

論文2002-39SP-3-1

플라즈마 디스플레이의 어두운 영역에서의 계조 표현 향상을 위한 디더링 방법

(A Dithering Based Technique for Improving Gray Level Reproduction Capability in Dark Areas on Plasma Display Panels)

朴勝虎*, 金椿宇*

(Seung-Ho Park and Choon-Woo Kim)

요 약

플라즈마 디스플레이에서는 역감마 보정으로 인한 표현 계조수의 감소 때문에 어두운 영역에서 의사윤곽이 발생하게 된다. 기존에는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 주로 오차확산 방법이 사용되었다. 하지만, 오차확산 방법은 계산량이 많고, 많은 메모리 용량을 필요로 한다. 본 논문에서는 적은 계산량으로 어두운 영역에서의 계조 표현 성능을 향상시키기 위한 디더링 방법을 제안한다. 제안하는 방법에서는 표현 가능한 계조수 증가를 위하여 복수개의 디더링 마스크들을 프레임마다 번갈아 적용한다. 또한, 디더링 방법에서 발생하는 규칙적인 패턴을 감소시키기 위해 프레임별로 사용되는 디더링 마스크내의 문턱치의 위치를 변화시키도록 한다. 제안하는 방법은 기존의 오차확산 방법과 비교하여 상대적으로 적은 계산량과 메모리를 사용하면서도 시각적으로 유사한 계조 재현 성능을 나타낸다.

Abstract

Because of the reduced number of displayable gray levels resulting from inverse gamma correction, images on a plasma display panel (PDP) exhibit undesirable false contours in dark areas. An error diffusion method has been applied to remedy this problem. However, it is computationally expensive and requires large memory resources. This paper proposes a computationally efficient dithering based technique to improve the gray level reproduction capability in dark areas. In the proposed method, multiple dithering masks are utilized in turn to improve the gray level reproduction in dark areas. Also, in order to reduce undesirable regular patterns generated by the dithering method, positions of threshold values within a given dithering mask are changed. Compared to the error diffusion method, the proposed method requires much less computations and memory resources with a comparable gray level reproduction capability.

Keyword : 플라즈마 디스플레이, 디더링, 역감마 보정

* 正會員, 仁荷大學校 電氣工學科

(Dept. of Electrical Engineering, Inha University)

※ 본 연구는 00-01 선도 기술 개발 사업(차세대 평판 표시장치 기반기술 개발) 지원에 의한 결과입니다.

接受日字:2001年9月21日, 수정완료일:2002年4月18日

I. 서 론

현재까지 영상 표시 장치로서 가장 널리 사용되고 있는 CRT(Cathode Ray Tube)는 입력 계조에 대한 표시 휘도가 비선형적인 특성을 가진다^[1]. 이와 같은 특

성을 표시 감마라 부르며 인간 시각의 인식 특성을 반영한 것이다. 반면에, 최근들어 벽걸이 TV로 각광받고 있는 플라즈마 디스플레이는 입력 디지털 계조에 대해 출력되는 휘도는 동작 범위 내에서 거의 선형적인 특성을 나타낸다^[2-3]. 따라서, 플라즈마 디스플레이에서는 입력 디지털 계조에 대해 적절한 변환 과정을 적용하여 CRT와 같은 비선형적인 휘도 특성을 나타내도록 하고 있다. 이러한 변환 과정을 역감마 보정(inverse gamma correction)이라고 한다.

역감마 보정 과정은 먼저 목표로 하는 비선형인 휘도 곡선 또는 표시 감마를 결정하고, 주어진 계조에 대한 목표 휘도와 가장 가까운 휘도를 나타내는 계조를 대신 출력하는 방식으로 수행된다. 이와 같은 역감마 보정 과정을 적용할 경우 실제 플라즈마 디스플레이에서 표현할 수 있는 계조수가 특히 어두운 영역에서 감소하게 되어 목표로 하는 휘도와 보정된 후의 실제 휘도 사이에는 오차가 발생하게 된다. 이와 같은 현상으로 인해 특히 어두운 영역에서 계조값이 뭉쳐보이는 의사윤곽이 발생하게 된다. 또한, 플라즈마 디스플레이에서는 청색의 최대 휘도가 적색과 녹색의 그것에 비해 낮기 때문에 백색을 표시할 경우 적색과 녹색의 최대 휘도 대신에 낮추어진 휘도를 사용하게 된다. 이와 같은 과정에서도 표시할 수 있는 계조수의 감소가 발생하게 된다^[4-5].

기존에는 이와 같은 표현 계조수의 감소로 인한 의사윤곽을 제거하기 위해 오차확산 방법을 주로 사용해 왔다^[2-5]. 목표로 하는 표시 계조와 실제 플라즈마 디스플레이에서 표현할 수 있는 계조 사이의 차이를 오차로서 정의하고, 미리 정해진 가중치에 의해 오차를 주위 화소로 전파한다. 이와 같은 오차 전파 과정을 통해 일정 영역에 대한 평균값이 목표로 하는 계조와 일치하게 한다. 하지만, 오차 확산 방법은 계산량이 많은 뿐만 아니라, 하드웨어 구현시 주위 화소로의 오차 전파를 위해 라인 메모리를 필요로 하게 된다. 게다가 부드럽게 변화하는 영역에서 오차확산 방법 특유의 잡음이 발생하게 된다.

본 논문에서는 이와 같은 오차 확산 방법의 단점을 해결하면서 어두운 영역의 계조 표현 성능을 향상시키기 위한 디더링 방법을 제안한다. 제안하는 방법에서는 입력 계조가 목표로 하는 역감마 보정 곡선에 따라 이상적인 계조인 소수값으로 변환된다. 플라즈마 디스플레이에서는 정수 형태의 계조값만을 표시할 수 있기

때문에 이상적 소수값에서 정수부분을 제외한 1이하의 소수부분을 미리 정해진 디더링 마스크를 이용한 비교 연산에 의해 0 또는 1로 이진화 한다. 이진화된 값은 다시 정수부분에 더해져서, 최종적으로 플라즈마 디스플레이에 표시된다.

본 논문에서는 계조 표현 성능을 향상시키기 위해 디더링 마스크를 구성하는 문턱치들을 시간적인 개념으로 확장하여 분포시켰다. 또한, 디더링 연산으로 인해 발생하는 규칙적인 패턴들을 감소시키기 위해 주어진 디더링 마스크에 대하여 문턱치의 위치들을 달리한 다수개의 마스크들을 구성하여 이들 마스크들을 임의로 선택하여 사용하게 하였다.

최근에 플라즈마 디스플레이에서 동영상 표시할 때 발생하는 동적인 의사윤곽(dynamic false contour)을 감소시키기 위해 "CLEAR"^[6]라 불리는 방법이 제안된 바 있다. 이 방법에서는 오차확산 방법과 디더링 방법이 동시에 사용되어진다. 그러나 여기에서 사용되는 오차 확산 방법과 디더링 방법의 주요한 목적은 동적 의사 윤곽을 감소시키기 위한 "CLEAR" 방법을 적용함에 따라 감소되는 계조수를 보상하는 것이다. 반면에, 본 논문은 역감마 보정 과정으로 인해 발생하는 어두운 영역에서의 의사윤곽을 제거하는 목적이다.

2장에서는 제안하는 디더링 방법을 이용한 역감마 보정 방법에 대해 설명하고, 3장에서는 새로운 디더링 마스크 결정 방법에 대해 자세히 설명된다. 그리고 4장에서는 제안하는 방법에 대한 다양한 실험 결과를 제시한다.

II. 디더링 방법을 이용한 역감마 보정

일반적으로 영상 표시 장치에서의 입력 계조와 출력 휘도 간의 관계는 아래 식 (1)과 같이 정의된다^[7].

$$Y(i) = k \times \left(\frac{i}{255} \right)^\gamma \quad (1)$$

위 식에서 i 는 입력 계조이고, γ 는 표시 감마값을 나타낸다. k 는 정규화를 위한 상수를 표현한다. 플라즈마 디스플레이에서는 동작 범위 내에서 입력 계조에 대한 출력 휘도가 거의 선형이므로 CRT와 같은 휘도 특성을 나타내기 위하여 아래 식 (2)-(4)와 같이 역감마 보정 관계식을 정의 할 수 있다.

$$R(r) = R_{white} \times \left(\frac{r}{255}\right)^{\gamma} \quad (2)$$

$$G(g) = G_{white} \times \left(\frac{g}{255}\right)^{\gamma} \quad (3)$$

$$B(b) = B_{white} \times \left(\frac{b}{255}\right)^{\gamma} \quad (4)$$

위 식에서 r, g, b 는 각 채널의 입력 계조를 나타내며, $R_{white}, G_{white}, B_{white}$ 의 순서쌍은 플라즈마 디스플레이에서의 백색을 나타내는 각 칼라 채널의 계조값이다. 식 (2)-(4)의 결과는 CRT의 휘도 특성과 동일한 휘도 특성을 나타내는 입력계조 r, g, b 에 대한 표시 계조값을 나타내며 소수값으로서 계산된다. 하지만, 플라즈마 디스플레이에서는 단지 정수로 된 계조만을 표현할 수 있다. 따라서, 이상적으로 계산된 소수값은 정수값으로 변환되어야 한다. 일반적으로 반올림 과정을 통해 정수값으로 변환된다.

표 1에서 청색 채널의 일반적인 역감마 보정의 예를 나타내었다. 첫번째 열은 입력 계조를 나타내고, 두 번째 열은 식 (4)에 의한 청색 채널의 이상적인 출력 계조를 나타낸 것이다. 그리고 세 번째 열에는 반올림을 통해 결정된 실제 계조로서, 플라즈마 디스플레이에서 출력되는 계조값이다. 표 1의 실제 출력 계조를 보면, 입력 0에서 7까지의 계조에 대해 모두 0의 출력 계조를 가진다. 즉, 입력 0에서 7까지의 계조의 밝기를 구별하지 못하게 된다. 이러한 현상으로 인해 역감마 보정시 세밀한 계조 표현을 요구하는 어두운 영역에서의 사운곽이 발생하게 된다. 그림 1은 표 1의 입력 계조에 대하여 이상적인 출력 계조와 반올림된 출력 계조를 그래프로 나타낸 것이다. 그림 1에서 보듯이 특히 어두운 영역에서 표현 가능한 계조수가 감소함을 확인할 수 있다.

위에서 설명한 어두운 영역에서의 계조 표현 문제를 해결하기 위하여 오차 확산 방법이 사용되고 있다^[2-5]. 오차 확산 방법에서는 역감마 보정시 이상적인 계조값과 실제 표현할 수 있는 계조값 간의 차이를 오차로 정의하여 미리 정해진 가중치에 의해 주위 화소로 전파한다. 그리하여 국소적인 영역에 대해 평균 계조와 이상적인 계조를 일치시키기 위한 방법이다. 이와 같은 오차확산 방법은 RGB 칼라 채널별로 독립적으로 수행된다. 그러나 오차확산 방법은 계산량이 복잡하고, 하드

표 1. 역감마 보정의 예($\gamma=1.8, B_{white} = 255$)
Table 1. Example of inverse gamma correction ($\gamma = 1.8, B_{white} = 255$).

Input	Ideal Output	Actual Output
0	0.00000	0
1	0.01188	0
2	0.04136	0
3	0.08582	0
4	0.14404	0
5	0.21524	0
6	0.29884	0
7	0.39441	0
8	0.50157	1
9	0.62002	1
...
254	253.20282	253
255	255.00000	255

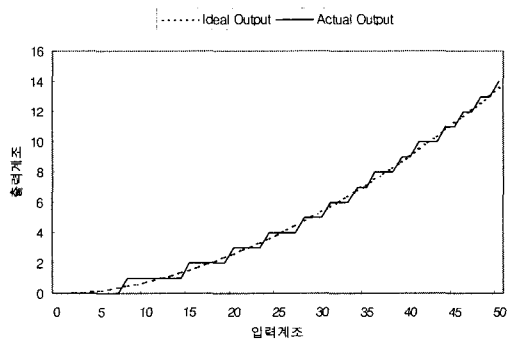


그림 1. 어두운 영역에서의 의사윤곽 발생 예
Fig. 1. Example of False contours in Dark Area.

웨어 구현시 오차의 전파를 위해 메모리를 많이 요구한다는 단점이 존재한다. 또한 부드럽게 변화하는 영역에서 오차확산 방법 특유의 잡음이 발생한다.

본 논문에서는 비교적 적은 계산량으로 어두운 영역에서 발생하는 계조 표현 성능을 향상시키기 위한 디더링 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 이상적인 표시 계조와 국소적인 영역의 평균 계조와의 차이를 디더링 방법을 통해 감소시키는 방법이다. 제안하는 방법의 흐름도는 그림 2와 같다. 그림 2의 과정은 세 개의 칼라 채널에 대하여 독립적으로 적용된다. 먼저, 입력 계조에 대해 식 (2)-(4)를 이용하여 이상적인 역감마 보정을 수행한다. 결과값은 표시되어야 하는 이상적인 계조로서 소수값이 된다. 이와 같은 소수값은 실제 표시 가능한 정수값으로 변환하기 위해 정수부분과 1이하의 소수부분으로 나누어진다. 1이하의 소수부분은 미리 정해

진 디더링 마스크의 문턱값을 통해 이진화 된다. 즉, 소수 부분은 0 또는 1의 값으로 변환된다. 이진화된 값은 다시 정수부분과 합해져서 최종적으로 플라즈마 디스플레이에 표시된다. 디더링 마스크를 이용한 이진화 과정은 식 (5)와 같이 표현될 수 있다.

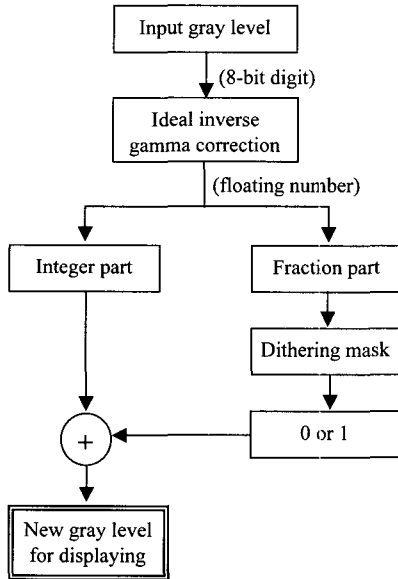


그림 2. 제안하는 방법의 흐름도

Fig. 2. Flow chart of proposed method.

0.2	0.6
0.8	0.4

그림 3. 디더링 마스크의 예

Fig. 3. Example of dithering mask.

$$o(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{for } f(x,y) > d(x\%DX, y\%DY) \\ 0 & \text{for } f(x,y) \leq d(x\%DX, y\%DY) \end{cases} \quad (5)$$

여기서, $f(x,y)$ 는 (x,y) 화소 위치에서의 1이하의 소수부분을 나타낸 것이고, $d(*,*)$ 는 디더링 마스크이다. 그리고, DX 와 DY 는 디더링 마스크의 가로와 세로 크기를 각각 나타낸 것이다. 또한, 식 (5)에서 '%'는 나머지 연산자로서 디더링 마스크를 원영상에 겹치지 않게 적용하기 위해 사용된다. 그림 3에 2×2 의 크기를 갖는 디더링 마스크의 예를 나타내었다. 그림 3에 나타낸 디더링 마스크는 Bayer 방법^[8]에 의한 문턱값들을 사용한

것이다. 하지만, Bayer 방법^[8] 대신 기존의 다양한 디더링 마스크 배열 방법, 예를 들면, pairwise exchange 방법^[8], rotated Bayer 방법^[9], blue noise 방법^[10] 등을 적용할 수도 있다. 본 논문에서는 편의상 Bayer 방법을 사용하여 설명을 한다.

III. 디더링 마스크 결정

디더링 마스크는 그림 3에서 보듯이 0과 1사이의 문턱값으로 구성되어 있다. 디더링 방법에 의한 계조 재현성은 주로 디더링 마스크의 크기에 의해 결정되고 결과 영상의 화질 또는 잡음의 정도는 디더링 마스크를 구성하고 있는 문턱값에 의해 좌우된다. 또한, 계조 재현성은 디더링 마스크의 크기 뿐만 아니라 보정하고자 하는 감마값과 매우 밀접한 관계를 가지고 있다.

그림 3에서 2×2 디더링 마스크는 0과 1 사이에 모두 5가지 단계를 표현할 수 있기 때문에 문턱값 사이의 간격, $Threshold_gap$, 은 아래 식 (6)에 의해 $0.2 (=1/5)$ 가 된다.

$$o(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{for } f(x,y) > d(x\%DX, y\%DY) \\ 0 & \text{for } f(x,y) \leq d(x\%DX, y\%DY) \end{cases} \quad (6)$$

문턱값 간격이 0.2이므로, 0.2이하가 되는 소수부분은 구별할 수 없게 된다. 가령, 2×2 마스크를 사용할 경우, 표 1에서 입력 계조 0에서 4까지는 모두 0으로서 결정되어 계조값 0과 4사이의 차이를 구별하지 못하게 된다. 이와 같은 예에서 알 수 있듯이 디더링 마스크를 구성하는 문턱값들의 간격의 크기에 따라 구별할 수 있는 계조의 수가 변화하고, 따라서, 디더링 결과 영상의 성능을 좌우하게 된다.

문턱값 간격은 식 (6)에서 알 수 있듯이 디더링 마스크의 크기를 조절함으로써 변화될 수 있다. 즉, 디더링 마스크의 크기가 클수록 문턱값의 간격을 줄일 수 있어 구별 가능한 계조수가 증가하게 된다. 예를 들어, 2×2 디더링 마스크 대신 4×4 크기의 마스크를 사용할 경우, 문턱값 간격은 대략 0.06($(1/17)$)이 되고, 표 1에서 구별할 수 없는 부분이 계조값 0과 4사이에서 0과 2사이로 변화하게 된다. 또한, 디더링 마스크 크기와 구별 가능한 표현 계조수 사이의 관계는 감마값에 영향을 받게 된다. 감마값이 증가할수록 어두운 영역에서 이상적인 계조의 소수부분의 증분이 감소하게 된다. 따라서, 감마값이 클수록 마스크의 크기가 증가해야 한다.

디더링 방법은 인간 시각이 영상의 제한된 영역에서 저역 필터 효과를 통해 계조를 인식하는 특성을 이용하여 계조 표현 성능을 향상시키는 방법이다^[11]. 그러나, 디더링 마스크의 크기가 너무 커지면, 인간 시각이 저역 필터 할 수 있는 영역을 벗어나므로 오히려 영상의 화질을 떨어뜨리는 현상이 발생하게 된다. 본 논문에서는 제한된 디더링 마스크 크기에서 계조 표현 성능을 향상시키는 디더링 마스크를 제안한다. 인간 시각은 공간 영역 뿐만 아니라, 시간 영역에 대해서도 저역 필터 특성을 가지고 있다. 즉, 매우 짧은 시간내의 계조값 변화는 그들의 평균값으로서 인식하게 된다^[12]. 디더링 마스크의 크기를 증가시켜 문턱값 간격을 줄인 것이 공간 영역을 고려한 것이라면, 제안하는 방법에서는 시간 영역으로 문턱값을 확장하여 문턱값 간격을 감소시킨다. 제안하는 방법의 문턱값 간격 결정은 아래 식 (7) 과 같이 결정된다.

$$Threshold_gap_{time} = \frac{1}{DX \times DY \times Frame + 1} \quad (7)$$

여기서, *Frame*은 문턱값의 확장을 위해 고려하는 프레임 수를 나타낸다. 가령, 2×2 크기의 디더링 마스크를 두 프레임으로 확장하여 고려하면, 문턱값 간격은 0.11 (≈1/9)이 된다. 그림 4에 2×2 영역에 대해 두 프레임으로 확장하여 결정한 디더링 마스크의 예를 나타내었다.

0.11	0.55
0.77	0.33

(a)

0.22	0.66
0.88	0.44

(b)

그림 4. 시간영역에서 확장된 디더링 마스크(2≈2의 경우) (a) 마스크 1 (b) 마스크 2
 Fig. 4. Dithering masks extended in time domain(2 ≈ 2 case) (a) mask 1 (b) mask 2.

그림 4과 같이 결정된 두 개의 마스크를 프레임마다 번갈아 적용함으로써 계조 표현 성능을 향상시키고자 한다. 이때 식 (7)에서 고려되는 프레임수를 증가시키면 계조 표현 성능을 향상시킬 수 있다. 하지만, 시간 영역에서 과도하게 프레임수를 확장시킬 경우 인간 시

각의 저역 필터 범위를 초과해 플리커(flicker) 현상이 발생하게 된다.

동일한 디더링 마스크가 서로 겹치지 않게 영상에 적용됨으로 디더링을 적용한 결과 영상은 디더링 마스크 고유의 규칙적인 패턴을 나타내게 된다. 이와 같은 규칙적인 패턴을 감소시키기 위해 본 논문에서는 디더링 마스크의 문턱값 배열 위치를 변화시켜 적용하는 방법을 제안한다. 예를 들어, 그림 4와 같은 2개의 마스크가 결정된 후에는 그림 4의 마스크 내부의 문턱치 배열 순서를 달리하여 그림 5와 같은 4개씩의 마스크들을 결정한다. 주어진 프레임에 대하여 그림 5와 같이 결정된 마스크들 중에서 임의로 선택하여 적용함으로써 항상 일정한 마스크가 적용되어 발생하는 규칙적인 패턴을 감소시키고자 하는 것이다.

0.11	0.55	0.77	0.11	0.33	0.77	0.55	0.33
0.77	0.33	0.33	0.55	0.55	0.11	0.11	0.77

(a)

0.22	0.66	0.88	0.22	0.44	0.88	0.66	0.44
0.88	0.44	0.44	0.66	0.66	0.22	0.22	0.88

(b)

그림 5. 규칙적인 패턴 감소를 위한 디더링 마스크 후보 (a) 마스크 1 (b) 마스크 2
 Fig. 5. Candidates of dithering masks to reduce regular pattern. (a) mask 1 (b) mask 2

IV. 실험 결과

제안하는 방법의 성능을 평가하기 위해 표현 가능한 계조수와 오차값을 디더링 마스크 크기와 감마별로 계산하였다. 그리고, 제안하는 방법의 계산량을 기존의 오차 확산 방법과 비교하였고, 실제 플라즈마 디스플레이에서의 영상 평가를 수행하였다.

1. 계조수 평가

표현 가능한 혹은 구별 가능한 계조수는 디더링 마스크의 크기와 표시 감마값 및 식 (7)에 나타난 프레임수에 의해 결정된다. 물론 시각적으로 구별 가능한 계조수와 계산에 의해 구별 가능한 계조수는 일치하지 않으나 제안하는 방법의 계조 재현 성능 지표의 하나

로서 계산에 의해 구별 가능한 계조수를 사용하였다.

먼저 청색 단일 계조값을 갖는 80×80 크기의 영상을 생성하였다. 이와 같은 단일 계조 영상은 계조 0부터 255에 대하여 각각 생성되었으며 따라서 모두 256개의 80×80 크기의 영상들이 생성되었다. 역감마 보정을 위한 식 (4)의 B_{white} 은 255이다. 먼저, 프레임에 관계없이 동일한 디더링 마스크를 사용하는 경우에 대해 디더링 마스크의 크기와 표시 감마값에 따라 구별 가능한 계조수를 계산하였다. 즉, 식 (7)이 아닌 식 (6)이 사용되었다. 각각의 단일 계조 영상에 역감마 보정이 적용된 결과로부터 계조값의 평균값을 계산하였다. 256개의 계산된 결과에서 서로 다른 평균 계조값을 카운트하고 이를 계산에 의해 구별 가능한 계조수로 사용하였다. 계산 결과는 표 2에 나타내었다. 표 2에서 보듯이 주어진 감마값에 대해서는 디더링 마스크 사이즈가 증가할수록 구별 가능한 계조수가 증가함을 확인할 수 있다. 또한, 주어진 디더링 마스크 사이즈에 대해 표시 감마값이 증가할수록 구별 가능한 계조수가 감소함을 알 수 있다.

다음에는 식 (7)에서 나타낸 것처럼 복수의 프레임에

표 2. 단일 마스크의 구별 가능한 계조수
Table 2. Result of distinct gray level count (single mask).

	2x2 mask	4x4 mask	8x8 mask
$r = 1.8$	244	254	255
$r = 1.9$	240	253	255
$r = 2.0$	238	252	255
$r = 2.1$	236	250	254
$r = 2.2$	230	249	253
$r = 2.3$	227	247	252

표 3. 복수 마스크의 구별 가능한 계조수
Table 3. Result of distinct gray level count (multiple masks).

	2x2-two mask	2x2-three mask	4x4-two mask	8x8-two mask
$r = 1.8$	251	253	255	256
$r = 1.9$	249	252	254	255
$r = 2.0$	246	251	254	255
$r = 2.1$	244	249	253	255
$r = 2.2$	243	246	252	254
$r = 2.3$	241	245	250	254

대하여 복수개의 디더링 마스크를 적용한 경우에 대한 실험을 수행하였다. 이때, 계조값의 평균은 복수개의 결과 영상에서의 계조값들의 평균값을 계산함으로써 얻었다. 이 실험의 결과는 표 3과 같다.

표 2와 3에서 보듯이 고정된 마스크 사이즈 (2×2)에 대하여 프레임수가 증가함에 따라 구별 가능한 계조수도 증가함을 알 수 있다. 예를 들어 2×2 크기의 마스크 3개를 사용한 경우의 결과가 4×4 마스크 한 개를 사용한 결과와 유사함을 알 수 있다.

2. 오차 평가

제안하는 방법의 또 다른 성능 지표로서 계조값의 재현성을 선택하였다. 인간 시각은 밝은 영역보다 어두운 영역에서의 차이에 더욱 민감한 특성을 가지고 있다. 이러한 특성을 웨버(Weber) 법칙이라고 한다^[13]. 인간이 실제 디스플레이 된 영상에서 느끼는 차이를 좀더 정확히 표현하기 위해서는 계조값 오차 기준 정의에 있어 이와 같은 웨버(Weber) 법칙을 고려해야 할 필요가 있다. 본 실험에서는 웨버(Weber) 법칙을 고려하기 위해 기존에 웨버(Weber) 법칙을 지수함수를 이용하여 모델링한 결과를 계조값 재현성 오차 기준에 도입하였다^[13]. 아래의 식 (8)은 본 실험에서 사용된 오차 기준을 나타낸다.

$$E_{Weber}(g) = \left| (G[g])^{1/2.2} - \left(\frac{1}{mn} \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} d_g(x, y) \right)^{1/2.2} \right| \quad (8)$$

식 (8)에서 $G(g)$ 는 입력 계조 g 에 대한 식 (2)-(4)의 이상적인 역감마 보정 결과이며, $d_g(x, y)$ 는 제안하는 디더링 방법에 의한 결과 영상을 나타낸다. m 과 n 은 각각 영상의 가로와 세로 크기를 나타낸다. 그리고, 지수 $1/2.2$ 은 웨버(Weber) 법칙을 고려한 항이다. 즉, 어두운 영역에서의 오차를 밝은 영역에서의 오차에 비해 많은 가중치로 고려하였다. 그림 6는 계조수 평가 실험에 사용된 청색 단일 계조 영상에 대하여 식 (8)의 오차 기준 계산 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 감마값 2.1에 대한 결과에서 어두운 계조 부분 만을 나타낸 것이다. 그림 6에서 보면, 주로 어두운 영역에서 오차가 발생함을 알 수 있고, 이는 어두운 영역에서의 계조값 재현이 완벽하지 못하다는 문제의 정의와 일치한다. 이와 같은 오차는 디더링 마스크 크기가 증가하거나, 프레임별로 다른 복수개의 마스크들을 사용할 경우 감소함을 알 수 있다. 기존의 방법인 오차확산 방법과 비교해보면

8x8 크기의 두개 마스크를 사용하였을 경우와 오차값의 분포에서 유사한 결과를 나타내었다. 여기서 비교 대상인 오차확산 방법으로는 가장 널리 알려진 Floyd-Steinberg 방법^[4]을 사용하였다. 그리고, 전체 256 계조에 대해 그 오차값의 합을 비교해보면 표 4와 같다.

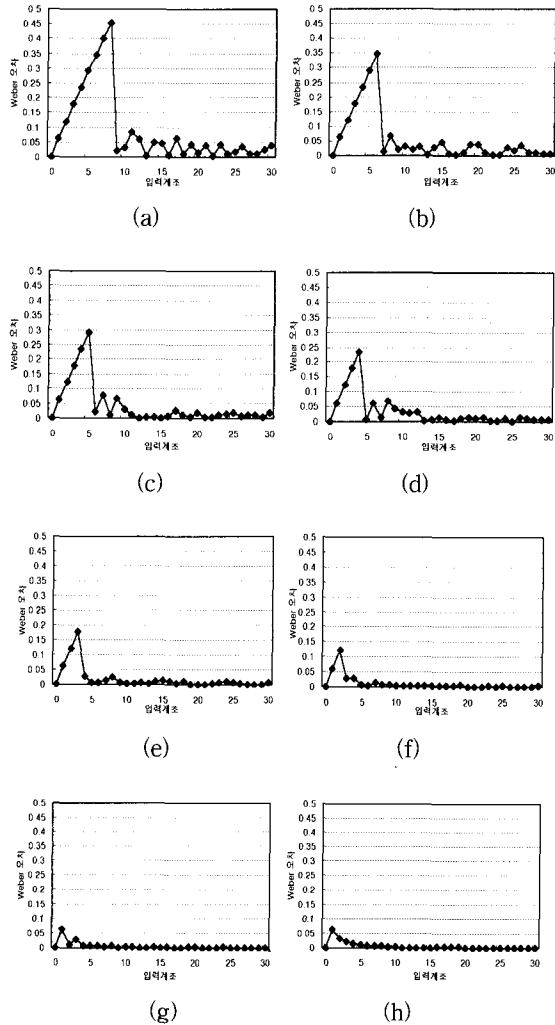


그림 6. 계조값 재현 오차 (a) 2×2 마스크 (b) 2×2-two 마스크 (c) 2×2-three 마스크 (d) 4×4 마스크 (e) 4×4-two 마스크 (f) 8×8 마스크 (g) 8×8-two 마스크 (h) 오차확산 방법

Fig. 6. Gray level reproduction error. (a) 2×2 mask (b) 2×2-two mask (c) 2×2-three mask (d) 4×4 mask (e) 4×4-two mask (f) 8×8 mask (g) 8×8-two mask (h) Error diffusion method.

표 4. 계조값 재현 오차의 합(계조 0-255)
Table 4. Comparison of Weber error sum.

	Weber 오차 합
2×2 mask	3.70
2×2-two mask	2.37
2×2-three mask	1.70
4×4 mask	1.32
4×4-two mask	0.75
8×8 mask	0.41
8×8-two mask	0.20
오차확산 방법	0.23

3. 계산량 비교

제안하는 방법에서 요구되는 계산 및 메모리 용량을 기존의 오차확산 방법과 비교하였다. 표 5는 그 비교 결과를 나타낸다. Floyd-Steinberg 오차확산 방법을 사용할 경우 한 화소에 대하여 4개의 더하기/빼기 연산과 4개의 나누기/곱하기 연산을 수행하며, 전파된 오차를 저장하기 위한 최소 1개의 라인(line) 메모리를 필요로 한다. 반면, 제안하는 디더링 방법은 훨씬 감소된 연산만 수행하며, 라인 메모리도 요구하지 않는다.

표 5. 계산량 및 메모리 비교

Table 5. Comparison of computational complexity & memory resources.

	+, -	*, /	<, >	Line Memory
오차확산 방법	4	4	1	1
디더링 방법	1	0	1	0

4. 플라즈마 디스플레이에서의 시각 평가

제안하는 방법의 평가 지표로서 사용된 구별 가능한 계조수나 식 (8)의 오차 기준은 계산에 의해 얻어진 결과이다. 계산 결과도 중요하지만 인간의 시각 시스템에 의한 평가도 중요하다고 생각된다. 따라서 본 실험에서는 직접 플라즈마 디스플레이에 표시된 영상을 기준으로 평가를 시도하였다. 녹색 램프 영상에 대해 제안하는 디더링 방법 및 오차확산방법을 감마 2.1로 적용하여 플라즈마 디스플레이에 표시하였다. 이때 다른 색이 아닌, 녹색 램프 영상을 사용한 이유는 플라즈마 디스플레이 특성상 백색 보정 과정을 통해 녹색 채널의 계조 부족 현상이 가장 심해지기 때문이다. 그림 7은 플라즈마 디스플레이에 나타난 녹색 램프 영상을 디지털

카메라로 촬영한 결과를 나타낸 것이다. 그림 7에 표시된 영상의 왼쪽 끝은 녹색 계조 0을 나타내고 오른쪽 끝은 녹색 계조 80을 나타낸다.

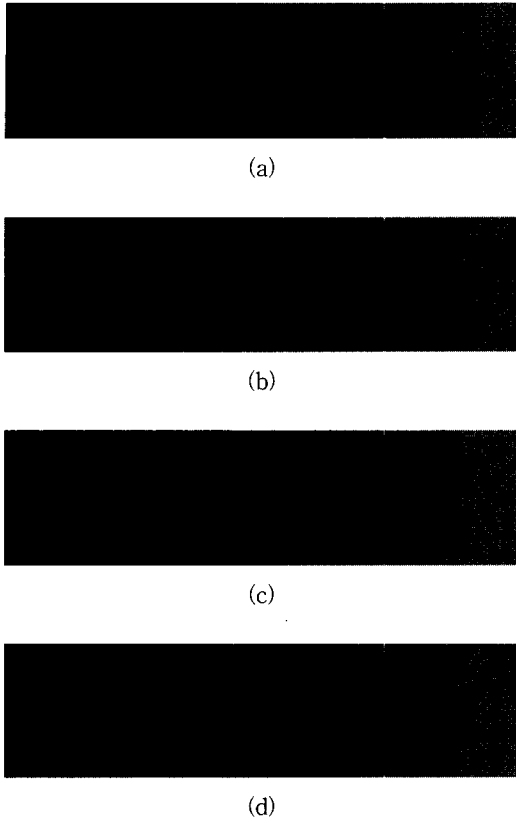


그림 7. 플라즈마 디스플레이 표시 녹색 램프 영상 (a) 무보정 (b) 오차확산 방법 (c) 4×4 마스크 (d) 8×8 마스크

Fig. 7. Displayed green-ramp images on PDP. (a) Without additional processing (b) Error diffusion method (c) 4×4 mask (d) 8×8 mask

그림 7에서 보는 것처럼 우선 제안하는 디더링 방법에 의한 결과에서 무보정 상태에서 발생하는 계단 모양의 의사문맥이 대부분 감소 됨을 볼 수 있다. 직접 플라즈마 디스플레이에 표시된 상태에서 오차확산에 의한 결과와 8×8 크기의 마스크 경우의 화질이 거의 유사함을 확인할 수 있었다. 마찬가지로, 일반 영상에 대하여 동일한 실험을 수행한 결과를 그림 8에 나타내었다. 그림에서 어둡고 계조 변화가 부드러운 토마토의 아랫 부분에서 디더링 방법에 의해 개선되었음을 볼 수 있다.

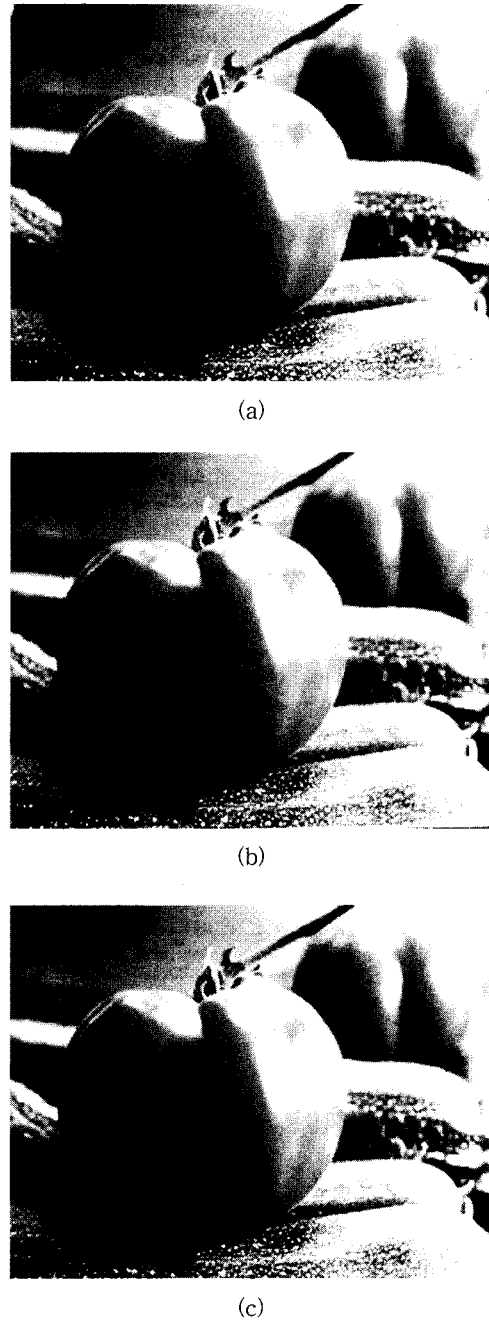


그림 8. 플라즈마 디스플레이 표시 일반 영상 (a) 무보정 (b) 오차확산 방법 (c) 8×8 마스크

Fig. 8. Displayed general images on PDP. (a) Without additional processing (b) Error diffusion method (c) 8×8 mask

5. 잡음 정도에 대한 평가

본 논문에서는 디더링에서 발생하는 고유의 규칙적인 패턴의 감소를 위하여 주어진 디더링 마스크의 문

위치를 복수개로 정의하고 프레임 별로 복수개의 마스크들 중에서 임의로 선정하여 적용하는 방법을 제안하였다. 이와 같은 패턴 감소의 정도를 실험을 통하여 평가하였다. 그림 9는 램프 영상에 제안하는 디더링 방법을 적용한 후 그 일부분을 논문 지면에 잘 나타나도록 확대하여 명암을 조절한 영상이다. 그림 9 (a)는 그림 3에 나타난 고정된 2×2 마스크를 이용한 결과이고, (b)는 그림 5에서 나타난 것과 같이 (a)에서 사용된 마스크의 문턱값 배열 순서를 변경한 4개의 마스크들을 임의로 선정하여 사용한 결과이다. 문턱값의 위치를 변경함에 의해 규칙적인 패턴이 감소됨을 볼 수 있었다.

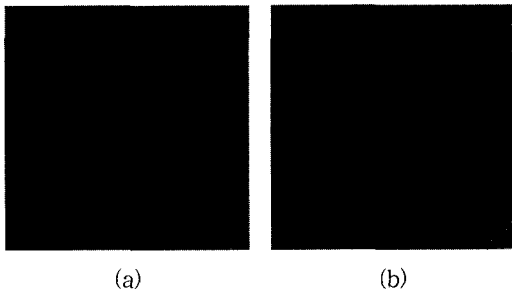


그림 9. 디더링 패턴 비교 (a) 2×2 마스크(단일선택)
(b) 2×2 마스크(복수개의 위치 중 임의의 선택)
Fig. 9. Comparison of dithering patterns. (a) 2×2 masks without random selection (b) 2×2 masks with random selection.

V. 결 론

본 논문에서는 플라즈마 디스플레이의 역감마 보정시 발생하는 어두운 영역의 계조 재현 문제를 해결하기 위하여 디더링 방법을 제안하였다. 제안하는 방법에서는 주어진 표시 감마값에 따라 입력 계조에 대한 이상적 출력 계조값이 소수의 형태로 계산된다. 소수값에서 정수를 제외한 1이하의 소수부분이 디더링 마스크를 이용하여 이진화 된다. 이진화 결과는 다시 정수 부분에 더해져서 최종적으로 플라즈마 디스플레이로 출력된다. 제안하는 방법에서는 디더링 마스크를 시간영역으로 확장하여 결정함으로써 계조 표현 성능을 향상시켰다. 그리고, 디더링에서 발생하는 규칙적인 패턴을 제거하기 위해 문턱값의 배열을 임의로 변경하여 사용하였다. 다양한 실험결과를 통해 제안하는 방법이 감소된 계산량으로 어두운 영역의 계조를 잘 표현하고 있음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] C. Poynton, A Technical Introduction to Digital Video, John Wiley & Sons, pp. 92-114, 1996.
- [2] T. Kurita, T. Yamamoto, Y. Takano, K. Ishii, and T. Koura, "Improvement of picture quality of 40-in.-diagonal HDTV plasma display," in Proc. of the 3rd International Display Workshops, pp. 287-290, Kobe, Japan, Nov. 1996.
- [3] S. Seki, M. Ishii, T. Shiga, K. Igarashi., and S. Mikoshiba, "A 16-bit drive of 1080p PDPs for high quality image expression," in Proc. of Society for Information Display, pp. 714-717, Kobe, Japan, May 2000.
- [4] L. F. Weber, "The promise of plasma displays for HDTV," in Proc. of Society for Information Display, pp. 402-405, Kobe, Japan, May 2000.
- [5] W. C. Schindler, "60-inch diagonal HDTV plasma display," in Proc. of the 6th International Display Workshops, pp. 735-738, Sendai, Japan, Dec. 1999.
- [6] T. Tokunaga, H. Nakamura, M. Suzuki, and N. Saegusa, "Development of new driving method for AC-PDPs," in Proc. of the 6th International Display Workshops, pp. 787-790, Sendai, Japan, Dec. 1999.
- [7] E. J. Giorgianni and T. E. Madden, Digital Color Management, Addison Wesley, 1998.
- [8] H. R. Kang, Digital Color Halftoning, SPIE/IEEE Press, pp. 279-300, 1999.
- [9] V. Ostromoukhov and R. D. Hersch, "Half-toning by rotating non-Bayer dispersed dither array," in Proc. SPIE, vol. 2411, pp. 180-197, San Jose, CA, U.S.A., Feb. 1995.
- [10] T. Mitsa and K. Parker, "Digital halftoning technique using a blue-noise mask," J. Opt. Soc. Am. A, vol. 9, no. 11, pp. 1920-1929, Nov. 1992.
- [11] J. C. Stoffel and J. F. Moreland, "A Survey of Electronic Techniques for Pictorial Image Reproduction," IEEE Trans. Communications,

- vol. com-29, no. 12, Dec. 1981.
- [12] P. Barten, Contrast Sensitivity of the Human Eye and Its Effects on Image Quality, SPIE Press, pp. 95-124, 1999.
- [13] M. Miyahara, K. Korani, and V. R. Algazi, "Objective Picture Quality Scale (PQS) for Image Coding," IEEE Trans. Communications, vol. 46, no. 9, pp. 1215-1226, Sept. 1998.
- [14] J. P. Allebach, Selected Papers on Digital Halftoning, SPIE Press, pp. 281-283, 1999.

 저 자 소 개



朴 勝 虎(正會員)

1996년 2월 : 인하대학교 전기공학과 학사. 1998년 2월 : 동 대학원 전기공학과 석사. 1998년~현재 : 동 대학원 전기공학과 박사과정.
 <관심분야 : PDP에서의 화질 개선>



金 椿 宇(正會員)

1983년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 학사. 1985년 12월 : Purdue 대학교 전기공학과 석사. 1989년 8월 : Purdue대학교 전기공학과 박사. 1989년 8월 ~ 1994년 2월 : Graphic Research Lab., 3M Co. 연구원. 1994년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 정보통신공학부 부교수. <관심분야 : 영상 입출력 장치를 위한 영상 처리>