

OLED 디스플레이의 전력 저감 및 모션 블러 개선에 관한 연구

(A Study on the Reduction of Power Consumption and the Improvement of Motion Blur for OLED Displays)

최세윤* · 김진성 · 서정현**

(Se-Yoon Choi · Jin-Sung Kim · Jeong-Hyun Seo)

Abstract

In this paper, we proposed a new driving scheme to reduce the motion blur and save the power for OLEDs(organic light emitting diodes). We adopted a DVS (dynamic voltage scaling) method to reduce power consumption and the division of TV field to improve motion blur. In the proposed scheme, BEW (Blur Edge Width) was decreased to the ratio of 1/4 compared to the conventional scheme under the optimal conditions. In this scheme, the gray levels to which the DVS method can be applied were divided into much smaller groups depending on the number of subfields. Therefore, our scheme does not guarantee less power consumption for every image compared to the conventional scheme. However, the new scheme can move the gray levels adopting the DVS to higher gray levels. Thus, we can save power even when having images at high gray levels.

Key Words : OLED, Motion Blur, DVS(Dynamic Voltage Scaling), Subfield, BEW(Blur Edge Width)

1. 서 론

유기발광 다이오드는 최근 소형 스마트폰 시장을 시작으로 대형 TV 시장에 이르기까지 다양한 분야에 그 영역을 넓히고 있으며, 플렉서블 디스플레이와 투명 디스플레이의 가능성으로 인해 향후 미래 디스플레이 분야의 가장 주목할 소자로 대두되고 있다[1-2]. 유기

발광 다이오드는 높은 휘도와 빠른 응답특성, 넓은 시야각, 얇고 가볍다는 장점을 가지고 있지만, 청색 유기 발광다이오드의 성능이나 모션블러, 전력소모 저감에 대한 노력이 지속적으로 필요하다[3-4].

현재 유기 발광 다이오드가 높은 점유율을 가지고 있는 휴대폰 시장에서는 픽셀 구조의 변경으로 인한 수명의 연장과 함께 교체 주기가 빠르기 때문에 시장 형성에 있어 걸림돌이 되지 않지만, 대형 디스플레이 시장에 진입하면서 픽셀의 크기가 커지고 더 긴 수명을 요구하기 때문에 한계가 드러날 수 있다[5].

따라서 더 다양한 디스플레이 시장에서 유기 발광 다이오드가 성공하기 위해서는 전체적인 수명의 향상을 위한 소재 개발, 소비 전력의 감소, 발광 효율의 향

* Main author : MD, electronics engineering,
Incheon national university
** Corresponding author : Professor, electronics
engineering, Incheon national university
Tel : 032-835-8442, Fax : 032-835-0774
E-mail : pdpsunya@inu.ac.kr
Received : 2015. 12. 7.
Accepted : 2016. 1. 20.

상, 홀드 타입 디스플레이의 단점인 블러 현상의 완화 등이 반드시 해결되어야 하는 과제이다.

시스템적으로 유기발광 다이오드의 소비전력을 저감하는 기술로는 DVS(dynamic voltage scaling) 기법을 적용한 사례가 있다[6]. 기존의 DVS 방법은 손쉽게 소비전력을 줄이는 방법을 제시하고 있으나, 저 계조 영역에서만 적용할 수 있는 단점이 있어 적용하는데 제한이 있다. 모션블러의 경우 OLED의 모션블러는 LCD의 구동방식과 동일한 홀드 타입 방식의 계조 표현 때문에 발생하는 것으로 모션블러를 줄이기 위해서는 1TV 필드 동안에 빛이 나오는 시간을 줄이는 방법이 제안된 바 있다.

본 논문에서는 서브필드 분할 구동 방법에 DVS 기법을 적용하여, 모션 블러를 줄이면서도 기존의 DVS 기법을 더 다양한 계조 조건에서 적용할 수 있도록 하는 방안에 대해서 제안하고자 한다.

2. OLED 구동과 DVS 적용

2.1 OLED 단위 화소의 동작 원리

그림 1은 OLED 디스플레이 구동방식 중에서 DVS를 적용할 수 있는 액티브 매트릭스(active matrix)의 구동회로 개념도를 도시한 것이다. OLED는 LCD에서와 마찬가지로 게이트 전극에 15V의 전압이 인가되면 각 화소의 TFT가 켜지게 되고, 이 때 각 화소와 연결된 데이터 전극에 필요한 만큼의 전압이 인가되면, 이 데이터 전압이 전류 공급선과 연결된 또 다른 TFT의 게이트 전압을 담당하는 커패시터에 충전되게 된다. 이 커패시터에 충전된 전압의 크기에 따라서 OLED에 흐르는 전류가 결정되어 빛을 내게 된다.

그림 2는 OLED에 흐르는 전류와 소자들에서 각각 소모하는 에너지를 계산하기 위하여 그림 1에서 전류 공급선에 흐르는 전류와 각 소자에 걸리는 전압간의 관계를 나타낸 것이다. 가로 축은 전압을 나타내며, 세로 축은 전류를 나타낸다. OLED 소자는 그림 2에서와 같이 전압이 인가되면 전류가 지수 함수적으로 증가하는 고유한 특성을 갖고 있다[7]. TFT는 게이트 전압이 결정되면 드레인과 소스 사이의 전압에 따라서

전류가 증가하다가 포화되는 특성을 가지고 있다. 외부에서 V_{DD} 의 전압을 그림 1의 회로에 인가할 때 V_0 의 전압이 OLED 양단에 걸리는 전압이라면, $V_{DD}-V_0$ 의 전압이 TFT의 드레인과 소스 양단에 걸리는 전압이 된다. 따라서 OLED의 I-V 곡선과 TFT의 I-V 곡선을 함께 그리게 되면, 그림 2에서와 같이 표현될 수 있다. 회로에 흐르는 전류는 동일 전류가 흘러야 하기 때문에, TFT의 I-V 곡선과 OLED의 I-V 곡선이 만나는 점에서 동작점이 결정된다. 동작점은 TFT의 게이트 전압이 증가할수록 더 높은 전류 영역으로 이동하게 된다. 이 때에 단위 소자에서 소모하는 전체전력은 $V_{DD}I_{oled}$ 가 되고, OLED의 발광을 위해 사용되는 전력은 $V_d I_{oled}$ 이며, TFT와 회로의 저항성분에 의해 소모되는 전력은 $(V_{DD}-V_d)I_{oled}$ 가 된다.

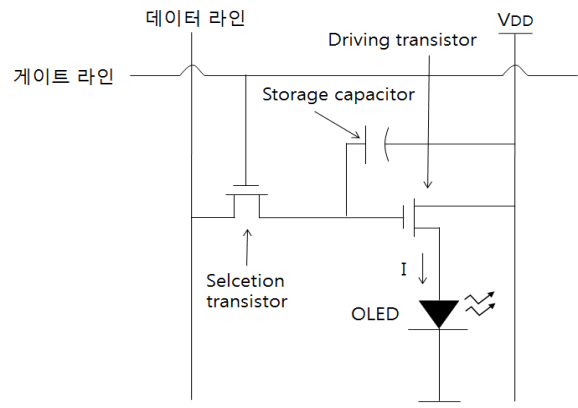


Fig. 1. Driver circuit topology of unit cell in active matrix OLED

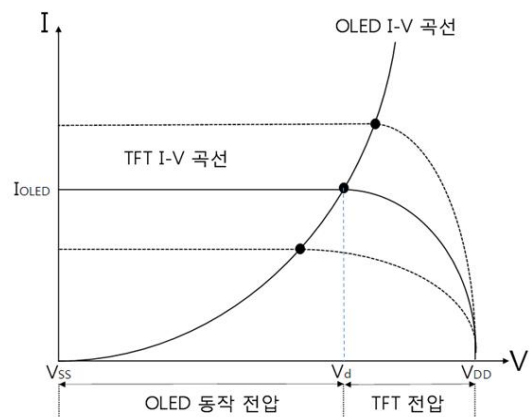


Fig. 2. Load line of OLED

일반적으로 낮은 전류가 흐를 때에는 그림 1의 스토리지 커패시터에 작은 전압이 저장되고, 이 전압은 드라이빙 TFT의 게이트 전압으로 작용하여 그림 2에서 보듯이 동작점이 왼쪽으로 이동하게 되며, 이 때에는 전체 소비전력 중에서 TFT나 저항에 의한 소모성 전력이 상대적으로 커지게 된다. 반면에 전류가 많이 흐르는 경우에는 상대적으로 소모성 전력이 줄어든다.

2.2 DVS 방식의 원리

DVS는 주로 컴퓨터 아키텍처나 컨버터 등에서 내부 디바이스의 소비 전력과 동작 속도를 조정하기 위해서 사용하는 방식이다[6]. 유기 발광 다이오드 패널에서 이 방식은 공급 전압을 낮춰서 전체 패널의 전력을 줄이는 것을 뜻한다. 동일한 V_{DD} 가 인가되었을 때 OLED 양단에 걸리는 전압은 작아지고 TFT 쪽에 걸리는 전압은 커지게 된다. 하지만 TFT는 드레인과 소스 양단의 전압(V_{DS})이 일정 이상이 되면, 전류는 전압과 무관한 특성을 가지고 있다. 따라서 TFT에 필요 이상의 전압을 인가하여 에너지를 소모할 필요가 없다. V_{DD} 를 작게 하더라도 일정 전압 이상이 V_{DS} 에 인가되면, 동일한 전류를 흘리는데 아무런 문제가 없다. DVS 방식은 전류가 작은 경우, 외부에서 인가하는 V_{DD} 를 줄여서 저항성 부하의 전력소모를 줄이는 방법이다. 그러나 높은 전류가 흐르는 경우에는 높은 V_{DD} 를 유지해야 하기 때문에 DVS를 적용하기 어렵다. 높은 전류가 흐를 때에는 OLED 양단에 큰 전압이 인가되고, TFT 양단에는 작은 전압이 인가된다. 이 경우 V_{DS} 가 너무 작아지면 TFT가 포화영역이 아닌 트라이오드(triode) 모드에서 동작할 수 있으므로 DVS를 적용할 수 없다. 따라서 동일한 V_{DD} 를 공급 받는 모든 픽셀의 전류가 낮은 경우에만 DVS를 적용할 수 있다. 패널에서 각 수직 라인별로 V_{DD} 를 다르게 인가할 수 있고, 한 수직 라인에 속한 픽셀들에 인가되는 V_{DD} 는 동일하다고 가정한다. 이 경우 하나의 수직 라인에 속한 픽셀들의 계조 데이터를 분석하여 모든 픽셀에 DVS를 적용할 수 있으면, 이 수직 라인의 V_{DD} 를 낮은 값으로 바꾸어 소비 전력을 줄일 수 있다.

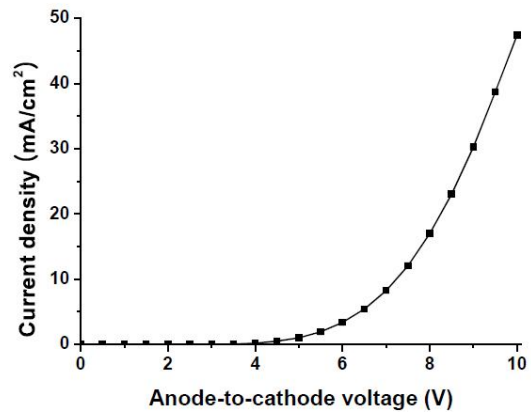


Fig. 3. I-V curve of OLED(8)

그림 3은 본 연구에서 전력 계산을 위해 사용한 OLED의 전류-전압 곡선이다[8]. R,G,B 셀에 따라서 I-V곡선이 달라지겠지만 본 논문에서는 상대적인 비교를 목적으로 하였기 때문에 R,G,B가 동일한 I-V 곡선을 갖는다고 가정하였다. 그림 3에서는 10V의 전압이 인가된 경우의 전류가 256 계조에 해당하는 것으로 가정하고, 전류의 크기를 최소값과 최대값을 256 등분하여 각 계조에 해당하는 전류와 전압을 그림 3으로부터 추정하였다. 각 계조에 대한 OLED 소자에서의 소비 전력은 그림 3으로부터 얻어진 계조별 전류와 전압을 곱하여 계산한다. 이 때 외부에서 인가된 V_{DD} 전압에서 OLED에 걸리는 전압을 뺀 값에 전류를 곱하면 회로에서 소모하는 저항성 전력을 계산할 수 있게 된다.

그림 4는 기본적인 DVS 방법의 전력 감소 정도를 보여주고 있다. (a)는 계조별 전체 전력, (b)는 기본방식에서의 계조별 OLED 전력과 TFT 전력, (c)는 DVS 적용 시 계조별 OLED 전력과 TFT 전력을 나타내고 있다. DVS는 한 프레임동안 계조가 128 이하인 경우 적용하였고, V_{DD} 는 15V에서 10V로 감소시켰다. DVS가 적용될 때의 V_{DD} 는 127 계조의 밝기에 해당하는 전류가 흐를 때, 그림 2에서 보인 동작점이 포화영역에 존재하도록 하기 위한 최소 전압으로 설정했으며, 본 실험에서는 10V로 가정하였다. 기본방식과 DVS 방식을 비교하면, 그림 4 (b), (c)에서 보듯이 OLED의 소비전력은 동일하지만, DVS 적용구간에서

V_{DD} 가 낮아지면서 TFT에 걸리는 전압이 감소하기 때문에 DVS 방식에 128 계조 이하에서 감소되는 소비전력은 아래와 같은 수식으로 표현된다.

$$TFT\text{소비전력저감비율}[\%] = \frac{(15V - 10V)I_{OLED,n}}{(15V - V_{OLED,n})I_{OLED,n}} \times 100$$

$V_{OLED,n}, I_{OLED,n}$: 계조 n 일때 OLED의 전압, 전류

n : 계조 (≤ 128)

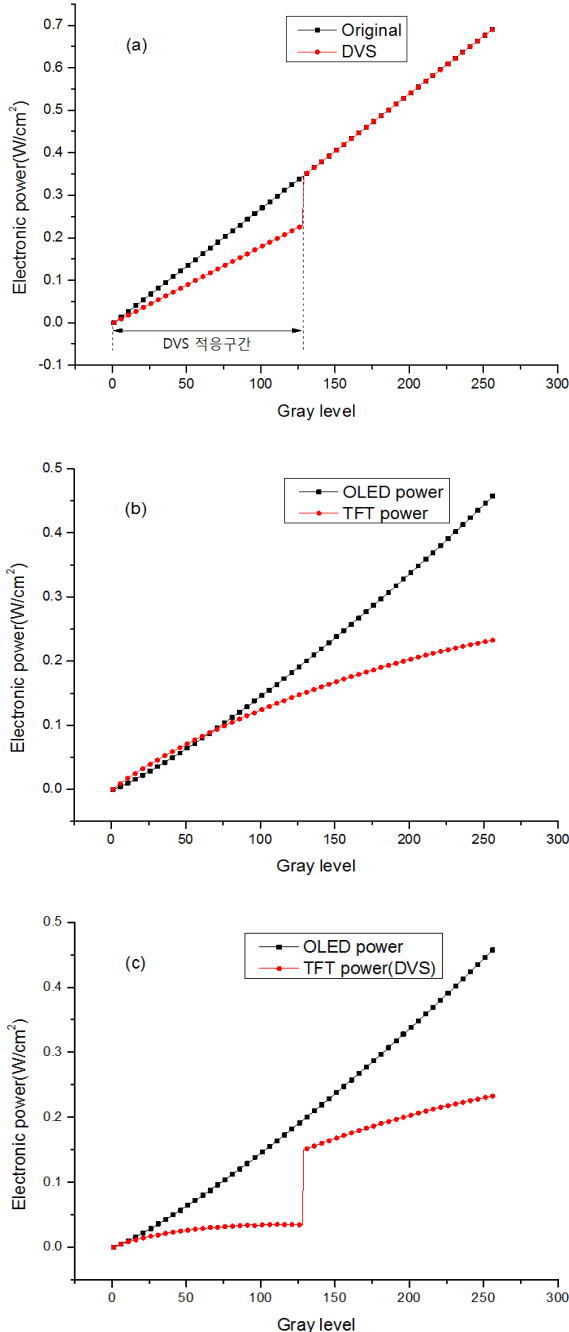


Fig. 4. Comparison of power consumption between conventional and DVS methods
(a) Total power (b) Conventional (c) DVS

3. 서브필드 분할방식에서 DVS 적용

본 논문에서는 OLED 소자의 모션블러 현상을 줄이기 위한 방안으로 하나의 필드(field)를 2개 또는 4개의 서브필드(subfield)로 분할 구동하고, 각 서브필드에 대해서 DVS를 적용하는 방식을 제안한다. 여러 개의 서브필드로 분할하였을 때의 DVS 적용 양상과 모션 블러의 감소 효과를 시뮬레이션을 통하여 계산하였다.

그림 5는 단일 필드와 2서브필드의 계조 표현 방법을 나타내었다. 그림 5의 (a)는 기존 구동 방법으로 한 프레임 동안 빛이 지속되며 계조를 표현한다. 그림 5에서 L_n 값은 휘도 레벨을 나타내는데, L_n 의 밝기가 하나의 프레임에 해당하는 시간동안 지속되면 n 에 해당하는 계조를 출력한다. 그림 5 (b)는 2 서브필드 구동에서 128 계조 이하일 때에 표시방법이다. 128 계조 이하의 반 프레임 동안에 표시하기 때문에, 기존방식보다 두 배의 휘도 레벨을 가져야 동일한 휘도를 나타내게 된다. 따라서 L_{256} 의 휘도레벨로 1/2 프레임 동안 켜면 128 계조를 표현할 수 있다. 128 계조 이상을 나타내기 위해서는 첫 번째 서브필드에서는 128 계조의 밝기를 켜고, 두 번째 서브필드에서는 129~256 계조를 담당한다.

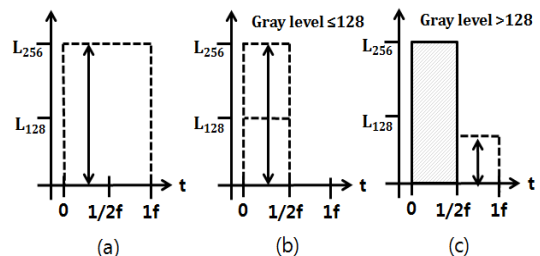


Fig. 5. Expression of gray level (a) conventional (b) 2 subfields (gray level ≤ 128) (c) 2 subfields (gray level > 128)

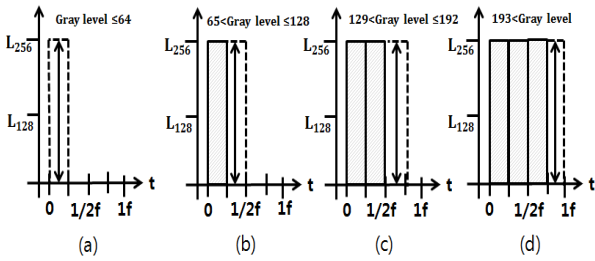


Fig. 6. Expression of gray level at 4 subfields (a) gray level ≤ 64 (b) $65 < \text{gray level} \leq 128$ (c) $129 < \text{gray level} \leq 192$ (d) gray level > 193

그림 6은 4 서브필드 방식의 계조 표현 방법을 나타내었다. 4 서브필드 구조는 한 프레임을 네 부분으로 나누어 각각 해당하는 빛을 방출하는 방식이다. 이번에는 계조를 4개로 나누게 되며 2 서브필드 구조에서 각 서브필드가 반으로 나누어진 구조이다. 그림 6 (a)에서 L_{256} 의 밝기를 1/4 프레임동안 지속하면 실제 보이는 계조는 64 계조가 될 것이다. 그림 6 (b), (c), (d)는 각 계조구간에서 동작방법을 설명하였다. 4개의 서브필드 구간에서 각각 독립적으로 DVS를 적용할 수 있으며, 동일 휘도를 내기 위해서는 4배의 전류가 흘러야 하므로, 각 구간에서 32 계조에 해당하는 전류까지만 DVS를 적용할 수 있다.

그림 7은 기존 방식과 2 서브필드 방식에서 소비전력의 개념을 도시한 것이다. 계조가 128 이하인 경우를 가정하고 예를 들어 설명하고자 한다. 그림 7에서 V_1 은 기존 방식에서 I_0 의 전류가 흐를 때 OLED에 걸리는 전압을 나타내고, V_2 는 2 서브필드 방식에서 2배의 전류가 흐를 때 전압을 나타낸다. OLED에서 휘도는 전류에 비례하므로, 2 서브필드 방식에서는 동일한 휘도를 내기 위해 두 배의 전류가 흐른다[7]. 회로에 전체 전압은 V_{DD} 로 동일하고 전류가 2배가 흐르지만, 128 계조 이하에서는 켜는 시간이 반으로 줄어들기 때문에 결국 소비하는 에너지는 동일하게 나타났다. 다만, 2 서브필드 방식에서는 기존방식보다 OLED 전압이 증가하고 TFT 전압은 감소하기 때문에 상대적으로 OLED 소비 전력은 증가하고, TFT 소비전력은 감소하게 된다. 4 서브필드에 서도 동일한 현상이 나타난다.

DVS를 적용하지 않았을 때에는 이론적으로 서브필드를 분할하여 구동하면, OLED의 소비전력은 상대적으로 더 커지게 되고 TFT의 소비전력은 더 작아져서 전체 전력은 항상 동일하게 나타난다.

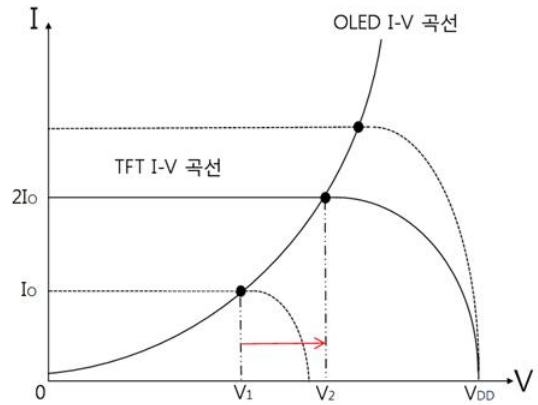


Fig. 7. Variation of operating point in 2 subfields method

그림 8은 DVS를 적용하지 않았을 때와 2, 4 서브필드 방식에서 DVS를 적용할 때에 계조별 전력 소모를 나타낸 것이다. 2 서브필드 방식에서는 전류가 2배로 흘러야 하기 때문에 단일방식의 128 계조에 해당하는 전류 값이 2 서브필드의 64 계조 전류에 해당하므로 각 서브필드에서 64 계조까지만 DVS를 적용할 수 있었다. 그래서 실제로 DVS를 적용할 수 있는 구간은 2개(1~64 계조, 129~192 계조)로 나누게 된다. 4 서브필드에서는 DVS가 각 서브필드의 32 계조에 해당하는 전류까지 적용할 수 있고, 그림의 결과에서도 4곳에서 기본방식보다 소비전력이 줄어드는 결과를 보여 주었다.

기존방식보다 DVS가 적용된 구간에서는 전력소모가 줄어드는 것을 알 수 있고, 확실히 TFT 소비전력이 줄어들었음을 확인할 수 있다. 또한 OLED의 소비전력은 서브필드를 분할을 많이 하는 방식에서 전체적으로 조금씩 더 소모함을 확인할 수 있다. TFT 전력소비는 기본방식에 비해 전체적으로 DVS를 적용하는 방식이 낮아졌고, 서브필드 분할 횟수에 해당하는 만큼의 영역으로 나뉘어 전력 저감이 발생하였다.

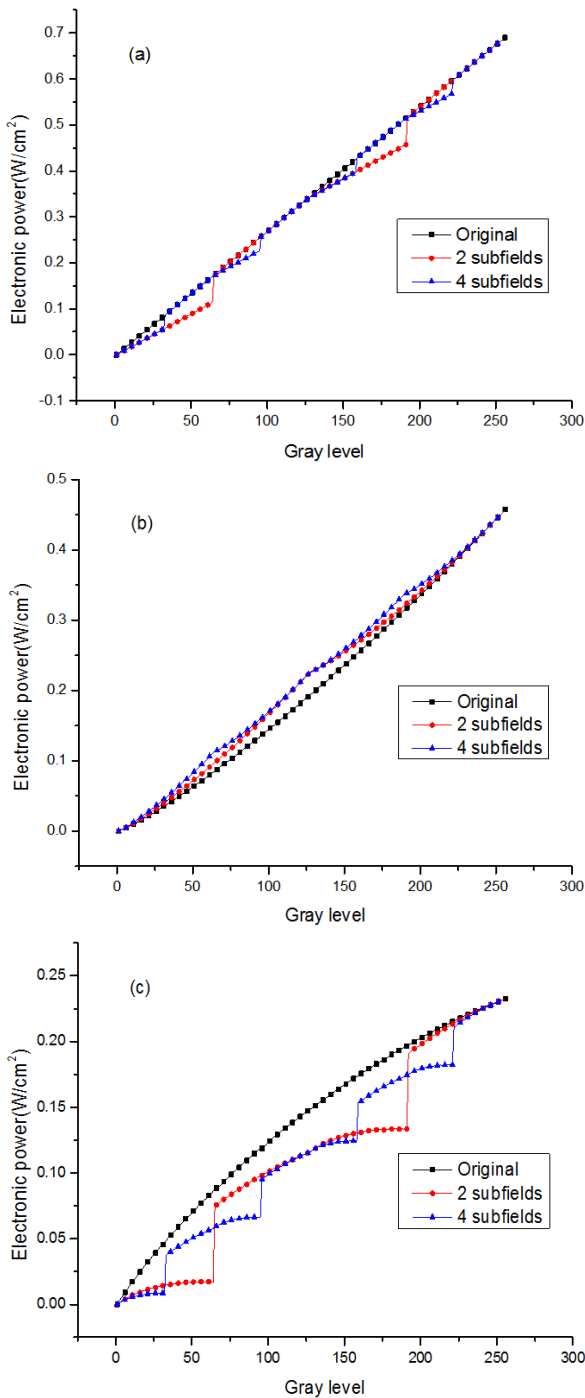


Fig. 8. Comparison of power consumption (a) Total power (b) OLED power (c) TFT power

본 논문에서 제안하는 방식과 기존 단일 프레임에 DVS를 적용하는 방식의 차이점을 실제 이미지를 구

현하는 입장에서 생각해 본다면, 기존 방식은 화면의 세로 방향의 화소들이 모두 1~128 계조 범위일 때에만 적용가능한 방법이고, 본 논문에서 제안하는 방식은 2 서브필드 방식의 경우에는 두 구간 (1~64, 129~192), 4 서브필드 방식은 4구간(1~32, 65~96, 129~160, 193~224)에 계조 조건을 만족하는 경우에 DVS를 적용할 수 있다. 전체 256 계조에서 DVS를 적용할 수 있는 계조의 범위는 모두 50%로 동일하지만, 새로운 방식을 도입하게 되면, 기존 방식에서 DVS가 적용되지 못하던 조건에서도 DVS 적용이 가능한 장점이 있다. 디스플레이에서 화면에 이미지를 구현하기 전에 각 화소들의 계조정보를 분석하여 어떤 방식으로 구현하는 것이 더욱 전력소모를 줄일 수 있는지를 판단할 때에 더 다양한 조건을 제시함으로써 전력소모를 더욱 최적화할 수 있을 것이다.

4. 서브필드 분할방식의 모션블러

모션블러는 움직이는 화상에서 인접한 화소 간에 밝기나 색에 대한 정보가 서로 혼합되어 나타나는 현상을 말한다. 1 프레임당 화면의 이동속도가 커질수록 모션블러의 범위는 커진다. 본 논문에서는 모션블러에 의한 왜곡을 평가하기 위해, 블러가 일어나는 경계의 휘도 변화를 측정하여 그 길이를 도출하는 방법인 BEW(Blur Edge Width)를 사용하였다[9]. BEW 방법은 경계를 이루는 두 패치 사이의 휘도 차를 계산하고 그 차이의 10%와 90%에 위치한 화소간의 거리로 블러 폭을 도출한다. 그 사이의 거리의 증감 혹은 기울기의 증감으로 블러가 늘어나거나 줄어드는 것을 표현한다. 본 연구에서는 10 pixel /frame (ppf)의 속도로 화면이 이동한다고 가정하고 BEW를 계산하였다.

그림 9는 오른쪽의 계조를 0으로 고정하고, 왼쪽의 계조를 1에서 256까지 변화하면서 BEW를 계산한 결과이다. 기존 방식에서는 대략 7.2 정도의 블러의 폭을 나타내었다. 하지만 2 서브필드 방식에서는 128 계조 이하에서는 4 이하였다가 계조가 증가하면서 점차적으로 기존 방식과 동일한 블러 길이를 갖게 되었다. 4 서브필드 방식에서는 64 계조 이하에서는 2.3 정도 값을 갖다가 점차 증가하여 3.7 정도로 증가하고, 다시

5.6 정도로 점차 증가하였다가 기존방식과 동일한 값으로 수렴하였다. 모션블러가 발생하는 원인은 LCD와 OLED에서 휘도를 내기 위해 1 TV 필드 동안 빛이 방출하기 때문이며, 빛을 방출하는 시간이 짧아지면 당연히 모션블러는 줄어들게 된다. 서브필드 분할 방식에서는 당연히 낮은 계조에서는 앞쪽 프레임에서만 빛이 나오고 계조가 높아질수록 점점 뒤쪽 프레임에서도 빛이 나오는 구조이므로 계조가 낮을수록 모션블러의 양상은 줄어들게 된다.

그림 10은 실제 이미지가 10 픽셀/TV 필드의 속도로 움직인다고 가정했을 때에 결과를 보여 주고 있다. 정지화상에서는 원숭이 얼굴의 모든 부분이 매우 뚜렷하다. 하지만 움직이는 영상을 보면, 기존방식에서는 수염부분이나 다른 부분들이 좀 더 흐릿하게 보이고, 서브필드의 분할이 증가할수록 원숭이의 수염부분이 훨씬 선명해짐을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 그림 9에서 알 수 있듯이, 2 서브 필드보다는 4 서브필드에서 블러의 길이가 줄어들기 때문이다. 하지만 이러한 차이도 계조가 높은 이미지에서는 그림 9의 결과처럼 블러의 길이가 동일한 값으로 수렴하게 되기 때문에 차이가 없어지게 될 것이다.

하지만 일반적으로 표시되는 영상들의 평균적인 계조는 낮은 밝기인 경우가 많기 때문에 서브필드 분할 횟수가 증가할수록 시청자가 느끼는 모션블러 문제는 크게 개선될 것이다.

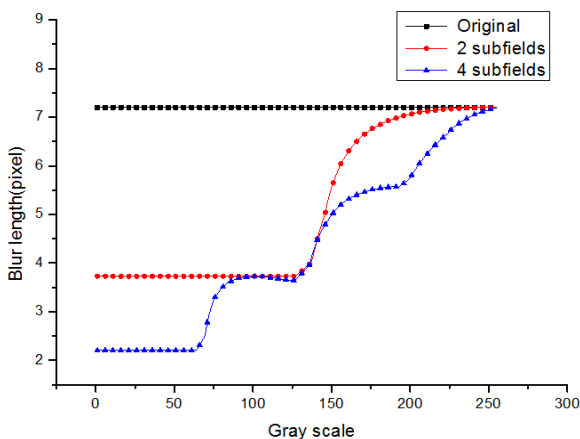


Fig. 9. Comparison of the length of motion blur according to the driving schemes

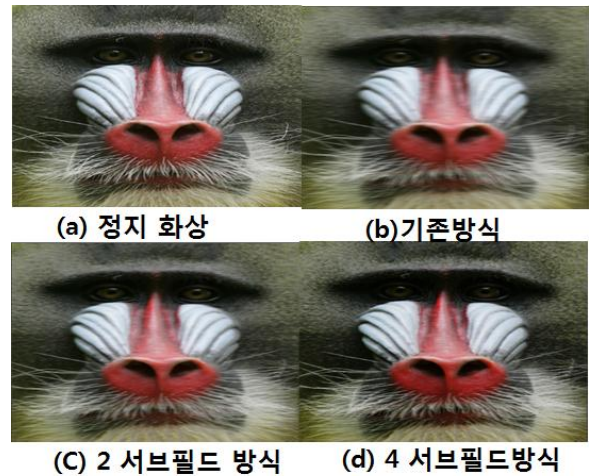


Fig. 10. Comparison of motion blur according to the driving schemes (moving speed=10 pixels/ TV)

5. 결 론

본 논문에서는 OLED의 전력을 저감하는 기술인 DVS 구동 방식을 모션블러를 줄이기 위한 서브필드 구동방식에 접목하여 각각의 효과를 살펴보았다. 단일 필드를 갖는 경우에 DVS를 적용하는 것은 특정 계조 이하에서만 적용 가능하였다면, 서브필드 분할 구동방법에 DVS를 적용하면, DVS를 적용할 수 있는 계조 영역이 여러 개로 분산되었다. 에너지의 절감측면에서는 기존 DVS의 전력저감이 분산된 것일 뿐임으로 큰 의미가 없다고 할 수도 있겠지만, 기존 방식과 달리 DVS가 적용될 수 있는 가능성을 다양화할 수 있다는 점에서 의미가 있다고 할 수 있다. OLED 구동 특성상 V_{DD} 전압은 화면의 세로방향의 셀들에 대해서는 모두 동일한 V_{DD} 를 공급하도록 되어 있다. 따라서 V_{DD} 전압을 바꾸면, 세로 방향의 모든 셀에 적용되므로 세로라인의 모든 셀들이 V_{DD} 전압을 적용할 수 있는 조건을 만족해야 한다. 본 논문에서 제안한 방식을 활용한다면, DVS를 적용할 수 있는 계조 조건이 서브필드 분할 개수에 따라서 달라지므로, 각 화면의 계조정보로부터 소비전력을 최소화할 수 있는 서브필드 분할조건을 도출할 수 있는 다양한 가능성을 제공한 것에 의미가 있다고 사료된다.

감사의 글

본 논문은 2013년도 인천대학교 연구비 지원에 의해 수행되었음.

References

- [1] Sugimoto A., Ochi H.,Fujimura S., Yoshida A., Miyadera T., Tsuchida M., "Flexible OLED displays using plastic substrate", IEEE journal of selected topics in quantum electronics, vol.10(1), pp.107-114, 2004.
- [2] Patrick G.,Michelle S., Jens M., Michael K, Eike B., Hans-Hermann J., Wolfgang K., and Thomas R., "Towards see-through displays: fully transparent thin-film transistors driving transparent OLEDs", Advanced materials, vol. 18(6), pp.738-742, 2006.
- [3] Jongbin K., Minkoo K.,Seungryeol K, Seungwoo Lee, "Driving technology for improving motion quality of active-matrix organic light-emitting diode display", Optical Engineering, vol. 53(9), pp. 093105, 2014.
- [4] Tae-gung K, Seung-tae K., Sang-ho Y.,Kyung-don W.,Woo-suk H., Bum-sik K., and Byung-chul A., "A novel power saving technology for OLED TV with external TFT compensation", SID symposium digest of technical papers", Vol.45(1),pp.728-731,2014.
- [5] Kyonghwan O., Seongkwan H., Ohkyung K., "Lifetime extension method for AMOLED displays using a modified stretched exponential decay model", IEEE electron device letters, Vol.36(3), pp.277-279, 2015.
- [6] Donghwa S., Younghyun K., Naehyuck C., Massoud P., "Dynamic voltage scaling of OLED displays", Design Automation Conference (DAC) 2011, pp. 53-58.
- [7] Takatoshi Tsujimura,"Oled displays: fundamentals and applications", Wiley, 2011.
- [8] Woongkyu Min, "A novel AMOLED compensation circuit for deviations of driving TFTs and OLED degradation", Hanyang university doctoral thesis, 2010.
- [9] Gang Cao, Yao Zhao, and Rongrong Ni, "Edge-based blur metric for tamper detection" Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Vol.1(1), pp.20-27, 2010.

◇ 저자소개 ◇



최세윤 (崔世允)

1986년 6월 8일생. 2012년 2월 인천대학교 전자공학과 졸업. 2014년 2월 인천대학교 전자공학과 졸업(석사).



김진성 (金鎭成)

1972년 9월 18일생. 1996년 2월 서울대 전기공학부 졸업. 1998년 2월 서울대 전기공학부 졸업(석사). 2009년 9월 서울대 전기컴퓨터공학부 졸업(박사). 1998년 2월 ~2010년 3월 삼성SDI 천안연구소 PDP 개발팀 과장. 2010년 4월~2011년 2월

서울대 정보기술사업단 연수연구원. 2011년 3월~현재 선문대 전자공학과 부교수.



서정현 (徐正炫)

1971년 7월 12일생. 1993년 2월 서울대 전기공학부 졸업. 1995년 2월 서울대 전기공학부 졸업(석사). 2000년 8월 서울대 전기공학부 졸업(박사). 2002년 8월 삼성 SDI 천안연구소 PDP 개발팀 과장. 2002년 9월~현재 인천대 전자공학과 정교수.