깜빡임이 나타나는 기준은 하드웨어 의존적인 부분으로써 LCD의 종류와 함께 화면의 크기, 컨트롤러 등에 의해서도 변할 수 있다. 따라서 각 장치마다 이를 명시한 하드웨어 일람표의 구성이 필요하다. 이는 해당 기기의 각 Refresh-rate 단계마다 이미지 영역의 비율을 늘려가면서, 깜빡임이 발생하는 이미지 비율의 범위를 토대로 작성가능하다. 표 1은 iPAQ 3860의 Refresh-rate와 이미지 영역 비율에 대한 일람표이다. 표에서 각각의 Refresh-rate은 DRS에서의 상태공간을 의미하며 각 Refresh-rate에 대한 이미지 영역의 비율은 상태전이 일어나는 조건을 나타낸다. 이미지 영역의 비율이 0 ~ 15%일 때는 10Hz의 State로, 15 ~ 25%일 때는 20Hz State로, 계속해서 70%이상일 때는 기본 상태인 60Hz State로 의미한다.

Refresh-rate 조절은 모니터링에서 전체화면에 대한 이미지영역의 비율을 넘겨받아 일람표에 나타나있는 적절 Refresh-rate로 상태

DRS State Description	Refresh Rate	Ratio of image area
	10 Hz	0 ~ 15 %
20 Hz	15 ~ 25 %	
30 Hz	25 ~ 40 %	
40 Hz	40 ~ 50 %	
50 Hz	50 ~ 70 %	
60 Hz	70 ~ 100 %	

표 1. iPAQ 3860 장치의 Refresh-rate/이미지영역비율 일람표

전이 한다. 일람표의 각 상태공간에는 깜빡임이 나타나지 않는 이미지 영역 비율의 범위가 명시되어 있어 퀄리티를 보장하면서 저전력 관리가 가능하다. 이를 통해 사용자가 이미지나 동영상 파일을 볼 경우 최적 Refresh-rate로 조절되어 이미지의 퀄리티 감소를 체감할수 없을 뿐만 아니라, 텍스트 위주의 작업의 경우 전력 절약 비율이 큰 Refresh-rate로 조절되어 저전력화가 가능하다.

3. 실험

제시한 프레임버퍼 모니터링 기법이 프레임버퍼의 일부분만을 검사하면서 정확도가 높고 시스템 오버헤드를 최소화시키기 위해서는 적절한 상수값의 선정이 필수적이다. 각 상수값이 서로에게 상호영향을 미쳐 전체 검출능력을 결정하게 되므로 k, m, t의 변화에 따른 정확도 측정용 이미지와 비이미지 영역이 혼재되어있는 화면에서 수행하였다. 모니터링의 정확도는 프레임버퍼 모니터링에서 얻어진 전체 프레임버퍼에 대한 이미지 영역의 비율을 실제 이미지 영역 비율과의 오차와 오차에 대한 표준편차를 통해 알아내었다. 실제 이미지 영역의 비율은 Refresh-rate를 낮출 경우 퀄리티가 저하 되는 영역인 고화질 이미지의 비율을 구했으며 오버헤드는 식(1)을 통해 계산하였다. 실험은 320X240, 16bpp 환경에서 수행하였다.

k	m	t	모니터링 정확도		오버헤드	
			오차평균(%)	표준편차	최소픽셀수	최대픽셀수
8	2	5	7.8	8.9	20	64
	10	4	8.7	8.0	400	1600
10	4	5	6.5	8.1	80	320
	8	5	7.9	7.9	320	1280
16	5	7	6.7	8.1	175	800
20	4	7	6.5	4.3	128	640

표 2. k, m, t에 따른 모니터링 정확도 및 오버헤드

표 2는 상수값에 따른 모니터링의 결과 중 오차의 평균이 10% 이하이고 표준편차가 10 이하인 값에 대해서 정확도와 오버헤드를 표기하였다. (k, m, t)가 (20, 4, 7)일 때 오차의 평균과 표준편차가 가장 낮다. 이 경우 오차가 6.5%, 편차가 4.3인 범위내에서 최대 640개의 픽셀 검사만으로 전체 화면을 검사 가능하다. k, m, t값은 화면의 해상도마다 달라질 수 있지만 적절한 값을 설정할 경우 전체 프레임버퍼를 검사하는 것에 비해 약 1/100정도의 오버헤드를 사용하면 7% 이하의 오차 및 5% 이하의 표준편차의 높은 정확도를 보일 수 있다.

Refresh-rate 조절에 의한 전력 소비량의 감소 효과 실험은 실제 시스템에서 프레임버퍼 모니터링을 통해 화면의 퀄리티를 훼손하지 않으면서 저전력화를 수행할 수 있음을 보인다. 실험 시스템은 Compaq iPAQ 3860 기종이다. iPAQ 3860은 Intel SA1100 206Mhz CPU에 320X240 해상도의 16bpp TFT LCD를 갖추고 있으며 LCD 컨트롤러는 SA1100에 내장된 모듈을 사용한다. 구현은 Linux kernel 2.4.19 버전에 arm 패치를 가한 커널에서 수행하였다. 모니터링은 리눅스의 프레임버퍼 드라이버에 코드를 추가하였으며 Refresh-rate 조절은 SA1100의 LCCR 레지스터를 제어하였다. 모니터링의 상수값은 (k, m, t) = (20, 4, 7)로 설정하고 수행간격을 p = 100 (ms)로 설정하였다.

	Time (sec)	Non-DRS (mWsec)	DRS adopted (mWsec)	Power Gain (%)
gpe-edit	54	68040	61020	10.3
gpe-gallery	54	65232	62532	4.1
mpegplay	54	85860	82188	4.3

표 3. DRS 적용시의 전력 소비 감소 효과

표 3는 본 기법 적용시의 시스템 전력 소비량 비교이다. 응용프로그램에 따른 전력소비 감소 효과는 gpe-edit에서 가장 높은 10.3%의 전력 절감효과를 가져왔다. gpe-edit는 10Hz의 Refresh-rate에서도 퀄리티 보장이 가능하여 가장 큰 전력감소효과를 나타내었다. gpe-gallery와 mpegplay에서는 매 화면에 따라 화질이 틀려 퀄리티 보장을 위해 Refresh-rate의 분포가 다양하게 나타났다. gpe-gallery와 mpegplay는 각각 4.1%, 4.3%의 전력절감효과가 나타났다. Gatti[3]는 640X480, 16bpp 환경에서 Refresh-rate를 30Hz로 줄일 경우 전체 시스템에서 최대 27.3%의 전력 절감을 가져왔음을 밝혔다. Refresh-rate는 화면의 해상도에 밀접하게 관련되어 640X480와 320X240에서 전력소비량 감소 비율의 차이가 크다. 본 실험은 320X240에서의 적용을 평가하였지만 최신의 대화면 PDA에서는 보다 큰 전력절감효과를 가져올 것으로 보인다.

4. 결론

본 논문에서는 프레임버퍼 모니터링에 기반한 소프트웨어 단계의 저전력 LCD 관리 기법을 제시하였다. 프레임버퍼 모니터링은 극히 적은 오버헤드로 전체 프레임버퍼를 7%이내의 오차 및 5% 이하의 편차로 판별해낼 수 있다. 저전력 관리는 모니터링의 정보를 토대로 화면의 퀄리티를 저하시키지 않는 범위내에서 Refresh-rate의 조절을 수행하며, 320X240 해상도의 PDA에서 응용프로그램 수행시 최대 10.3%의 전력 절감효과를 가져올 수 있다는 것을 실험적으로 밝혔다. 또한, 본 제어 기법은 기존 응용프로그램의 수정 없이 커널상에서 자동으로 퀄리티를 보장하며 저전력 관리를 수행하므로 실제 임베디드 시스템에 쉽게 적용 가능하다.

향후 FBMon을 기반으로 DRS 뿐만 아니라 color depth와 backlight등의 부분에 대해서도 화면의 퀄리티의 감소 없이, 커널레벨에서 자동적으로 저전력화를 수행하는 기법에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] S. Udani and J. Smith. *The Power Broker: Intelligent Power Management for Mobile Computers*. Technical Report MS-CIS-96-12, Distributed Systems Laboratory, Department of Computer Information Science, University of Pennsylvania, 1996.
- [2] I. Choi, H. Shim, and N. Chang. "Low-Power Color TFT LCD Display for Hand-Held Embedded Systems," *Proceedings of the International Symposium on Low Power Electronics and Devices*, pp. 112-117, August 2002.
- [3] F. Gatti, A. Acquaviva, L. Benini, and B. Ricco', "Low Power Control Techniques For TFT LCD Displays," *Proceedings of the international conference on Compilers, architecture, and synthesis for embedded systems*, pp. 218-224, October 2002.
- [4] L. Zhong and N. K. Jha, "Graphical User Interface Energy Characterization for Handheld Computers," *Proceedings of the international conference on Compilers, architectures and synthesis for embedded systems*, Pages 232-242, 2003.