

## 오차합을 이용한 새로운 경계강조 오차확산

正會員 鄭泰一\*, 金在浩\*\*

### A New Edge Enhanced Error Diffusion Based on Error Sum Criteria

Tae Il Chung\*, Jae Ho Kim\*\* Regular Members

#### 要 約

Eschbach와 Knox에 의해 제안된 경계강조 오차확산 알고리즘을 검토하고 그 문제점을 해결한 새로운 방법을 제안한다. 제안된 방법은 주위로부터 확산되는 오차합과 입력 밝기값에 따라 일반영역에 포함되는 화소와 경계영역에 포함되는 화소를 판별한다. 일반영역에 포함되는 화소에서는 기존의 오차계산방식을 적용하고 경계영역에 포함되는 화소에서는 새로운 오차계산식을 적용한다. 제안된 방법은 계산량이 조금밖에 늘지않고, 경계가 화소 밝기에 영향을 적게 받으면서 눈에 거슬리는 띠가 줄어드는 경계강조 이진화상을 제공한다

#### ABSTRACT

In this paper, the edge enhancement error diffusion algorithm proposed by Eschbach and Knox is analyzed, and a new improved algorithm is proposed for solving the problem of Eschbach and Knox's algorithm. By utilizing the diffused error sum and input pixel value, a pixel is classified as a normal region or edge region pixel. Conventional error calculation is proposed in the normal region, and new error calculation is applied in the edge region.

The proposed method requires only a few calculation, and provides edge enhanced binary images where the edge is less influenced by the pixel brightness and the band artifact is reduced.

\*LG 전자미디어 통신연구소

\*\*부산대학교 전자공학과

論文番號 : 94139-0520

接受日字 : 1994年 5月 20日

## I. 서론

영상을 흑, 백의 이치 정보만을 이용하여 효과적으로 표현하는 이진 부호화(halftone) 기술은 그 응용분야(팩시밀리, LCD, 레이저 프린터의 영상출력 등)가 넓어 많은 연구가 진행되어 왔다.<sup>(1)</sup> 특히 80년대말부터 차세대 천연색 팩시밀리, 디지털복사기, 잉크분사를 이용한 천연색 프린터에 적용될 핵심기술로 연구가 더욱 활발해지고 있다.<sup>(2-5)</sup>

최근 이진부호화 기술로 가장 많이 사용되고 있는 방법은 오차확산 부호화 방법으로 이 방법은 각 화소를 이치화했을 때 발생하는 오차 밝기값들을 인접하는 화소들에 분배하여 이치결과화상에서의 평균오차 밝기값을 최소화함으로써 중간조 화상의 재현 능력뿐만 아니라 우수한 경계 보존성을 갖는다.<sup>(1,3,5)</sup>

오차확산 부호화는 이전의 방법들에 비해 계산량이 다소 많으나 인간의 시각적 측면에서 진동법<sup>(6)</sup> 등 이전의 방법들에 비해 우수한 화질을 보여주기 때문에 프로세서의 발달에 따라 보편적인 이진부호화기술로 자리잡고 있다.<sup>(1,7-8)</sup>

오차확산을 통해 얻어지는 이진 화상의 경계강조를 통해 화질 개선을 얻고자 할 때 두 가지 접근 방법을 생각해 볼 수 있다. 하나는 원화상을 고역통과후 이진부호화하는 것이다. 이 방법은 원 화상 전체를 저장하고 있어야 하는 부담이 있고 계산량이 많다. 오차확산에서의 경계강조를 위한 또 다른 방법은 오차확산 과정에 경계강조 알고리즘을 포함하는 것이다. 1991년에 Eschbach와 Knox는 한 화소와 두 줄의 오차정보만을 이용하여 경계강조 오차확산 방식을 제안하였다. 이 방식에서는 임계값이 입력화소의 밝기에 의존하기 때문에 경계강조가 이루어진다<sup>(9)</sup>. 이 때 오차의 계산은 기존의 오차확산에서 사용하던 방법으로 하였다. Eschbach와 Knox의 방법은 계산량면에서 효율적이고 기존 오차확산법의 순차적 처리구조 내에서 약간의 변형으로 구현이 가능하다는 점에서 우수하다. 이는 일반적인 방식 즉, 원화상을 고역통과 후 이진부호화하는 방식에 비하여 적은 메모리 요구량과 적은 계산량을 필요로 한다. 따라서 본 논문에서는 일반적인 방식의 개선보다는 Eschbach와 Knox 방식의 개선에 초점을 두었다.

Eschbach와 Knox의 방법을 검토해본 결과 입력화소의 밝기에 따라 그 경계강조 특성이 달라지는 문제가

발견되었으며, 이로 인해 경계강조 계수값이 커짐에 따라 부자연스럽게 보이는 굵은 띠들이 나타나게 된다. 이러한 현상으로 인해 Eschbach와 Knox의 알고리즘은 다양한 화상의 이치화에 사용할 일반적 경계강조 알고리즘으로는 적합하지 못하다.

I 장에서는 오차확산 알고리즘과 Eschbach와 Knox의 경계강조 오차확산 방법에 대해 간단히 설명하고, III 장에서는 Eschbach와 Knox방법의 문제점과 문제 발생요인을 검토하고 IV 장에서는 주위로부터 확산되는 오차합의 분포범위를 입력 화소 밝기에 따라 분석하여 기준 오차합과 일반 오차폭을 정의하여 이에 따라 일반영역과 경계영역을 구분하는 방법에 대해 설명하고 새로운 경계강조 오차확산 알고리즘을 제안한다. V 장에서 경계강조 특성 분석 실험과 실제 화상에 적용한 결과를 검토한다. 그리고 VI 장에서 결론을 맺는다. 새로운 알고리즘은 경계강조의 정도를 높였을 때 발생하는 부자연스러운 흑색 또는 백색의 띠들을 줄이며 모든 밝기영역에서 타당한 경계강조 특성을 보이며 특히 문자정보를 포함한 영역에서 우수한 경계강조 이진화상을 만든다.

## II. 오차 확산과 Eschbach와 Knox의 경계강조 알고리즘

오차 확산방법은 어떤 한 화소를 이치화시 인접한 화소들의 이치화시에 발생된 오차 밝기값들을 오차필터에 따라 일정비율로 주위 화소들에 나누어줌으로써 입력화소의 연속적 밝기값을 흑, 백으로 이치화함으로써 발생하는 오차를 보상해준다.

이 때 오차값 확산은 아래의 수식으로 표현할 수 있다.<sup>(9)</sup> 좌에서 우로의 가로방향을 x방향, 위에서 아래로의 세로방향을 y방향으로 하고 I(x,y)를 (x,y)점에서의 입력화소의 밝기값이라 하면 주위점들의 오차, E(x',y')가 확산되어 수정된 밝기값, I<sub>c</sub>(x,y)은

$$I_c(x,y) = I(x,y) + \sum_{i,j} a_{ij} E(x-i\Delta x, y-j\Delta y) / \sum_{i,j} a_{ij} \quad (1)$$

로 나타낼 수 있다.

식 (1)에서  $a_{ij}$ 의 묶음을 '오차필터(A)'라고 하며 Floyd와 Steinberg에 의해 제안된 값은 아래의 식 (2)와 같다.<sup>(7)</sup>

$$A = \begin{vmatrix} - & * & a_{01} \\ a_{-11} & a_{01} & a_{11} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} - & * & 7 \\ 3 & 5 & 1 \end{vmatrix} \quad (2)$$

이 오차필터에 대해서는 Floyd와 Steinberg 이후 많은 변형된 형태가 발표되었으나,<sup>11,12)</sup> 개선량이 많지 않고 식 (2)가 하드웨어 구현이 용이하여 실제로 가장 많이 쓰이고 있으며 본 논문의 모든 실험에서도 식 (2)의 오차필터를 사용하였다.

수정된 밝기값이  $I_c(x, y)$ 일 때 이진 부호화의 출력값,  $O_b(x, y)$ 는 식 (3)으로, 각 화소의 오차,  $E(x, y)$ 는 식 (4)로 구한다.

$$O_b(x, y) = \Theta [ I_c(x, y) - T_0 ] \\ = \begin{cases} 255(\text{white}), & I_c > T_0 \\ 0(\text{Black}), & I_c < T_0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\Theta [\beta] : \text{이치화함수} = \begin{cases} \text{White, when } \beta > 0 \\ \text{Black, when } \beta < 0 \end{cases}$$

$$E(x, y) = I_c(x, y) - O_b(x, y) \quad (4)$$

식 (3)의  $T_0$ 는 이치화 임계값 (Threshold)으로 처음에 제안된 오차확산은 흑(0)과 백(255)의 중간값이 사용되었으나 후에 이 임계값은 중간 밝기가 아닌 다른 값을 사용해도 이진 화상의 출력에는 영향이 없음이 밝혀졌다. 또, 이러한 성질을 이용한 이치화를 적용하여 임계값을 위치에 따라 주기적으로 조금씩 다른 값을 사용하여 오차확산의 화질을 개선하고자 하는 시도도 있었다.<sup>13)</sup>

Eschbach와 Knox는 강조를 위해 이치화 임계값을 일반화하여 입력화소의 밝기에 의존하는 값으로 사용하여 출력값을 얻는 새로운 방법으로 경계 강조를 구현하였다.<sup>14)</sup>

식 (3)의  $T_0$  대신 입력화소의 밝기에 의존하는 새로운 임계값,

$$T(I) = T_0 - (K-1) \cdot I(x, y) \quad (5)$$

를 이치화 임계치로 사용하면 (이 때의 K값의 크기는 경계강조의 정도를 결정하게 되므로 이 K를 경계강조계수라 한다.) Eschbach와 Knox의 경계강조는 식 (6)으로 나타낼 수 있으며 출력값  $O_b$ 는 다음과 같이 결정된다.

$$O_b(x, y) = \Theta [ I_c(x, y) - T(I) ] \\ = \begin{cases} 255(\text{white}), & I_c > T(I) \\ 0(\text{black}), & I_c < T(I) \end{cases} \quad (6)$$

이때 오차계산식은 식 (4)를 그대로 사용한다. 경계강조계수 K가 1일 경우는 일반오차확산과 같은 처리가 이루어지고 K가 커지면 얻어지는 추가정보에 의해 세부정보가 더 뚜렷해지고 경계가 더 강조된다. 반대로 K가 1보다 작아지면 경계가 무뎠어지는 효과를 보인다. 이 알고리즘은 어떤 기준값에 따라 출력을 흑과 백으로 나누고 그 출력과 입력의 차이를 계산하여 주위로 더해 주게 되는 등 구조면에서는 기존의 오차확산과 같으며 계산량도 별로 늘지 않는다.

### Ⅲ. Eschbach와 Knox 경계강조 방법의 문제점

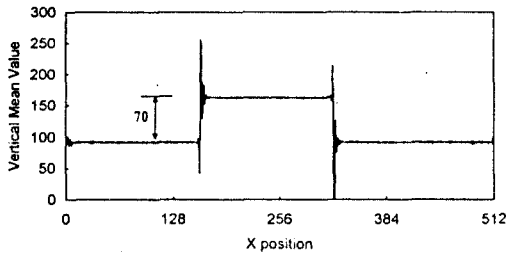
Eschbach와 Knox 알고리즘을 여러 종류의 화상에 K값을 여러가지로 바꾸어 가며 적용해 본 결과 다음과 같은 문제점들이 발견되었다.

1. 경계강조는 인접화소 밝기차에만 의존해야 하는데 Eschbach와 Knox의 경계강조는 화소밝기  $I(x, y)$ 에도 의존하는 좋지 않은 특성을 보인다. (이 장 끝의 경계강조효과 측정실험에서 실제로 이를 검토한다.)
2. Eschbach와 Knox의 알고리즘으로는 배경의 밝기값이 0(흑)근처와 255(백)근처로 갈수록 경계강조 정도가 급격히 감소한다.
3. K값이 커지면서 (특히 K=5이상의 경우) 눈에 띄게 굵은 부자연스러운 띠들이 나타난다. 이 현상을 줄이기 위해 K값을 줄이면 경계강조량이 줄어든다.

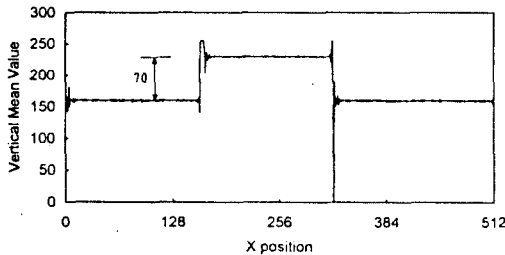
V장의 실험에서 이러한 문제점들을 실제 적용된 화상들에서 구체적으로 확인한다. 여기서는 경계강조정도를 측정하는 실험을 통해 살펴보자.

경계강조 효과 측정실험의 결과는 그림 1과 같다. 이 실험은 가로 방향으로 사각파형태의 밝기변화를 갖는 10000줄의 데이터에 대해서 오차확산을 하면서 출력값에 대한 세로방향의 평균값을 구해서 보인 것이다. 이

경우에 그림 1 (a), (b)의 결과를 비교해보면 두 사각파 형태를 형성하는 두 밝기값의 차이는 70으로 같은데도 경계특성을 나타내는 선의 폭이 다르고 그림 1(b)의 경우에는 커질 때와 작아질 때 그 경계강조형태가 다르다는 것을 볼 수 있다. 이것으로 경계강조의 특성이 현재 화소의 밝기값에 따라 다르다는 것을 알 수 있다. 이것은 경계강조 특성으로 타당하지 못하다고 할 수 있다. 이러한 현상은 K가 커지면서 출력 이진화상이 부자연스러운 부분들을 갖게되는 원인이 된다.



(a)



(b)

그림 1. 경계강조 효과 측정 실험결과

- (a) 93, 163, 93으로 밝기 변화 가질 때
- (b) 160, 230, 160으로 밝기 변화 가질 때

Fig. 1. The result of edge enhancement effect

- (a) when grey level changes 93, 163, 93
- (b) when grey level changes 160, 230, 160

#### IV. 오차합의 분포 범위 분석과 새로운 알고리즘 제안

##### 1. 오차합의 분포범위

오차확산 알고리즘은 각 점의 이진화를 위한 입력값으로 현재 화소의 밝기값과 주위로부터 일정비율로 확산되

어 오는 오차의 합을 가진다. 그 출력으로는 이진출력값과 현재 위치에서의 오차를 갖는다. (x, y)에서의 입력 오차합을  $E_s(x, y)$ 라 하면

$$E_s(x, y) = \sum_{i,j} a_{ij} E(x - i\Delta x, y - j\Delta y) / \sum_{i,j} a_{ij} \quad (7)$$

로 나타낼 수 있다. ( $a_{ij}$ 는 식 (2)에서 알 수 있다.)

이 오차합과 화소의 밝기가 더해진 수정된 밝기값이 이진화되어 이진화상을 만들게 된다. 이 때 출력으로 만들어진 이진화상이 평탄하게 분포하는 어떤 밝기를 적절히 근사화할 수 있기 위한 오차합의 범위를 식 (1)~식 (6)을 사용해서 구할 수 있으며<sup>(10)</sup> Eschbach와 Knox 알고리즘을 사용할 때의 평탄한 영역에서의 오차합의 범위를 구하면

$$T_0 - 255 - (K-1) \cdot I < E_s < T_0 - (K-1) \cdot I \quad (8)$$

와 같다. 식 (8)에서 보는 바와 같이 오차합의 범위가 화소들의 밝기에 따라 달라짐을 예상할 수 있다.

Eschbach와 Knox 알고리즘 적용시는 경계가 아닌 영역들에서 적절한 밝기를 근사화 해준다고 생각할 수 있을 것이다. 실제 화상에서의 오차분포를 식 (8)의 오차분포범위와 비교해보기 위해 경계가 아니라고 할 수 있는 영역들에서 Eschbach와 Knox 알고리즘 적용시의 화소의 밝기에 따른, 인접한 화소들로부터 전달되어 오는 오차합의 분포범위를 관찰하는 실험을 하였다. 실험을 위해 크기 512(가로)×64(세로)의 각각 0에서

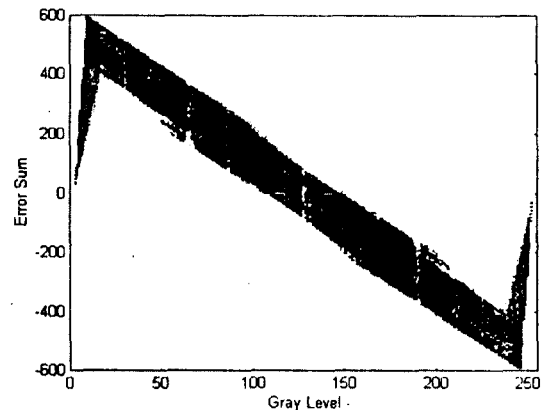


그림 2. 동일한 밝기 값을 갖는 256장의 화상에서 얻은 입력밝기값과 오차합의 분포영역.

Fig. 2. Distribution of error sum vs input grey level obtained in 256 constant image.

255 까지의 일정한 밝기값을 갖는 256장의 화상을 만들어 오차확산을 적용시켜 보았다. 각 256장의 화상에 대해 처음의 10줄은 확산되어오는 에러값이 초기화되지 않을 수도 있으므로 나머지 54줄만을 이용하여 통계적으로 오차합  $E_s$ 의 값이 갖는 범위를 구해보았다. 이 때 경계영역이 아니라고 할 수 있는 점들에 대한 통계를 위해 각 줄에서 양 끝의 5개 화소는 통계에서 제외한다. 이렇게 해서 나타나는  $E_s$  값은 평활한 값에서 나타나는 오차이므로 이 범위 값의  $E_s$  값은 경계영역으로 생각할 수가 있을 것이다.

256개의 실험 화상에 대해 실험의 결과로 얻어지는 오차합이 갖는 분포영역 (오차합이 가질수 있는 값들)을 구하면 그림 2로 나타낼 수 있다. 그림 2에서 보면 같은 밝기값이 연속적으로 분포할 경우 오차합이 갖는 값은 0(흑) 밝기값부근과 255(백) 밝기값부근 (이하 양단 비선형 영역)을 제외하고는 식 (8)의 이론적인 범위 내에 포함되는 선형적인 값임을 알 수 있다. 이러한 선형적인 분포를 나타내는 중간값일 때는 적절한 밝기를 나타낼 수 있다.

실험의 결과는 흑(0), 백(255) 근처에서는 오차합이 선형적인 영역을 벗어나서 적절한 밝기를 보여주지 못함을 나타내고 있다. 0, 255근처의 비선형적인 부분을 설명하기 위해서는 경계강조의 원리를 설명할 필요가 있다. Eschbach와 Knox의 알고리즘은 평탄영역에서는 식 (8)의 오차범위를 가지고 경계에서 밝기값이 변하면 그 근처의 점들이 흑 (밝기값이 작아진 경계인 경우) 또는 백 (밝기값이 커진 경계의 경우)의 연속되는 출력을 나타내면서 경계를 강조하는 선을 형성하고 이 때 반복되는 출력으로 인해 오차합이 적용되어져서 새로운 밝기 값에 적당한 오차합의 분포를 갖게 된다. 이 오차합의 적용시 현재의 밝기값이 I일 때 한번 이치화에서 오차합이 적용되는 양을 오차계산식에서 살펴보자.

$$E = I_c - O_b$$

$$= E_s + (I - O_b) \tag{9}$$

식 (9)에서 한번 이치화에 적용되는 양은  $(I - O_b)$ 로 생각할 수 있을 것이다. 즉 입력값의 밝기에 따라 다른 값이 되며 0, 255에서는 적용되는 양이 0이 되고 그 근처에서도 매우 작은 값이 된다. 현재 위치의 밝기

값에 따라 오차적용의 양이 달라진다. 이 값이 작다는 것은 적용되어질 때 많은 화소를 연속적으로 출력하게 된다는 뜻이고 경계강조가 이루어지는 때가 짧어진다는 뜻이 되어 앞의 III장에서 본 문제점의 원인을 설명해준다.

경계가 아닌 영역에서는 적절한 밝기를 근사화하는 일반 오차합의 분포범위를 알고 있으므로 이를 이용해서 경계영역에 속하는 점과 경계가 아닌 영역에 포함되는 점을 구별하는 방법을 생각해 보자. 이를 위해 두가지 계수를 정의한다. 식 (8)로 나타나는 분포범위는 그 밝기값에 따라 선형적이므로 그 중심값을 구하면

$$E_s^*(I) = (K-1) \cdot (255/2 - I) \tag{10}$$

와 같다. 이 선상의 점들은 어떤 밝기에서 일반적으로 오차합이 분포하는 중심값이라고 할 수 있으므로 이 값들을 어떤 입력화소 I 밝기에서의 기준오차합이라고 한다. 그리고, 실제 각 화소의 이치화시 입력되는 오차합이 갖는 값들과 기준오차합과의 거리를 오차변위 (W)라 하고, 그림 3에 나타내었다.

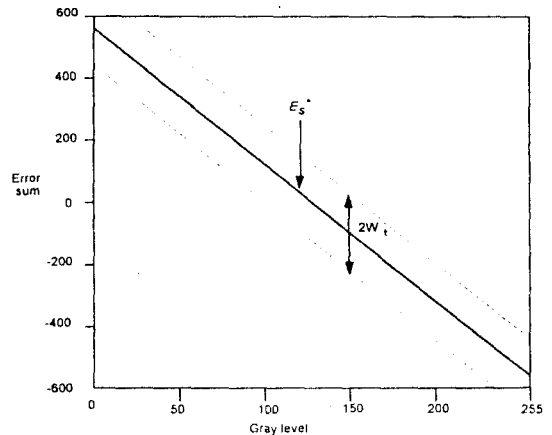


그림 3. 입력밝기값과 기준오차합의 관계  
Fig. 3. Relationship of input grey level and standard error sum

이치화시 입력밝기를 알면 기준오차합을 알 수 있고 기준오차합과 실제로 주위로부터 확산되어오는 오차합으로부터 오차변위를 구할 수 있다. 경계가 아니라고 생각할 수 있는 영역들에서는 오차 거리가 어떤 작은 값을 가짐을 예상할 수 있다. 이 오차거리에 임계값을 정해 경계에 포함되는 점인지 경계가 아닌 영역 (이하

일반영역)에 포함되는 점인지를 판별한다. 이 임계값을 일반오차폭이라 하고  $W_i$ 로 나타낸다.

현재의 화소의 경계특성을 판별하는 방법을 정리하면, 기준오차합에서 일정범위  $W_i$  이내에 속하는 오차합이 확산될 경우 그 점은 일반영역에 속하는 것으로 한다. 기준오차합에서  $W_i$  이상 벗어나는 오차합이 확산될 경우는 경계영역에 속하는 점으로 본다. 이러한 분류는 경계처리영역을 잘 구별할 수 있음을 실험을 통해서 확인 하였으며<sup>(9)</sup> 이 분류를 바탕으로 Eschbach와 Knox 알고리즘의 경계특성 개선을 위한 새로운 경계강조 오차확산을 다음과 같이 제안한다.<sup>(9-11)</sup>

2. 제안 알고리즘

1) 일반영역에서 앞에서와 같이 오차를 계산한다. 즉 출력과 오차확산되어 수정된 밝기값의 차로 정의한다 (식(4)).

2) 경계영역에서는 기존 오차 (출력값의 보상을 위한)의 의미가 아닌 균일한 오차값의 증감을 위한 오차계산을 한다. 즉 아래의 식 (11)과 같이 새로 정의한 오차계산식을 적용한다.

$$E(x, y) = \begin{cases} E_s(x, y) + C, & \text{when } O_b = 255(\text{white}) \\ E_s(x, y) - C, & \text{when } O_b = 0(\text{black}) \end{cases} \quad (11)$$

이 식에서는 새로운 오차를 이전에 확산되어온 오차합에서 일정값만을 더하거나 빼준다. 이 때의 경계영역의 출력은 Eschbach와 Knox의 알고리즘과 마찬가지로 백 또는 흑의 균일한 상태를 유지하고 있으면서 오차합이 적용되어질 것인데 새로운 알고리즘에서는 그 한번 출력에서 적용되는 양이 일정하므로 경계에서의 밝기차가 같으면 비슷한 두께의 경계강조 띠를 나타내게 된다.

V. 실험결과의 검토

새로운 알고리즘과 Eschbach와 Knox의 알고리즘을 비교하는 실험은 K=5에 대해 실험하였고 일반오차폭  $W_i$ 는 140을 사용하였다. 경계 처리에서의 상수 C는 200을 사용하였다.

먼저 III장의 경계강조효과 측정실험을 새로 제안한 방

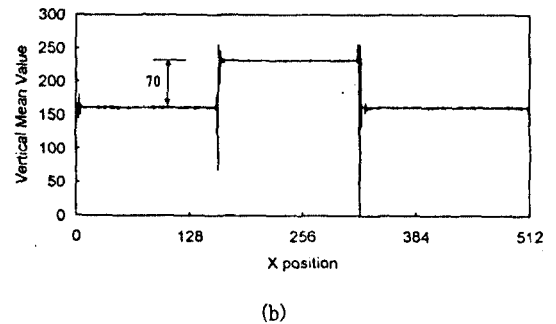
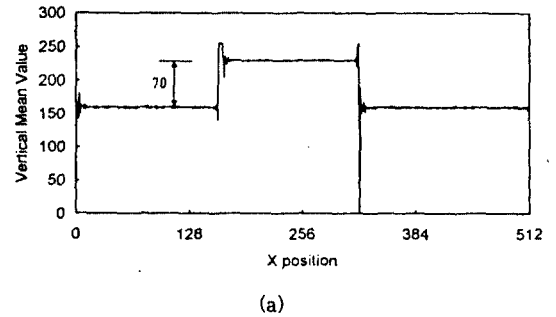


그림 4. 에지강조 효과 비교 (160, 230, 160의 밝기변화에 대해)  
(a) Eschbach와 Knox알고리즘에 의한 결과  
(b) 제안된 알고리즘에 의한 결과

Fig. 4. Comparison of edge enhancement effect (for the 160, 230, 160)  
(a) a result of Eschbach and Knox algorithm  
(b) a result of the proposed algorithm

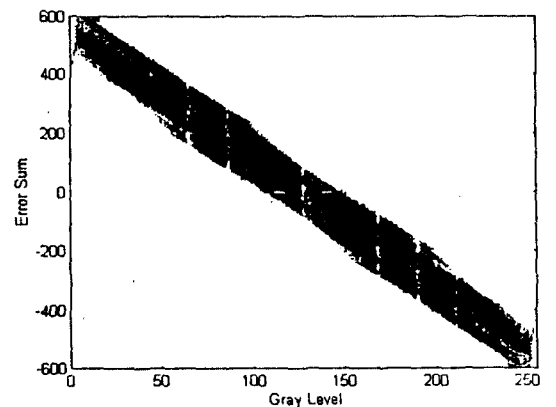


그림 5. 제안된 알고리즘에 의한 일정한 밝기값을 갖는 화상들에서 밝기값과 오차합 분포의 관계  
Fig. 5. The relationship of the pixel value and distribution of diffused error sum with constant value images by the proposed algorithm

법으로 해보았다(그림 4). 새로 제안된 알고리즘에 의한 결과는 Eschbach와 Knox 알고리즘에 의한 결과와 비교해 볼 때 경계특성의 폭이 경계 양쪽의 밝기값 차의 영향을 받아 결정되며 밝기값에 의존성이 거의 없어 저서 경계의 타당성이 좋아졌음을 볼 수 있다.

오차합의 분포범위를 새로 제안한 방법에 의해 다시 구해보았다. 그 결과는 그림 6과 같이 0-255의 모든 밝기값에서 선형적인 특성을 갖는다.

실제 화상에 적용하는 실험은 화소당 8비트 (0-255의 밝기 값을 갖는다.)의 정보를 갖는 400×400화소 크기의 실험을 위해 만들어진 시험화상과 600×400의 'mobile' 화상을 사용하였다.

3. 실험을 위한 시험화상

실험을 위해 그림6와 같이 0, 51, 102, 128, 153, 204의 밝기값을 갖는 화소들로 구성된 사각형과 선들, 문자들을 포함하는 화상을 만들었다. 이 화상을 Eschbach와 Knox의 알고리즘과 제안된 알고리즘을 사용하여 이치화한 결과 (그림 6(a),(b))를 비교해 보면

- 1) 배경이 255이므로 Eschbach와 Knox의 알고리즘에서는 사각형들에서 경계강조가 전혀 이루어지지 않고 255를 배경으로 하는 문자들에서도 경계강조가 전혀 이루어지지 않으나 제안된 방법에서는 경계강조가 이루어진다.
- 2) 사각형 내의 문자들 중에서 255의 밝기값을 갖는 것과 0의 밝기값을 갖는 것들은 Eschbach와 Knox의 알고리즘을 사용한 경우에는 배경이 어떤 밝기값을 갖는가에 상관 없이 경계강조가 이루어지지 않으나 제안된 알고리즘을 사용한 경우엔 밝기차에 따라 적절한 경계강조가 이루어진다.
- 3) Eschbach와 Knox방법을 적용한 결과의 이진화상에서는 153과 204의 배경 밝기로 만들어진 사각형에서는 윗부분이 깨진다. 그 원인을 생각해보면 배경이 255인데 식 (9)에서 보면 255의 밝기를 갖는 배경에서는 오차합의 적용이 전혀 없고 따라서 이전의 오차합이 그대로 다음으로 전달된다. 그러므로 시험화상에서 그 위쪽의 51과 102의 배경 화소로 만들어진 사각형의 오차합이 그대로 전달된다. 따라서, 마치 어두운 영역에서 밝은

영역으로의 경계와 같이 백색의 경계를 만들게 되어 결과적으로 사각형의 윗부분이 깨져 나타나게 된다. 제안된 알고리즘에서는 이러한 현상이 없다.

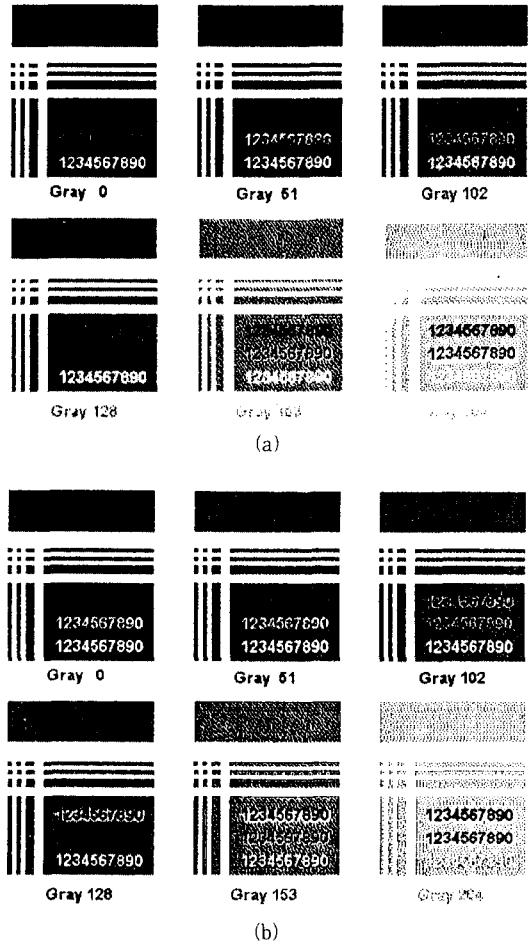


그림 6. 시험화상으로 경계강조 오차확산한 결과  
 (a) Eschbach와 Knox알고리즘 (K=5)  
 (b) 제안된 알고리즘 (K=5)  
 Fig. 6. The result of edge enhanced error diffusion of test image  
 (a) Eschbach and Knox algorithm (K=5)  
 (b) the proposed algorithm (K=5)

4. 'mobile' 화상에 적용한 결과

Eschbach와 Knox알고리즘과 제안된 알고리즘으로 오차확산하여 얻은 이진화상을 비교해 보면 (그림 7)

Eschbach와 Knox알고리즘에서 부자연스럽게 굵게 나타났던 띠들이 제안된 알고리즘에서는 개선되었음을 관찰할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 7. mobile화상의 경계강조 오차확산 비교  
 (a) Floyd와 Steinberg 오차확산알고리즘 (K=1)  
 (b) Eschbach와 Knox 오차확산알고리즘 (K=5)  
 (c) 제안된 알고리즘 (K=5)

Fig. 7. Comparison of edge enhanced algorithms for the mobile image  
 (a) Floyd and Steinberg error diffusion algorithm (K=1)  
 (b) Eschbach and Knox algorithm (K=5)  
 (c) the proposed algorithm (K=5)

5. 제안하는 알고리즘과 Eschbach와 Knox 알고리즘의 계산시간 비교

제안하는 알고리즘은 경계영역과 일반영역을 구분하여 처리된 화소의 오차를 결정한다. 따라서, 일반영역과 경계영역을 구분하기위해서 일반오차폭과 확산된 오차와의 비교가 필요하다. 표 1에서 제안하는 알고리즘과 Eschbach와 Knox 알고리즘에 대해서 한 화소를 처리하는데 필요한 계산량을 비교하였다. 제안하는 알고리즘은 Eschbach와 Knox 알고리즘에 2회의 비교가 더 들어간다. 이는 전체적인 계산요구량에 비해서 매우 작은 량이다.

표 1. 제안하는 알고리즘과 Eschbach와 Knox 알고리즘의 1 화소 처리 계산량 비교

Table 1. Computation comparison of the proposed algorithm and Eschbach algorithm for 1 pixel processing

algorithm computation	Eschbach and Knox algorithm	the proposed algorithm
multiplication	5	5
addition (subtraction)	6	6
comparison	1	3

VI. 결 론

오차확산 이진화에서 경계강조 방법중 기존 오차확산의 구조속에서 최소한의 수정을 통해서 이를 실현한 것이 Eschbach와 Knox의 방법이며 사용가치가 가장 높은 방식으로 생각된다. 본 논문에서는 Eschbach와 Knox의 경계강조 오차확산을 분석하고 그 밝기값에 따라 달리 나타나는 띠 모양 경계특성의 문제가, 오차의 적용 양이 화소 밝기에 따라 달라지는 것 때문이라 분석할 수 있었다. 이는 경계에서의 큰 오차합이 적은 적용량으로 서서히 적용되어져 가는 과정으로 해석되며 따라서 경계에서 부자연스러운 굵은 띠가 나타났다.

Eschbach와 Knox 알고리즘의 문제점을 오차합과 입력 밝기를 비교하여 현재 입력 화소의 경계정도를 판별하여 새로운 오차계산식을 적용함으로써 경계강조를 개선하였다. 제안된 경계강조 오차확산알고리즘은 그 경계특성의 선형성이 우수하고 흑(0), 백(255)의 배경에



서도 경계강조가 잘 나타나며 부자연스럽게 굵게 나타는 띠들을 개선하였다는 점에서 좋은 특성을 보인다.

제안된 알고리즘은 적용목적에 따라 일반오차폭을 달리 설정할 수 있고 경계영역에 속하는 화소에서의 오차 계산시 적용 상수 (C)를 조정하여 사용목적에 따라 그 특성의 조정이 가능할 것이다. 기존 오차확산 방식의 구조를 그대로 잘 수용하고 있으므로 디지털 복사기, Fax 등의 영상처리기 설계에 잘 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

參考文獻

1. R. Ulichney, *Digital Halftoning*, MIT Press, Cambridge Mass., ch.8, 1987.
2. J. Sullivan, R. Miller, and G. Pios, "Image halftoning using a visual model in error diffusion", *J. Opt. Soc. Am. A*, Vol.10, No.8, pp.1714-1724, Aug., 1993.
3. K. T. Knox, "Error image in error diffusion", *SPIE*, vol.1657, pp.268-279, 1992.
4. M. Broja, F. Wyrowski, and O. Bryngdahl, "Digital halftoning by carrier and spectrum control", *Opt. Commun.* Vol.69, pp.205-210, March, 1989.
5. M. Broja and O. Bryngdahl, "Quantization

noise in electronic halftoning", *J. Opt. Soc. Am. A*, Vol. 10, No. 4, pp.554-560, April, 1993.

6. B. E. Bayer, "An Optimum method for two-level rendition of continuous-tone pictures", *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. Conference Record*, pp.(26-11)-(26-15), 1973.
7. R. W. Floyd and L. Steinberg, "An adaptive algorithm for spatial grey scale", *Proc. Soc. Inf. Disp.*, Vol. 17, pp.75-77, 1976.
8. R. Eschbach and K. Knox, "Error-diffusion algorithm with edge enhancement", *J. Opt. Soc. Am. A*, Vol. 8, No. 12, pp.1844-1850, Dec., 1991.
9. 정 태일, 김 형순, 손 경식, 김 재호, "오차확산에서의 오차합을 이용한 에지검출", 대한전자공학회, 한국통신학회 부산경남지부 1993년도 추계 합동 학술논문발표회 논문집, pp.64-68, 1993.
10. 정 태일, "혼재화상의 인쇄를 위한 처리기법-경계강조 오차확산에 관하여", 석사학위논문, 부산대학교 대학원.
11. 정 태일, 김 형순, 손 경식, 김 재호, "오차합을 이용한 에지강조 오차확산", 제6회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표논문집, 1993.



**鄭 泰 一 (Tae Il Chung)** 정희원  
 1969년 7월 22일생  
 1992년 2월 : 부산대학교 공과대학 전자공학과 졸업(학사)  
 1994년 2월 : 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)  
 1994년 1월~현재 : LG전자 미디어 통신 연구소 연구원

\* 주관심분야 : Halftoning, 문자인식, 영상압축



**金 在 浩 (Jae Ho Kim)** 정희원  
 1957년 3월 23일생  
 1980년 2월 : 부산대학교 전기기계공학과 졸업(학사)  
 1982년 2월 : 한국과학기술원 산업전자공학과 졸업(공학석사)  
 1990년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사)

1988년 8월~1992년 2월 : 삼성전자통신연구소 화상통신 연구실 수석연구원

1992년 3월~현재 : 부산대학교 전자공학과 조교수, 삼성전자 정보통신 전문교수, 파라다이스 비치호텔 전산화 전문교수

\* 주관심분야 : 영상처리, 디지털 신호처리 VLSI 설계, 문자인식, Halftoning 등