HOG 기반의 적응적 평활화를 이용한 스캔된 영상의 하프톤 잡음 제거

허 규 성^{a)}, 백 열 민^{b)}, 김 회 율^{b)*}

Halftone Noise Removal in Scanned Images using HOG based Adaptive Smoothing Filter

Kyu-Sung Hur^{a)}, Yeul-Min Baek^{b)}, and Whoi-Yul Kim^{b)*}

요 약

본 논문에서는 영상의 그래디언트의 히스토그램 (HOG)에 기반한 적응적 평활화 필터를 이용하여 스캔된 하프톤 문서의 하프톤 잡음 제거 방법을 제안한다. 하프톤 잡음은 잡음의 편차가 커서 에지 영역과 유사한 특성을 나타내므로 일반적인 에지 보존 평활화 필터를 적용할 경우에는 잡음 제거 효과가 떨어진다. 또한 인쇄물에 주로 사용되는 집중형 도트 방식의 하프톤은 컬러 영상에서 채널간의 간섭 현상으로 인해 모아레 패턴을 생성한다. 따라서 본 논문에서는 스캔된 하프톤 문서의 하프톤 잡음과 모아레 패턴을 효과적으로 제거하기 위해 하프톤 잡음의 방향성에 기반한 적응적 평활화 필터 방법을 제안한다. 하프톤 잡음의 경우 영상의 에지와 달리 등방성을 가지므로 영상을 블록 단위로 나누어 지배적인 에지의 크기와 방향성을 살피으로써 적응적 평활화 필터를 구성할 수 있다. 실험 결과, 제안하는 방법은 다양한 인쇄 매체를 통해 생성된 하프톤 문서에 대하여 효과적으로 하프톤 잡음을 제거하면서도 영상의 에지를 보존하는 것을 확인할 수 있었다.

Abstract

In this paper, a novel descreening method using HOG(histogram of gradient)-based adaptive smoothing filter is proposed. Conventional edge-oriented smoothing methods does not provide enough smoothing to the halftone image due to the edge-like characteristic of the halftone noise. Moreover, clustered-dot halftoning method, which is commonly used in printing tends to create Moire pattern because of the interference in color channels. Therefore, the proposed method uses HOG to distinguish edges and the amount of smoothing to be performed on the halftone image is then calculated according to the magnitude of the HOG in the edge and edge normal orientation. The proposed method was tested on various scanned halftone materials, and the results show that it effectively removes halftone noises as well as Moire pattern while preserving image details.

Keyword : descreening, halftoning, Moire pattern, adaptive smoothing, histogram of oriented gradients

1. 서 론

a) LG전자

LG Electronics

b) 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과

Hanyang University, Department of Electronics Computer Engineering

* 교신저자 : 김회율 (wykim@hanyang.ac.kr)

· 접수일(2011년9월7일), 수정일(2012년3월5일), 게재확정일(2012년3월5일)

잡지나 신문과 같은 인쇄물은 흑백 또는 CMYK와 같은 제한된 잉크의 색상으로 연속계조를 표현하기 위해 하프톤 패턴을 사용한다. 인쇄물에 주로 사용되는 하프톤 방식은 집

중형 도트 방식으로 연속계조에서의 픽셀의 밝기에 따라 도트의 크기에 변화를 줌으로써 밝기의 정도를 표현한다. 하프톤 잡음은 이렇게 생성된 하프톤 영상과 원래의 연속계조 영상과의 차이를 의미한다. 그러나 사람의 눈의 경우, 저주파 통과 필터적인 특성을 가지므로 일정 거리 이상에서 하프톤 영상을 바라볼 경우에는 이를 연속계조의 영상으로 인식하게 되며, 따라서 하프톤 잡음 또한 두드러지지 않게 된다.

하프톤 잡음은 하프톤 문서를 스캔하여 사용하게 될 경우에 문제가 된다. 사람의 눈과 달리 스캐너는 하프톤 문서를 한 줄씩 인식하게 되므로 스캔하기 전에 저주파 통과 필터 효과를 적용하기 어려우며, 이미 스캔된 문서에 저주파 통과 필터를 적용하는 것은 오히려 영상의 디테일을 제거시켜 화질을 떨어뜨리게 된다. 더욱이, 스캐너의 CCD 크기와 위치가 고정되어 있으므로 그림 1에서와 같이 하프톤 도트가 스캐너 CCD와 어떻게 위치하는지에 따라라도 스캐너에서 읽어 들이는 하프톤 도트의 배열이 달라질 수 있다.

그림 1. 입력된 하프톤 영상과 스캔된 하프톤 영상
Fig. 1. Input halftone image and its scanned image

그림 1의 (a)와 (c)에서의 입력된 하프톤의 크기와 형태는 동일 하지만 하프톤이 스캐너에 배치되는 위치에 따라서 스캔되는 형태는 각각 (b)와 (d)처럼 달라진다. 이러한 경우, 이전 하프톤 도트의 배열의 주기와 새로 변경된 하프톤 도트의 배열의 주기가 서로 간섭을 일으켜 모아레 패턴을 생성하게 된다.

모아레 패턴은 특정한 무늬를 형성하여 하프톤 영상의 화

질을 크게 저하시키게 되는데, 이는 컴퓨터 모니터 상의 디스플레이 목적으로 스캔된 하프톤 영상의 크기를 줄이거나, 혹은 다시 프린트할 경우에 더욱 심하게 나타난다. 따라서 영상의 화질을 보존하기 위해서는 스캔된 문서의 하프톤 잡음을 제거하는 과정이 필요하다. 영상 내 하프톤 잡음을 제거하는 가장 기본적인 방법은 하프톤 주파수를 검출하여 해당 영역에 저주파 통과 필터를 통과 시키는 것이다. 그러나 주파수 영역 상에서의 하프톤 잡음과 영상의 에지는 서로 섞여 있어 이를 구분해 내는 것이 어렵다. 이를 극복하기 위하여 [3]에서는 Fast Accumulation Function (FAF)를 이용하여 각 스캔 열에서의 영상의 밝기 차이로부터 하프톤 주파수를 구하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 하프톤의 주파수가 일정한 경우에는 잘 적용될 수 있으나 스캔된 하프톤 영상과 같이 하프톤 주파수에 변형이 일어나 그 주기가 일정하지 않은 경우에는 하프톤 주파수를 알아내기 어렵다는 단점이 있다. 좀 더 안정적인 하프톤 잡음 검출을 위하여 [4]에서는 웨이블렛 변환을 이용하여 주파수 영역에서의 정보와 함께 공간 영역에서의 정보도 사용한다.

[2]에서는 비등방성 확산에 의한 평활화와 에지 검출을 위한 특징 추출 필터를 사용한 방법을 제안하였다. 제안한 비등방성 확산 필터는 영상의 그라디언트를 특징으로 하여 에지 영역을 검출하는 방법으로 구성된다. 이 방법은 하프톤 잡음을 효과적으로 제거하나 에지 영역 근처의 하프톤 잡음에 대한 제거 효과는 떨어진다.

효과적으로 하프톤 잡음을 제거 하기 위해 제안하는 본 연구에서 제안하는 방법은 먼저 국부 그라디언트 방향을 이용하여 영상 내에 하프톤 잡음이 있는 영역과 디테일이 보존되어야 하는 에지 영역을 구분하고 이 후, 에지의 방향과 강도에 따라 적응적으로 평탄화를 수행함으로써 영상의 디테일을 보존하면서 효과적으로 하프톤 잡음을 제거한다.

II. 본 론

1. 평활화 필터를 이용한 잡음 제거

평활화 필터링은 각 픽셀의 밝기 값을 정의된 이웃 픽셀

들의 평균으로 대체함으로써 잡음을 제거한다. 정의된 이웃의 범위가 좁은 경우에는 잡음 제거 효과가 떨어지는 반면, 광범위한 영역에 걸친 평활화는 영상의 디테일을 손실시켜 영상이 흐려진다. 따라서 영상의 디테일은 보존하면서도 잡음을 효과적으로 제거하기 위해서는 에지를 제외한 영역에 대한 평활화가 수행되어야 한다. 그러나 일반적인 적응적 평활화 필터 기법들은 영상의 잡음의 편차가 신호 자체의 편차보다 작다는 전제 하에 영상의 에지를 구별하기 때문에 하프톤 잡음과 같이 잡음의 편차가 심한 경우에는 영상의 에지와 잡음을 구별하는 것이 쉽지 않다.

2. 제안하는 방법

2.1 하프톤 잡음과 영상 에지 구분

제안하는 방법은 하프톤 잡음과 영상의 실제 에지를 구별하기 위하여 하프톤 잡음과 실제 에지 사이의 그래디언트 방향성의 차이를 이용한다. 그림 2의 (a)는 하프톤 잡음의 그래디언트 방향성을 나타내며, (b)는 실제 에지의 그래디언트 방향성을 나타낸다. 하프톤 잡음의 경우, 에지와 유사한 그래디언트 크기 차이를 나타낸다. 그러나 (c)와 같이 블록 전체 영역에서의 하프톤 잡음의 그래디언트는 각각의

그림 2 . 스캔된 하프톤 영상에서의 하프톤 잡음과 에지의 HOG 비교
Fig. 2. Comparison of HOG of halftone noise and edge

방향에서의 빈(bin)의 크기가 고루 나타나는 등방성을 갖고 있음을 확인 할 수 있다. 이와 달리, (b)의 에지 영역에서의 블록 전체의 방향성은 (d)와 같이 한 방향(135°)이 두드러지게 나타나게 된다.

따라서 제안하는 방법은 스캔된 하프톤 영상의 잡음과 에지를 구별하기 위하여 HOG(Histogram of Gradient)를 이용하며, 이에 따라 검출된 에지의 방향과 크기에 따라 필터의 형태가 적응적으로 변화하는 가우시안 평활화 필터를 적용한다. 영상의 지역적 에지를 구별하기 위한 그래디언트의 방향은 0°, 45°, 90°, 135°의 4-방향과 이에 대칭되는 성분으로 표현한다.

그래디언트의 크기는 영상의 에지와 수직인 방향에서 가장 크게 측정되므로 HOG에서의 가장 큰 빈의 방향(135°)은 지배적인 에지와 수직인 방향이 되고, 이와 반대 방향(45°)은 지배적 에지 방향을 나타낸다. HOG로부터 지배적 에지의 방향을 계산하여 이와 평행한 방향으로 적응적 평활화 필터를 적용하면 영상의 에지를 보존할 수 있다.

2.2 HOG를 이용한 적응적 평활화 필터

제안하는 적응적 평활화 필터는 앞에서 언급한 영상의 지배적인 에지의 방향과 크기에 의존한다. 지배적인 에지의 방향을 y 축으로 두었을 때, 2D 가우시안 적응적 평활화 필터는 다음과 같다.

$$h(x, y) = K \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{x^2}{\sigma_x} + \frac{y^2}{\sigma_y} \right)\right) \quad (1)$$

여기서 K 는 임의의 상수이며, σ_x 와 σ_y 는 각각 x 와 y 축으로의 편차를 의미한다. 제안하는 평탄화 과정은 식 (1)의 2D 가우시안 필터를 따르며, 필터의 방향과 크기가 영상 내 에지의 방향과 크기에 따라 변화할 수 있도록 σ_x 와 σ_y 는 다음의 식 (2)와 같이 결정된다.

$$\sigma_i = a \cdot \exp\left(-b \cdot [magnitude(HOG_i)]^2 + c\right) \quad (2)$$

식 (2)에서 $magnitude(HOG_i)$ 는 해당 방향의 빈의 수를

의미한다. 변수 a , b , c 는 필터의 평활화 정도를 결정하게 되는데, a 는 에지가 아닌 영역에서의 평활화 정도를 결정하며, b 는 에지 정도를 결정하기 위한 기울기 크기에 적용되는 가중치를 의미하며, 변수 c 는 에지 영역에서의 평활화 정도를 결정한다.

식 (1)에 의해 필터의 형태가 결정되고 나면 영상과 필터의 방향을 일치시켜 주기 위해 지배적인 에지의 방향을 나타내는 식 (3)의 $dir(HOG_i)$ 와 평행하도록 식 (4)와 같이 필터를 회전시켜 준다.

$$dir(HOG_i) = \arg \max_i = \text{magnitude}(HOG_i) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} x' &= x \cos(dir(HOG_x)) + y \sin(dir(HOG_x)) \\ y' &= -x \sin(dir(HOG_x)) + y \cos(dir(HOG_x)) \end{aligned} \quad (4)$$

필터의 회전을 고려하였을 때 영상에 적용되는 최종적인 필터 h' 는 다음과 같이 결정된다.

$$h'(x, y) = K \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x'^2}{\sigma_x} + \frac{y'^2}{\sigma_y}\right)\right) \quad (5)$$

식 (5)의 필터를 입력된 하프톤 영상에 적용함으로써 하프톤 잡음이 제거된 영상을 얻을 수 있다.

2.3 에지 화질 개선

앞 절에서의 지배적 에지에 따른 적응적 평활화 필터링은 하프톤의 평활화 수행 과정으로 인하여 영상의 색상을 전반적으로 열어지게 하는 효과를 낸다. 따라서 원본 영상과 같은 또렷한 효과를 얻기 위하여 에지 영역에서의 화질 개선을 후처리로 사용할 수 있다. 본 논문에서는 이를 위하여 다음과 같은 과정을 수행한다.

$$\begin{aligned} f_{enhance}(x, y) &= \hat{f}(x, y) + \\ &M\left(\frac{1}{n} \sum_{(x, y) \in R} \hat{f}(x, y) - \frac{1}{n} \sum_{(x, y) \in R} f(x, y)\right) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 $f(x, y)$ 는 (x, y) 픽셀 좌표에서 입력 영상의 밝기 값이며 $\hat{f}(x, y)$ 는 식 (5)의 제안하는 필터를 영상에 적용하였을 때의 결과를 의미하며, 가중치 M 은 임의의 상수이다. 식 (6)은 마스크 내의 원본 영상의 평균 밝기와 제안하는 필터를 적용하였을 때의 평균 밝기 값의 차를 가중치로 사용하며, 하프톤 잡음을 제거하였을 때의 결과 영상이 원본 영상 보다 밝을 경우에는 영상을 좀 더 밝게 나타내고 반대의 경우에는 영상을 좀 더 어둡게 하여 에지 영역을 두드러지게 하는 효과를 나타낸다.

III. 실험

제안하는 방법을 평가하기 위하여 잡지와 신문 등의 인쇄물과 연속 계조 영상을 레이저 복합기 및 프린터로 출력한 하프톤 영상을 사용하였다. 하프톤을 생성하는 방식은 인쇄 매체에 따라 달라지므로 스캐너를 통해 들어오는 문서의 하프톤 방식을 예측하기 어렵다. 따라서 다양한 하프톤에 대한 성능을 비교하기 위하여 가능한 여러 종류의 프린터를 이용하였다. 실험에 사용된 프린터는 Fuji Xerox DocuPrint™ C1190FS, HP™ CP1215, HP™ CP3525, HP™ CM1017, Lexmark™ C544, Samsung™ CLP- 670, Brother™ MFC-9450, Konica Minolta™ 5440 등이며, 하프톤 영상을 스캔하기 위해서는 Samsung™ SCX- 6555과 HP™ scan 4070 PhotosmartScanner를 사용하였다. 제안하는 방법의 성능 비교를 위하여 bilateral filter와 HFD(Hardware-Friendly Descrining)^[2]가 사용되었다. 제안하는 방법의 파라미터는 $K = 1$, $a = 1.8$, $b = 0.015$, 그리고 $c = 0.1$ 를 사용하였으며, bilateral filter와 제안하는 방법의 마스크의 크기는 HFD와 동일한 7x7을 사용하였다.

그림 3은 300-dpi로 스캔된 영상에 하프톤 제거 과정을 적용하였을 때의 결과이며, 그림 4는 그림 3의 (a)에 표시되어 있는 선을 따라 단면의 프로파일을 나타낸 결과이다. 그림 3 (b)의 가우시안 필터의 경우 영상이 전체적으로 흐려지는 결과를 나타내며, (c)의 bilateral filter의 경우, 영상 내 에지를 보존하는 과정에서 하프톤 잡음이 에지로 잘 못 구분되어 영상에 남아 있는 것을 확인 할 수 있다. 그림 3 (d)

그림 3. 하프톤 잡음 제거 결과
Fig. 3. Descreening results

그림 4. 그림 3의 에지 단면도
Fig. 4. Profile of Figure 3

의 HFD와 (e)의 제안하는 방법은 가우시안 필터처럼 하프톤 잡음을 제거하면서도 bilateral filter와 같이 에지 영역을 보존한다. 그림 4의 영상의 단면도를 살펴보면 HFD가 제안하는 방법에 비해 하프톤 잡음을 좀 더 효과적으로 제거하는 것을 볼 수 있으나 제안하는 방법에서의 에지 영역이 더 잘 보존되고 있는 것을 확인 할 수 있다.

그림 5는 레이저 프린터보다 하프톤 점의 크기가 큰 신문을 600-dpi로 스캔한 영상에 하프톤 제거 방법을 적용한 결과와 그 경계선을 추출한 결과이다. 경계선 결과를 살펴보면 (b)의 bilateral filter의 경우 하프톤 잡음이 보존되어 남

아 있는 것을 확인할 수 있으며, (c)의 HFD의 경우에도 비에지 영역에서의 하프톤 잡음은 효과적으로 이루어 졌으나 에지 부분에서의 하프톤 잡음은 남아 있는 것을 볼 수 있다. 그림 5 (d)와 (e)의 제안하는 방법은 에지와 비에지 영역의 하프톤 잡음을 효과적으로 제거함과 동시에 에지 부분의 디테일 또한 사라지지 않고 있으며, (e)의 경우, 에지 부분을 더욱 또렷하게 강조시키는 효과를 보여주고 있다. 이 외에도 수십여 자의 다양한 스캔 영상에 대하여 제안하는 방법의 성능 평가를 위한 실험을 수행 하였으며 그림 7은 그러한 실험 영상들 중의 일부를 나타낸다.

그림 5. 하프톤 잡음 제거 결과와 경계선 추출 결과
Fig. 5. Descrreen results and contours

그림 6. 하프톤 잡음 제거 결과
Fig. 6. Descrreen results

그림 7. 하프톤 잡음 제거 결과

Fig. 7. Descreen results

정량적인 잡음 제거 성능을 평가하기 위하여 영상의 PSNR을 측정하였다. 그러나 스캔된 하프톤 영상의 경우 원본 연속계조 영상과 픽셀 단위로 위치를 일치시키는 것이 어려우므로 영상의 PSNR을 측정하기 위하여 연속계조의 영상에 집중형 도트 방식을 적용하여 임의로 하프톤 영상을 생성하여 실험에 사용하였다. 또한 실제 스캔 과정에서는 영상에 샘플링 과정이 포함되므로^[1] 생성된 하프톤 영상에 저주파 필터를 적용하여 유사한 효과를 주었다. 측정된 PSNR 결과는 표 1에 나타나 있으며, 그림 6-8은 PSNR 측정에 사용된 실험 영상과 각각에 해당되는 결과 영상을 나타낸다.

표 1. PSNR 측정 결과

Table 1. PSNR evaluation results

Data set	하프톤 영상	Bilateral filter	HFD	제안하는 방법
set 1	21.980	24.631	27.147	28.096
set 2	21.307	24.050	25.477	26.042
set 3	22.682	25.850	27.495	28.728

표 1에 의하면, bilateral filter의 경우 하프톤 영상에 비해 PSNR 값이 증가된 것을 볼 수 있으나, HFD와 제안하는 방법의 PSNR 값이 더 확연하게 개선된 것을 확인할 수 있다. 그리고 HFD 방법의 경우, 에지 영역에서의 하프톤 잡

음이 남아있는 경향이 있으며 디테일이 많은 영역에서의 평탄화가 과도하게 일어나 제안하는 방법의 PSNR이 조금 더 높게 측정 되었다.

IV. 결 론

스캔된 하프톤 영상을 인쇄할 경우에는 하프톤 잡음의 영향과 스캐닝 과정에서 발생한 모아레 현상으로 인해 영상의 화질이 현저히 떨어진다. 이를 방지하기 위해서는 스캐닝 후에 하프톤 잡음을 제거하는 방법을 거쳐 연속계조 영상으로 변환시켜주는 과정이 필요하다. 본 논문에서는 스캔된 하프톤 영상의 잡음을 제거하기 위해 영상의 HOG 특징의 방향성과 크기에 따라 적응적으로 필터의 형태가 변하는 가우시안 평활화 필터를 제안한다. 하프톤 잡음과 같이 잡음의 편차가 큰 경우에는 영상의 에지와 잡음을 구분하기 어려워 평활화가 충분히 이뤄지지 않으므로 제안하는 방법은 하프톤 잡음과 영상의 에지의 방향성의 차이로부터 HOG를 이용하여 실제 에지의 방향을 찾는다. 제안하는 방법의 필터는 검출된 지배적인 에지의 방향에 평행하며 필터의 크기는 해당 방향의 HOG 빈의 크기에 따라 가변한다.

실제 스캐닝 대상이 되는 하프톤 문서는 하프톤의 크기와 형태가 다양하므로 잡지와 신문 등 비롯하여 여러 종류의 인쇄물을 스캔하여 실험을 수행하였으며, 실험 결과 제안하는 방법은 효과적으로 하프톤 잡음과 모아레 패턴을 제거함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] X. Liu and R. Ehrich, "Analysis of Moire Patterns in Non-uniformly Sampled Halftones," *Journal of Image and Vision Computing*, vol. 18, pp. 843-848, Jul. 2007.
- [2] H. Siddiqui, M. Boutin, and C. A. Bouman, "Hardware-Friendly Desccreening," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 19, no. 3, pp. 746-757, 2010.
- [3] A. Jajms, F. Mintzer, A. R. Rao, and G. Thompson, "Segmentation and Automatic Desccreening of Scanned Documents," in *Proc. SPIE*, vol. 3648, pp. 517-528, Jan. 1999.
- [4] J. Luo, R. de Queiroz, and Z. Fan, "A Robust Technique for Image Desccreening Based on the Wavelet Transform," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 46, pp. 1179-1184, Apr. 1988.
- [5] E.-H. Zhang, H.-B. Ma, M. He, B. Luo, and J.-H. Duan, "An Improved Descreeing Algorithm for Color Halftone Image Based on Wavelet Decomposition," *Congress on Image and Signal Processing*, vol. 2, pp. 242-246, May 2008.
- [6] N. Dalal, and B. Triggs, "Histograms of Oriented Gradients for Human Detection," *IEEE Computer Society conference of Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 1, pp. 886-893, Jun. 2005.
- [7] Q. Zhu, S. Avidan, M.-C. Yeh, and K.-T. Cheng, "Fast Human Detection using a Cascade of Histograms of Oriented Gradients," *IEEE computer Society conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 2, pp. 1491-1498, Oct. 2006.
- [8] J. E. Kyprianidis and J. Döllner, "Image Abstraction by Structure Adaptive Filtering," in *Proc. EG UK TPCG*, pp. 51-58, 2008.
- [9] H. Nishida, "Adaptive Inverse Halftoning for Scanned Document Images through Multiresolution and Multiscale Analysis," *Journal of Pattern Recognition*, vol. 38, pp. 251-260, Feb. 2005.
- [10] H. Siddiqui, C. Bouman, "Training-based descreeing," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 16, no. 3, pp. 789-802, 2007.
- [11] 김종민, 김민환, "Clustere-dpt 방법으로 해프톤된 인쇄물에 대한 칼라 역해프톤링 방법," *멀티미디어학회 논문지*, 제2권, 제3호, pp. 308-319, 1999.
- [12] T. D. Kite, N. Damera-Venkata, B. L. Evans, and A. C. Bovik, "AFast, High-Quality Inverse Halftoning Algorithm for Error Diffused Halftones," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 9, pp. 1583-1592, Sept. 2000.
- [13] D. L. Lau, R. Ulichney, and G. R. Arce, "Fundamental Characteristics of Halftone Textures: Blue-Noise and Green-noise," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 20, pp. 28-38, Jul. 2003.
- [14] J. Luo, R. Queiroz and Z. Fan, "Universal Descreeing Technique Via Wavelet Analysis," in *Proc. Color Imaging: Device-Independent Color, Color Hard Copy, and Graphic Arts II*, pp. 18-29, Apr. 1997.
- [15] 한영미, 김민환, "해프톤 도트 분포 분석 및 주파수 피크 위치 정제에 의한 해프톤 셀 정보 추정," *멀티미디어학회 논문지*, 제 4권, 제 2호, pp. 116-129, 2001년

[1] X. Liu and R. Ehrich, "Analysis of Moire Patterns in Non-uniformly Sampled Halftones," *Journal of Image and Vision Computing*, vol. 18,

저 자 소 개

허 규 성

- 2009년 : 성균관대학교 전자전기공학과 학사
- 2011년 : 한양대학교 전자컴퓨터통신 석사
- 2011년 ~ 현재 : LG 전자 MC 사업부 연구원
- 주관심분야 : 영상 화질 개선, 패턴 인식, 컴퓨터 비전

백 열 민

- 2005년 : 한양대학교 전자전기컴퓨터 학사
- 2007년 : 한양대학교 전자통신컴퓨터 석사
- 2007년 ~ 현재 : 한양대학교 전자컴퓨터통신 박사과정
- 주관심분야 : 영상 화질 개선, 패턴 인식, 컴퓨터 비전

김 회 울

- 1980년 : 한양대학교 전자공학과 학사
- 1983년 : Pennsylvania State University 전기공학과 석사
- 1989년 : Purdue University 전기공학과 박사
- 1989년 ~ 1994년 : University of Texas 조교수
- 1994년 ~ 현재 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 정교수
- 주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 패턴인식, 머신비전, MPEG-7