

論文2002-39SP-5-4

# 기울기가 일정한 코드를 사용한 개선된 PDP용 subfield 기법

## (An Improved Subfield Method for PDP Employing a Constant Slope Code)

李永三\*, 金麟澈\*\*, 李炳旭\*\*\*

(Young-Sam Lee, Rin-Chul Kim, and Byung-Uk Lee)

### 요 약

본 논문에서는 plasma display panel에서 동영상을 표현할 때 발생할 수 있는 dynamic false contour (DFC) 등의 화질 열화를 개선할 수 있는 subfield 기법에 관하여 고찰한다. 인접한 subfield 들간의 시간 길이 차이로 인하여 DFC가 발생한다는 사실을 파악하고, 그 차이를 일정하게 유지하는 기울기가 일정한 code를 제안한다. 그리고, 에러의 첨두치와 지속 시간의 trade-off 관계를 고려하여 에러의 절대값의 평균을 최소화 할 수 있도록 상이한 시간 길이를 갖는 subfield들을 배열한 code를 제안한다. 제안한 subfield 기법은 계조값에 비례하여 에러의 크기가 증가하는 것을 보임으로써 인간의 시각적 특성 관점에서도 적합한 방법임을 입증하였다.

### Abstract

This paper presents a new subfield method that can alleviate the visual artifact called the dynamic false contour (DFC), which occurs on plasma display panels. Noting that the DFC is caused by the difference of time intervals between the adjacent subfields, we propose a constant slope code, in which the differences are maintained to be constant. Also, we propose a subfield code that can minimize the mean absolute error, considering the trade-off between the peak magnitude of the error and its duration. We will show that the proposed subfield method maintains an adequate performance in the view point of the human visual system, since the bound of the errors increases with the gray scale.

**Key Words** : PDP, 서브필드기법, dynamic false contour, 서브필드 패턴, slope constant code

\* 正會員, 줄라이넷

(Julinet Co. LTD)

\*\* 正會員, 서울市立大學校 電子電氣컴퓨터工學部

(Dept. of Electrical and Computer Engineering, University of Seoul)

\*\*\* 正會員, 梨花女子大學校 情報通信學科

(Dept. of Information Electronics, Ewha Womans University)

※ 이 논문은 2000년 오리온 전기의 일부 지원으로 이루어졌음.

接受日字:2002年2月26日, 수정완료일:2002年8月16日

### I. 서 론

최근 HDTV나 DVD와 같은 고품질의 영상 매체가 대중화되고 있고, 멀티미디어 기기의 보급이 확산됨에 따라 대형 화면이면서 얇고 가벼운 디스플레이 장치에 대한 요구가 높아지고 있다. 이러한 조건을 충족시킬 수 있는 장치의 하나로서 plasma display panel (PDP)<sup>[1]</sup>이 많은 관심을 받고 있다. PDP는 특정 기체가 plasma 상태에서 발광하는 특성을 이용한다. 하지만 plasma의 발광 특성은 대단히 비선형적이어서 일반적

인 방법으로 계조값 (gray scale)을 표현할 수 없기 때문에, subfield 기법을 이용하여 연속적인 계조값을 표현한다. Subfield 기법은 한 field를 다양한 시간 구간으로 나눈 subfield들로 구분하고, 각 subfield를 ON/OFF 함으로써 계조값을 표현하는 것이다. PDP에서는 subfield 수가 많아질수록 계조값 표현 능력이 향상되나, 기술적인 한계와 비용이 비싸기 때문에 일반적으로 제한된 수의 subfield를 사용한다. 제한된 수의 subfield를 사용하여 동영상을 표현할 때, subfield 기법의 구조적인 문제로 인해 실제 영상에는 존재하지 않는 윤곽선이 보일 수도 있는데, 이를 dynamic false contour (DFC) 현상이라고 한다.<sup>[2-4]</sup> 현재까지 DFC 현상을 완화하기 위하여 많은 연구가 진행되었다. Weitbruch 등<sup>[1]</sup>은 인간의 시각 시스템 (human visual system; HVS)의 특성을 고려하여 어두운 부분을 자세히 표현할 수 있는 방법을 제시하였고, Park 등<sup>[5,6]</sup>은 subfield 기법에 의하여 발생하는 에러를 전체 계조값 변화에 확산시키는 방법으로 DFC 현상을 완화시키려고 하였다. 그러나, Weitbruch 등<sup>[1]</sup>의 방법에서는 높은 계조값에서 에러가 지나치게 커진다는 단점이 있고, Park 등<sup>[5,6]</sup>의 방법에서는 계조값 변화가 적은 부분에서 큰 에러를 보일 수 있다는 단점이 있다.

본 논문에서는 잡음 등의 영향을 고려하였을 때 계조값의 변화가 없다고 판단할 수 있는 비교적 적은 양의 계조값 변화에서도 DFC 현상 등을 최소화할 수 있는 subfield 기법을 제안한다. 먼저, 비교적 적은 양의 계조값 변화에서 발생하는 에러가 subfield의 시간 구간의 길이와 연관됨을 분석하였다. 그리고, 에러의 첨두치와 지속 시간의 trade-off 관계를 고려하여 에러의 절대값의 평균을 최소화 할 수 있도록 상이한 시간 구간을 갖는 subfield들을 적절히 배열한 subfield code를 제안한다. 제안한 subfield 기법은 계조값에 비례하여 에러의 크기가 증가하는 것을 보임으로써 HVS 관점에서도 적합한 방법임을 입증하겠다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 subfield 기법과 고려해야 할 사항에 대해 설명하고, 3장에서는 2장에서의 고려사항을 토대로 최적의 subfield code를 제안한다. 4장에서는 모의실험을 통해 제안한 방법과 기존의 방법의 성능을 비교하고, 5장에서는 본 논문의 결론을 제시한다.

## II. Subfield 기법

### 1. subfield 기법

PDP는 He, Ne, Ar 등 특정 기체에 적절한 압력과 일정치 이상의 전압을 가하면 plasma 상태가 되어 자체 발광하는 특성을 이용한다. 그러나, plasma는 매우 비선형적인 발광 특성을 보인다. 따라서, CRT 등에서의 같이 연속적인 전압 값으로 다양한 계조값들을 표현하는 것이 아니라, PDP에서는 일정치 이상의 전압을 가하여 plasma가 발광하는 시간을 길게 혹은 짧게 함으로써 계조값을 표현한다. PDP에서 전체 화면에 대해 계조값을 표현하는 한 방법으로 subfield 기법을 사용한다. Subfield는 영상의 한 field를 여러 가지 길이의 시간 구간으로 나눈 것을 말하며, 각 시간 구간, 즉 subfield 구간 동안 해당 화소 위치에서 발광의 ON 혹은 OFF 여부를 조정함으로써 해당 화소의 계조값을 나타낸다. 각 subfield 구간은 다시 초기화를 위한 reset time, 각 화소의 발광 여부를 가리키는 ON/OFF 값을 할당하는 address time, 그리고 ON/OFF 값에 따라 실제 계조값이 유지되는 sustain time 등으로 세분된다. 여기서, reset time과 address time은 매 subfield마다 일정한 길이의 시간 구간이 필요하며, 실제 각 subfield에서 계조값을 표현하는데 기여하는 시간은 sustain time이다. 따라서, PDP에서는 여러 가지 길이의 sustain time을 갖는 8-12개의 subfield들로 한 field로 구성하고, subfield들의 ON/OFF 여부에 따라 8bits로 표현되는 256 계조값을 표현하게 된다. 예를 들어 8 subfield인 경우 [1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128]이라는 비율의 sustain time을 갖는 8개의 subfield들을 구성하고, 각 화소 위치에서 subfield 구간에서의 발광을 ON/OFF 함으로써 256 계조값을 나타내게 된다. 여기서 subfield 기법은 pulse width modulation (PWM)과 유사하게 정의할 수 있다. 즉, 위의 예에서는 각 subfield 시간 구간의 상대적인 길이를 1, 2, 4, ..., 128 로 표현하였는데, 이 길이들은 PWM의 폭을 표현하는 원소(element 혹은 letter)로 정의할 수 있다. 이 원소들을 적절한 순서로 배열하여 subfield code를 얻는다. 위의 예에서는 원소들을 크기 순서로 배열하여 [1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128]로 표현된 subfield code를 사용한다. 여기서, subfield code내의 각 원소들의 ON/OFF 여부에 따라

0-255까지의 계조값을 표현하게된다. 따라서 subfield 기법에서는 어떤 원소들을 선택하고, 그 원소들을 어떤 순서로 배열하여 subfield code를 구성하는가에 따라 그 성능이 결정된다.

Subfield 기법을 이용하여 계조값을 표현하는 과정을 보다 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.  $P(t)$ 는 시간  $t$ 에서 주어진 화소 위치에서의 발광 ON/OFF를 나타낸다고 하고, 한 field의 길이를  $F$ 라고 한다면, 시간  $t$ 에서 주어진 화소의 순간 계조값  $V(t)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$V(t) = \int_{t-F}^t P(\tau) d\tau \quad (1)$$

만약 정지 영상과 같이 주어진 화소에서의 계조값이 변하지 않는다고 하면,  $V(t)$ 는  $t$ 에 관계없이 항상 일정한 값을 유지하게 될 것이다. 그러나, 동영상과 같이 주어진 화소에서의 계조값이 변한다고 하면, field의 끝 부분에서는  $V(t)$ 가 원하는 계조값으로 표현되겠지만, field의 중간부분, 즉 이전 계조값에서 다음 계조값으로 변하는 천이 구간(transition interval)에서는 원치 않는  $V(t)$ 가 생성된다. 이상적인 경우, 천이 구간에서는 이전 계조값에서 다음 계조값으로 매끄럽게 변하는 형태가 되겠지만, 8 subfield 기법과 같이 일반적인 subfield 기법에서는 각 subfield 원소의 ON/OFF 여부에 따라 매우 급격한 밝기 차를 보일 수 있다. 특히, 8 subfields에서 계조값이 127에서 128로 변하는 경우를 살펴보면, 127에서는 원소 128을 표현하는 8번째 subfield를 제외한 모든 subfield들이 ON되었다가 계조값 128이 되면 원소 128을 표현하는 subfield만 ON 되므로 천이 구간에서 0에서 128까지의 모든 순간 계조값이 나타나게된다. 이와 같이 계조값의 변화가 매우 작음에도 불구하고 PDP에서 표현되는 순간 계조값에 급격한 변화가 나타나는 경우 마치 그 위치에서 물체의 경계가 있는 것처럼 보이게 되는데, 이것을 DFC 현상이라고 한다.

## 2. 기존의 subfield 기법들

이러한 DFC 현상을 완화시키기 위해서는 subfield의 개수를 늘려 원소 64, 128과 같이 매우 긴 sustain time을 갖는 subfield들을 여러 개의 subfield들로 세분함으로써 각 subfield의 sustain time의 차이를 줄여야 한다. 그러나, 매 subfield 마다 reset time과 address time 등이 필요하기 때문에, subfield 개수를 증가시키면 실제

계조값을 표현하는 sustain time이 감소하게되고, 구동부의 회로가 복잡해지는 등의 문제가 있다. 이러한 점들을 참조하여 PDP에서는 일반적으로 [1, 2, 4, 8, 16, 32, 48, 48, 48, 48]로 표현되는 10-subfield code 혹은 [1, 2, 4, 8, 16, 32, 32, 32, 32, 32, 32, 32]로 표현되는 12-subfield code를 사용한다. 하지만 10- 혹은 12-subfield code를 사용하는 기법에서도 계조값이 1만큼 변하는 상황에서 최악의 경우 가장 큰 원소만큼의 밝기 차가 나타나게 된다. 즉, 10-subfield code에서 계조값이 63에서 64로 변할 때 16에서 64까지의 순간 계조값이 천이 구간에서 나타나므로 최대 48만큼의 오류가 나타나게 된다. 따라서 subfield의 개수를 증가시키더라도 DFC 현상을 완전히 없애지는 못한다.

한편, Weibbruch 등<sup>[11]</sup>은 HVS를 이용하여 DFC 현상을 완화시킬 수 있는 방법을 제안하였다. Weber의 법칙<sup>[7]</sup>에 의하면, 계조값  $I$  근방에서 사람 눈이 인지할 수 있는 밝기 차  $\Delta I$ 는 다음과 같은 관계에 있게 된다.

$$\frac{\Delta I}{I} = \text{constant} \quad (2)$$

즉, 사람 눈에 의해 구별할 수 있는 밝기 차의 한계는 물리적인 밝기 차에 의해서가 아니고 그 비율 관계에 의해 결정되어, 같은 밝기 차에 대해서 밝은 부분보다 어두운 부분에서 그 차이를 더욱 명확히 감지할 수 있다. 이러한 Weber의 법칙을 적용하여 Weibbruch 등은 slope increasing code (SIC)를 제안하였다.<sup>[11]</sup> SIC는 각 subfield의 밝기 차, 즉 밝기의 경사도 (slope)가 증가하는 형태로 subfield code를 구성한 것이다. 12-subfield SIC는 인접한 subfield 간 원소의 크기, 즉 sustain time의 차이가 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11이 되도록 하여 [1, 2, 4, 7, 11, 16, 22, 29, 37, 46, 56, 67]이라는 subfield code로 표현되고, 10-subfield SIC는 [1, 2, 4, 7, 11, 16, 32, 42, 60, 80]로 표현된다. SIC는 크기가 작은 원소들에 대해서는 크기 차이를 작게 유지시킴으로써, 어두운 부분에서 크기가 작은 원소들이 ON/OFF 될 때 발생하는 DFC가 사람의 시각에 의해 감지되지 않도록 한다. 반면에 밝은 부분에서는 사람 시각에 감지될 수 있는 밝기 차가 비교적 크므로, 큰 원소들 간의 크기 차이는 크게 유지시킨다.

최근에 Park 등<sup>[5]</sup>은 고려해야할 영상의 형태를 모두 포함한 훈련 신호를 만들고, genetic 알고리즘으로 훈련 신호에 대해 최적의 subfield code를 검색하여 [2, 14,

8, 29, 43, 45, 51, 59, 4, 1]이라는 subfield code를 제안하였다. 기존의 다른 code에서는 특정 계조값 변화에서 에러가 커지는데 반해, Park 등<sup>[5]</sup>이 제안한 subfield code를 사용하면 에러가 모든 계조값 변화로 확산되는 특성을 보인다. 따라서, DFC를 유발시키는 비교적 큰 에러가 존재하지 않으므로 비교적 좋은 성능을 보인다. 하지만, 평탄한 영역이라고 볼 수 있는 계조값 4 정도의 차이에서 비교적 큰 에러를 유발시킬 수 있어, 이러한 경우 DFC 현상이 나타날 수 있다는 단점이 있다.

### III. 제안한 방법

본 논문에서는 HVS 관점에서 DFC 현상을 최소화하여 PDP의 재현 화질을 개선시킬 수 있는 subfield code를 제안하고자 한다. 이를 위해 실제 평탄 영역(smooth region)에서 나타날 수 있는 비교적 작은 계조값 변화에 견실한 특성을 보이는 subfield code를 제안한다. 그리고, 에러의 크기와 지속시간을 고려하여, 이전 계조값에서 다음 계조값으로 변하는 천이 구간에서 순간적인 계조값들의 변화를 최소화할 수 있는 방법을 모색한다.

#### 1. subfield 원소의 선택 및 제안한 code-1

먼저,  $N$ 개의 subfield로  $L$ 개의 계조값을 표현하는 PDP 재현 시스템을 고려해보자. 그리고,  $[c_1, c_2, \dots, c_N]$ 을 이 시스템에서 사용하는 원소들을 크기 순서로 나열한 subfield code라고 할 때,  $[c_1, c_2, \dots, c_N]$ 은 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

$$c_1 = 1, \quad \sum_{i=1}^n c_i \geq c_n - 1, \quad \sum_{i=1}^N c_i \geq L - 1. \quad (3)$$

식 (3)의 조건을 만족하는 subfield code들은 각 원소들을 ON 혹은 OFF 함에 따라  $L$ 개의 계조값을 표현할 수 있다. 본 논문에서는 주어진 subfield code에서 계조값을 1씩 증가시킬 때 최소의 에러를 보이도록 각 원소들을 ON 혹은 OFF 함으로써 계조값들을 표현하도록 하였다.

Subfield 기법에서는 이 원소들을 이용하여 PWM 방식으로 계조값을 표현하므로 계조값이 변하는 위치에서는 DFC를 유발시킬 만큼 다양한  $V(t)$ 로 표현되는 천이구간이 존재한다. 이 천이구간에서 실제 표현하고자 하는 계조값  $g$ 와  $V(t)$ 의 차이를 에러라고 하고, 일반적으로 에러의 크기는 한 field 시간에서 에러의 절대

값의 평균으로 측정한다. 즉,

$$MAE = \int_f |g - V(t)| dt \quad (4)$$

식 (4)로 표현되는 에러의 크기에 영향을 주는 요소로는 인접한 원소들간의 크기 차, 천이구간에서 에러의 첨두치(peak value of errors)와 각 원소들을 ON/OFF 함에 따른 에러의 지속시간 등이 있다. 이러한 것들은 어떤 원소들을 선택하는가, 그리고 원소들을 어떻게 배열하여 subfield code를 구성하는가 하는 문제와 밀접하게 관련된다.

먼저, 계조값이 변화할 때 인접한 원소간의 크기 차에 의해 에러의 크기가 작아진다. 만약 인접한 원소  $c_n$ 과  $c_{n-1}$  간의 크기 차를  $d_n$ 이라고 하면,  $d_n$ 보다 크게 계조값이 변할 때 에러의 크기는 매우 커지게 된다. 예를 들어 Park 등<sup>[5]</sup>이 제안한 10-subfield code [2, 14, 8, 29, 42, 45, 51, 59, 4, 1]에서 계조값이 100에서 104로 바뀌는 경우를 살펴보면, 계조값이 100일 때 [2, 14, 8, 29, 42, 0, 0, 0, 4, 1]에서 계조값이 104일 때 [2, 14, 0, 0, 42, 45, 0, 0, 0, 1]로 바뀐다. 이때, 원소 29가 OFF되고, 원소 45가 ON 되는데, 두 원소의 가운데 있는 원소 42 구간에서 두 원소의 절환에 의한 에러가 지속된다. 따라서, 이러한 경우 에러의 크기는 1씩 증가할 때 볼 수 없었던 큰 값의 에러가 발생된다. 그 원인은 원소 42와 원소 45의 차이가 3 밖에 되지 않아, 계조값이 4 이상 변하는 경우에 큰 값의 에러를 유발시키기 때문이다. 또한 증가할 때 발생된 에러는 감소할 때 다시 발생되므로 104에서 100으로의 변화에서도 역시 큰 값의 에러가 발생된다. 이런 현상을 가장 명확하게 보여주는 것이 기본적인 10-subfield code인 [1, 2, 4, 8, 16, 32, 48, 48, 48, 48]이다. 이 code에서는 후반부에 원소 48이 반복하여 나타나는데, 이들 원소의 차이는 0이므로 계조값이 1이상 변할 때 에러의 크기는 크지 않지만, 에러의 지속시간이 길어져 매우 큰 에러를 유발시킨다. 이러한 점을 참조한다면, 인접한 원소간의 크기 차를 일정 크기 이상으로 유지시켜야 함을 알 수 있다. 이러한 조건을 만족한다면, 잡음 등의 영향을 고려할 때 계조값 변화가 없다고 생각되는 비교적 작은 값의 계조값 변화에서 에러의 크기를 줄여 DFC 현상을 최소화할 수 있다.

한편, 인접한 원소간의 크기 차가 너무 크다면 오히려 큰 에러를 발생시킨다. 인접한 원소간의 크기 차가

크다면, 비교적 작은 값의 계조값 변화에서도 큰 값의 원소가 절환될 수 있고 이때 그 원소의 크기만큼 에러가 발생된다. 또한, 두 원소의 크기 차만큼 다른 작은 크기의 원소들이 절환되어야 한다. 즉, 계조값이 변할 때 새롭게 ON 혹은 OFF되는 원소들 중에서 최대 크기의 원소를  $c_n$ 이라고 하면, 천이구간에서 에러의 침투치는 다음과 같다.

$$\text{Peak Error} \leq c_n = c_{n-1} + (d_n - p) + p \quad (5)$$

단,  $|p| < d_n = c_n - c_{n-1}$

여기서  $p$ 는 이전 계조값과 현재 계조값간의 차이이다. 식 (5)를 참조하면, 계조값이  $d_n$ 보다 작게 변할 때  $c_n$ 이 절환되면  $c_{n-1}$ 도 절환되고, 이와 동시에  $(d_{n-1} - p)$ 에 해당하는 원소들이 절환된다. 따라서 두 원소간의 크기 차  $d_n$ 의 크기를 표현할 수 있는 만큼의 원소들이 함께 절환될 수 있어,  $d_n$ 이 커지면, 영향을 받을 수 있는 원소의 개수가 많아진다. 예를 들어 10-subfield SIC에서 최대 크기의 원소 80이 절환될 때, 인접한 원소 60과의 차이가 20이므로, 원소 60뿐만 아니라, 원소 1, 2, 4, 7, 11들이 함께 절환될 수 있어, 매우 큰 에러가 발생할 수 있다. 이러한 점을 참조할 때, 인접한 원소간의 크기 차가 지나치게 크다면, 매우 큰 에러를 유발시키므로, 적절한 크기 차를 유지시켜야 함을 알 수 있다.

이상에서 살펴 본 바와 같이 원소들간의 크기 차를 적절한 값으로 유지시키는 것이 중요하다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 점들을 참조하여 [1, 2, 4, 8, 16, 28, 37, 45, 53, 61]로 정의되는 subfield code를 선택하고 이를 제안한 code-1이라고 부르겠다. 제안한 code-1에서는 원소 1, 2, 4, 8, 16들을 둬으로써 충분한 해상도를 보장할 수 있도록 하였다. 그리고, 큰 값의 원소들은 최대 계조값 255를 표현하면서도 원소들간의 크기 차, 즉 기울기를 9, 8, 8, 8로 일정하게 유지시켰다. 제안한 code-1은 기울기를 9혹은 8로 유지시킴으로써, 8이하의 계조값 변화에 대해서는 큰 에러가 발생하지 않아 DFC 현상을 최소화할 수 있다. 또한, 큰 값의 원소가 절환될 때 원소 1, 2, 4 들만 절환되기 때문에, 함께 절환될 수 있는 원소의 개수가 매우 작다는 장점이 있다. 한편, 제안한 code-1에서 원소 16과 원소 28의 크기 차는 12로 비교적 큰 값인데, 원소의 크기가 작기 때문에 에러의 침투치가 작아 상대적으로 작은 에러를 보이게

된다. 또한, 원소 16이 OFF됨과 동시에 원소 28이 ON 될 때 함께 절환되는 원소들이 비교적 가까이 위치해 에러의 크기를 줄일 수 있다. 이러한 문제는 아래에서 자세히 설명한다.

Subfield의 개수가 11개 혹은 그 이상일 경우에도 원소들간의 크기 차를 일정한 값으로 유지시키는 원소들을 선택한다. Subfield의 개수가 늘어나면, 에러의 침투치가 작아져 보다 우수한 성능을 얻을 수 있을 것이다. 그러나, 이러한 경우에도 비교적 큰 값의 원소들간의 크기 차를 일정한 값으로 유지시켜야 작은 계조값 변화에 대해 큰 에러를 발생시키지 않게 된다.

## 2. subfield 배열 방식 및 제한한 code-2

식 (5)를 참조하면,  $c_n$ 이 새롭게 ON/OFF 될 때, 우변의 첫 번째 항으로 나타내어진  $c_{n-1}$  또한 절환되며, 이와 동시에 두 번째 항으로 나타내어진 두 원소의 차이  $(d_n - p)$ 만큼 다른 1개 이상의 원소들이 절환된다. 이때, 각 원소들에 의해 발생하는 에러들이 상쇄될 수 있도록 함께 절환되는 원소들을 배열한다면, 에러의 침투치를 줄일 수 있다. 예를 들어, 0에서 15까지의 계조값을 표현하는 PDP 시스템을 고려해보자. 그림 1은 이 시스템에서 계조값이 7에서 8로 변한다고 할 때, 식 (1)을 이용하여 각각의 시간마다 계조값을 표현한 것이다. 그림 1(a)에 보인 바와 같이 subfield code가 [1, 2, 4, 8]일 때에는 에러의 침투치가 8이다. 반면에 그림 1(b)에 보인 바와 같이 subfield code가 [1, 2, 8, 4]일 때에는 에러의 침투치가 4로 매우 작아진다. 이는 원소 4와 원소 8의 순서를 바꾸어 subfield code를 구성함으로써 원소 1, 2, 및 4에 의해 발생하는 에러가 상쇄될 수 있도록 하여 에러의 침투치를 작게 하고 있음을 알 수 있다.

계조값 변화시 상쇄되지 않고 잔존하는 에러의 유지 시간 또한 식 (4)로 표현되는 에러의 크기에 영향을 준다. 그림 1(b)에서 계조값이 7에서 8로 변할 때에는 절환되는 원소들이 인접해있기 때문에 각 원소가 절환됨에 따른 에러는 어느 정도 상쇄된다. 그러나, 계조값이 3에서 4로 변할 때는 원소 1, 2가 OFF 되면서 원소 4가 ON 된다. 이러한 경우, 원소 1, 2와 원소 4가 떨어져 있기 때문에 원소 1, 2가 OFF되면서 발생한 에러가 원소 8 구간동안 지속된다. 반면에 그림 1(a)에서 사용한 code에서는 원소 1, 2, 및 4가 인접해 있으므로 이러한 현상이 최소화된다. 즉, 원소들의 배열을 바꾸는

방법은 에러의 침투치를 낮추는 장점이 있지만, 에러의 유지시간을 길게 하여 평균 에러를 크게 하는 단점이 있으므로, 에러의 침투치와 유지시간 간의 trade-off를 적절히 고려하여 subfield code를 구성해야 한다.

본 논문에서는 제안한 code-1의 원소들을 Park 등<sup>[5]</sup>이 제안한 code와 유사하게, [2, 16, 8, 28, 37, 45, 53, 61, 4, 1]과 같이 배열하고, 이를 제안한 code-2라고 부르겠다. 제안한 code-2에서 원소 16과 원소 8의 순서를 바꾼 것은 그림 1에서 보인 바와 같이 에러의 침투치를 작게 하기 위함이다. 그리고, 원소 4와 원소 1이 가장 뒤로 위치한 것은 큰 값의 원소들이 절환될 때 발생하는 에러를 상쇄시키는 역할을 한다. 그러나, 비교적 작은 계조값 변화에 대하여 28, 37, 45, 53, 61과 같은 큰 값의 원소들은 순차적으로 절환되므로, 크기에 따라 배열함으로써 에러의 지속시간을 줄여 DFC 현상을 최소화시킬 수 있다.

#### IV. 시뮬레이션

본 장에서는 3장에서 제안한 subfield code들을 사용하는 subfield 기법의 성능을 평가한다. 성능 평가에서 실험 신호로 기울기가 1과 5인 ramp 신호를 사용하였다. 기울기가 1인 ramp 신호는 subfield code의 일반적인 특성을 분석하는데 적합한 신호이고, 기울기가 5인 ramp 신호는 잡음 등의 영향을 고려하였을 때 평탄 영역으로 판단되는 부분에서의 subfield 기법의 건설성을 판단하기 위한 신호이다.

먼저, 그림 2에서는 기울기가 1인 ramp 신호에 대해 subfield 기법들의 성능을 평가한다. 그림 2(a)는 기본적인 10-subfield code [1, 2, 4, 8, 16, 32, 48, 48, 48, 48]를 사용하였을 때 에러의 절대값의 평균을 제시한 것이다.

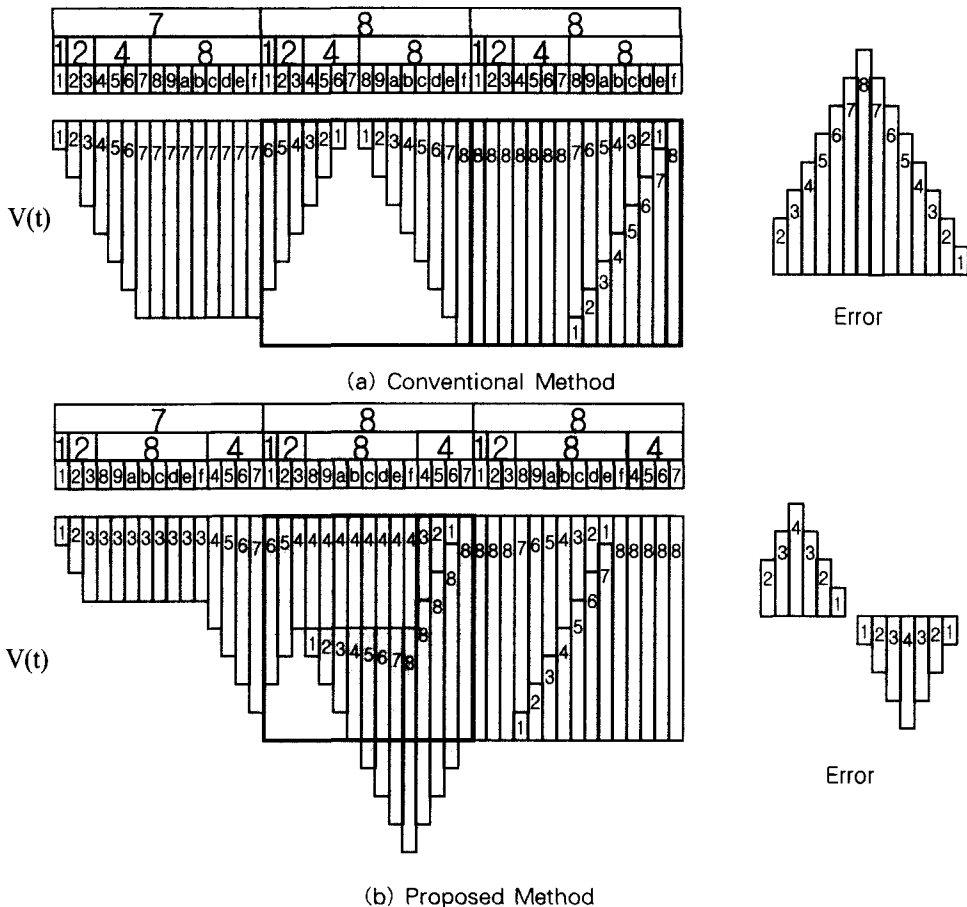


그림 1. 원소 재배열에 따른 영향  
Fig. 1. The effects of the element rearrangement.

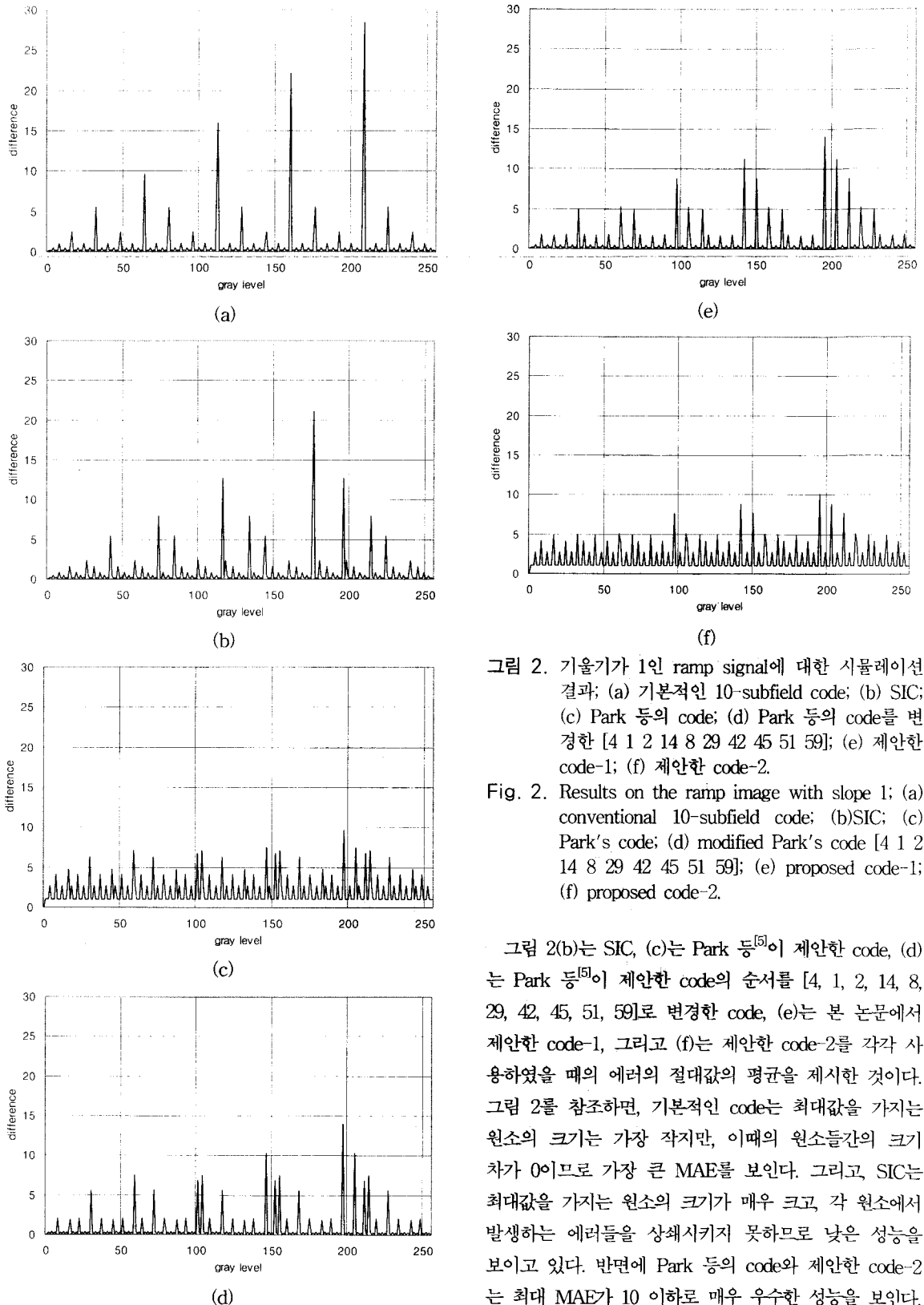
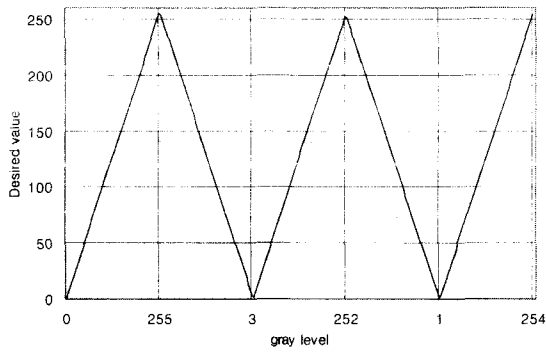


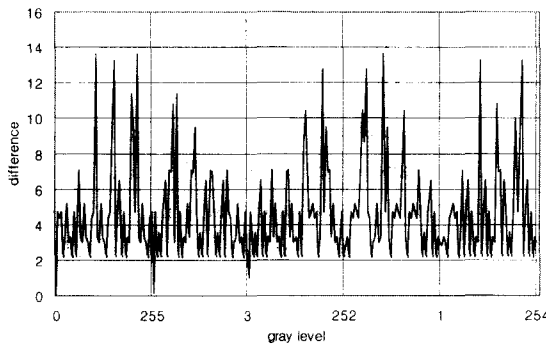
그림 2. 기울기가 1인 ramp signal에 대한 시뮬레이션 결과; (a) 기본적인 10-subfield code; (b) SIC; (c) Park 등의 code; (d) Park 등의 code를 변경한 [4 1 2 14 8 29 42 45 51 59]; (e) 제안한 code-1; (f) 제안한 code-2.

Fig. 2. Results on the ramp image with slope 1; (a) conventional 10-subfield code; (b) SIC; (c) Park's code; (d) modified Park's code [4 1 2 14 8 29 42 45 51 59]; (e) proposed code-1; (f) proposed code-2.

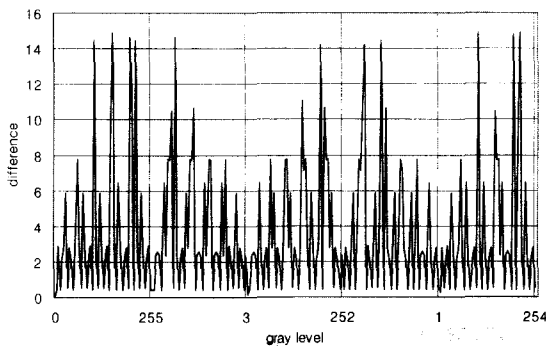
그림 2(b)는 SIC, (c)는 Park 등<sup>[5]</sup>이 제안한 code, (d)는 Park 등<sup>[5]</sup>이 제안한 code의 순서를 [4, 1, 2, 14, 8, 29, 42, 45, 51, 59]로 변경한 code, (e)는 본 논문에서 제안한 code-1, 그리고 (f)는 제안한 code-2를 각각 사용하였을 때의 에러의 절대값의 평균을 제시한 것이다. 그림 2를 참조하면, 기본적인 code는 최대값을 가지는 원소의 크기는 가장 작지만, 이때의 원소들간의 크기 차이가 0이므로 가장 큰 MAE를 보인다. 그리고, SIC는 최대값을 가지는 원소의 크기가 매우 크고, 각 원소에서 발생하는 에러들을 상쇄시키지 못하므로 낮은 성능을 보이고 있다. 반면에 Park 등의 code와 제안한 code-2는 최대 MAE가 10 이하로 매우 우수한 성능을 보인다.



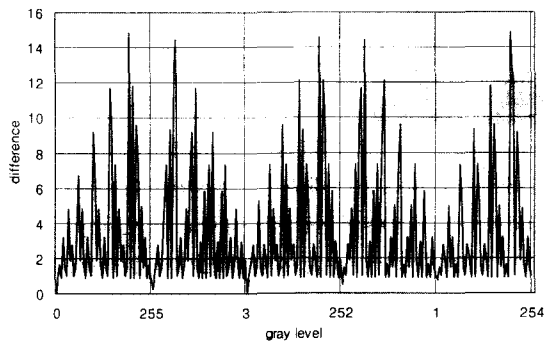
(a)



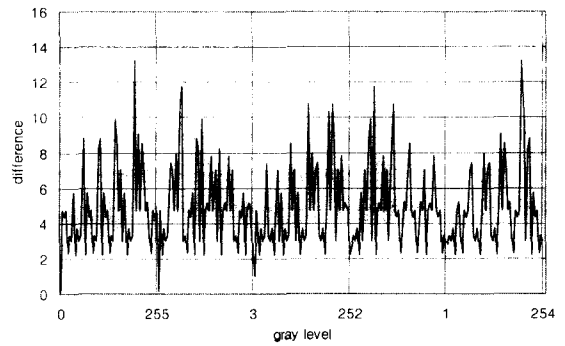
(b)



(c)



(d)



(e)

그림 3. 기울기가 5인 ramp 신호에 대한 결과; (a) ramp signal; (b) Park 등의 code; (c) 수정된 Park 등의 code; (d) 제안한 code-1; (e) 제안한 code-2.

Fig. 3. Results on the ramp signal with slope 5; (a) ramp signal; (b) Park's code; (c) modified Park's code; (d) proposed code-1; (e) proposed code-2.

이 code들을 (d)의 수정한 Park 등의 code, (e)의 제안한 code-1과 비교하면, 원소 1, 4가 code의 뒷부분에 위치하여 에러를 상쇄시키기 때문에 성능이 우수한 것으로 분석된다. 그러나 이러한 원소의 재배열은 작은 값의 원소들이 변할 때에도 비교적 큰 값의 MAE를 보이므로, 모든 계조값 변화에서 일정치 이상의 에러를 갖게된다는 단점이 있다.

다음으로, 그림 3(a)에 보인 바와 같이 기울기가 5인 ramp 신호에 대해 Park 등의 code, 수정된 Park 등의 code, 제안한 code-1, 그리고 제안한 code-2 등을 사용하였을 때의 MAE를 각각 그림3의 (b), (c), (d), (e)에 제시하였다. 그림 3(a)는 표현하고자 하는 계조값을 도시한 것으로, 기울기가 5인 ramp 신호 즉, 5씩 증가하거나 감소하는 계조값의 변화를 나타내는데, 0에서 255 까지 5씩 차이를 가지는 모든 가능한 순서를 표현한 것이다. 그림 3(b)와 (c)를 참조하면, Park 등의 code에 의한 결과가 최대 MAE는 약간 작지만, Park 등의 code와 수정된 Park 등의 code는 그림 2(c) 및 (d)와 비교해 매우 큰 MAE를 가진다. 특히, 낮은 계조값에서도 비교적 큰 MAE를 보이고 있는데, 이는 HVS 관점에서 대단히 좋지 않은 결과이다. 이러한 결과는 Park 등의 code가 원소 42와 원소 45의 크기 차이가 작기 때문으로 판단된다. 그리고, 비교적 큰 계조값의 변화에 대해서는 원소 배열에 의한 성능 향상은 매우 미미함을 알 수 있다. 반면에, 그림 3(c)와 (d)를 참조하면, 제



안한 code들은 계조값 변화량에 매우 견실한 특성을 보임을 알 수 있다. 즉, 그림 2에 보인 계조값 변화량이 1일 때와, 그림 3의 계조값 변화량이 5일 때 모두 MAE 크기는 계조값의 크기에 비례하는 특성을 보인다. 따라서, 제안한 code들은 Park등의 code에 비해 비교적 계조값 변화량이 클 때에도 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 제한된 개수의 subfield를 사용하는 PDP에서 재현 화질을 향상시킬 수 있는 subfield code를 제안하였다. 제안한 code는 잡음 등의 영향을 고려하였을 때 계조값의 변화가 없다고 판단할 수 있는 비교적 적은 양의 계조값 변화에서도 DFC 현상 등을 최소화할 수 있도록, 각 원소간의 크기 차를 일정하게 유지시켰다. 그리고, 에러의 침투치와 지속 시간의 trade-off 관계를 고려하여 에러의 절대값의 평균을 최소화 할 수 있도록 원소들을 배열한 subfield code를 제안하였다. 그리고 제안한 code들의 성능을 기울기가 1, 5인 ramp 신호를 이용하여 평가하였다.

참 고 문 헌

[1] S. Weitbruch, R. Zwing, C. Correa, "PDP

picture quality enhancement based on human visual system relevant features," *IDW'00*, pp. 699~702, 2000.

[2] K. Sawa, T. Shiga, S. MikoShiba, T. Ohe, K. Toda, T. Ueda, and K. Kariya, "26.3: Evaluation of motional artifacts on PDPs appearing with arbitrary motion of observation points," *Society for Information Display 00 DIGEST*, pp. 392~395, 2000.

[3] T. Yamagushi, et. al, "Dynamic false contours," *Journal of the Society for Information Display*, pp. 263~270, 1996.

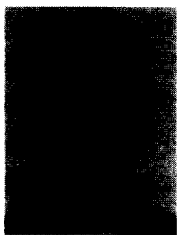
[4] S. Mikoshiba, "Dynamic false contours on PDPs fatal or curable?," *IDW'96*, pp. 251~254.

[5] S.-H. Park, Y.-S. Choi, C.-W. Kim, "Optimum selection of subfield patterns for plasma displays based on genetic algorithm," *IDW'99*, pp. 715~718.

[6] Y.-S. Choi, C.-W. Kim, "Quantitative measure of dynamic false contours on plasma display," *IDW'99*, pp. 783~786.

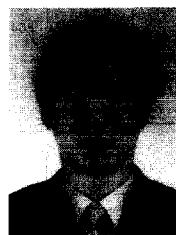
[7] R. C. Gonzales and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 1992.

저 자 소 개



李永三(正會員)  
1978년 1월 16일생. 2000년 2월 서울시립대학교 전자전기공학부 졸업(공학사). 2002년 2월 서울시립대학교 대학원 전자전기공학과 졸업(공학석사). 현재 줄라이네트 연구원.  
<주관심분야: MPEG-4 application, Wavelet기반의 영상코딩, 비디오 코딩, Computer Vision>

李炳旭(正會員) 第33卷, B編, 第1號 參照  
현재 이화여자대학교 정보통신학과 부교수



金麟澈(正會員)  
1963년 2월 27일생, 1985년 2월 서울대학교 제어계측공학과 졸업(공학사), 1987년 2월 서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사), 1992년 2월 서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학박사), 1992년 8월 - 1994년 3월 대우전자 영상연구소 선임연구원, 1994년 3월 - 1999년 8월 한성대학교 정보전산학부 조교수, 1999년 9월 - 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 부교수. <주관심분야: 신호처리, 영상통신, 멀티미디어, 추적기>