

논문 2011-48SP-6-11

적응적 오차 확산법을 이용한 하프톤 영상의 경계선 개선

(Edge Enhancement of Halftone Image using Adaptive Error Diffusion Method)

김 상 철*, 진 성 일**

(Sang-Chul Kim and Sung-II Chien)

요 약

제한된 계조를 사용하는 영상장치들은 연속계조 영상과 시각적으로 유사한 영상을 획득하기 위해 하프토닝(halftoning) 방법을 사용한다. 다양한 하프토닝 방법 중, 오차 확산법은 짧은 계산시간과 좋은 화질의 하프톤 영상(halftone image) 획득이 가능하여 다양한 응용 분야에 널리 사용되고 있다. 하지만 이 방법은 인접 픽셀에 오차를 확산하는 과정에서 경계선을 흐트리며, 이로 인해 경계선이 약화 되고, 영상의 선명도를 저하시킨다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 본 논문에서 제안된 방법은 Floyd-Steinberg 오차확산법의 필터 가중치를 기반으로 처리 픽셀의 오차와 인접픽셀의 경계선 정보를 고려하여 오차 필터를 적응적으로 결정한다. 이 방법은 경계선 강화를 위한 기존 방법들과 비교해 처리절차가 간단하여 상대적으로 적은 양의 프로세스 자원을 사용한다. 그럼에도 불구하고, 제안된 방법은 하프톤 영상의 경계선을 상당히 개선할 수 있었다. 이와 함께 객관적인 화질 평가를 위해 경계 상관도와 국부 평균 일치도를 이용하여 제안된 방법과 기존방법의 성능을 비교한다.

Abstract

A halftoning method is used to obtain a binary image visually similar to a continuous gray-level image through the image output devices employing the limited number of gray-levels. As a halftoning method, the error diffusion method is widely used in various applications because of its low computational complexity and good image quality. However, this method weakens the edge in the process of error diffusion to the neighboring pixels. In this case, degradation of the edge quality and damage of the vivid image is expected. To solve these problems, the proposed method determines the adaptive error filter considering the error information of the present pixel and edge distribution of the neighbor pixels. Compared with the conventional methods for enhancing edges, the proposed method involves relatively a few process resources because of its simple procedure, still considerably improving the edges in the halftone image. To evaluate the objective image quality, the performance of the proposed method is compared with that of the conventional method in terms of the edge correlation and the local average accordance.

Keywords : halftone image, error diffusion, error filter, edge enhancement

I. 서 론

프린터, 팩스, 휴대용 디스플레이 등의 일부 영상 출력 장치는 하드웨어의 특성과 제한된 자원 때문에 연속된

계조(gray-level)의 영상을 제한된 계조로 표현한다. 이 경우 계조 표현력의 저감으로 결과영상의 화질이 현저히 저하되며, 이진 레벨을 사용하는 일부 영상 장치들의 화질은 더욱 악화된다. 이러한 문제를 개선하기 위해 이들 장치들은 하프토닝(halftoning) 기법을 사용한다.

여러 가지 하프토닝 기법 중 오차 확산법은 적절한 처리시간과 비교적 좋은 화질의 하프톤 영상의 생성이 가능하여 다양한 응용분야에 널리 사용된다. 특히, Floyd방법(Floyd-Steinberg error diffusion)^[1]은 작은 크기의 오차 필터를 사용하여 계산량을 최소화 할 수 있는 장점 때

* 정회원, ** 정회원-교신저자, 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부

(School of Electronics Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

※ 이 논문은 2010년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

접수일자: 2011년3월9일, 수정완료일: 2011년8월23일

문에 가장 널리 사용되고 있다. 하지만 이 방법은 인접픽셀에 상대적으로 많은 오차를 확산하여 경계선의 열화 및 선명도를 저하 시킨다.

이러한 화질 문제를 개선하기 위해 다양한 연구가 진행되었다. 큰 오차 필터를 사용하는 방법은 현 픽셀에서 발생하는 오차를 넓은 영역에 확산하여 경계선의 열화를 최소화할 수 있었지만, 강한 상관패턴을 발생시킨다^[2]. 인접픽셀의 경계선정보를 기반으로 오차를 확산하는 방법들은 경계선의 분포와 방향 및 크기를 고려하여 오차를 적응적으로 확산하는 방법이다^[3~4]. 이러한 방법들은 경계선을 다소 개선함에도 불구하고, [3]의 방법은 지그재그한 경계선(jagged edge)을 생성하고, [4]의 방법은 기존 방법들과 비교해 매우 복잡한 계산과정이 수행되기 때문에 하드웨어 시스템 적용에 제한적이다. 가변 임계값을 이용한 방법은 경계선 분포에 따라 임계값을 조절하여 하프톤영상의 선명도를 향상하는 방법이다^[5]. 하지만, 이 방법은 약한 랜덤효과 때문에 경계선을 효과적으로 개선할 수는 없다. 경계선 강조정보를 이용한 방법은 인간의 시각 특성을 고려하여 지역적 밝기의 평균과 픽셀간의 차이값 및 경계선 강화 조절계수를 이용하여 하프톤 영상의 선명도를 향상한다^[6]. 이 방법은 하프톤 영상의 경계선 개선뿐만 아니라 원영상과 유사한 화질의 하프톤 영상의 생성이 가능하지만, 경계선의 강조 정도를 결정하기 위한 조절계수는 입력영상에 따라 가변적으로 결정되어야 하며, 상대적으로 많은 계산을 필요로 한다. 본 논문에서는 하프톤 영상의 경계선 개선을 위해 오차 정보와 경계선을 기반으로 오차필터를 적응적으로 결정하는 오차 확산법을 제안한다. 이를 위해 입력 영상의 경계선을 검출하여 경계선 맵(edge map)을 만들고, 오차 확산 과정에서 발생하는 양자화 오차와 경계선 분포에 따라 인접 픽셀에 확산할 오차의 양과 방향을 결정하기 위한 오차필터의 가중치를 적응적으로 재결정한다. 이 방법은 경계선 정보와 양자화 오차 정보만을 고려하여 오차필터의 가중치를 결정하는 방법으로 기존의 하프톤 영상의 경계선 개선을 위한 방법들과 비교해 상대적으로 적은 프로세스 자원을 사용하여 하프톤 영상의 경계선을 개선할 수 있다.

II. 오차확산법

오차 확산법은 피드백(feedback) 루프를 가진 알고리즘으로 임계값(threshold)을 이용하여 현 픽셀의 값을

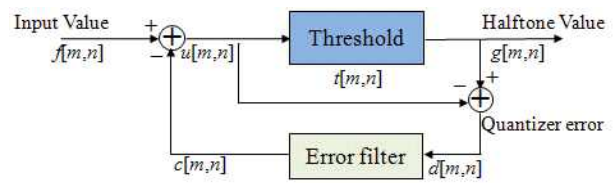


그림 1. 전형적인 오차 확산법의 블록 다이어그램
Fig. 1. Block diagram of typical error diffusion method.

양자화(quantization) 하고, 이때 발생한 양자화 오차는 오차필터를 통해 인접픽셀로 확산하여 원 영상을 재생성한다. 이 경우 적용되는 오차필터의 종류에 따라 인접픽셀에 확산되는 오차의 양과 확산 범위를 결정할 수 있다. 일반적인 오차 확산법의 블록 다이어그램(block diagram)은 그림 1과 같다.

그림 1의 각 단계는 다음의 수식들을 통해 계산된다.

$$u[m,n] = f[m,n] + c[m,n] \tag{1}$$

식(1)의 $f[m,n]$ 은 m, n 위치의 입력 계조값이고, $u[m,n]$ 은 피드백된 오차에 의해 수정된 계조값을 나타낸다. 또한, $d[m,n]$ 은 양자화 오차가 오차필터를 통과한 이후의 값이며, 이는 다음과 같다.

$$c[m,n] = \sum_{k,l} w[k,l]d[m-k,n-l] \tag{2}$$

식(2)의 $w[k,l]$ 은 오차필터 내 (k,l) 위치의 필터 가중치이고, $d[m-k,n-l]$ 은 인접픽셀로부터 확산된 오차값들이다. $g[m,n]$ 과 $d[m,n]$ 은 다음의 식을 통해 결정된다.

$$g[m,n] = \begin{cases} 1, & \text{if } u[m,n] \geq t[m,n] \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{3}$$

$$d[m,n] = u[m,n] - g[m,n] \tag{4}$$

$g[m,n]$ 은 수정된 입력 픽셀값 $u[m,n]$ 의 양자화 값이며, $d[m,n]$ 은 수정된 입력값과 양자화된 결과값간의 차이를 통해 획득한 오차이다. 또한, $t[m,n]$ 은 $g[m,n]$ 을 결정하기 위한 임계값이다. 제안된 방법은 하프톤 영상의 경계선 강화를 위하여 인접픽셀의 경계선 분포에 따라 식(2)의 $w[k,l]$ 을 적응적으로 결정한다.

III. 적응적 오차 확산법

본 논문의 제안된 방법은 Floyd방법과 동일한 크기의 오차필터를 적용함에도 불구하고 하프톤 영상의 경계선을 개선할 수 있다. 이 방법은 먼저 원영상을 경계선영역

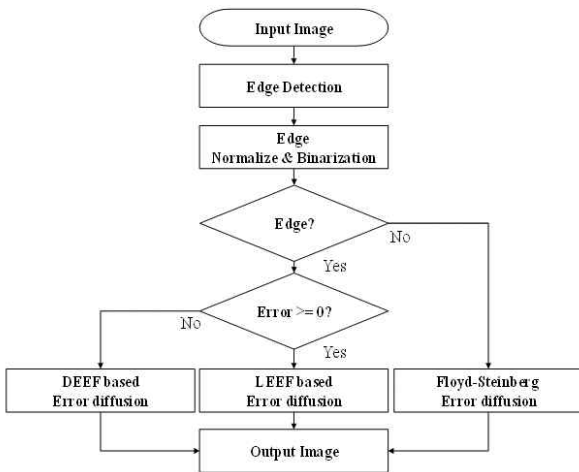


그림 2. 제안된 방법의 흐름도
Fig. 2. Flow-diagram of proposed method.

과 비경계선영역으로 구분한다. 그리고 경계선 영역에 대해서는 적응적으로 결정된 오차 필터를 사용하고, 비경계선 영역은 Floyd의 오차필터를 사용하여 하프톤 영상을 생성한다. 제안된 방법의 흐름도는 그림 2와 같다.

1. 경계선 검출

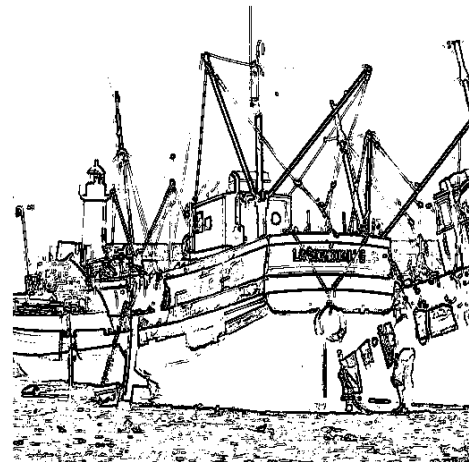
제안된 방법은 적응적인 오차필터의 결정을 위해 먼저 경계선영역과 비경계선영역을 구분한다. 이를 위해 전처리 과정에서, 경계 검출연산자로 가장 널리 사용되는 소벨 연산자(Sobel operator)를 사용한다. 소벨 연산자를 통해 검출된 경계선들은 공간변화량에 따라 다양한 분포의 값들로 구성된다. 따라서 제안된 방법에서는 경계선의 값들을 0~1로 정규화하여 경계선 맵을 만들고, 이에 대해 Otsu 이진화 방법을 통해 획득된 임계값을 이용하여 경계선과 비 경계선을 구분한다. 그림 3은 이러한 방법을 이용하여 검출된 경계선들을 나타낸다. 그림 3(a)는 원영상을 나타내고, 그림 3(b)는 검출된 경계선들을 나타낸다. 그림 3(b)의 흑색 부분은 경계선 영역이고, 백색 부분은 비경계선 영역을 나타낸다.

2. 적응적 오차필터

일반적으로, 영상의 경계선 개선을 위해서는 경계선 영역의 계조값들에 대한 공간변화량을 증가시키고, 밝은 부분의 경계선은 더욱 밝게, 어두운 부분의 경계선은 더욱 어둡게 해야 한다. 또한, 인접 픽셀로 확산하는 오차의 양이 증가할수록 0과 1이 교차하는 jagged 경계선이 생성되기 때문에 경계선의 위치를 고려하여 오차를 확산해야 한다. 이러한 내용을 기반으로 제안된 방법은 적절한 계



(a)



(b)

그림 3. 경계선 검출 결과 (a)원영상, (b) 검출된 경계선
Fig. 3. Result of edge detection.
(a)original image, (b) detected edge

산량을 고려하여 Floyd방법과 동일한 크기의 오차필터를 사용하고, 경계선의 형태에 따라 밝은 경계선 강조 오차필터(Lightness Edge Boosting Error Filter; LEEF)와 어두운 경계선 강조 오차필터(Darkness Edge Boosting Error Filter; DEEF)를 적응적으로 결정한다.

LEEF 또는 DEEF가 결정되면, 현 픽셀의 양자화 오차와 인접 픽셀의 경계선 분포 및 예상 양자화 결과를 고려하여 최종 오차필터를 생성한다. 오차필터 결정 시 사용되는 예상 양자화 결과는 인접픽셀들로부터 오차가 확산되기 전의 양자화 결과 값을 말한다.

가. 밝은 경계선 강조 오차필터(LEEF)

양자화 결과를 0과 1인 두 개의 레벨로 정의한다면, LEEF는 식 (4)의 $d[m,n]$ 이 양의 값을 가질 때, 인접 픽셀

의 예상 양자화 결과가 1인 방향으로만 오차를 확산하도록 오차필터를 결정하는 방법이다. 만약, $d[m,n]$ 이 양의 값을 가짐에도 불구하고, 예상 양자화 결과가 0인 방향으로 오차를 확산하게 되면, 0이 되어야 할 계조들이 1로 전환될 확률을 증가시켜 경계선을 약화 시킬 수 있다. 따라서 경계선영역의 밝기값에 대한 변화량을 최소화하기 위해 LEEF를 적용한다. LEEF의 가중치는 다음을 통해 결정된다.

$$W'_{(k,l)} = \begin{cases} W_{(k,l)} + \frac{T_W}{T_R} \times R_{(k,l)} & \text{if } NP_{(m+k,n+l)} \geq t[m,n] \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

식 (5)에서 NP (neighbor pixel)는 인접 픽셀의 계조 값을 나타내고, $t[m,n]$ 은 식 (3)과 동일하다. 또한, $W'_{(k,l)}$ 은 오차 필터의 (k,l) 위치에 대한 재결정된 가중치이고, $W_{(k,l)}$ 과 $R_{(k,l)}$ 은 각각 Floyd 오차 필터의 가중치와 가중치 비(weight ratio)를 나타낸다. Floyd 오차 필터의 가중치 비는 처리 픽셀을 중심으로 시계 방향으로 7:1:5:3의 비를 가진다. T_W 와 T_R 은 Floyd 오차필터가 오버랩되는 영역의 인접 픽셀들 중 예상 양자화 결과가 0인 가중치 합과 1인 가중치 합을 의미하고, 이는 다음과 같다.

$$\begin{cases} T_W = \sum_{NP_{(m+k,n+l)} \in S_l} W_{(k,l)} \\ T_R = \sum_{NP_{(m+k,n+l)} \in S_u} R_{(k,l)} \end{cases} \quad (6)$$

식(6)의 S_l 과 S_u 는 각각 인접 픽셀들 중 예상 양자화 결과가 0인 픽셀들의 집합과 1인 픽셀들의 집합을 나타낸다.

나. 어두운 경계선 강조 오차필터(DEEF)

DEEF는 LEEF의 경우와 반대로, $d[m,n]$ 이 음의 값을 가질 때, 인접 픽셀의 예상 양자화 결과가 0인 방향으로만 오차를 확산하기 위한 오차필터이다. DEEF는 다음의 수식을 이용하여 오차 필터의 가중치를 결정할 수 있다.

$$W'_{(k,l)} = \begin{cases} 0 & \text{if } NP_{(m+k,n+l)} \geq t[m,n] \\ W_{(k,l)} + \frac{T_W}{T_R} \times R_{(k,l)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} T_W = \sum_{NP_{(m+k,n+l)} \in S_u} W_{(k,l)} \\ T_R = \sum_{NP_{(m+k,n+l)} \in S_l} R_{(k,l)} \end{cases} \quad (8)$$

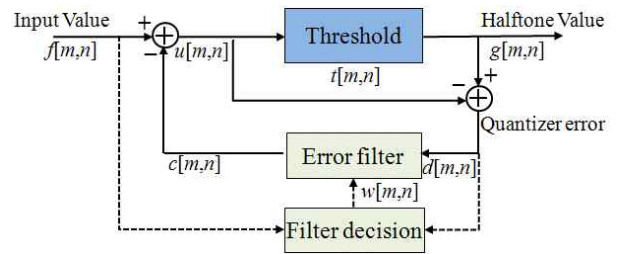


그림 4. 제안된 오차 확산법의 시스템 블록도
Fig. 4. System block of proposed method.

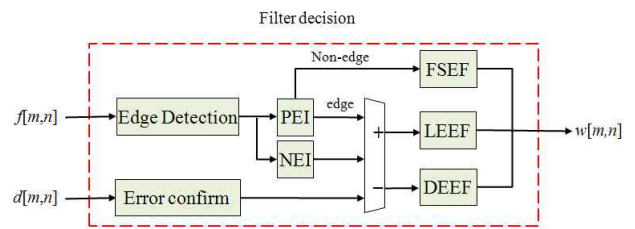


그림 5. Filter decision의 내부 블록도
Fig. 5. Internal block diagram of filter decision.

식 (7)과 (8)에 사용된 변수들은 식 (5)와 (6)의 변수들과 동일하다. LEEF와 DEEF를 이용한 경계선 정보 기반의 적응적 오차 확산법의 전체적인 블록 다이어그램은 그림 4와 같이 나타낼 수 있으며, 그림 4의 Decision filter의 내부 구조에 대한 블록 다이어그램은 그림 5와 같다. 그림 5의 PEI(present pixel edge information)와 NEI (neighbor pixels edge information)는 각각 현 픽셀의 경계선 정보와 인접픽셀의 경계선 정보를 나타내고, FSEF는 Floyd방법의 오차필터를 나타낸다.

IV. 실험 결과 및 분석

제안된 방법의 성능 평가를 위해 영상처리에 널리 사용되는 baboon, boat, finlab, lena, pepper를 실험 영상으로 사용하고, Floyd방법^[1], Jarvis방법^[2], Edge-adaptive 방법^[3], IEE 방법^[6]과 같은 기존방법들과 제안된 방법의 결과 영상을 비교 평가한다. 그리고 이들 실험결과에 대한 객관적인 화질 평가를 수행한다.

일반적으로 화질 평가는 직접 시각 평가방법과 평가척도를 이용한 방법이 있다. 직접 시각평가 방법은 인간이 직접 영상을 보고 화질을 평가하는 방법으로 인지화질 측면에서는 타당하지만, 인간의 심리적인 상태나 사전지식 그리고 관측 환경에 따라 실험결과가 다소 왜곡 될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 인간의 시각 특성을 고려하지 않고 결과 영상의 정보만을 이용한 화질 평가척도를

사용한다. 이를 위해 하프톤 영상의 화질 평가 방법으로 사용되는 경계상관도(edge correlation)와 국부 평균 일치도(Local average accordace)를 이용하여 제안된 방법의 성능을 비교 평가한다^[7].

1. 경계상관도(edge correlation)

영상의 경계선은 많은 정보를 포함하고 있고, 화질 평가 측면에서 영상의 선명도는 경계선의 개선 정도에 따라 결정된다. 따라서 원 영상과 하프톤 영상의 경계선의 일치 정도를 평가할 수 있는 경계상관도는 하프톤 영상의 화질 평가에 있어 중요하다. 경계상관도는 다음의 식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$C_E = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} c_{edge}(i, j) \quad (9)$$

$$c_{edge}(i, j) = \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 H(k, l) D_I(k, l) D_B(k, l) \quad (10)$$

$H(k, l)$ 은 인간의 시각 특성을 고려한 3x3의 가중치 행렬로 수직과 수평방향에는 0.1465의 값을 가지고, 대각선 방향에는 0.1035의 값을 가진다. 또한, $D_I(k, l)$ 과 $D_B(k, l)$ 은 각각 다음의 식을 통해 획득할 수 있다.

$$D_I(k, l) = I_h(i, j) - I_h(i - k, j - l) \quad (11)$$

$$D_B(k, l) = B_h(i, j) - B_h(i - k, j - l) \quad (12)$$

식(11)과 (12)에서 $I_h(i, j)$ 는 원영상을 나타내고, $B_h(i, j)$ 는 하프톤영상에 7x7의 가우시안 저주파 필터를 통과 시켜 획득된 결과영상을 나타낸다. 경계상관도는 원영상과 하프톤 영상 간 경계선을 표현하는 능력을 평가하는 척도로 C_E 의 값이 증가할수록 경계선 부분이 잘 일치한다고 판단할 수 있다.

2. 국부 평균 일치도(Local average accordace)

국부 평균 일치도는 하프톤 영상이 원 영상을 얼마나 적절히 보존하는지를 평가하는 척도이다. 만약, 국부 평균 일치도가 낮다면 하프톤 영상의 평균 밝기 및 명암 비가 원영상과 상당히 달라질 것이다.

국부 평균 일치도를 평가하기 위해서는 먼저 원영상과 결과 영상을 특정 크기의 영역으로 분할하고, 이들 영역의 평균 밝기를 획득한다. 국부 평균 밝기는 다음을 통해

획득할 수 있다.

$$L_{mI} = \frac{1}{M^2} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} I_h(i, j) \quad (13)$$

$$L_{mB} = \frac{1}{M^2} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} B_h(i, j) \quad (14)$$

식 (14)의 $B_h(i, j)$ 는 식 (12)의 값과 같고, L_{mI} 와 L_{mB} 는 각각 원영상과 하프톤 영상의 국부 평균값을 나타낸다. 또한, M^2 은 국부 평균값을 구하기 위한 분할된 영역의 크기이다. 국부 평균 일치도는 다음의 식을 통해 계산된다.

$$A_{Lm} = \frac{1}{E[(L_{mI} - L_{mB})^2]} = \frac{1}{\frac{1}{N^2} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{M-1} (L_{mI}(k, l) - L_{mB}(k, l))^2} \quad (15)$$

식 (15)의 N^2 은 국부 영역의 개수를 나타낸다. 국부 평균 일치도를 나타내는 A_{Lm} 은 값이 증가할수록 시각적으로 원영상과 가장 유사한 결과 영상을 생성한 것이고, 원영상과 하프톤 영상과의 국부 평균 차이는 전역적인 평균 차이와 비례관계에 있다.

3. 실험결과

그림 6과 7은 기존 오차 확산법들과 제안된 오차 확산법을 각각 boat와 finlab에 적용한 실험결과 영상이다. 그림 6의 boat영상은 적절한 화질 평가를 위해 결과 영상 부분 확대하였다. 가장 널리 사용되는 Floyd방법은 그림 6(b)에서 하프톤 영상의 전반에 걸쳐 경계선을 약화시킨다. 특히, 등대 부분의 약한 경계선들을 많이 흐트려 하프톤 영상의 선명도를 저하시켰다. 하지만, 그림 7(b)는 원영상이 상대적으로 강한 경계선을 많이 포함하고 있기 때문에 Floyd 방법을 적용함에도 불구하고, 비교적 좋은 화질의 하프톤영상을 획득할 수 있었다. 그림 6(c)의 Jarvis방법은 Floyd방법과 비교해 경계선을 상당히 개선할 수 있었지만, 큰 오차 필터의 사용으로 비경계선 부분에 시각적으로 보기 좋지 않은 상관 패턴들을 발생시켰다. 이러한 결과는 그림 7(c)에서도 확인할 수 있다.

그림 6(d)의 Edge-adaptive방법은 boat영상의 깃대 부분과 같은 강한 경계선 부분에 지그재그한 경계선(jagged edge)을 발생 시켰고, 약한 경계선의 개선효과는 다소 미비하다. Jagged edge는 그림 7(d)의 도표의 테두리 부분과 숫자 부분에서도 쉽게 확인할 수 있다.

IEE방법은 하프톤 영상을 왜곡하지 않고 자연스럽게 경계선을 향상 시킬 수 있었다. 또한, 정보량 조절 계수를 증가시켜 경계선을 더욱 강조할 수 있다. 하지만 경계선 개선을 목적으로 정보량 조절계수를 큰 값으로 설정할 경우, 경계선이 필요 이상으로 강해져 영상을 부자연스럽게 만들고, 국부 평균 일치도 역시 저하되어 좋은 화질의

하프톤 영상을 획득할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 경계 상관도와 국부 평균 일치도를 모두 고려하여 조절 계수를 약 0.48로 결정하였다. 몇몇의 실험을 통해, IEE 방법은 일반적인 영상에서 하프톤 영상의 경계선을 상당히 개선할 수 있지만, 정보량 조절 계수가 입력 영상에 따라 실험적으로 결정되어야 하는 단점이 있다. 또한, 이 방법

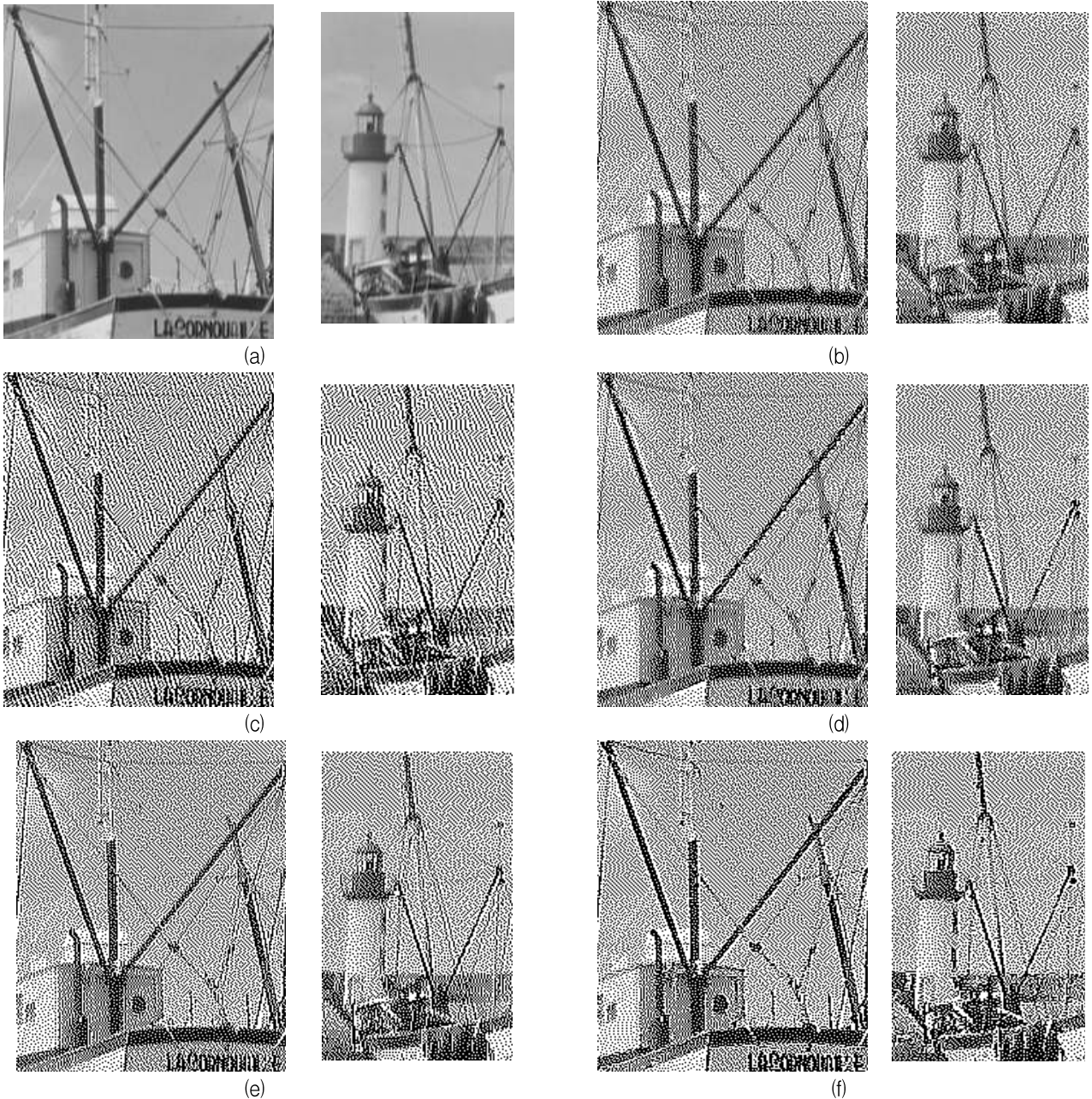


그림 6. 기존 방법들과 제안된 방법의 화질평가(boat)

(a) 원영상, (b)Floyd방법, (c)Javis 방법, (d)경계선 적응적 방법, (e)경계선 정보량을 이용한 방법, (f)제안된 방법

Fig. 6. Image quality evaluation of conventional methods and proposed method(boat).

(a)original image, (b)Floyd-Steinberg method, (c)Javis-Judice method, (d)edge-adaptive method, (e)IEE method, (f)proposed method

은 그림 7(e)의 도표의 테두리와 같이 좁은 영역에서 공간 변화량이 급격하게 변화하는 영역에서는 경계선이 두 겹으로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 경계선을 모호하게 표현할 수 있다.

이와는 대조적으로, 제안된 방법은 기존 방법들과 비교해 하프톤 영상의 경계선들을 상당히 개선하였고, 특히, 그림 6(f)의 깃대 부분에 해당하는 강한 경계선들과 등대

부분에 해당하는 약한 경계선들을 적절히 개선하였다. 또한, 기존 방법들과 비교해 그림 6(f)의 배 뒷면에 쓰여진 글씨와 그림 7(f)의 도표 내 숫자를 보다 선명하게 표현할 수 있었으며, 오차 확산법의 적용 과정에서 추가적인 상관 패턴 역시 발생 시키지 않았다. 이외에도 다양한 실험을 통해, 제안된 방법은 추가적인 화질 문제를 발생시키지 않고, 하프톤 영상의 경계선을 적절히 개선할

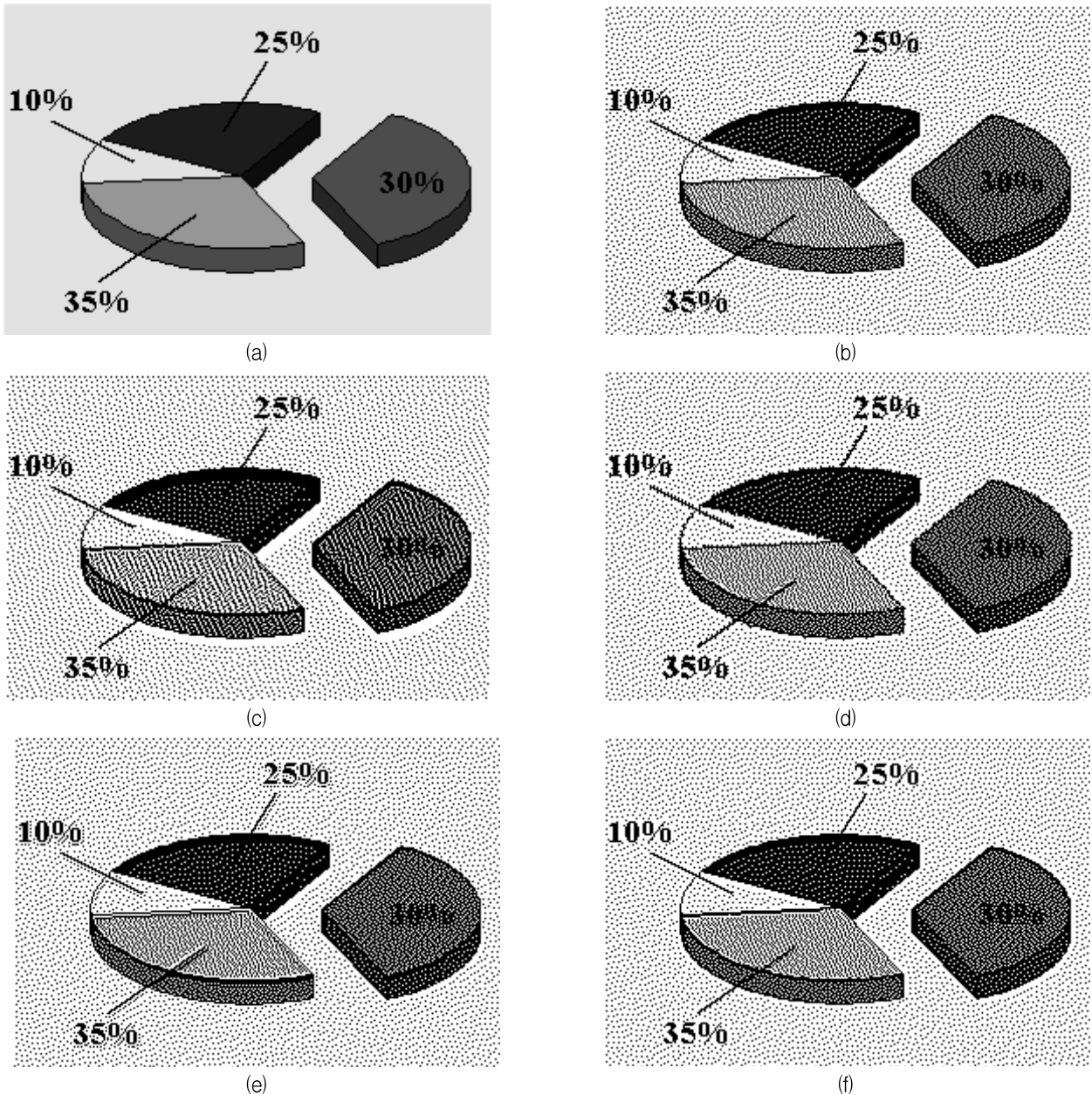


그림 7. 기존 방법들과 제안된 방법의 화질평가(finlab)

(a) 원영상, (b)Floyd방법, (c)Jarvis 방법, (d)경계선 적응적 방법, (e)경계선 정보량을 이용한 방법, (f)제안된 방법

Fig. 7. Image quality evaluation of conventional methods and proposed method(finlab).

(a)original image, (b)Floyd–Steinberg method, (c)Jarvis–Judice method, (d)edge-adaptive method, (e) IEE method, (f)proposed method

표 1. 기존 방법들과 제안된 방법의 경계상관도
Table 1. Edge correlation of conventional method and proposed method.

| | Floyd | Javis | Adaptive | IEE | Proposed |
|--------|-------|-------|----------|-------|----------|
| Baboon | 1.0 | 1.561 | 1.124 | 1.597 | 1.653 |
| Boat | 1.0 | 1.512 | 1.055 | 1.584 | 1.625 |
| Finalb | 1.0 | 0.978 | 0.824 | 1.096 | 1.153 |
| Lena | 1.0 | 1.426 | 0.997 | 1.521 | 1.492 |
| Pepper | 1.0 | 1.517 | 0.964 | 1.386 | 1.475 |

표 2. 기존 방법과 제안된 방법의 국부 평균 일치도
Table 2. Local average accordance of conventional method and proposed method.

| | Floyd | Javis | Adaptive | IEE | Proposed |
|--------|-------|-------|----------|-------|----------|
| Baboon | 1.0 | 1.078 | 1.011 | 1.052 | 1.095 |
| Boat | 1.0 | 0.925 | 1.016 | 0.938 | 1.002 |
| Finalb | 1.0 | 0.965 | 0.984 | 1.036 | 1.041 |
| Lena | 1.0 | 1.089 | 1.034 | 1.017 | 1.051 |
| Pepper | 1.0 | 1.022 | 0.961 | 0.954 | 1.039 |

수 있었다.

표 1과 표 2는 주어진 실험영상에 대해 기존 방법들과 제안된 방법의 경계상관도 및 국부 평균 일치도를 평가한 결과를 나타낸다. 이들 표에서는 Floyd방법에 의해 생성된 결과값을 1.0으로 정규화 하여 나타냈으며, 이 값들이 증가할수록 각 항목에서 좋은 화질로 평가된다.

표 1의 경계상관도에서는 IEE방법과 제안된 방법이 상대적으로 좋은 평가를 받았으며, 특히, 제안된 방법은 pepper영상과 Lena 영상을 제외한 나머지 영상에서 경계상관도가 가장 높은 평가를 받을 수 있었다. 표 2의 국부 평균 일치도에서는 Floyd방법이 상대적으로 좋은 평가를 받아 경계선 개선을 위한 방법들이 다소 저평가되었지만 전체적으로 Javis방법과 제안된 방법이 좋은 평가를 받을 수 있었다.

좋은 화질의 하프톤 영상으로 평가되기 위해서는 경계상관도와 국부 평균 일치도가 모두 높은 값을 가져야 한다. 즉, boat영상의 경우, IEE방법은 경계상관도에서 좋은 평가를 받았지만 국부 평균 일치도에서 좋지 않은 평가를 받았기 때문에, 좋은 화질의 하프톤 영상으로 평가되기 어렵다. 이러한 평가방법을 바탕으로 표1과 표2를 통해, 제안된 방법은 기존 방법들과 비교해 하프톤 영상

의 경계선을 적절히 개선하면서 원 영상을 가장 잘 재현한 것으로 평가 된다.

V. 결 론

오차 확산법은 하프톤 영상을 생성하기 위한 좋은 방법이지만, 경계선을 약화 시켜 영상의 선명도를 저하한다. 이러한 문제를 개선하기 위해 본 논문에서는 하프톤 영상의 경계선 강화를 위한 적응적 오차 확산법을 제안하였다. 이 방법은 원 영상의 경계선을 검출하고, 특정 임계값을 이용하여 경계선 영역과 비경계선 영역으로 구분한다. 그리고 오차 확산과정에서 발생하는 오차 정보와 인접픽셀의 경계선 정보를 통해 오차필터를 적응적으로 생성하여 오차 확산법을 수행하는 방법이다.

본 논문에서는 제안된 방법의 객관적인 화질 평가를 위해 경계상관도와 국부 평균 일치도를 이용하여 기존 방법과 성능을 비교 평가하였다. 그 결과 대부분의 실험 영상에서 제안된 방법이 좋은 평가를 받았으며, 이는 실험 결과영상을 통해 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] R. Floyd and L. Steinberg, "Adaptive algorithm for spatial grayscale," in Proc. Soc. Image Display vol.17, 1976.
- [2] J. F. Javis, C. N. Judice, and W. H. Ninke, "A survey of techniques for the display of continuous-tone pictures on bilevel displays," in Proc Comp. Graph. Image. vol.5, pp.13-40, 1976.
- [3] X. Li, "Edge-directed error diffusion halftoning", IEEE Signal Processing Letters, vol. 13, no.11, Nov 2006.
- [4] K. L. Chung, S. C. Pei, Y. L. Pan, W. L. Hsu, Y. H. Huang, W. N. Yang, and C. H. Chen, "A gradient-based adaptive error diffusion method with edge enhancement," Journal of Expert Systems with Applications, vol.387 no.3, pp.1591-1601, 2011.
- [5] C. Y. Su and Y. L. Sie, "Edge-adaptive error diffusion using chaotic threshold modulation," in Proc, IEEE int. Conf. Circuits and Systems, pp. 718-721, 2009.
- [6] 광내정, 안재형, "에지 강조 정보를 이용한 오차확산 해프톤링", 전자공학회 논문지 제 42권 3호, 107-114쪽, 2005년.
- [7] T. H. Kang, T.S. Lee, S.Y. Ohn, and B. W.

Hwang, "A Novel edge enhanced error diffusion," in Proc 7th Digital Image Computing: Techniques and Applications, pp.539-548, 2003.

저 자 소 개



김 상 철(정회원)

2006년 경일대학교 전자공학과
학사 졸업

2008년 경북대학교 전자공학과
석사 졸업

2011년 현재 경북대학교 전기
전자컴퓨터학부 박사과정

<주관심분야 : 영상처리, 디스플레이 화질개선,
신호처리, 컴퓨터 비전>



진 성 일(정회원)-교신저자

1977년 서울대학교 전자공학과
학사 졸업

1981년 한국과학기술원
전자공학과 석사 졸업

1988년 Carnegie Mellon 대학교
박사 졸업

1977년~1978년 (주)대영전자공업 연구원

1982년~현재 경북대학교 전자전컴퓨터학부 교수

<주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 패턴인식>