중요객체 검출에 기반 한 LCD 디플레이의 백라이트 조정 방법

박재성, 황인성, 조남익
서울대학교 전기정보공학부
gogojs8902@gmail.com, coee5@snu.ac.kr, nicho@snu.ac.kr

Saliency-based Backlight Regulation Method in LCD Display

Jae Sung Park, Insung Hwang Nam Ik, Cho
Dept. of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University

요약

본 논문에서는 인간의 시각 인지 특성 중 하나인 돌출영역(saliency region) 응시 특성을 고려한 LCD 디스플레이의 백라이트 제어 방법을 제안한다. 제안된 방법은 입력 영상의 화소 분포를 분석하고 주된 응시 영역 검출 결과를 가중치 함수로 이용하여 영역별로 분할된 영상의 블록에 대응하는 백라이트를 증폭 혹은 감소시킨다. 소비전력의 증가 없는 백라이트 블록별 증폭 기법 구현을 위하여 백라이트 증폭 총량은 백라이트 감소 총량으로 제한하고 블록 별로 증폭 양 결정을 위하여 MPEG2 TM-5 Rate Control 모델을 도입하여 적응적 백라이트 레벨 결정 방식을 적용하였다. 백라이트 증폭 시뮬레이션 결과를 바탕으로 제안된 방법이 소비전력 증가 없이 인간 시각이 주로 응시하는 돌출 영역의 화질을 개선함을 보였다.

1. 서론

LCD 디스플레이는 최근에 효율이 좋은 Light Emitting Diode(LED) 등의 백라이트 소자의 개발로 인하여 낮은 소비전력으로 뛰어난 화질을 디스플레이 할 수 있는 소자로서 TV, 모니터, 광고용 옥외 디스플레이 제품 등에 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 LCD는 백라이트 유닛으로 부터 받은 빛의 양을 제어해서 투과시켜 주는 역할을 하는 수광 소자로서 낮은 투과율, 흑색 표현력, 느린 응답속도 등 여러 가지 문제가 발생할 수밖에 없었다. LCD 디스플레이의 밝기와 색채 관련 단점을 개선하고자 다양한 LCD 공정상의 기법과 영상처리 및 영상 분석을 통한 백라이트 구동 방법이 제안되어 현재 LCD 디스플레이는 상당히 우수한 화질 특성을 나타내고 있다. 그 중에서도 LCD 디스플레이의 빛 샘에 의한 낮은 대비(contrast ratio) 문제를 개선하기 위하여 국부적 백라이트 감소(local dimming) 알고리즘이 제안되어 많은 디스플레이에 적용되고 있다. 국부적 백라이트 감소 알고리즘은 영상을 블록 단위로 분석하여 대응되는 영역의 백라이트 레벨을 적절하게 감소시고 그에 따른 밝기 감소를 화소 레벨을 증가시켜 보상하는 알고리즘이다.[1-5]

최근 LCD 디스플레이 기술에서 점점 중요하게 고려되는 기술이 high dynamic range(HDR) 디스플레이 기법이다. HDR 디스플레이를 구현함에 있어서 한 화소에 높은 bit 수(bits for pixel)를 할당하여 세밀한 영상을 표현하는 것도 중요하지만, 백라이트 측면에서 높은 휘도를 출력해주는 광원의 설계와 제어 방법도 매우 중요한 기술이다. 이미 2000 cd/m^2 이상의 높은 휘도를 표현할 수 있는 상용화된 제품들도 있으며 입력된 영상의 조건에 따라 최대 4000 cd/m^2 이상의 초고휘도를 목표로 하는 제품 개발도 진행되고 있다. 이러한 초고휘도 제품을 구현을 위해서는 기존에 제안된 국부적 백라이트 제어 알고리즘이 필수적이다. 즉 기존의 백라이트 감소 알고리즘은 소비전력 감소와 휘도 대비 증가를 목적으로 블록 별로 백라이트를 낮추 방법 주로 제안된 반면, 백라이트 감소 기술과 반대로 특정 영역의 백라이트를 강조하는 국부적 백라이트 증폭하는 알고리즘이 동시에 적용된다면 제한된 광원을 효율적으로 사용하면서 고휘도 LCD 디스플레이 구현이 가능하기 때문이다. 백라이트 증폭 방법은 국부적 백라이트 감소 알고리즘과 더불어 HDR 디스플레이뿐만 아니라 기존의 low dynamic range (LDR) 디스플레이나 standard dynamic range (SDR) 디스플레이에서도 효과적인 적용이 가능하다.

위에서 언급된 특정 영역이라 함은 인간 시각이 영상을 볼 때 영상 내에서도 특히 집중하는 객체(object)가 포함된 영역을 의미한다. 인간의 시각 시스템은 영상을 관찰 할 때 모든 객체들에 대해 우선순위를 가지고 시간 및 노력을 달리 할애한다. 이러한 점에 착안하여 컴퓨터 비전 연구 분야에서는 영상 내에서 중요한 객체를 검출하려는 연구(saliency 기법)가 최근에 활발히 진행되어 왔다. 영상에서 중요 객체 혹은 영역 검출 방법은 객체나 영역 선택적 화질 개선, 압축 등 이미지 프로세싱, 컴퓨터 비전의 분야에 다양하게 활용될 수 있다는 점에서 중요한 연구 분야이다.[6,7]

본 논문에서는 LCD 디스플레이 사용자가 영상을 볼 때 영상에서 특별히 주시하는 영역 검출을 통하여 해당 영역의 백라이트 강도를 증폭하는 방법으로 사용자 화질 개선 효과를 주는 LCD 디스플레이의 백라이트 제어 알고리즘을 제안한다. 사용자가 영상을 볼 때 주시하는 영역은 시각적 중요도 검출 알고리즘을 이용하여 검출하고, 이 정보를 이용하여 해당 영역의 백라이트의 강도를 증가시켜주는 방법을 적용한다. 이 때, 인간이 주시하는 영역의 밝기는 높여주고 상대적으로 덜 관

심 있는 영역에서는 가능한 만큼 밝기를 낮추어서 추가적인 전력 소비 없이 구현이 가능한 기법을 제시한다.

2. 제안하는 알고리즘

본 논문에서는 제안한 방식의 전체적인 알고리즘은 다음과 같다. LCD 디스플레이에서 감소할 수 있는 백라이트 레벨을 블록 단위로 결정하고, 한 장의 영상에 대해서 감소할 수 있는 백라이트 총량 내에서 국부적인 백라이트 증폭 레벨을 블록 단위로 결정한다. 이 때 증폭할 영역과 백라이트 증폭 레벨은 영상에서 인간 시각이 주시하는 영역 검출 알고리즘인 saliency 기법의 결과를 적용한다. 이 때, 백라이트 증폭에 의한 백라이트 블록화 현상을 완화하기 위해서 공간 필터링을 적용하고, 한 장의 입력 영상의 백라이트 증폭 총량이 백라이트 감소 총량을 넘지 않도록 MPEG2 TM5의 rate control 기법을 도입하여 적응적으로 블록별 증폭 양을 조절하도록 설계한다.

2.1 기초 백라이트 감소 레벨 결정

백라이트 증폭을 통한 중요 객체 영역의 밝기 개선을 위해서는 증폭할 영역에서 필요로 하는 소비전력 이상을 상대적으로 중요하지 않은 영역에서 감소시켜야 가능하다. 즉, 백라이트 감소가 가능한 영역의 검출과 그 레벨을 결정하는 것이 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 첫 단계이다.

블록 별 백라이트 감소량을 계산하기 위해서 일반적으로 각 블록의 최대 화소 값(red, green, blue pixel)을 찾거나 평균 화소 값을 산출하여 사용한다. 최대 화소 값을 이용할 경우는 백라이트 감소 효과가 현저히 낮아져서 증폭에 필요한 총량이 낮아진다. 한편, 평균 화소 값을 이용하는 경우는 백라이트 감소량을 극대화 하여 명암비와 소비전력 감소 극대화에 그 목적을 두고 주로 사용된다. 따라서 본 논문에서 제안된 알고리즘에서는 평균 화소 값을 적용하는 것이 제안하는 알고리즘에 적합하다고 판단되어 참고문헌 [6]에서 제안된 영상의 블록별 화소 평균에 기반한 백라이트 레벨을 결정하는 일반적인 알고리즘을 적용한다. 따라서 알고리즘 적용 후 디스플레이에서 감소시킬 수 있는 백라이트 레벨의 합 L^{Dim}은 다음 식 1과 같이 산출할 수 있다.

$$L^{Dim} = \sum_{x,y}\left(B_{REF} - \min\left(B_{offset}, m(x,y)\right)\right) \qquad \text{(식. 1)}$$

여기서, x, y는 각각 백라이트 블록의 가로 세로축 좌표, B_{REF}는 알고리즘 적용 전의 일반적인 상태의 백라이트 레벨, B_{offset} 은 백라이트 블록의 최소 레벨, $m(x,y)$은 계산된 백라이트 블록의 화소 평균값이다. 따라서 알고리즘 적용 전 디스플레이의 최대 소비전력량은 모든 블록의 백라이트 레벨이 B_{REF}로 구동되고 있을 때의 소비전력량이다.

2.2 백라이트 증폭 영역 검출

백라이트를 증폭할 영역은 saliency 알고리즘 기반으로 추출한다. 일반적으로 saliency 알고리즘은 영상에서 색 대비 정도, 화소 값의 크기, 움직임 정보 등을 이용하여 추출한 가중치 지도 정보이다. 본 논문에서 사용한 saliency 영역 검출 알고리즘은 입력 영상의 saliency 영역 검출을 그래프 기반의 순위 문제로 모델링 하여 구한다. 즉, 제안된 방법에서는 가장자리의 영상 정보는 상대적으로 중요하지 않고 배경 영역과 상당히 유사하다는 점과 중요한 객체는 이미지의 가장자리에 위치할 확률이 매우 낮다는 사전 지식을 활용하여 배경에 해당하는 영역을 추출하고, 이와의 유사도를 그래프 랭킹 매니폴드 방법을 활용하여 계산함으로써 중요 객체를 검출한다.

(a) (b)

그림 1. Saliency 검출 예시. (a) 입력 이미지, (b) 중요 객체 검출 결과

2.3 적응적 백라이트 조절과 소비전력 관리

백라이트를 감소시킬 레벨과 증폭시킬 영역을 검출한 후 본 논문에서는 MPEG2 TM5의 rate control 개념을 도입하여 백라이트 감소 및 증폭 양을 최종 결정한다. Rate control은 매크로 블록의 양자화 파라미터인 양자화 스케일을 적응적으로 조절해서 test model의 bit율을 제어하기 위한 방법으로서, 목표 bit 할당, 비율 제어, 적응적 양자화의 세 단계로 이루어져 있다. 본 논문에서는 이 모델의 개념을 도입하여 목표 백라이트 할당, 증폭 이득(gain) 제어, 적응적 이득 제어의 세 단계로 알고리즘을 설계하고 백라이트 감소 총량 내에서 백라이트 증폭이 이루어 질 수 있도록 한다.

첫 번째 단계인 목표 백라이트 할당은 백라이트를 증폭할 수 있는 총량을 산출하는 단계이다. 증폭 이득 제어는 두 번째 단계로서 각 백라이트 블록에 증폭 이득을 할당한다. 개별 블록의 백라이트 증폭 이득은 2.2에서 검출한 saliency 가중치 w_S이다. 따라서 증폭된 백라이트의 총량 L^{Boost}는 식 2와 같이 구할 수 있다.

$$L^{Boost} = \sum_{x,y}\left|\left(\left(w_S \times B(x,y) \times G_F\right) - B_{REF}\right)\right| \qquad \text{(식. 2)}$$
$$\text{if } (w_S \times B(x,y)) > B_{REF}$$

이 때 G_F는 제안하는 알고리즘 마지막 단계에서 폭에 의한 백라이트 블록별 초과 사용량 L^{Boost}가 백라이트 감소량 L^{Dim}을 넘지 않도록 제한하기 위해서 적용된 피드백 이득이다.

마지막으로 적응적 이득 제어 단계에서는 백라이트 감소량과 증폭량을 이웃 백라이트 블록들의 레벨을 고려하여 백라이트 감소와 증폭의 수준을 적절히 조절하는 단계이다. 적응적 이득 제어는 두 가지 목적을 이루기 위해서 필요하다. 첫 번째는 증폭할 수 있는 백라이트의 총량 L^{Boost}를 감소시킨 백라이트의 총량 L^{Dim}보다 작거나 같도록 제어하고 백라이트 소비전력량 증가 없이 시각적으로 중요하게 인지하는 영역의 밝기 증가 통한 화질 개선 효과를 얻기 위함이다. 두 번

째 목적은, 블록별 백라이트 증폭과 감소로 인한 급격한 백라이트 레벨 차이를 완화시키기 위함이다. 백라이트 감소와 증폭이 동시에 이루어지게 되면 인접 블록과 백라이트 레벨의 차이가 급격히 커지는 블록이 발생하며, 이러한 급격한 백라이트 값의 차이는 LCD 디스플레이에서 blooming 효과를 유발하여 화질 평가 시 단점으로 작용한다. Blooming 효과는 전체적으로 주변이 어두운 영역에서 매우 밝은 백라이트 블록이 있을 때 어두운 영역으로 빛이 새어 나오는 현상이다. 따라서 각 백라이트 블록과 인접 블록들에 대응하는 영상 블록의 정보를 분석하여 백라이트 감소량와 증폭량의 적절한 조절이 필요하다.

적응적 이득 제어 방법은 적응적 블록 평균 이득 제어와 적응적 공간 필터링 가중치 제어 두 가지로 구성한다. 주시 영역의 증폭량은 큰 경우, 즉 밝게 유지되는 경우에 화질 개선 효과를 최대화하는 방법이기 때문에 증폭량은 최대로 유지한다. 반면 백라이트 감소 영역의 밝기 감소는 영상 후처리 단계에서 화소의 보상으로 이루어지기 때문에 너무 많은 감소는 화소의 포화 현상 문제를 야기할 수 있으므로 각 영상 블록의 화소 값 분포를 분석하여 감소량을 조절한다. 각 영상 블록에서, 2.1에서 계산 된 블록의 화소 평균보다 높은 값을 갖는 화소와 낮은 값을 갖는 화소의 분산을 다음 식 3과 같이 각각 계산하여 그 비율을 블록의 평균값 보상 이득을 식 4와 같이 산출한다. 위와 같은 방법이 본 논문에서 적용한 적응적 블록 평균 이득 제어 방법이다. 이 때, $P(m,n)$은 각 블록 내에서 m, n 위치의 화소 레벨, N^u, N^l은 각각 블록의 화소 값의 평균보다 높은 값을 가지는 화소들과 낮은 갑을 가지는 화소들의 전체 개수이고, $vB^u_{x,y}$, $vB^l_{x,y}$ 는 각각 블록의 화소 값의 평균보다 높은 값을 가지는 화소들과 낮은 갑을 가지는 화소들과의 분산이다.

$$vB^u(x,y) = \frac{1}{N^u}\sum_{m,n}(P(m,n)-m(x,y))^2 \quad \text{if, } P(m,n) > m(x,y)$$

$$vB^l(x,y) = \frac{1}{N^l}\sum_{m,n}(P(m,n)-m(x,y))^2 \quad else \qquad \text{(식. 3)}$$

$$G_C = \min\left(\frac{vB^l_{x,y}}{vB^u_{x,y}}, G_{Max}\right) \qquad \text{(식. 4)}$$

G_C는 블록의 화소 값 분석을 통한 블록 평균 레벨을 보상하는 이득이고, G_{Max}는 블록 평균 레벨 최대 보상 이득으로 감소시킨 백라이트 레벨이 너무 높아지는 것을 제한하기 위해서 설정한 값이다.

한 편, 적응적 공간 필터링 가중치 제어 방법은 blooming 효과를 줄이기 위해서 현재 블록의 백라이트 값에 공간 필터링을 적용할 때, 각 이웃 블록의 가중치를 중심 블록과 이웃 블록 값의 차이에 비례적으로 주변 블록의 가중치 $w(i,j)$를 식 5와 같이 결정하여 적용한다.

$$w(i,j) = w_T \times \left(\frac{|B(x+i,y+j)-B(x,y)|}{\sum_{i=-1}^{1}\sum_{j=-1}^{1}|B(x+i,y+j)-B(x,y)|}\right) \qquad \text{(식. 5)}$$

위 식 4에서 w_T는 주변 블록에 적용되는 가중치의 총량, i, j는 주변 백라이트 블록의 위치이다. 일반적인 가중치 공간 필터링 방법은 중심 블록의 값에 높은 가중치를 적용하고 주변 블록에 균일한 가중치를 적용하는 반면 본 논문에서 사용한 방법은 중심 블록과 주변 블록의 차이가 크면 클수록 주변 블록에 더 높은 가중치를 주는 방법으로 증폭에 의한 백라이트 블록이 급격히 변하는 현상을 완화하였다.

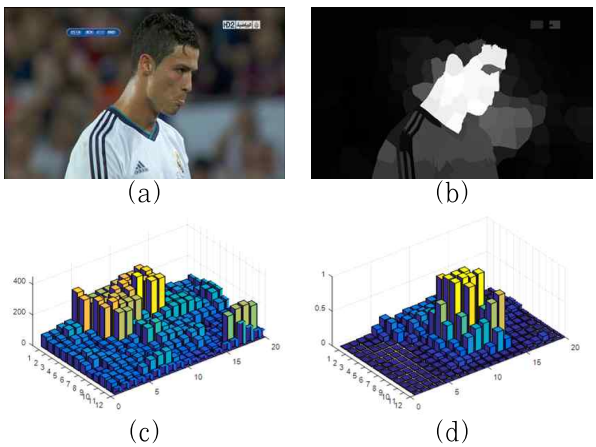
위와 같이 계산된 백라이트 레벨 B^{SF}는 디스플레이에 적용되기 전에 증폭에 의한 백라이트 블록별 초과 사용량 L^{Boost}가 백라이트 감소량 L^{Dim}을 넘지 않도록 제한하여 백라이트 감소와 증폭량을 최종 결정한다. 즉 L^{Dim}과 L^{Boost} 값을 B^{SF} 기준으로 계산하여 그 이득 값을 다음과 같이 결정한다.

$$G_F = \frac{L^{Dim}}{L^{Boost}} \qquad \text{(식. 6)}$$

3. 실험 결과

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 시뮬레이션 실험을 위해서 영상 디스플레이 시스템은 가로, 세로 각각 1920x1080의 고해상도 (High definition) 영상으로 하고 입력 영상의 화소 당 bit 수는 8bit로 가정한다. 이 디스플레이 시스템은 가로, 세로 각각 20x12개(총 240개)로 분할되어 제어 가능한 LED 백라이트를 구비하고 백라이트 출력 값은 입력 영상의 bit수와 동일하게 8bit로 설계된 시스템으로 가정한다. 따라서 별도의 백라이트 감소 혹은 증폭 알고리즘이 적용되지 않은 디스플레이 시스템의 경우 백라이트 값은 항상 B_{REF}(255) 수준으로 구동된다고 가정한다.

그림 2는 입력 영상에 대한 기초 백라이트 레벨과 중요 객체 영역 검출 결과를 나타낸다. 입력 영상에 대한 기초 백라이트 레벨은 그림 2.(c)와 같이 블록의 화소 평균으로 얻을 수 있다. 그림 2.(b)와 같이 saliency 알고리즘 수행 결과, 영상 내에서 각 객체에 대한 중요도 지도를 얻을 수 있고 이 결과를 백라이트 블록별 증폭 이득으로 사용하기 위해서 그림 2.(d)와 같이 백라이트 블록에 대응하도록 나타내었다.



(a) (b) (c) (d)

그림 2. 입력 영상에 대한 기초 백라이트 레벨과 주시 영역 검출 결과 (a) 입력영상, (b) 중요 객체 검출과 중요도에 대한 가중치 지도 (c) 입력 영상에 대한 기초 백라이트 레벨 분포도 (d) 백라이트 블록에 대응하는 가중치 평균 분포도

그림 3은 그림 2(a)의 입력 영상에 대해서 본 논문에서 제안하는 알고리즘 적용 후 백라이트 조절 결과를 나타낸다. 그림 3.(a)에서 대부분의 백라이트 블록에서 $B_{REF}(255)$보다 낮은 백라이트 레벨로 감소된 동시에 인간의 시각이 주시하는 중요 객체가 존재하는 영역에서는 백라이트 레벨이 증폭된 결과를 확인 할 수 있다. 그림 3.(b)는 증폭된 백라이트 영역과 그 레벨을 확인 할 수 있도록 별도로 표시하였다.

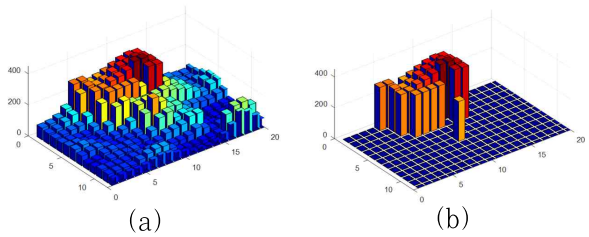


그림 3. 제안된 알고리즘 적용 결과 (a) 입력영상, (b) 중요 객체 검출과 중요도에 대한 가중치 지도

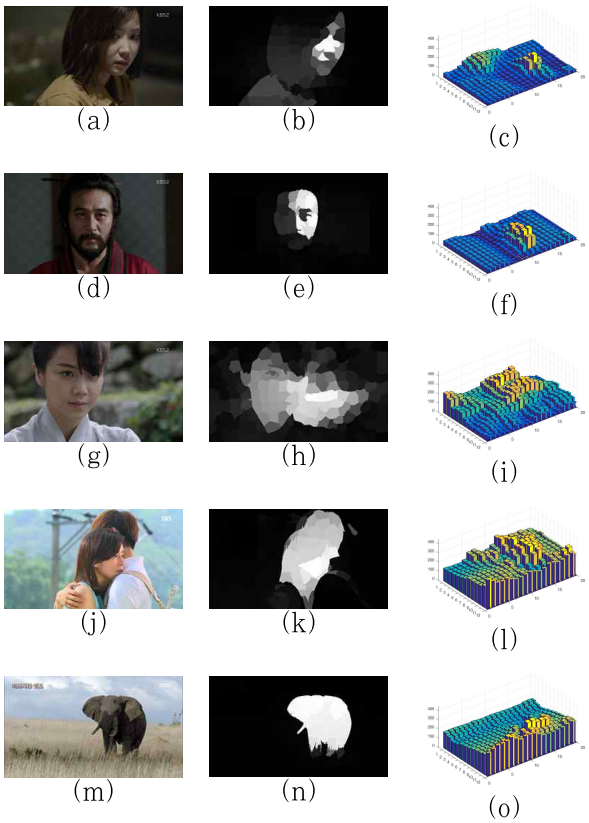


그림 4. 다양한 샘플 영상에 대한 시각적 중요도 지도와 최종 백라이트 레벨 계산 결과

그림 4에서는 제안하는 알고리즘을 이용하여 다양한 샘플 영상에 대한 시각적 중요도 지도와 최종 백라이트 레벨 계산 결과를 그래프로 나타내었다. 그림 4 (a)와 (d)의 영상은 전체적으로 밝기가 어둡고 시각적으로 중요한 영역이 영상 중심부에 상대적으로 좁게 분포하여 본 논문에서 제안하는 알고리즘이 적용 되었을 때 가장 큰 효과를 볼 수 있는 영상이다. 그림 4 (g)의 영상은 영상의 신호 레벨이 전체적으로 높아서 감소시킬 수 있는 백라이트 레벨이 적고 시각적으로 중요한 영역이 영상 전체에 고르게 분포하여 증폭할 수 있는 백라이트 레벨도 제한될 수 밖에 없는 경우이다. 마지막으로 그림 4 (j), (m)의 경우에는 시각적 중요하게 인지하는 영역은 좁지만 신호레벨이 너무 높기 때문에 감소시킬 수 있는 백라이트 블록이 거의 없기 때문에 증폭을 크게 할 수 없는 경우를 나타낸다. 결국, 본 논문에서 제안하는 시각적 중요도 기반의 백라이트 증폭을 통한 화질개선 알고리즘은 감소된 백라이트 레벨 내에서 가능하기 때문에 백라이트 감소가 충분히 가능하고, 증폭을 통한 화질 개선 효과를 얻기 위해서는 시각적으로 중요하게 생각하는 영역이 영상에서 일부 영역에 있을 경우 효과가 극대화됨을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 인간 시각이 영상을 볼 때 중요하게 생각하고 주시하는 영역을 검출하고 해당 영역의 백라이트 증폭을 통해서 화질 개선 효과를 얻을 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 구체적으로, 백라이트를 구비한 LCD 디스플레이 장치에서 사람이 중요하게 인지하는 영역의 밝기를 증가를 위해서 중요하게 생각하지 않은 영역의 백라이트 레벨은 반대로 감소시켜 소비전력 증가 없는 백라이트 조절 알고리즘을 제안하고 그 시뮬레이션 결과를 제시하였다. 본 논문에서 제안된 알고리즘을 디스플레이 장치에 적용 경우 예상되는 가장 큰 효과는 영상에서 사용자가 주시하는 영역의 국부적 백라이트 증폭을 통해 사용자 체감 화질 개선이 가능하고, 체감 밝기 증가가 추가적인 소비전력의 증가 없이 이루어진다는 점이다.

참고문헌

[1] Chen Hanfeng, Sung Junho, Ha Taehyeun, et al. “Locally Pixel-compensated Backlight Dimming on LED-Backlit LCD TV,” Journal of the Society for Information Display. 15(12):981-988, 2007.

[2] Cho H, Kwon O K. “A Backlight Dimming Algorithm for Low Power and High Image Quality LCD Applications,” IEEE Trans. Consumer Electronics, 55(2): 839-844, 2009.

[3] Jong-Ju Hong, Seong-Eun Kim, ”A Clipping Algorithm Using Backlight Luminance Compensation for Local Dimming Liquid Crystal Displays,” IEEE Trans. Consumer Electron, 31(1): 745-695, 2008.

[4] Burini N., Nadernejad, E., Korhonen, J., Forchhammer, S., Xiaolin Wu, “Modeling power-constrained optimal backlight dimming for color displays,” Accepted to J. Display Technol., 2013.

[5] Mantel, C., Burini, N., Korhonen, J., Nadernejad, E. and Forchhammer, S. "Quality assessment of images displayed on LCD screen with local backlight dimming," Quality of Multimedia Experience (QoMEX), Fifth International Workshop on, On page(s): 48 - 49 2013

[6] C. Yang, L. Zhang, H. Lu, X. Ruan, and M.-H. Yang, “Saliency detection via graph-based manifold ranking,” in CVPR, 2013.

[7] D. Zhou, J. Weston, A. Gretton, O. Bousquet, and B. Scholkopf. “Ranking on data manifolds.” In NIPS, 2004