

대칭 오차 확산에 의한 그래픽 영상의 디더링 기법

권 성 복[†] · 김 영 모^{††}

요 약

디더링이란 두가지의 밝기 해상도만을 이용하여 더 많은 밝기 해상도를 가진 영상을 표현하는 기술이다. 본 논문에서는 인접 화소에 오차를 대칭적으로 확산시키는 새로운 디더링 알고리즘을 제안하였다. 본 방법은 그래픽 영상에 대해서 오차 확산 디더링에서 발생하는 아티팩트 문제와 순서 디더링에서 특정 밝기의 재생이 어려운 문제점을 개선하였다. 본 방법을 그래픽 영상에 적용한 결과 기존 디더링 방법의 취약점을 개선함을 볼 수 있었다.

Graphic Image Dithering Technique Based on Symmetric Error Diffusion

Sung-Bok Kwon[†] · Young-Mo Kim^{††}

ABSTRACT

Spatial dithering techniques are the method of rendering the illusion of continuous-tone pictures on displays that are capable of producing only binary picture elements. In this paper, we propose a new dithering algorithm which diffuses error into nearby pixels symmetrically. This method complements the artifacts of the error diffusion dither for the graphic images and the short-comings of the ordered dither that can't display some intensity level. We applied this method to graphic images and obtained results that complement the short-comings of conventional method.

1. 서 론

영상을 디스플레이 하는데 있어서 제한된 밝기 해상도만을 이용하여 더 많은 밝기 해상도를 가진 영상을 표현해야 하는 경우가 여러 가지 있다. 예를 들면 프린터, 팩스 등은 대부분 두 가지의 밝기만으로 영상을 표현하게 되는데 이런 경우 원 영상의 밝기 해상도를 효과적으로 표현하는 방법이 필요하다. 이와

같이 원영상을 두 가지의 밝기만으로 표현하는 기법을 디더링(dithering) 혹은 영상 이진화(halftoning)라고 하며 다양한 알고리즘이 존재한다. 대표적인 디더링 방법으로는 순서 디더링(ordered dithering)과 오차 확산 디더링(error diffusion dithering) 등이 있으며 최근에는 오차의 주파수 특성을 고려한 방법이 제안되고 있다.^{[1][2][3][4][5][6]}

순서 디더링은 임계값을 화소의 위치에 따라 변화 시킴으로써 원영상으로부터 이진 영상을 재생해내는 방법이다.^[2] 이 방법은 영상에서 일정한 밝기의 변화를 가지는 부분이나 형태가 단순한 물체를 표현하는 영상에 대해서는 좋은 결과를 보여준다. 그러나 임계

[†] 준 회 원: 경북대학교 전자공학과

^{††} 정 회 원: 경북대학교 전자공학과

논문접수: 1996년 10월 14일, 심사완료: 1997년 5월 19일

행렬의 값이 고정되므로 영상의 미세한 부분의 표현이 어렵고 임계 행렬의 특성에 의해 원영상에 나타나지 않는 무늬가 나타나며 특정 밝기를 재생하지 못하는 문제점이 발생한다. 반면 오차 확산 디더링은 한 화소를 이진화할 때 발생하는 오차를 오차 확산 필터에 의해 주변 화소들에 적절히 분산시킴으로써 세밀한 부분의 표현이 가능하고 자연 영상(real image)의 표현에 적합하다.^[2] 그러나 오차 확산 필터에 의해 분산되는 오차는 한 방향으로 누적되므로 밝기가 일정한 영역에서는 점들이 뭉쳐지는 모양의 무늬가 발생하고 영상의 경계선 부분이 뚜렷하게 표현되지 못하는 단점이 있다.

본 논문에서는 오차 확산 방법을 개선하여 인접 화소에 오차를 대칭적으로 확산시킴으로써 그래픽 영상에 대하여 순서 디더링과 오차 확산 디더링의 단점을 상호 보완하는 성격의 새로운 디더링 알고리즘을 제안하였다. 즉, 오차 확산 디더링에서 오차를 좌에서 우로, 위에서 아래로 확산시킴으로써 밝기가 일정한 영역에서 무늬가 발생하는 문제점과 순서 디더링의 임계 행렬을 고정함으로써 특정 밝기를 재생하지 못하는 문제점을 개선하였다. 그리고 현재 화소의 오차를 인접 화소로 확산할 때 두 화소간의 밝기 차이에 반비례하는 가중치를 둬으로써 영상의 경계 부분의 표현을 개선하였다.

2. 기존의 디더링 기법

2.1 순서 디더링

순서 디더링은 하나의 고정 임계값을 사용하는 것이 아니라 화소의 위치에 따라 다른 값으로 구성된 임계 행렬을 사용하여 원영상으로부터 이진 영상을 재생해내는 방법이다. 임계값이 미리 고정되지만 다양한 값의 행렬로 구성되므로 고정 임계값의 특징과 랜덤 임계값의 특징을 동시에 만족시킨다.^{[1][3]}

$n \times n$ 크기의 임계 행렬을 D^n 이라고 할 때 순서 디더링은 다음과 같은 과정으로 처리된다. 먼저 현재 처리할 원영상의 위치를 (x, y) 라고 하면 이 화소에 대한 임계값의 임계 행렬에서의 위치 (i, j) 는 다음의 수식 (1)에서와 같다.

$$i = x \text{ mod } n,$$

$$j = y \text{ mod } n. \tag{1}$$

여기서 mod는 나머지를 계산하는 연산자를 의미한다. 현재 처리할 원영상의 화소의 값 I_{xy} 에 대해서 재생될 이진 영상의 값 P_{xy} 는

$$\text{If } I_{xy} > D_{ij}^n, \quad \text{then } P_{xy} = R, \\ \text{else } P_{xy} = 0. \tag{2}$$

처럼 표시할 수 있다. 여기서 R 은 최대 밝기 값을 나타내며 256 그레이 레벨 영상에 대해서는 255의 값을 나타낸다.

순서 디더링은 임계 행렬의 값이 고정되므로 계산 과정이 단순하고 낮은 해상도의 영상이나 밝기가 일정한 영역의 재생 화질이 뛰어나다. 그러나 임계 행렬의 특성상 격자 모양의 무늬가 발생하고 자연 영상과 같이 높은 해상도의 영상에 대해서는 미세한 부분을 제대로 표현할 수 없는 단점이 있다. 특히 임계 행렬의 값이 고정되므로 표현할 수 있는 밝기의 해상도가 제한되어 특정 밝기를 표현하지 못하는 어려움이 있다.

2.2 오차 확산 디더링

오차 확산 디더링은 현재 화소의 이진 처리 오차를 이진화 되지 않은 주변 화소들에 적절히 분산시키는 방법으로 Floyd와 Steinberg에 의해 처음 제안되었다.^{[2][3][4]}

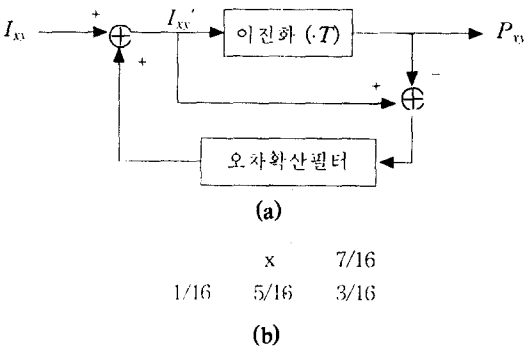
이 방법을 블록도로 살펴보면 (그림 1)의 (a)에서와 같다. (x, y) 위치의 입력 화소의 밝기 I_{xy} 에 대하여 임계값 T 에 의해 이진화한 결과 값을 P_{xy} 라고 하면, 이때 발생하는 오차를 오차 확산 필터를 이용하여 주변 화소로 확산시킨다. 즉, 이진화의 결과 값 P_{xy} 는

$$\text{If } I_{xy} > T, \quad \text{then } P_{xy} = R, \\ \text{else } P_{xy} = 0. \tag{3}$$

이고 여기서 R 은 최대 밝기 값을 의미한다. 현재의 입력 I_{xy} 는 오차 확산 필터에 의해 이전에 발생한 이진 처리 오차와 더해져서 I_{xy}' 가 되고 이 값과 임계값으로 이진화 시킨 결과값 P_{xy} 와의 차이를 확산 오차 E_{xy} 라고 한다. 즉, 확산 오차 E_{xy} 는

$$E_{xy} = I_{xy} - P_{xy} \quad (4)$$

처럼 되고 이 값을 오차 확산 필터에 의해서 다시 주변 화소로 분산시킨다. 이 때 사용되는 오차 확산 필터는 Jarvis, Sierra, Burkes, Stucki, Floyd, Steinberg 등에 의해서 제안되었는데 현재는 Floyd와 Steinberg에 의해 제안된 방법을 가장 많이 쓴다.^{[3][8]} (그림 1.(b))



(그림 1) 오차 확산 알고리즘
 (a)블록도 (b)Floyd-Steinberg 오차 확산 필터
 (Fig. 1) The error diffusion algorithm
 (a)Block diagram. (b)Floyd-Steinberg's filter

오차 확산 디더링은 순서 디더링에 비해 미세한 부분의 표현이 가능하고 밝기의 변화가 심한 자연 영상을 잘 표현할 수 있다. 그러나 오차 확산 필터에 의해 분산되는 오차는 한 방향으로 누적되므로 밝기가 일정한 영역에서는 점들이 뭉쳐지는 모양의 무늬가 발생하고 영상의 경계선 부분이 뚜렷하게 표현되지 못하는 단점이 있으므로 다소 단순한 그래픽 영상의 표현에는 적합하지 않다. 이와 같은 현상은 오차 확산 필터의 형태가 오차를 우측과 아래로 치우친 결과이고 이것을 해결하기 위해서 대칭적인 오차 확산 방법이 요구된다.

3. 대칭 오차 확산 디더링

기존의 오차 확산 디더링에서의 문제점인 오차 확산의 비대칭성을 개선하기 위해서 본 논문에서는 대칭 오차 확산 방법을 제안하였다. 이 방법은 순서 디더링과 오차 확산 디더링의 단점을 상호 보완하는 증

간적인 성격을 지닌다. 즉, 대칭적인 오차 확산으로 순서 디더링에서는 없었던 오차 확산의 기능을 가짐과 동시에 그래픽 영상에 대해서 기존의 오차 확산 디더링의 단점을 보완하는 역할을 한다.

이진 처리의 화소 순서를 정하는 데 있어서 기존의 방식은 좌에서 우로 위에서 아래로 순서적으로 처리를 하지만 제안된 방식은 알고리즘에 의해서 정의된 화소 순서로 진행한다. 즉, 특정 화소를 이진 처리한 후 인접한 화소를 건너뛰어서 다음 화소를 처리함으로써 대칭적인 오차의 확산이 이루어질 수 있도록 하였다.

제안한 대칭 오차 확산 방법은 먼저 영상의 전체 화소의 50%를 이진 처리한 후, 그때 발생하는 오차를 나머지 50%의 화소로 확산하며, 그 후에 다시 처리되지 않은 화소중 50%를 처리하고 나머지 화소로 오차를 확산시키는 과정을 반복한다. 오차는 항상 상하좌우, 혹은 대각선 방향의 4방향으로 확산되므로 오차가 대칭적으로 확산됨을 알 수 있다.

오차를 확산시킬 때 처리를 한 화소의 값과 오차가 확산될 화소의 값의 차이를 계산하여 그 차이의 절대치에 반비례하는 가중치를 확산될 오차에 곱함으로써 영상의 경계 부분의 표현을 개선하였다.

1	2	1	2	1	2	1	2
3	1	4	1	3	1	4	1
1	2	1	2	1	2	1	2
5	1	3	1	6	1	3	1
1	2	1	2	1	2	1	2
3	1	4	1	3	1	4	1
1	2	1	2	1	2	1	2
7	1	3	1	5	1	3	1

(그림 2) 처리될 화소의 순서
 (Fig. 2) The order of pixels to be processed

제안한 방법으로 처리해야할 화소의 순서의 예로 8×8 크기의 영역을 살펴보면 (그림 2)에서와 같다. 첫 번째 이진 처리를 수행해야할 화소는 '1'로 표시되

어 있으며 여기서 발생한 오차는 상하좌우 4방향의 인접 화소로 확산된다. 두 번째는 '2'로 표시되어 있는 화소를 이진 처리 한 후 발생한 오차를 인접 대각선 방향의 4방향으로 확산한다. 이런 과정을 반복하여 모든 화소가 이진 처리되면 종료한다. 제안한 방법에서 처리해야할 화소의 위치 (x, y) 와 오차가 확산될 화소의 위치 P 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

If Odd Iteration, then

$$n = \frac{\text{Iteration} - 1}{2} \quad (5)$$

$$x = 2^{n+1}i + 2^{n-1}(1 + (-1)^{j+1}) \quad (6)$$

$$y = 2^n j + 2^n - 1 \quad (7)$$

$$P = (x, y - 2^n), (x, y + 2^n), \\ (x - 2^n, y), (x + 2^n, y)$$

If Even Iteration, then

$$n = \frac{\text{Iteration}}{2} \quad (9)$$

$$x = 2^n + 2^{n+1}i \quad (10)$$

$$y = 2^n - 1 + 2^n j \quad (11)$$

$$P = (x - 2^n, y - 2^n), (x - 2^n, y + 2^n), \\ (x + 2^n, y - 2^n), (x + 2^n, y + 2^n) \quad (12)$$

$$(i, j = 0, 1, 2, \dots)$$

여기서 Iteration은 현재 처리의 반복 회수를 나타낸다. P 위치의 화소에 확산되어지는 오차는 E 는

$$E = \alpha \frac{(I_{xy}' - P_{xy})}{4} \quad (13)$$

으로 나타내며 여기서 I_{xy}' 는 처리되는 화소의 현재 값을 의미하고 P_{xy} 는 이진화된 값을 의미한다. 그리고 α 는 확산되는 오차의 가중치로서 처리되는 화소와 확산되는 화소 사이의 거리와 밝기 값의 차이에 반비

례한다. 두 화소 사이의 거리가 멀수록 화소간의 연관성(correlation)이 작아지므로 확산시키는 오차의 값을 작게 만든다. 또한 두 화소간의 밝기의 차이가 클수록 두 화소 사이에 영상의 경계(edge)가 있을 확률이 높으므로 역시 확산시키는 오차의 값을 작게 만든다. 가중치 α 에 의해 결과-이진 영상에 필요 없는 점이 생기는 것을 방지할 수 있으며 영상의 경계 부분의 표현을 개선할 수 있었다.

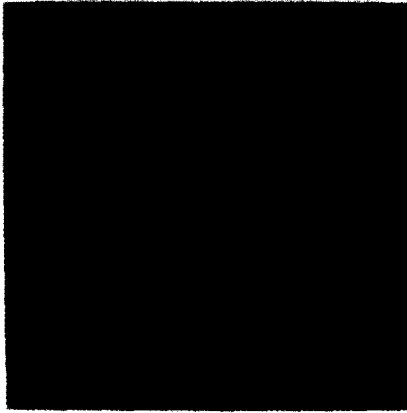
4. 실험 결과 및 고찰

제안한 방법의 성능을 기존의 디터링 방법들과 비교 평가하기 위해서 IBM PC 환경에서 이진(binary) 밝기 해상도를 가진 레이저 프린터를 이용하여 실험하였고 256 그레이 레벨(0: 흑색, 255: 백색)의 단순한 그래픽 영상을 사용하였다.

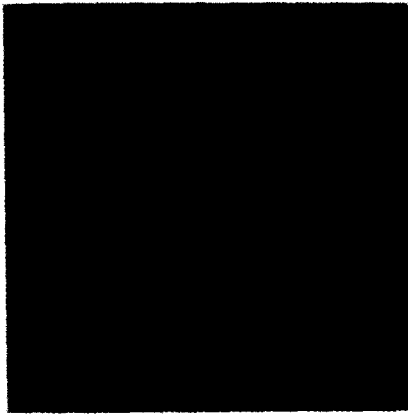
실험의 결과는 (그림 3), (그림 4), (그림 5)에서와 같다. (그림 3)에서는 127, 56, 41의 3가지 밝기 레벨을 가지는 사각형 모양의 그래픽 영상에 대해서 디터링을 실험한 결과-이진 영상을 보였다. Floyd-Steinberg 오차 확산 필터를 이용한 오차 확산 디터링의 결과 영상을 보면 (그림(a))에서처럼 뭉쳐진 점 모양의 무늬가 나타나며, 사각형의 좌측과 아래쪽 경계부분에 물결 모양의 무늬가 나타나는데 이것은 오차의 확산이 좌측과 아래쪽으로 치우친 결과로 발생한다. 4×4 의 임계 행렬을 사용한 순서 디터링을 적용한 결과는 (그림(b))에서와 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 가운데



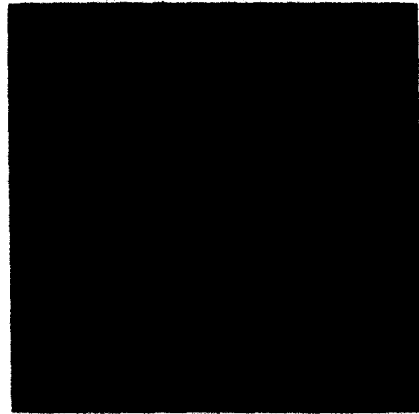
(a)



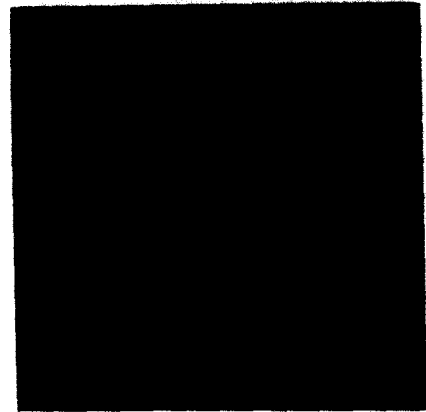
(b)



(c)



(a)



(b)

(그림 3) 그래픽 영상에 대한 디더링 실험 결과 (그레이 값 : 127, 56, 41)

- (a) Floyd-Steinberg의 오차 확산 디더링
- (b) 순서 디더링 (4×4 임계 행렬)
- (c) 제안한 대칭 오차 확산 디더링

(Fig. 3) Dithering results for a graphic image (gray value : 127, 56, 41)

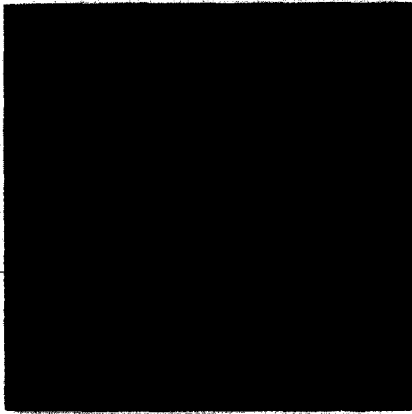
- (a) Floyd-Steinberg's error diffusion dithering
- (b) Ordered dithering (4×4 threshold matrix)
- (c) Symmetric error diffusion dithering

2개의 영역에 대한 밝기를 구분하여 표현하지 못하는 데 이는 임계 행렬을 고정함으로써 표현할 수 있는 밝기가 제한적임을 알 수 있다. 제안한 방법은 오차를 대칭적으로 확산하고 오차 확산 가중치를 둠으로

써 (그림(c))에서 볼 수 있듯이 모든 밝기를 표현하면서 오차 확산 방법 디더링에서 발생하는 물결 모양의 무늬를 제거하였다.

(그림 4)에서는 5, 127, 135의 3가지 밝기 레벨을 가지는 사각형 모양의 그래픽 영상에 대해서 디더링을 실험한 결과를 보였다.

(그림 5)에서는 다른 모양의 그래픽 영상에 대해서 디더링을 실험한 결과를 보였다. Floyd-Steinberg 오차 확산 필터를 이용한 오차 확산 디더링의 결과는 (그림 5)의 (a)에서와 같고 4×4의 임계 행렬을 사용한 순서 디더링을 적용한 결과는 (그림 5)의 (b)에서와 같다. 제안한 대칭 오차 확산 디더링의 결과는 (그림 5)의 (c)에서와 같다.



(c)



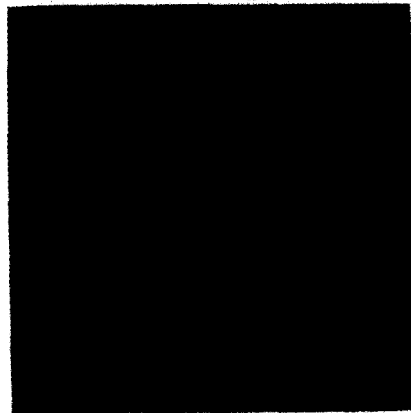
(b)

(그림 4) 그래픽 영상에 대한 디더링 실험 결과 (그레이 값 : 5, 127, 135)

- (a) Floyd-Steinberg의 오차 확산 디더링
- (b) 순서 디더링 (4×4 임계 행렬)
- (c) 제한한 대칭 오차 확산 디더링

(Fig. 4) Dithering results for a graphic image (gray value : 5, 127, 135)

- (a) Floyd-Steinberg's error diffusion dithering
- (b) Ordered dithering (4×4 threshold matrix)
- (c) Symmetric error diffusion dithering



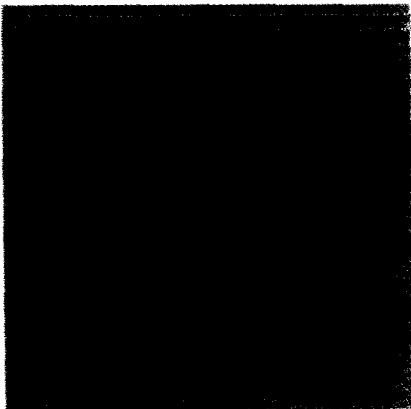
(c)

(그림 5) 그래픽 영상에 대한 디더링 실험 결과

- (a) Floyd-Steinberg의 오차 확산 디더링
- (b) 순서 디더링 (4×4 임계 행렬)
- (c) 제한한 대칭 오차 확산 디더링

(Fig. 5) Dithering results for a graphic image

- (a) Floyd-Steinberg's error diffusion dithering
- (b) Ordered dithering (4×4 threshold matrix)
- (c) Symmetric error diffusion dithering



(a)

5. 결 론

본 논문에서는 오차 확산 방법을 개선하여 인접 화소에 오차를 대칭적으로 확산시킴으로써 그래픽 영상에 대하여 순서 디더링과 오차 확산 디더링의 단점

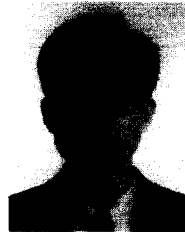
을 개선하는 새로운 디더링 알고리즘을 제안하였다. 즉, 오차 확산 디더링에서 오차를 좌에서 우로 위에서 아래로 확산시킴으로써 생기는 문제점과 순서 디더링의 임계 행렬을 고정함으로써 발생하는 여러 가지 문제점을 개선하였다. 그리고 현재 화소의 오차를 인접 화소로 확산할 때 두 화소간의 밝기 차이에 반 비례하는 가중치를 둬으로써 영상의 경계 부분의 표현을 개선하였다.

본 연구에서 개선되어야 할 점은 오차를 주파수의 특성을 이용하여 확산시키는 부분이다. 지금은 두 화소간의 거리와 밝기 값의 차이에 의한 가중치를 이용하여 확산되는 오차의 양을 조절하는데 앞으로는 주파수 해석적인 방법으로서 저주파 영역에서는 많은 양의 오차를 확산하고 고주파 영역에서는 적은 양의 오차를 확산하는 등의 방법에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] R. A. Ulichney, 'Digital Halftoning', The MIT Press, 1987.
 [2] R. A. Ulichney, "Dithering with Blue Noise," Proc. of the IEEE, vol. 76, no. 1, pp. 56-78, 1982.
 [3] J. F. Javis, C. N. Judice, and W. H. Ninke, "A Survey of Technique for Display of Continuous Tone Pictures on Bilevel Displays," Computer Graphics and Image Processing 5, pp. 13-40, 1976.
 [4] K. T. Knox, "Error Diffusion: A Theoretical View," Human Vision, Visual Processing, and Digital Display IV, SPIE, vol. 1913, pp. 326-331, 1993.
 [5] P. W. Wong, "Error Diffusion with Dynamically Adjusted Kernel," Proc. of ICASSP, vol. V, pp. 113-116, April, 1994.
 [6] B. W. Kolpatzik and C. A. Bouman, "Optimized Error Diffusion for Image Display," Journal of Electronic Imaging, vol. 1, No. 3, pp. 227-292, 1992.
 [7] D. Anastassiou and K. S. Pennington, "Digital Halftoning of Images," IBM J. Res. Develop., vol. 26, No. 6, 1982.
 [8] 이광기, 이재춘, 권영모, 김형근, "잡음주파수특성

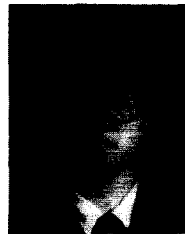
성형에 의한 오차확산 영상이진화 기법," 전자공학회는문지, 제32권, B편, 제11호, pp. 1464-1472, 1995. 11.



권 성 복

1994년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1996년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1996년~현재 경북대학교 대학원 전자공학과(박사과정)

관심분야: 화상처리, 멀티미디어 시스템, 멀티미디어 검색 기술 등



김 영 모

1980년 경북대학교 전자과 졸업(학사)
 1983년 KAIST 대학원 졸업(공학석사)
 1989년 KAIST 대학원 졸업(공학박사)

현재 경북대학교 전자과 교수
 관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 영상 처리